



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mouloud MAMMERRI Tizi-Ouzou
Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques
Département des Sciences Agronomiques

THESE DE DOCTORAT

**Présentée en vue de l'obtention du diplôme de Docteur en Sciences
Agronomiques**

Option : Foresterie

**Variabilité morpho-anatomique, diversité génétique, potentiel de
régénération et efficacité de la production grainière du sapin de
Numidie (*Abies numidica* De Lannoy) en plantation (cas de
Serraïdi (Annaba))**

Par Mme HACHI-ILLOUL Malika

Devant le jury :

Le 28/01/2016

Mr DERRIDJ A.	Professeur, Université M.MAMMERRI, Tizi-Ouzou	Directeur de Thèse
Mme SAADOUDI ALI-AHMED D.	Professeur, Université M.MAMMERRI, Tizi-Ouzou	Présidente
Mr. FADY B	Directeur de recherche, INRA, d'Avignon, France	Co-directeur, Invité
Mr. NEDJAH A.	Docteur en Sciences Forestières	Examineur
Mr. M'HAMMEDI BOUZINA M.	Professeur, Université H.B.BOUALI de Chlef	Examineur
Mr. AIT SAID S.	Maître de Conférences A, Université M.MAMMERRI, Tizi-Ouzou	Examineur

Remerciements

Avant tout, je tiens à remercier Monsieur A. DERRIDJ, Professeur à l'Université M.MAMMERY, pour avoir été à l'origine de ce sujet et m'avoir mis sur cette thématique depuis la graduation. Merci, pour ses orientations, ses conseils, ses encouragements, pour son important apport à ma réussite dans la recherche et l'enseignement universitaires, après m'avoir ouvert la porte de ce monde. Il m'a fait bénéficier de toutes les opportunités en me facilitant l'accès à certains laboratoires de recherche en France notamment. Je lui en suis très reconnaissante.

Mes vifs remerciements vont également à Monsieur B. FADY, pour m'avoir accueilli dans son laboratoire à plusieurs reprises (INRA d'Avignon). Ses conseils et ses critiques m'ont été d'un apport considérable. Ce travail n'aurait pu être achevé sans sa précieuse contribution, notamment dans la réalisation des analyses génétiques et d'autres tests.

Je remercie Madame SAADOUDI-ALI AHMED, Professeur à l'Université M.MAMMERY, pour l'honneur qu'elle me fait en acceptant de présider ce jury.

Je remercie également Monsieur M'HAMMEDI BOUZINA, Professeur à l'Université H. BEN BOUALI de Chlef, pour l'honneur qu'il me fait en acceptant d'examiner ce travail. Mes remerciements aussi pour ses conseils et ses orientations qui me sont toujours très utiles.

Monsieur NADJAHY et Monsieur AIT SAID, me font l'honneur de participer à l'examen de ce travail et me faire part de leurs connaissances et leur savoir pour évaluer les résultats obtenus dans notre recherche, je les en remercie.

Je suis reconnaissante à Mr LEFEVRE de l'INRA d'Avignon, pour m'avoir reçu et pour m'avoir consacré du temps dans l'analyse de certains de mes résultats. Mme Marie Claude BOUHEDI m'a soutenue et aidé durant mon séjour à l'INRA, je la remercie.

Mes amis Mr LARBI Amine et Mme LARBI Nacima, ont toujours répondu présents à mes appels, je leur suis très reconnaissante.

Mes remerciements vont aussi à Mademoiselle HAMDANI Fatma Zohra, pour son soutien, ses encouragements et pour toute son aide depuis mon arrivée à Chlef.

Mademoiselle KROUCHI Fazia m'a aidé et m'a orienté durant les premières années de mes travaux, qu'elle trouve ici l'expression de ma profonde gratitude.

Je remercie Monsieur le Directeur ainsi que le personnel de la conservation des forêts d'Annaba, pour m'avoir reçu et facilité les déplacements en forêt à plusieurs reprises, malgré les situations parfois très difficiles durant les années 2000, 2001, 2002 et 2003.

Merci à Monsieur TALBI de la faculté des sciences agronomiques et biologiques de l'université de Tizi-Ouzou, pour m'avoir facilité toutes les taches administratives parfois difficiles à accomplir en raison de l'éloignement.

Que toute personne qui a contribué de près ou de loin à la réalisation et à l'aboutissement de ce travail soit vivement remerciée.

Dédicaces

A

La mémoire de mon très cher et regretté père

Ma mère

Mon mari et Mon fils

Liste des figures

Figures	Pages
Figure 1: Aire de répartition des sapins méditerranéens.....	10
Figure 2: Situations altitudinales des sapinières circum-méditerranéennes	13
Figure 3 : Régénération du Sapin de numidie dans la plantation de Serraïdi	16
Figure 4 : Rameau portant des aiguilles avec la pousse de l'année.....	19
Figure 5 : Rameau portant des aiguilles avec des inflorescences mâles sur la face inférieure	19
Figure 6 : Cône, rachis et cône en désarticulation	20
Figure 7 : Localisation géographique des sites d'étude	24
Figure 8 . Diagramme Ombothermique de Bagnouls et Gausson pour la forêt de Serraïdi.....	27
Figure 9 : Climagramme d'Emberger pour la forêt de Serraïdi.....	28
Figure 10 : Face inférieure (1) et supérieure (2) des aiguilles.....	34
Figure 11 Coupe anatomique des aiguilles, vue du canal résinifère et du parenchyme ...	34
Figure 12 : Dessin d'une coupe anatomique montrant les caractères mesurés des aiguilles.....	35
Figure 13 : Analyse en Composantes Principales des caractères mesurés des aiguilles.....	42
Figure 14 : Différents types de graines	51
Figure 15 : Analyse en composantes Principales sur les dimensions et le poids des graines.....	57
Figure 16 : Différentes phases de la germination.....	63
Figure 17 Variation inter arbres du temps moyen de germination.....	65
Figure 18 : Variation inter arbre du taux moyen de germination.....	65
Figure 19a : Cinétique de germination des graines par arbres.....	67
Figure 19b : Cinétique de germination des graines par arbres.....	67
Figure 20 : Variation inter années du temps moyen de germination	70
Figure 21 : Variation inter années du taux moyen de germination.....	71
Figure 22 : Analyse en Composante principale sur les caractères des cônes, de la production grainières et de la germination des graines.....	74
Figure 23 : Cinétique de germination des graines sous l'effet du stress hydrique.....	82
Figure 24a : Distribution du taux moyen de germination des graines entre les arbres.....	84

Figure 24b : Distribution du taux moyen de germination des graines entre les arbres.....	85
Figure 25 : Principal Coordinates.....	94
Figure 26 Spatial structure Analysis.....	95
Figure 27 (1): Cone Size and Weight Variation between Years 2001 and2002.....	104
Figure 28 (2) : Seed Production between Years.....	106
Figure 29 : Figure 27 : Régénération du sapin de Numidie dans la plantation de Serraidi entre l'année 2003 (A) et 2012 (B).....	115

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques botaniques et géographiques du sapin de Numidie	21
Tableau 2 : Températures moyennes mensuelles et annuelles	25
Tableau 3 : Moyennes des précipitations moyennes mensuelles et annuelles.....	25
Tableau 4 : Précipitations, Températures moyennes (M et m) et Q ₂ calculé.....	27
Tableau 5 : Humidité de l'air moyenne mensuelle et annuelle (%) de la station de Serraidi.....	39
Tableau 6 : vitesse moyenne mensuelle du vent (m/s).....	29
Tableau 7 : Evaporation moyenne et mensuelle (mm).....	29
Tableau 8 : Paramètres statistiques de base des caractères des aiguilles.....	36
Tableau 9 : Analyse de variance des caractères des aiguilles.....	39
Tableau 10 : Matrices de corrélation des caractères mesurés.....	40
Tableau 11 : Matrice de corrélation entre les caractères anatomiques et les caractères morphologiques des aiguilles.....	44
Tableau 12 : Paramètres statistiques de base des caractères des graines.....	52
Tableau 13: Analyse de variance des caractères des graines.....	54
Tableau 14 : Paramètres statistiques de base des caractères des graines.....	55
Tableau 15 : Analyse de variance des caractères des graines	56
Tableau 16 : Matrice de corrélation des caractères des graines.....	56
Tableau 17 : Paramètres statistiques de base pour les paramètres de germination	64
Tableau 18 : Analyse de la variance des paramètres de la germination.....	64

Tableau 19 : Paramètres statistiques de base pour le taux et le temps moyens de germination (année 2000).....	69
Tableau 20 : Paramètres statistiques de base pour le taux et le temps moyens de germination (année 2001).....	69
Tableau 21 : Paramètres statistiques de base pour le taux et le temps moyens de germination (année 2002).....	69
Tableau 22 : Matrice de corrélation des caractères des graines et des paramètres de germination.....	72
Tableau 23 : Matrice de corrélation des caractères des cônes et des paramètres de germination.....	73
Tableau 24 : Relation entre la concentration de PEG-600 de la solution nutritive et le potentiel hydrique mesuré par cryoscopie pour quelques valeurs.....	80
Tableau 25 : Analyse de variance des différents traitements et des différents arbres.....	81
Tableau 26: Comparaison des différents traitements osmotiques d'après le test de Newman et Keuls.....	81
Tableau 27 : valeurs minimales et maximales du temps et du taux moyens de germination.....	82
Tableau 28: Analyse de variance pour le Taux et le Temps moyen de germination entre arbres.....	83
Tableau 29 : Samples characteristics.....	92
Table 30 : Parameters of genetic diversity.....	93
Table 31 : Molecular Variance Analysis (AMOVA).....	93
Table 32 : Princal Coordinates Analysis (PCoA).....	94
Table 33 : Genetic diversity Parameters.....	95
Table 34 : Molecular Variance Analysis (AMOVA).....	96
Table 35 : Nei' s genetic distances	96
Table 1 (36) : Basic Statistics Analysis.....	103

Table 2 (37) : Variance Analysis.....	104
Table 3 (38) : Basic Statistics Analyses (2000).....	105
Table 4 (39) : Basic Statistics Analyses (2001).....	105
Table 5 (40) : Basic statistics Analyses (2002).....	105
Table 6 (41) : Correlation between Cone Size and Cone Seed Production.....	106

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE	1
Chapitre1: Présentation du genre <i>Abies</i> et de l'espèce <i>Abies numidica</i> De Lannoy	
1-Historique.....	4
2- Systématique du genre <i>Abies</i> : le genre <i>Abies</i> appartient à	6
3- Aire de répartition du genre <i>Abies</i> et des Sapins méditerranéens.....	9
4- Facteurs écologiques.....	12
4-1-Altitude.....	12
4-2 Le bioclimat.....	13
4-3-Le substrat.....	14
5- Le Sapin de numidie (<i>Abies numidica</i> De Lannoy).....	14
5-1-Découverte du sapin de NUMidie.....	14
5-2-Aire de répartition géographique.....	15
5-2-1- Aire naturelle.....	15
5-2-2- Aire artificielle et plantation	15
5-2-3- La végétation.....	16
6- Exigences écologiques.....	16
6-1-Exigences altitudinale.....	16
6-2- Exigences climatiques.....	17
6-3-Exigences édaphiques	17
7-Caractères botaniques.....	17
8- Potentialités forestières et phytothérapeutiques du sapin de Numidie.....	22
Chapitre 2 : Description de la zone d'étud.	
1-Localisation de la région d'étude.....	23
2- Géologie.....	23
3- Pédologie	23
4- Réseau hydrographique.....	24
5- Caractéristiques climatiques.....	25

5-1-La température.....	25
5-2- Les précipitations.....	25
5-3- L'amplitude thermique.....	26
5-4- La synthèse climatique.....	26
5-4-1- Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen.....	26
5-4-2- Quotient pluviothermique d'Emberger Q_2	27
5-6-Humidité relative.....	29
5-7- Le vent.....	29
5-8-Evaporation	29
6- La végétation.....	30
Chapitre 3 : Caractéristiques anatomiques et morphologiques des aiguilles	
1-Introduction.....	31
2-Matériel et méthodes.....	31
3- Résultats.....	36
3-1-Dimensions moyennes.....	36
3-1-1- Nombre de lignes de stomates sur la face supérieure des aiguilles (NLFS)	36
3-1-2- Nombre de lignes de stomates sur la face inférieure des aiguilles (NLFI)	36
3-1-3-Densité des stomates sur la face supérieure (DFS).....	37
3-1-4- Densité des stomates sur la face inférieure (DFI).....	37
3-1-5- Longueur des aiguilles (LA).....	37
3-1-6- Largeur des aiguilles (la).....	37
3-1-7-Épaisseur des aiguilles (Ep).....	37
3-1-8-Le rapport NLFI/NLFS.....	37
3-1-9-Rapport longueur et largeur des aiguilles (forme) (LA/la).....	37
3-1-10-Rapport largeur et épaisseur des aiguilles (la/Ep).....	38
3-2- Analyses statistiques.....	39
3-3- Corrélation entre les caractères morphologiques et les caractères anatomiques des aiguilles.....	44
4-Discussion	45
Chapitre 4 : Caractéristiques morphologiques des graines et production grainière	
1-Introduction.....	49
2- Anatomie de la graine.....	49

3-Morphologie des graines	49
3-1- Description des graines	49
3-2-Différents types de graines.....	50
4- Matériel et méthodes.....	51
5-Résultats.....	52
5-1- Production grainière.....	52
5-1-1-Nombre moyen d'écailles/ cône.....	53
5-1-2- Nombre moyen de graines pleines/cône.....	53
5-1-2- Nombre moyen de graines vides/cône.....	53
5-1-3- Nombre moyen de graines aplaties par cône	53
5-1-4-Nombre moyen de graines en aiguilles/cône.....	53
5-1-5- Nombre moyen de graines en pointe/cône.....	53
5-1-6-Nombre moyen de graines tout venant.....	53
5-2- Dimensions moyennes des graines.....	55
6-Discussion.....	58

Chapitre 5 : Capacités de germination des graines

1-Introduction.....	60
2-Définition et critères de germination.....	60
3- Paramètres de la germination.....	61
3-1-Capacité de germination	61
3-2-Vitesse ou temps moyen de germination	61
3-3-Courbes de germination	61
4- Matériel et méthodes.....	61
5- Résultats.....	64
5-1-Variabilité inter-arbre du taux et du temps moyen de germination.....	64
5-2-Variabilité inter-année du taux et du temps moyen de germination.....	69
5-3- Corrélation entre les dimensions des graines, des cônes, le temps et le taux moyens de germinations.....	72
5-3-1-Corrélation entre les dimensions et le poids des graines, le temps et le taux moyens de germinations	72
5-3-2- Corrélation entre les dimensions des cônes, le temps et le taux moyens de germination.....	73

6- Discussion.....	75
Chapitre 6 : Germination des graines en conditions de stress hydrique osmotique	
1-Introduction.....	78
2 -Matériel et méthodes.....	79
3-Résultats.....	80
3-1-Effet des traitements osmotiques sur la germination des graines.....	80
3-2-Variation du taux et du temps moyens de germination entre arbres.....	82
4-Discussion.....	86
Références bibliographiques	88
Chapitre 7 : Genetic diversity of <i>Abies numidica</i> De Lannoy in plantation	
1-Introduction	91
2-Material and methods	92
3-Results.....	93
3-1- Genetic diversity in Serraiidi plantation.....	93
3-1-1- Parameters of genetic diversity	93
3-1-2- Molecular variance analysis.....	93
3-1-3-Genetic and Geographic distances.....	94
3-2- Genetic variation among and within Serraiidi and French plantations.....	95
3-2-1- Parameters of genetic diversity.....	95
3-2-2- Molecular variance analysis.....	96
3-2-3- Genetic and Geographic distances.....	96
4-Discussion.....	96
5- Conclusion	99
Bibliography	99
Chapitre 8 : efficiency of seed production and cone size of <i>Abies numidica</i> de Lannoy in plantation	
1-Introduction.....	102
2- Materiel and methods.....	103
3-Results.....	103
3-1- Cone seize and weight.....	104
3-2- Seed production.....	104106
3-2-1- Average number of seed per cone and average number of filled seed per cone	104

3-2-2- Average weight of seed per cone.....	105
4-Discussion.....	107
5-Conclusion.....	108
Bibliography.....	108
CONCLUSION GÉNÉRALE.....	111
Bibliographie.....	117
Annexes	

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

La biodiversité est une caractéristique de tous les végétaux. Pour de nombreux caractères, les individus présentent une grande diversité, ils sont dotés de toute évidence de gènes différents. Pour de nombreux loci, la structure génétique de toute population est polymorphique (Jacquard, 1970). La biodiversité constitue de toute évidence, la base de la pérennité et de la conservation des ressources génétiques et des populations naturelles.

Dans une population, les individus sont dans une situation telle que chaque couple a une égale probabilité de s'accoupler et de produire des descendants, c'est la panmixie (Mayr, 1974), c'est ce processus qui conservera la biodiversité. A des origines géographiques différentes, correspondent des variations d'un ensemble de caractères pour une même espèce, c'est ce qui est globalement intitulé variabilité infra spécifique. A l'intérieur d'une aire géographique, les performances des différents individus peuvent être très variées, ceci constitue la variabilité individuelle (Bikay-Bikay, 1977). La variabilité des caractères, due à la variabilité des génomes peut entraîner une différence dans les capacités de survie ou de procréation des divers individus. Ce sont les gènes portés par les individus les plus aptes à survivre ou à se reproduire qui se répandent dans la population (Jacquard, 1977). La variabilité des caractères est plus perceptible au niveau du phénotype, pour Mayr (1974), le polymorphisme concerne d'ailleurs tous les caractères phénotypiques qu'ils soient morphologiques, physiologiques ou de comportement. La plupart des espèces forestières ont des aires naturelles de répartition à la fois vastes et plus ou moins morcelées. La différenciation géographique est ainsi très importante chez ces espèces (Kremer, 1994).

La région méditerranéenne possède une diversité biologique exceptionnelle, sa richesse floristique est estimée à 25000 espèces soit près de 9.2 % de la flore mondiale. La diversité végétale de ses forêts, beaucoup plus accusée que celle des forêts européennes, s'explique par des facteurs paléogéographiques et historiques mais aussi par des critères écologiques actuels (Quezel, 1985). Le climat, caractérisé par une longue saison estivale sèche et chaude, est l'élément qui rapproche les pays de la Méditerranée et donne l'unité à l'ensemble. Il a généré une flore typique et des écosystèmes particulièrement riches (25 000 espèces environ, dont la moitié est endémiques), fournissant ainsi une transition entre le climat des régions tropicales et le climat des régions tempérées (M'Hirit, 1993).

Les espèces endémiques de souche méditerranéenne ou mésogéenne à aire restreinte, sont assez riches de significations biogéographiques (Barbero-Loisel et Quezel, 1995). Le cas le plus remarquable est constitué par les sapins méditerranéens avec plusieurs espèces affines,

Introduction générale

présentes depuis les marges du détroit de Gibraltar jusqu'au Liban (*Abies pinsapo*, *A. maroccana* incl. *A. tazzaotana*, *A. numidica*, *A. cilicica*) (Quezel 1998)

La flore algérienne est pour sa part très diversifiée en taxa, car elle présente d'importants groupes floristiques. Cette biodiversité est vulnérable en raison notamment des facteurs de dégradation naturels et anthropiques. Plusieurs espèces sont menacées de disparition telle que le cyprès du Tassili, le pin Noir, le genévrier Thurifère et le sapin de Numidie (UICN 2008).

Abies numidica De Lannoy est l'une des espèces forestières endémiques des monts des Babors et Tababors en Algérie, où elle constitue l'unique peuplement du pourtour méditerranéen. Cette espèce est classée par l'Union International pour la Conservation de la Nature dans la liste des plantes rares et menacées de disparition à moyen terme (UICN, 2008). C'est une espèce exceptionnelle, offrant indéniablement un intérêt scientifique dans la biodiversité de la flore naturelle, un intérêt sylvicole et forestier par la qualité de son bois et phytosanitaire par l'huile essentielle de ses aiguilles, offrant à cette espèce un pouvoir antibactérien sur certaines souches bactériennes pathogènes (Tlili-Ait Kaki, 2013). La forêt des Babors conserve quelques parties relativement vierges où les arbres multi-centenaires de sapin meurent sur pied. Se trouvant uniquement dans la forêt du mont des Babors, cet endémisme lui confère une toute autre valeur, c'est un bien naturel rare qu'il faut conserver et protéger pour lui éviter de compter parmi les espèces disparues (Tlili-Ait Kaki, 2013).

La conservation de cette ressource génétique nécessite indéniablement la création de plantations, d'arboretums et de banque de semences ou germplasm. A titre expérimental, le sapin de Numidie a été introduit dans plusieurs plantations en Algérie et même en dehors de son aire d'origine notamment en France. Certaines de ces introductions telles que la plantation de Serraidi à Annaba, semblent donner des résultats intéressants du point de vue régénération et fructification.

Dans le présent travail, nous nous sommes intéressé au sapin de Numidie dans la plantation de Serraidi afin d'évaluer : sa variabilité morphologique et sa diversité génétique, ses capacités à se reproduire et à se régénérer en plantation. Il s'agit en l'occurrence, d'évaluer si cette ressource menacée est correctement conservée en dehors de son aire d'origine naturelle et constituer ainsi un peuplement de conservation.

Les principales approches sont :

Introduction générale

1-La variabilité morphologique des paramètres végétatifs des aiguilles et reproducteurs des graines et des cônes comme un préalable pour évaluer la variabilité inter-arbres.

2- L'efficacité de la production grainière par arbre et par années en corrélation avec les caractères morphologiques des cônes et des graines.

3- Les paramètres de germination en l'occurrence le temps et le taux moyens de germination des graines sur trois années consécutives.

4-La germination des graines en conditions de stress hydrique osmotique du substrat, par simulation des conditions de déficit hydrique en utilisant le polyéthylène glycol (PEG 600). Cet aspect de la germination, nous semble intéressant et important au vue des conditions climatiques difficiles du pourtour méditerranéen sous l'effet des changements climatiques et du déficit hydrique en particulier.

5-La diversité génétique dont l'étude constitue un préalable à tout projet de conservation d'une ressource génétique. Pour évaluer la diversité génétique inter-arbres et inter-populations, nous avons eu recours aux marqueurs moléculaires qui sont les microsatellites chloroplastiques (cpSSRs).

Chapitre 1: Présentation du genre *Abies* et de l'espèce *Abies numidica* De Lannoy

1-Historique

Le genre *Abies* est connu depuis le tertiaire, les données paléobotaniques montrent que ce genre aurait eu son origine au milieu de l'Eocène à l'aire du tertiaire. Il avait dans le passé, des conditions d'habitat semblables à celles d'aujourd'hui sauf pour les températures, qui étaient plus basses et pour la répartition géographique qui était plus large (Liu, 1979). Miller (1754) a employé le terme *Abies* pour désigner un genre. Quelques botanistes comme Loudon (1838) et Gordon (1858) employaient le terme *Picea* à la place d'*Abies* pour inclure les vrais Pins (Liu, 1971).

Selon Gaussen (1949), en considération des données paléobotaniques, l'idée d'une répartition d'un ancêtre commun des espèces d'*Abies* avant l'ouverture du détroit de Gibraltar, serait très probable. La rupture de la continuité de l'aire de distribution aurait provoqué une évolution indépendante et les espèces locales se sont formées en altérant leurs caractéristiques originelles (Barbey, 1934 in Gaussen, 1949).

Le genre *Abies* est considéré comme le plus complexe des autres genres de la famille des *pinaceae* (Parducci et al., 2001). Il est réparti dans l'hémisphère nord en six ensembles distincts, en relation avec leurs aires de répartition géographiques et probablement leur évolution phylétique dans l'hémisphère Nord avec une importante variabilité de leurs caractères morphologiques (Flous, 1936) et (Quezel, 1998).

Les botanistes connaissent bien depuis le siècle dernier les diverses espèces de sapins végétant sur le pourtour de la Méditerranée, malgré les difficultés évidentes que présentent leur détermination et l'appréciation exacte de leur valeur taxinomique. Les forestiers n'ont commencé à vraiment s'y intéresser que lorsque les grands travaux de reforestation ont été entamés à la fin du siècle dernier et étendus à la région méditerranéenne proprement dite (Quezel, 1998).

Les sapins occupent en effet une place appréciable dans la constitution des forêts naturelles sur le pourtour méditerranéen. S'ils sont surtout présents en zones montagneuses, certaines espèces sont toutefois susceptibles de végéter à des altitudes peu élevées (500-600 m), et d'entrer en contact direct avec les forêts sclérophylles, notamment en Grèce, au Maroc et en Espagne, et bien évidemment avec les forêts à chênes caducifoliées (Quezel, 1998).

Arbez (1969) en se basant sur la variabilité de la composition mono terpénique situe l'origine des Sapins nord-méditerranéens au sud de la mer noire avec *Abies nordmanniana*

Chapitre 1 : Présentation du genre *Abies* et de l'espèce *Abies numidica* De Lannoy

duquel *A. bornmuelleriana* serait issu. Le phylum *A. cephalonica* dériverait soit directement d'*A. nordmanniana* soit transiterait par *A. bornmuelleriana*, *A. alba* dans la partie orientale de son aire serait un phylum parallèle et de même degré d'évolution que *A. cephalonica* et dériverait d'*A. bornmuelleriana*. *A. equitrojana* serait hybride entre espèces possibles : *A. cephalonica*, *A. bornmuelleriana* et *A. alba*.

A. cilicica, *A. numidica* et *A. maroccana* seraient d'après Arbez (1987), plus anciennes et elles résulteraient d'une première vague de peuplements du bassin méditerranéen. Elles sont considérées comme des espèces reliques. *Abies alba* Mill, *A. cephalonica* Loud, *A. nordmanniana* Spach, *A. bornmulleriana* Matt et *A. equitrojani* Ascherson et Surtenis seraient par contre plus récentes et plus dynamiques.

Pour de nombreux dendrologues et phytogéographes, les différentes formes, variétés ou espèces de Sapins méditerranéens sont issues d'une seule espèce beaucoup plus ancienne qu'*Abies pectinata*, qui au cours des siècles a été reléguée sur la périphérie de la méditerranée notamment sur certains sommets, où des races locales ou des espèces se sont formées en altérant leurs caractéristiques originelles. Cette espèce primitive, dont les restes de fossiles sont découverts dans le plateau du cantal est désignée sous le nom d'*Abies intermedia* (Barbey, 1934).

Une espèce introduite en 1928 dans la littérature dendrologique par Gaussen sous le nom d'*Abies pardei* Gauss, est aussi considérée comme variété ou plus certainement comme hybride entre *Abies cephalonica* Loud et *Abies pectinata*.

A l'extrémité orientale de la méditerranée, les conditions biologiques et phytogéographiques présentent des analogies, c'est ainsi qu'*Abies cilicica* Car est étroitement apparenté à *Abies numidica* De Lann. *Abies marocana* est considéré par quelques auteurs comme une variété d'*Abies pinsapo* d'Andalousie. Selon Gaussen (1952), ce sapin se distingue nettement d'*Abies pinsapo* par ses canaux résinifères marginaux dans des feuilles qui sont toujours aplaties, tandis qu'*Abies pinsapo* possède des canaux marginaux dans des feuilles toujours épaisses.

Abies cilicica et *Abies numidica*, seraient les espèces les plus anciennes et elles résulteraient d'une première vague de peuplements du Bassin méditerranéen. *Abies alba* Mill, *Abies cephalonica* Loud, *Abies nordmanniana* Spach, *Abies Bornmuelleriana* Matt et *Abies equitrojani* Asch seraient plus récents et plus dynamiques (Arbez, 1987).

Chapitre 1 : Présentation du genre *Abies* et de l'espèce *Abies numidica* De Lannoy

Les endémiques de souche méditerranéenne ou mésogéenne à aire restreinte, sont assez nombreuses, en particulier sur les grandes îles méditerranéennes (Barbero & al. 1995). Le cas le plus remarquable est constitué par les sapins méditerranéens avec plusieurs espèces affines, présentes depuis les marges du détroit de Gibraltar jusqu'au Liban (*Abies pinsapo*, *A. maroccana* incl. *A. tazzaotana*, *A. numidica*, *A. cilicica*) (Barbero & Quézel, 1975, Quézel 1985 et Barbero et al., 2001).

2- Systématique du genre *Abies* : le genre *Abies* appartient à :

- Embranchement : Spermaphytes
- S/Embranchement : Gymnospermes
- Ordre : Coniférales
- Famille : Pinacées
- S/Famille : Abietoïdées
- Tribu : Abiétées
- S/Tribu : Sapinae
- Genre : *Abies*

Abies est probablement le deuxième genre en nombre après *Pinus*, avec une grande variabilité morphologique des caractères aussi bien internes qu'externes. L'instabilité de ces caractères morphologiques est en grande partie due à la pollinisation naturelle croisée entre les espèces, de laquelle résulte beaucoup d'hybrides dont la classification est ambiguë (Liu, 1971).

Gausson (1964) considère le genre *Abies* comme un des principaux genres des conifères par le nombre de ses espèces et sa vaste répartition.

Plusieurs classifications ont été proposées par divers auteurs pour le genre *Abies*, nous citerons quelques unes :

Flous (1936) a proposé une classification phylétique, cet auteur estime que ce genre compte plus de 50 espèces et divisé en 12 phylums eux même répartis en 08 groupes géographiques.

Vancampo (1950) in Gausson (1964), en tenant compte de la taille des grains de pollen et de la répartition géographique, distingue 05 grands groupes :

Chapitre 1 : Présentation du genre *Abies* et de l'espèce *Abies numidica* De Lannoy

- Groupes Japonais
- Groupe Centrasiatique
- Groupe Californiens
- Groupe d'Amérique du Nord
- Groupe Circumméditerranéen

S'intéressant aux caractères de l'appareil reproducteur, au pollen et aux formules cotylédonaire, De Ferre (1952) distingue :

1- Un groupe circumpacifique dont les cônes, le pollen et les plantules sont de petites dimensions. Les cotylédons sont peu nombreux, le type C est le plus fréquent. Ce groupe comporte deux sous groupes :

-Espèce à faible variation ontogénique : *Abies balsamea*, *A. pibinica*, *A. subalpine*.

-Espèce à forte variation ontogénique : ce sont les espèces japonaises, *A. firma* et *A. nomolipis*.

2-Sapins à cônes généralement plus grands, pollens et plantules de grandes dimensions, les cotylédons sont nombreux, les formules cotylédonaire sont généralement composés de type B et C, on y retrouve 02 groupes :

- Un groupe méditerranéen généralement homogène
- Un groupe californien dont l'homogénéité est altéré par *A. bracteata* à caractères très particuliers.

Gaussen (1964) a établi des principes de classification en se basant sur les caractères morphologiques (dimension des cônes, taille des grains de pollen, position des canaux résinifères dans les feuilles), les cotylédons (nombre et type de stomates) et la répartition géographique. Cet auteur a même dressé un tableau phylétique du genre *Abies* dans lequel sont retrouvées 05 sections et 15 groupes :

- Circum-pacifique et Canada caractérisé par des canaux résinifères centraux. Cet ensemble compte quatre groupes (américain, Nord asiatique, Coré japonais, Japonais à bractées incluses et Japonais à bractées saillantes) :

Chapitre 1 : Présentation du genre *Abies* et de l'espèce *Abies numidica* De Lannoy

-**Section 1** : Circum-pacifique et Canada caractérisé par des canaux résinifères centraux. Cet ensemble compte quatre groupes (américain, Nord asiatique, Coréjaponais, Japonais à bractées incluses et Japonais à bractées saillantes) :

-**Section 2** : Circumméditerranéens à deux groupes nettement distincts. Un groupe à bractées incluses (méridional) et un autre à bractées saillantes.

-**Section 3** : Asie centrale et orientale, groupe chinois à canaux centraux et marginaux et à bractées saillantes, groupe himalayen, groupe chinois à canaux marginaux à bractées saillantes, groupe à canaux variables à bractées incluses.

-**Section 4** : Américains à canaux marginaux, cette section comprend :

Un groupe à bractées incluses, un groupe à bractées saillantes et un troisième à gros cônes et à bractées presque incluses passant aux bractées saillantes.

-**Section 5** : Américain à bourgeons fusiformes, qui ne compte qu'une seule espèce, *A. bracteata*.

D'après Ozenda (1964), environ 80 espèces composent le genre *Abies*, se basant sur la répartition géographique cet auteur définit 02 catégories :

-**Catégorie 1** : elle renferme les espèces à grande aire de répartition, comme *A. balsamea* qui couvre une partie importante de l'Amérique du nord, *A. alba* (*A. pectinata*) dont l'aire couvre la plus grande partie des montagnes de l'Europe. *A. siberica* va de l'oural jusqu'à l'extrême orient.

-**Catégorie 2** : correspond aux autres espèces dont l'aire de répartition est réduite. Elles forment 03 groupes géographiques :

-**Un groupe américain** : occupant l'ouest de l'Amérique du Nord et de la Colombie britannique jusqu'à la côte californienne. Ce groupe est composé d'environ 20 espèces.

-**Un groupe asiatique** : les espèces les plus occidentales se trouvent dans la chaîne himalayenne, les plus orientales au Japon, avec un maximum d'espèces dans les montagnes chinoises et les îles japonaises méridionales. Le groupe est composé d'environ 40 espèces.

Chapitre 1 : Présentation du genre *Abies* et de l'espèce *Abies numidica* De Lannoy

-Un groupe méditerranéen : celui-ci est subdivisé en 02 sous groupes, un groupe formé de 06 espèces occupant les rivages Nord de la méditerranée et un autre groupe formé de 04 espèces.

Barbero et Quezel (1975) ont réparti le genre *Abies* du pourtour méditerranéen en 04 groupes :

- Les Sapins méditerranéen proprement dit
- Les Sapins Nords anatoliens
- Le Sapin blanc (*Abies alba* ou *A. petinata*)
- Le Sapin du Roi Boris (*A. borisii regis*) constitué par des populations introgressées entre *A. cephalonica* et *A. alba*.

Bien que leur systématique soit fort complexe, Quezel (1998) distingue en principe 6 espèces (sans tenir compte d'*Abies tazaotana*, Cozar et d'*Abies pardei*, insuffisamment connus). Parmi celles-ci, il est possible de distinguer encore 2 séries :

- **Les sapins à aiguilles aiguës**, ce groupe réunit *Abies pinsapo* Boiss., *Abies maroccana* Trab. et *Abies cephalonica* Loudon. Les sapins à aiguilles aiguës, dont le caractère méditerranéen est très accusé sur le plan écologique, sont localisés de part et d'autre du détroit de Gibraltar et en Grèce méridionale.

Les sapins à aiguilles émarginées ou obtuses, ce groupe réunit : *Abies numidica*, De Lannoy, *Abies nebrodensis* (Lojac) Mattei et *Abies cilicica* (Ant. et Kotschy) Carr.

3- Aire de répartition du genre *Abies* et des Sapins méditerranéens

Géographiquement les Sapins sont répartis dans 04 régions :

- Région méditerranéenne,
- Sibérie et Est de l'Asie,
- Amérique du Nord
- Mexique et Guatemala.

De toutes les espèces du genre, *Abies sibirica* a la plus large répartition géographique, elle s'étend un peu au-delà du cercle polaire et marque la limite septentrionale du genre dans l'hémisphère oriental. *Abies guatemalensis*, bien que répartie dans une zone étroite, dépasse largement le tropique du cancer, et marque l'extrémité méridionale de l'extension du genre dans l'hémisphère occidental (Liu, 1971).

Chapitre 1 : Présentation du genre *Abies* et de l'espèce *Abies numidica* De Lannoy

Les Sapins méditerranéens à aire disjointe sont rencontrés en Afrique du Nord (*A. numidica*, *A. maroccana*), en Espagne (*A. pinsapo*), dans les Balkans (*A. cephalonica*), en Asie mineur (*A. nordmanniana*, *A. bornmulleriana*, *A. cilicica*) (Liu, 1971). (Figure 1).



Figure 1: Aire de répartition des sapins méditerranéens (Quezel, 1998)

Chapitre 1 : Présentation du genre *Abies* et de l'espèce *Abies numidica* De Lannoy

Barbero et Quezel (1976) et Quezel (1998) ont divisé les Sapins méditerranéens en deux groupes :

- Les Sapins à aiguilles aiguës

Ils sont localisés de part et d'autre du détroit de Gibraltar et en Grèce méridionale, dans ce groupe figurent les espèces ci après :

→ *A. pinsapo* qui se rencontre dans 03 localités du sud de l'Espagne (Sierra et Ronda, Bermeja et Grazallema) où il occupe quelques milliers d'hectares.

→ *A. maroccana* considéré par certains auteurs comme une simple sous espèce de l'*Abies pinsapo*. Il est localisé sur les montagnes des environs Chaouen dans le Rif Nord-Occidental marocain, où il occupe environ 10.000 ha.

→ *A. cephalonica*, très répandu puisqu'il constitua de vastes peuplements dans le Péloponnèse sur les montagnes bordant le Nord du Golfe de Corinthe. Déjà dans le Nord du Péloponnèse (Mont Chelmos) et plus encore à partir du Parnasse (Barbero et Quezel, 1976) ses peuplements sont plus ou moins envahis suivant les conditions écologiques, par des formes affines d'*Abies borisii regis* (Panetsos, 1991). L'ensemble des peuplements d'*A. cephalonica* atteint 200.000 ha (Quezel, 1998).

-Les Sapins à aiguilles marginées ou obtuses : l'aire de répartition est fort exigüe.

→ *A. numidica* : il n'apparaît que sur les sommets des monts des Babors et Tababors, où il ne couvre que 300 ha (Kolai, 1986).

→ *A. nebrodensis* : très rare actuellement, il n'existe qu'une vingtaine d'individus vivant sur des crêtes des monts de la Madone en Sicile (Quezel, 1998).

→ *A. cilicaca* : s'étend sur tout le Taurus à l'est du sillon d'Antalya sur les sommets de l'Amanus en Turquie, en Syrie et dans le Nord du mont du Liban. Barbero et Quezel (1980) distinguent deux sous espèces : la *Ssp cilicaca* au Proche orient et sur le Taurus Oriental et la *Ssp isaurica* sur le Taurus Central.

→ *A. tazaotana* et *A. pardei* sont localisés respectivement au sommet de Tazaot dans le Rif marocain et probablement en Péloponnèse.

→ Les Sapins Nord anatoliens sont situés sur les marges de la région méditerranéenne, 03 espèces étaient rangées dans ce groupe :

→ *A. equitrojani* : il existe au niveau de deux stations d'Anatolie, Nord occidentale où ses forêts s'étendent sur quelques centaines d'ha.

Chapitre 1 : Présentation du genre *Abies* et de l'espèce *Abies numidica* De Lannoy

→*A. nordmanniana* : largement répandu sur le Caucase, il existe également sur les chaînes pontiques orientales entre Giresun et la frontière Turco-Soviétique.

→*A. bornmuelleriana* : forme de vastes forêts dans la portion occidentale des chaînes pontiques entre l'Uludağ de Bursa, à l'ouest et la région de Samum à l'Est de la Turquie.

-*A. alba* : espèce typiquement européenne, il constitue divers peuplements en ambiance climatique méditerranéenne. Il existe en France dans les cordillères du Ventoux, les Préalpes de Grasse, ainsi que les montagnes de Cagne en Corse méridionale (Quezel, 1985).

-*A. borisii regis* : Sapin du roi Boris, il relie vers le Sud le Sapin blanc depuis la Macédoine, Chalcidique et l'Épire jusqu'au contact d'un peuplement de Sapin de Céphalonie.

4- Facteurs écologiques

4-1-Altitude

Les Sapins méditerranéens à aiguilles aigues offrent une grande plasticité altitudinale particulièrement remarquable, c'est ainsi qu'*Abies cephalonica* apparaît entre 600-700m, et peut s'élever jusqu'à 2000-2300m d'altitude (Barbero et Quezel, 1975).

A. pinsapo et *A. maroccana* apparaissent entre 1000 et 2000m. Les Sapins à aiguilles émarginées ou obtuses ne descendent guère au dessous de 1500-1600m.

Les Sapins pontiques Nord-anatoliens sont localisés au dessus de 1300-1400m, en zone pontique *A. bornmuelleriana* en particulier, peut descendre jusqu'au bord de la mer (Figure 2).

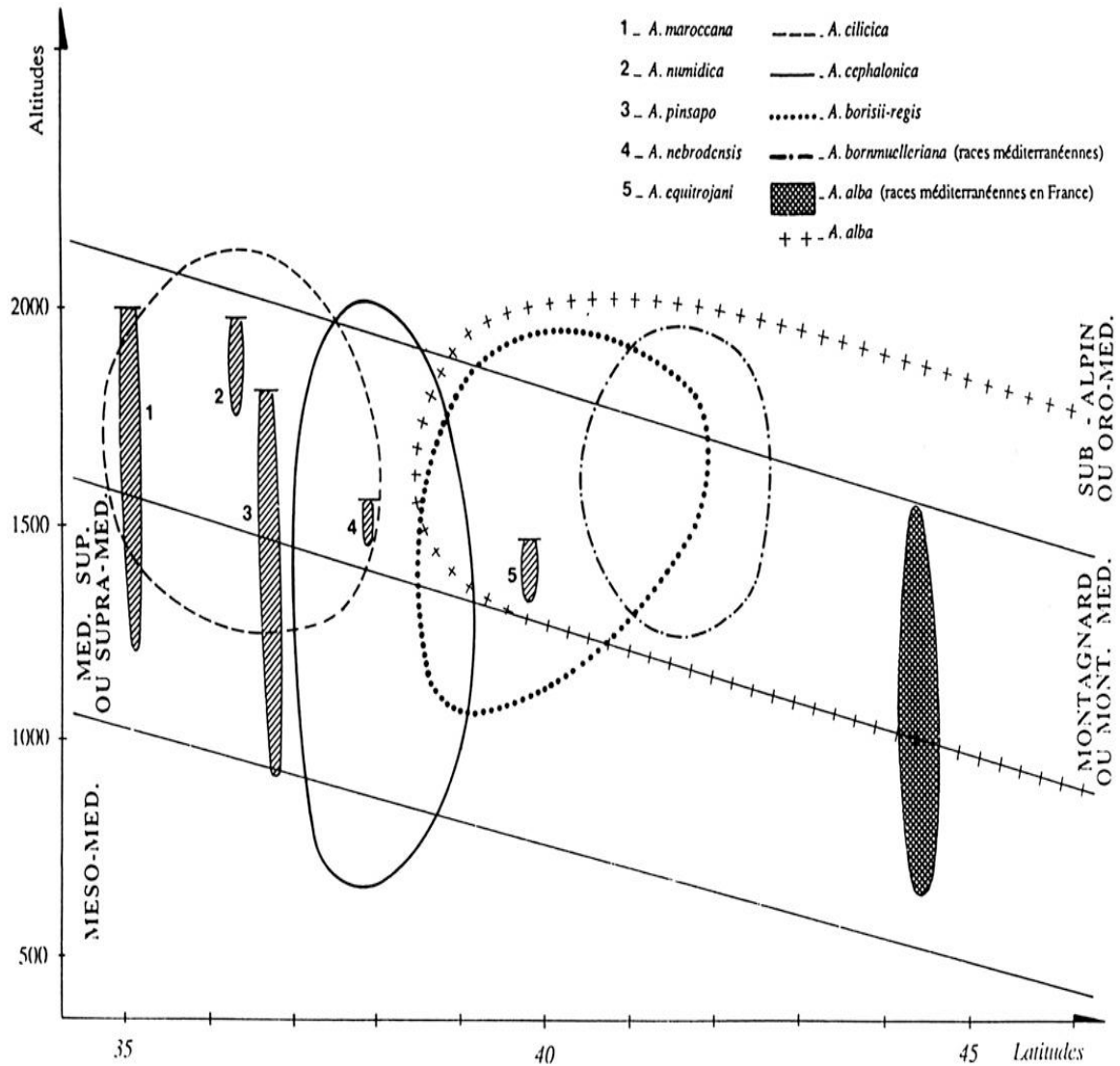


Figure 2: Situations altitudinales des sapinières circum-méditerranéennes (Quezel, 1998)

4-2 Le bioclimat

Les Sapins méditerranéens à aiguilles aigues sont presque exclusifs du bioclimat humide notamment pour *A. maroccana* dans sa variante froide, *A. pinsapo* dans ses variantes froide et fraîche et *A. cephalonica* dans ses variantes fraîche, froide et très froide. Ils réclament dans leurs peuplements naturels, des précipitations annuelles moyennes supérieures à 1 000 mm.

Les Sapins méditerranéens à aiguilles obtuses sont en Afrique du Nord et en Sicile, localisés dans l'humide extrêmement froid et, au proche orient dans l'humide et le sub-humide, extrêmement froid et très froid.

Chapitre 1 : Présentation du genre *Abies* et de l'espèce *Abies numidica* De Lannoy

4-3-Le substrat

Les Sapins sont généralement indifférents à la nature de la roche mère. Les limites de leur aire naturelle ne correspondent pas en effet, à des variations de la roche mère. Les sapins méditerranéens dont l'aire est suffisamment vaste poussent sur des substrats de type variés : calcaires, marnes, schistes, roches éruptives, roches éruptives et grès (Colombet, 1984).

A. Maroccana, *A. numidica*, *A. cephalonica*, *A. pinsapo* et *A. cilicica* sont largement préférentiels de substrat calcaire-dolomitique notamment sur les reliefs karstifiés.

Les Sapins Nord anatoliens se développent sur des substrats non calcaires (schistes, gneiss, rhyolites) en particuliers. *A. alba*, en région méditerranéenne est exclusif des substrats calcaires et calcaire-dolomitiques alors que *A. borisi regis* préfère les flysch.

Les Sapins aiment par contre les sols superficiels bien alimentés en eau ou suffisamment fissurés. Ils craignent les sols compactes surtout s'ils ont tendance à être mouilleux (Colombet, 1984).

5- Le sapin de Numidie (*Abies numidica* De Lannoy)

5-1-Découverte du sapin de Numidie

Cette espèce a été découverte en 1861 sur les montagnes des Babors par le capitaine Deguilbert. Les botanistes Letourneux et Cosson considèrent ce sapin comme une variété des sapins espagnols, il a de ce fait été appelé *Abies pinsapo* baborensis. En 1861, De Lannoy décrit pour la première fois ce sapin d'où l'appellation *A. numidica* De Lannoy, mais la publication valide était par Élie Abel Carrière en 1866 (Barbey, 1934).

Abies numidica est communément appelé : sapin de Kabylie, sapin d'Algérie, sapin de Numidie et sapin des Babors. Les dendrologues et les botanistes ont désigné ce sapin sous diverses appellations dont : *A. numidica* De Lann, *A. pinsapo baborensis* Cosson, *A. numidica glauca* Hort, *Abies baborensis* Letourneux, *A. numidiensis* Alphand, *A. numidica aurea* Blaringhen, *Picea numidica* Gordon, *Pinus baborensis* Mac Nab, *Pinus pinsapo* Parlatores et *Pinus baborensis* Voss. (Barbey, 1934).

5-2-Aire de répartition géographique

5-2-1- Aire naturelle

Le sapin de Numidie (*Abies numidica* de Lannoy) est une essence forestière algérienne, endémique des monts Babors où il couvre une superficie de 300 ha (Kolai, 1986). Au Tababors, on ne compte que quelques pieds rabougris et déformés par la neige et le vent mais d'après Barbey (1934), il aurait certainement été parsemé de sapins à une époque reculée.

5-2-2- Aire artificielle et plantation

Abies numidica a été introduite en dehors de son aire naturelle en Algérie dans des zones telliennes, notamment dans les forêts de l'Est. Cette espèce semble donner des résultats forts intéressants en termes de production de semences, productivité etc. Des introductions ont également été effectuées en France dans certains arboretums en 1861 (Parde, 1937 et Callen, 1976).

Dans l'arboretum de Djbel Ouahch dans l'aire du Chêne liège, l'accroissement moyen annuel du sapin de Numidie est de $5.28 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{an}$ (Hadjadj, 1986). Dans la forêt de Serraidi à Annaba, cette espèce fructifie avec une régénération naturelle qui semble s'installer progressivement (Figure 3).



Figure 3 : Régénération du sapin de Numidie dans la plantation de Serraïdi (Bennadja et Ait-kaki, 2013).

5-3- La végétation

Dans son milieu naturel, la sapinière pure n'existe pas. Le sapin de Numidie constitue de beaux peuplements de quelques centaines d'hectares sur le mont Babor et quelques pieds isolés dans le Tababor en mélange avec le chêne Zeen et le cèdre de l'Atlas (Debazac, 1991),

Dans son milieu naturel, le sapin de numidie est mélangé avec d'autres espèces comme *Cedrus atlantica* M., *Taxus baccata*, *Acer obtusatum*, *Populus tremula*, *Juniperus oxycedrus*, *Juniperus phoenicea* ...etc (Gherzouli et Djellouli, 2005).

L'analyse phytosociologique a permis à Kolai (1990) d'individualiser une association à *Abies numidica* et *Asperula odorata* dans laquelle il cite : *A. numidica*, *Calamintha baborensis*, *Galium rotundifolia*, *Asperula odorata* et *Taxus baccata*). Cette association est représentée comme un climax unique en Afrique du Nord (Quezel, 1956 in Zenasni, 1982).

6- Exigences écologiques

6-1-Exigences altitudinales

Abies numidica est une espèce de haute montagne. Comme tous les sapins méditerranéens, pour lesquels l'aire naturelle est située dans les zones dépassant les 2000 m d'altitude avec des hivers froids et très froids (Duckrey, 1998). Il est rencontré à partir de

Chapitre 1 : Présentation du genre *Abies* et de l'espèce *Abies numidica* De Lannoy

1650 m et va jusqu'à 2000 m (Gherzouli et Djellouli, 2005). Il est voisin d'*Abies marocana* localisé entre 1600 et 2000 m (Barbero et Quezel, 1975).

6-2- Exigences climatiques

L'espèce occupe l'étage bioclimatique humide avec des précipitations importantes entre 800 mm et 1500 mm. Les températures minimales varient entre $-2,2^{\circ}\text{C}$ et $1,5^{\circ}\text{C}$ et les moyennes maximales entre $25,8^{\circ}\text{C}$ et 29°C (Gherzouli et Djellouli, 2005). Duckrey (1998) précise qu'*Abies numidica* est bien adapté aux stations bien alimentées en eau mais résiste à la sécheresse. C'est une espèce intermédiaire entre *A. nordmanniana*, *A. marocana*, *A. pinsapo*, *A. cilicica* et *A. concolore*, *cephalonica*. Aussenac (2002) précise par ailleurs, qu'*A. numidica* et *A. cephalonica* ont une meilleure résistance à la sécheresse, ce qui leur permettrait de résister à la sécheresse liée aux changements climatiques et ne seraient pas menacées par un déplacement de leur aire naturelle.

A. numidica comme *A. nordmanniana*, débourrent tardivement et sont très peu sensibles aux gelées tardives de fin de printemps (Duckrey, 1998).

6-3-Exigences édaphiques

Le sapin de Numidie se cantonne sur les substrats calcaire-dolomitiques notamment sur les reliefs karstifiés, les sols sont généralement légers, profonds et bruns (Lebtahi et Bouguedoura, 2000).

7-Caractères botaniques

Le Sapin de numidie est un arbre à feuillage persistant et touffu, il atteint une hauteur de 25-30m, les branches sont incurvées et retombantes. La silhouette de l'arbre se modifie avec l'âge, d'abord elle est conique quand il est jeune, puis le port devient tabulaire, très caractéristique quand il est âgé.

- Le tronc : revêtu d'une écorce grise et lisse dans le jeune âge puis se fissure en plaques grises.

-Les ramifications : verticillées, les rameaux d'un an sont de couleur vert olive, faiblement sillonnés presque glabres, les rameaux de deux ans sont gris brun et glabres (Figure 5).

Chapitre 1 : Présentation du genre *Abies* et de l'espèce *Abies numidica* De Lannoy

-Les bourgeons : ovoïdes, pointus, assez gros, de couleur brun rouge, résineux à la base, à demi dégagés les aiguilles terminales, les bourgeons des inflorescences mâles et femelles sont peu résineux.

-Les aiguilles : directement insérés sur le rameau long (auxiblastes), elles sont de deux types :

-Les aiguilles des rameaux stériles, sont droites de 15 à 25 mm de long et de 2 -2,5 mm de largeur, épaisses avec un apex arrondi, un peu échancrées ou pointues mais non piquantes. Elles sont disposées en demi-écouvillon, laissant les parties inférieures du rameau dégagées ainsi d'un écouvillon en forme de « V » au dessus. La face supérieure est sillonnée d'un vert foncé luisant avec une bande plus ou moins continue de stomates vers l'apex. La face inférieure présente deux bandelettes blanchâtre de stomates un peu moins larges que la nervure médiane (Figures 4 et 5).

-Les aiguilles des rameaux fertiles : sont disposées en brosse relevée, épaisses à apex aigu et corné. Les bandelettes de stomates de la face supérieure sont toujours très distinctes.

Le sapin de Numidie est une espèce monoïque. Les inflorescences mâles apparaissent au printemps, de Mars à Mai. Elles sont constituées de chatons mâles globuleux, de couleur rouge pourpres situés à la face inférieure des rameaux (Figure 5).

- Les inflorescences femelles apparaissent vers le mois de Janvier, de couleur verdâtre, dressées, solitaires ou groupées par deux, quatre ou plus. Disposées sur le côté supérieur des branches les plus hautes au niveau de la cime de l'arbre.



Figure 4 : Rameau portant des aiguilles sur la face supérieure avec la pousse de l'année



Figure 5 : Rameau portant des aiguilles sur la face inférieure avec des inflorescences mâles

Chapitre 1 : Présentation du genre *Abies* et de l'espèce *Abies numidica* De Lannoy

-Les cônes : sont grands, oblongues et cylindriques, de couleur gris brunâtre à maturité. La longueur varie entre 8,2 et 18,5 cm et le diamètre varie entre 4-6 cm. Ils renferment des graines. Ils parviennent à maturité en Octobre-Novembre et finissent par se désarticuler pour libérer les graines, laissant sur l'arbre l'axe principal du cône appelé « rachis » (Figure 6). La fructification a lieu tous les ans.



Rachis, cône en désarticulation



Cône

Figure 6 : Rachis, cône en désarticulation et Cône

Chapitre 1 : Présentation du genre *Abies* et de l'espèce *Abies numidica* De Lannoy

Tableau 1 : Caractéristiques botaniques et géographiques du sapin de Numidie

critère	description
Synonymes	<i>baborensis</i> (Cosson)1866 <i>Pinsapo</i> var. <i>baborensis</i> Cosson 1866 <i>Pinsapo</i> var. <i>numidica</i> (De Lannoy ex Carr.) 1884 <i>Pinsapo</i> ssp <i>numidica</i> (De Lannoy ex Carr) 1884
Noms vernaculaires	sapin de Numidie, sapin d'Algérie, sapin de Kabylie, sapin des Babors
Distribution géographique	Monts des Babors et Tababors en Kabylie orientale (Nord algérien) à partir de 1300 à 2000 m d'altitude. Introduit en Europe en 1861.
Taille et port	Peut atteindre 25 m de hauteur, port conique large, cime arrondie au sommet et très branchu.
Feuilles ou aiguilles	sur des rameaux stériles 1à 2,5 cm, elles ont en demi-écouvillon laissant un sillon en V sur le rameau. Apex arrondi et non piquant. Stomates sur les faces supérieures localisées vers l'apex. Sur les rameaux fertiles, elles sont en brosse épaisse et relevée, apex corné et aigu et stomates très nettes sur la face inférieure.
Fleurs	Mâles teintées de rouge et jaune en s'ouvrant. Femelles elles sont vertes.
Fruits	Cônes de 12 à 18 cm avec un diamètre entre 3-5cm, cylindriques, gris brun à maturité, résineux, à bractées incluses. Ecaille cunéiforme à bord entier de 3 cm de large et pubescente sur la face dorsale. Graines de 2,2 à 1,4 cm, à aile aussi longue. Cotylédons 4-8.
Ecorce, Rameau et bourgeons	Ecorce grise et lisse, un peu rose, puis brunâtre et écailleuse avec l'âge. Rameau de 1 ans glabre vert brun et rameau de 2 ans glabre, gris brun. Bourgeons bruns rouges, résineux à la base, ovoïdes, pointus à demi dégagés des aiguilles terminales.
Divers	Espèce rare et menacée de disparition classée dans la liste rouge de l'UICN.

8- Potentialités forestières et phytothérapeutiques du sapin de Numidie

Les caractéristiques forestières sont remarquables, en effet, Kolai (1990) rapporte que, dans son milieu naturel, la hauteur des arbres varie entre 10,60 et 15,27 m avec une moyenne de 12,12 m. La hauteur dominante peut atteindre 20 m avec une moyenne de 15,90 m. La circonférence à 1,30 m du sol varie entre 73,91 et 143 cm avec une moyenne de 112,48cm. Le volume sur pied varie entre 137,71 m³/ha et 559,25 m³/ha avec une moyenne de 338,06 m³/ha. L'accroissement moyen annuel varie entre 1,05 et 3,75 m³/ha/an avec une moyenne de 2,36 m³/ha/an.

En plus de sa valeur écologique indéniable, cette essence présente un intérêt médicinal grandissant. Elle est en effet, très efficace pour les voies respiratoires. Elle décongestionne, calme l'inflammation et désinfecte (Lamendin & Tramini, 2000 in Ait Kaki Tllili et al., 2013). Ainsi, dans la médecine traditionnelle, la gomme de sapin constitue un des remèdes essentiels employés comme antiscorbutique, comme antiseptique dans les blessures et en cataplasme sur les brûlures. De cette gomme, diverses préparations ont été tirées, notamment une huile de térébenthine et un goudron médicinaux (Ait Kaki Tllili et al., 2013).

L'huile essentielle des aiguilles du sapin de Numidie possède aussi, un effet antibactérien sur certaines souches bactériennes pathogènes (*Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Klebsiella pneumoniae*, *Acinetobacter* sp. et *Staphylococcus aureus* (MRSA)) (Ait Kaki & Bennadja, 2013). L'analyse de la composition chimique de cette huile essentielle, montre sa richesse en composés terpéniques et majoritairement l'acétate de bornyle, le camphène et α -pinène suivi de β -pinène (Ait Kak-Tllili et al., 2013). Ces auteurs rapportent que l' α -pinène, composé dominant de ces huiles, est responsable de l'activité observée contre les microorganismes testés. En ce qui concerne le β -pinène son pouvoir bioactif a été prouvé, ce qui a conduit à son utilisation comme désinfectant et insecticide.

Chapitre 2: Description de la zone d'étude

1-Localisation de la zone d'étude

Le site d'étude est la forêt de Serraidi qui est un village forestier très ancien, connu sous le nom de Bugeaud, située dans le massif de l'Doug dans la wilaya d'Annaba et distante de 1 km de cette dernière. Elle appartient au sous secteur numidien qui correspond au district Bonois (Maire, 1926).

Cette forêt est localisée entre 7°38'Est et 36°54'Nord (Figure 8), à une altitude moyenne de 856 m et distante de la mer d'environ 7,5km. Ce massif dont l'altitude atteint 1008 m au Kef Sbaa, est bordé par la méditerranée au Nord et Nord Est. Au Sud, Sud Est par le lac Fetzara et les riches plaines agricoles d'Annaba. Au Nord-Ouest par la plaine de Senhadja et les massifs de Chétaïbi (Saadi, 2013).

2- Géologie

La région de Serraidi date respectivement de l'oligocène et du quaternaire, sur le plan lithologique, elle se trouve sur les gneiss (Hilly, 1962). Les sols sont insaturés (Durant, 1954 in Saadi, 2013).

3- Pédologie

L'étude pédologique de la forêt domaniale de l'Edough réalisée par la DGRF (2006) in Zandouche (2000) fait ressortir 03 classes selon les différents types de sols :

-Classe des sols peu évolués : les sols sont caractérisés soit par un profil AB, soit un profil AC contenant des traces de matière organique dans l'horizon de surface. Ils sont constitués soit d'un apport de matériaux récents, ou bien ils sont sur une pente à faible couverture végétale où l'érosion décape sans cesse les horizons de surface.

-Classe des sols à sesquioxyde de fer : les sols présentent un profil de type A(B)C, caractérisés par l'individualisation des sesquioxydes de fer qui leur confère une couleur très accusée rouge ou rouille. Le taux de saturation >50% et le taux de matière organique subit le plus souvent une décomposition rapide. Les sols de cette unité présentent un profil constant quelque soit les matériaux d'origine, grès schiste ou argile. Ils appartiennent aux groupes des sols rouges non lessivés.

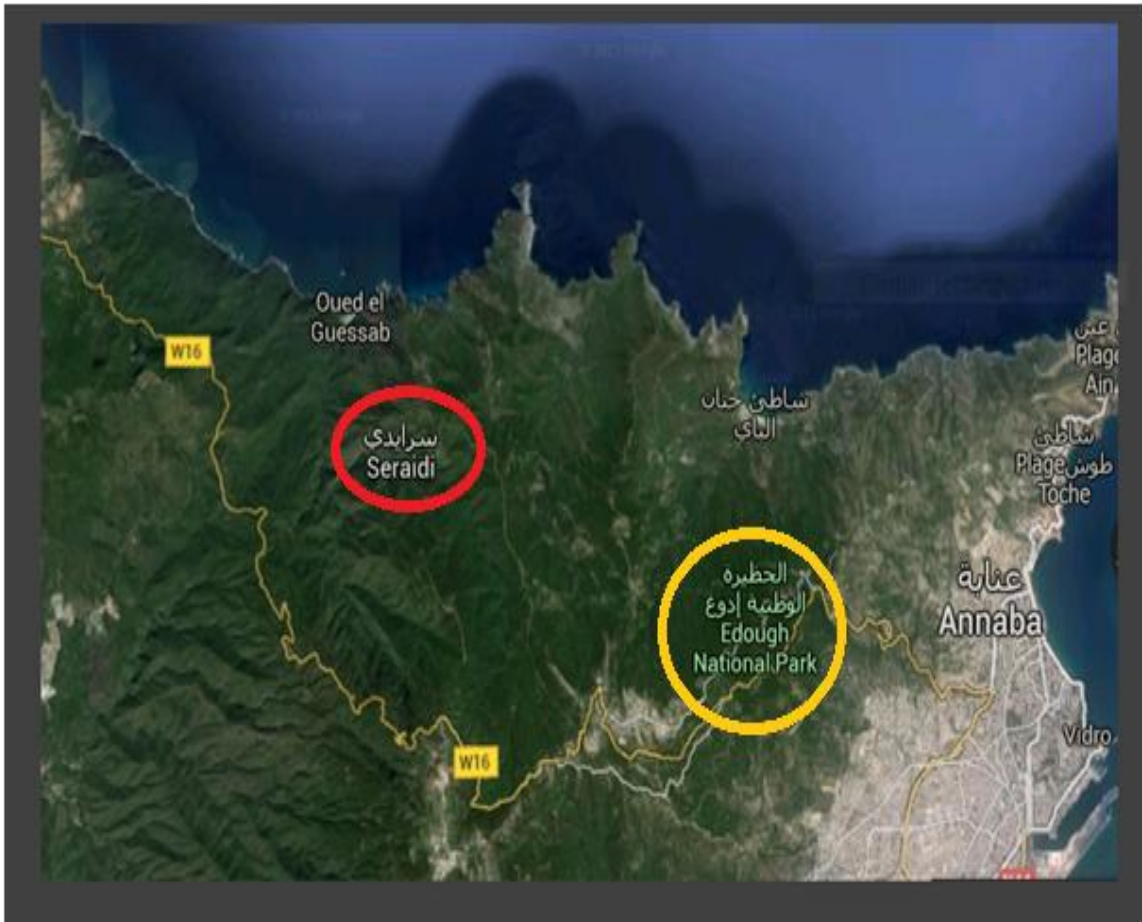


Figure 7 : Localisation géographique du site d'étude. (Source : Google Earth)

4- Réseau hydrographique

Djbel d'Edought s'élève jusqu'à 1008 m, il constitue le point culminant de ce massif montagneux. Il est presque escarpé sur tout son versant Nord. Les principales lignes de crête ont une orientation générale Est-Ouest, mais le réseau hydrographique dense conjugué à l'irrégularité du relief donne un terrain accidenté (Saadi, 2013).

Le réseau hydrographique très dense et très ramifié est caractérisé par des cours d'eau en raison de la forte pluviométrie que reçoit cette zone (DGRF, 2006 in Saadi, 2013).

5- Caractéristiques climatiques

5-1-La température

La température constitue un facteur écologique limitant important. Elle contrôle l'ensemble des phénomènes métaboliques et conditionne la répartition des végétaux. La température régit également le phénomène d'évapotranspiration et le déficit d'écoulement annuel saisonnier.

Tableau 2 : Températures moyennes mensuelles et annuelles (ONM Serraidi in Saadi (2013), période 2001-2011)

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	A	Sep	Oct	Nov	Déc	Moyenne
M °C	7.9	9.4	12.4	15.4	19.4	22.5	25.6	26.2	23.3	18.2	13	9	16.9
m°C	3.4	4.3	6.2	7.7	11.7	15	17.5	18.7	17.1	12.9	8.2	4.7	10.7
M+m/2	5.85	6.85	9.3	11.5	15.5	18.75	21.5	22.4	20.2	15.1	10.6	6.85	13.8
M-m	4.5	5.1	6.2	7.7	7.7	7.5	8.1	7.5	6.2	5.3	4.4	4.3	

La température la plus basse est enregistrée en Janvier avec 3.4°C et la valeur maximale est enregistrée en Aout avec 26.2°C (tableau 2).

5-2- Les précipitations

En région méditerranéenne, les précipitations sont de loin le facteur le plus déterminant dans la répartition des végétaux, d'une part à cause de leur irrégularité et de leur insuffisance et d'autre part, elles sont plus variables que les températures (Derridj, 1990). De même, la pluviométrie est sous l'influence de plusieurs facteurs notamment la latitude, la longitude et l'exposition (Abdesslam, 1987 in Derridj, 1990).

Tableau 3 : Moyenne des précipitations mensuelles et annuelles

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moyenne
P (mm)	195.3	109.2	125.8	105	34.9	21.3	6.90	21.3	59.3	84.09	146.7	229.9	978.93

(ONM Serraidi in Saadi (2013), période 2001-2011)

La moyenne des précipitations annuelles est de 978.93 mm/an (tableau 3). La variation des précipitations mensuelles est très importante, le mois de Décembre est le mois où les précipitations sont maximales, en revanche le mois de juillet est le mois le moins arrosé.

5-3- L'amplitude thermique

Pour situer notre zone d'étude du point de vue continentalité, nous avons calculé l'amplitude thermique annuelle maximale définie par Derach (1953) in M'Hirit (1982). Cette amplitude est égale à l'écart entre la température moyenne du mois le plus chaud et la température du mois le plus froid (M-m). Cette classification est établie comme suit :

- Climat littoral : $15^{\circ}\text{C} < (M-m) < 25^{\circ}\text{C}$
- Climat semi-continentale : $25^{\circ}\text{C} < (M-m) < 35^{\circ}\text{C}$
- Climat continental : $(M-m) > 35^{\circ}\text{C}$

L'amplitude calculée pour Serraidi est de 22.8°C , le climat est donc de type littoral.

5-4- La synthèse climatique

5-4-1- Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen

La période sèche est un élément très important pour déterminer l'écologie de certaines plantes et fixer leurs limites de végétation. C'est ainsi que Gaussen en 1953, a établi le diagramme ombrothermique appelé « Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen », où il considère un mois sec comme étant celui où le total mensuel des précipitations exprimé en mm, est égal ou inférieur au double de la température moyenne mensuelle ($P < 2T$).

Le diagramme ombrothermique de **BAGNOULS et GAUSSEN** est une méthode graphique qui permet de définir les périodes sèche et humide de l'année, où sont portés en abscisses les mois, et en ordonnées les précipitations (**P**) et les températures (**T**), avec **P=2T**.

Dans la forêt de Serraidi, La saison sèche débute à partir du mois de Mai et s'étale jusqu'au mois de Septembre (Figure 10).

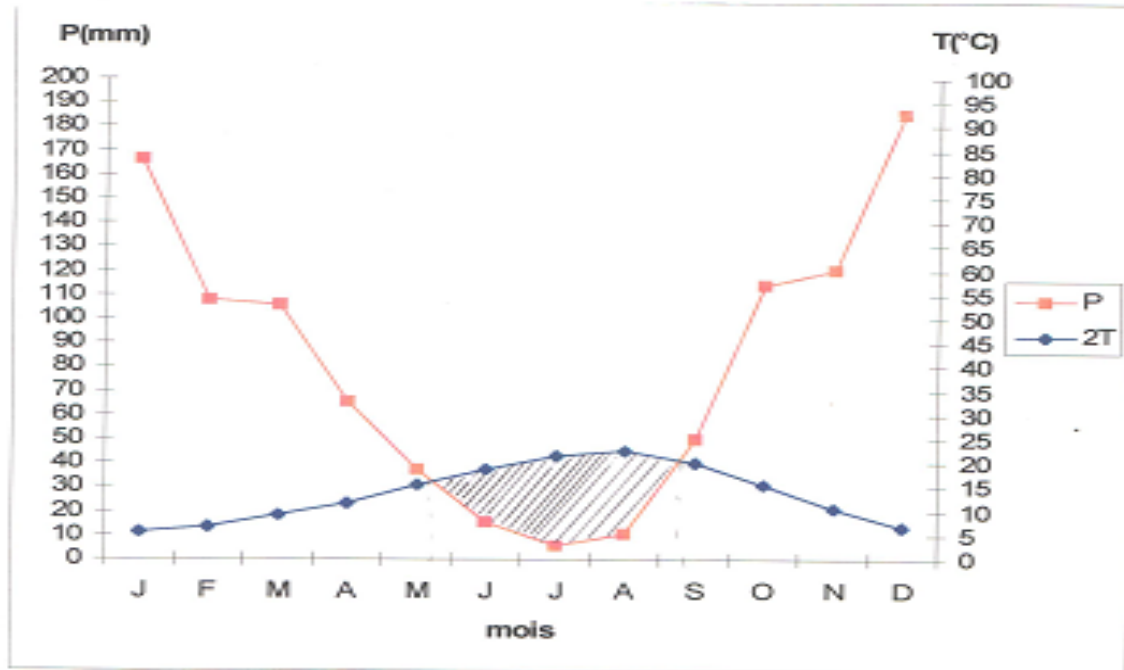


Figure 8 : Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gaussen pour la forêt de Serraidi

5-4-2- Quotient pluviothermique d'Emberger Q_2

Emberger propose de calculer le quotient Q_2 selon la formule : $Q_2 = 2000P/M^2 \cdot m^2$

Stewart en 1969 propose de calculer Q_2 avec la formule : $Q_2 = 3.43P / M \cdot m$, que nous avons adopté dans nos calculs.

Où : P : Pluviométrie moyenne annuelle (mm)
 M : Moyenne des maxima du mois le plus chaud
 m : moyenne des minima du mois le plus froid

Tableau 4 : Précipitations, Températures moyennes (M et m) et Q_2 calculé

	M (°C)	m (°C)	P (mm)	Q_2	Période
Serraidi	26.2	3.4	978.93	147.26	2001-2011

La valeur du Q_2 calculé (Tableau 4 et Figure 11) permet de classer la station de Serraidi dans l'étage bioclimatique « **Humide** » à variante « Doux ».

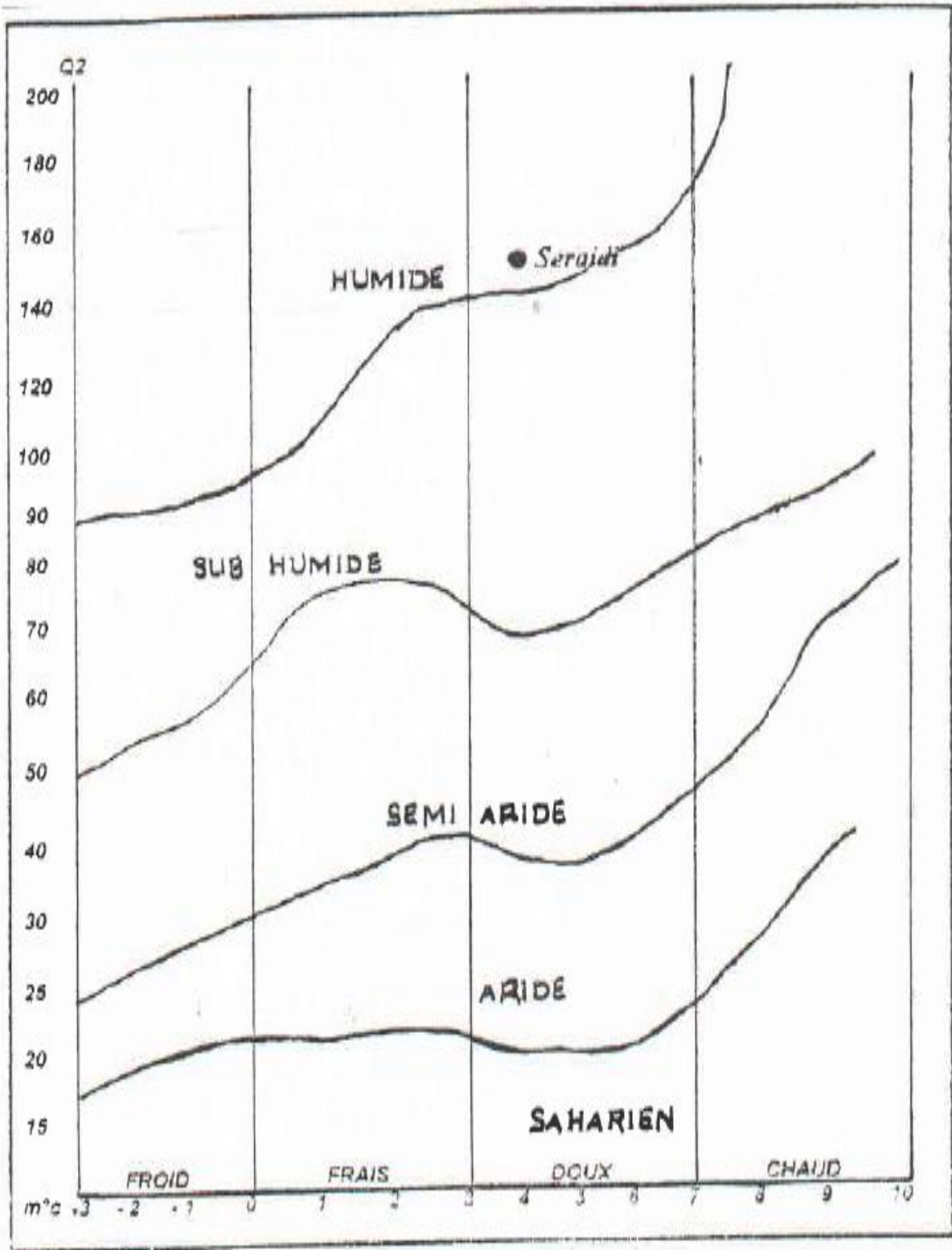


Figure 9 : Climagramme d'Emberger pour la forêt de Serraidi

5-6-Humidité relative

Tableau 5 : Humidité de l'air moyenne mensuelle et annuelle (%) de la station de Serraiïdi

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moyenne annuelle
H (%)	81.1	79.6	73.7	74.2	69.3	60.1	57.8	61.1	69.5	70.8	78.1	81.5	71.40

(ONM Serraiïdi in Saadi(2013) période, 2001-2011)

Le mois de Juillet est le plus sec de l'année avec une humidité relative de 57.8%, en revanche le mois de Décembre est le mois le plus humide avec une humidité relative de 81.5%.

5-7- Le vent

Tableau 6 : Vitesse moyenne mensuelle du vent (m/s)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	M. annuelle
V (m/s)	4.87	5.21	3.24	3.09	2.29	1.69	1.30	1.41	2.33	2.43	3.45	4.26	2.96

(ONM Serraiïdi in Saadi (2013), période 2001-2011)

A Serraiïdi, les vents dominants sont du Nord au sud. La vitesse moyenne annuelle du vent est de 2.96 m/s, la vitesse moyenne mensuelle minimale est de 1.30m/s enregistrée en juillet. Le vent atteint sa vitesse maximale en Février avec 5.21m/s, soit 0.312Km/h. La forêt peut être considérée comme une station où les vents ne sont pas très puissants et sont même rares (Saadi, 2013).

5-8-Evaporation

Tableau 7 : Evaporation moyenne et mensuelle (mm)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moyenne annuelle
E (mm)	30.4	29.3	55.2	54.56	72.9	89.4	115	122	64.1	66.2	40.9	39.7	64.94

(ONM Serraiïdi in Saadi (2013), période 2001-2011)

La moyenne annuelle des quantités d'eau évaporées dans la région de Serraiïdi est de 64.94 mm/an. L'évaporation est très importante en Aout, où elle atteint 122 mm mais diminue considérablement en Février pour atteindre 29.3 mm.

6- La végétation

La végétation dans la forêt de Serraïdi est composée essentiellement du : Chêne liège, Chêne zeen et du Pin maritime. Le sous bois est composé de : lentisque, arbousier, ciste, myrte, bruyère, olivier sauvage, Calycotome, Doum, Diss, Phyllaire et Lavande (Saadi, 2013).

Selon les expositions, des groupements végétaux ont été décrits par le BNEF in Zandouche (2000) :

-Exposition Nord :

- Groupement à *Quercus suber* et *Erica arborea*, *Cytisus triflorus*
- Groupement à *Quercus suber-Quercus faginea* à *Arbutus unedo*
- Groupement à *Quercus suber-Pinus maritima* à *Erica arborea*, *phyllerea augustifolia*
- Groupement à *Quercus suber* à *Arbutus unedo*
- Groupement à *Quercus suber* à *Pistachia lentiscus*

-Exposition Sud

- Groupement à *Quercus suber* à *Erica arborea-Ampelodesma mauritanica*
- Groupement à *Quercus suber* à *Cytisus triflorus*

-Exposition Sud

- Groupement à *Quercus suber* à *Erica arborea-Arbutus unedo*.

Chapitre 3: Caractéristiques anatomiques et morphologiques des aiguilles

1-Introduction

Les études de systématique ou de taxonomie étaient initialement basées sur l'analyse des caractères morphologiques. Des recherches morpho métriques variées se sont montrées très efficaces dans des descriptions taxonomiques ainsi que la détermination de taxa au sein de complexes d'espèces (Cook et Ladiges, 1991 et Passioura et Ash, 1993). Les caractères des feuilles et des aiguilles, notamment les caractères stomatiques, les dimensions (longueurs, épaisseurs, largeurs) ainsi que les caractères anatomiques (canaux résinifères, parenchymes...etc) sont souvent utilisés comme marqueurs morphologiques dans la description des espèces, la systématique et la taxonomie. Ils sont également considérés comme indicateurs de l'adaptation d'une espèce à son milieu (Abassi et *al.* 2012). Les premières observations sur les caractères anatomiques, morphologiques et physiologiques des aiguilles de pinacées furent réalisées sur le genre *Pinus* par Mergen (1954), Arbez et Millier (1971). Calamassi (1986) rapporte que Vidakovic (1975) a même classé les populations de *Pinus nigra* de Yougoslavie uniquement sur la base de ces caractères. Arbez (1978) et Pradal (1979) ont mis en évidence des variations au sein du genre *Cedrus* qui ont d'ailleurs servi à la distinction des quatre espèces. Des variations intraspécifiques ont également pu être mises en évidence chez les populations de *Pinus uncinata* Ram. (Probst, 1983). Illoul et Moualek (1991) ont observé des variations des caractères des aiguilles du *Cedrus atlantica* M. entre différentes populations naturelles en Algérie. Aidrous et Adjoud (1992) Asmani (1993), et Abdelli (2002), ont montré une importante variabilité au sein de la population de *Pinus nigra* du Djurdjura en se basant sur les caractéristiques des aiguilles, du pollen et des cônes. Wahid et *al.* (2006) rapportent que la variation des caractères morphologiques des aiguilles est importante dans les populations naturelles de *Pinus pinaster* Ait au Maroc.

En plus de leur valeur écologique, botanique et systématique indéniables, les aiguilles d'*Abies numidica*, possèdent une huile essentielle dont l'intérêt médicinal n'est plus à démontrer. Cette huile est en effet, très efficace pour les voies respiratoires, elle décongestionne, calme l'inflammation et désinfecte (Lamendin & Tramini 2000 in Tlili Ait Kaki et *al.*, 2013).

2-Matériel et méthodes

Des échantillons d'aiguilles ont été récoltés sur 44 arbres à raison de 60 aiguilles par arbres sur des rameaux de deux ans. Ces derniers ont atteint leur pleine croissance au courant

Chapitre 3 : Caractéristiques anatomiques et morphologiques des aiguilles

de cette année (De Ferre,1952). Ces rameaux ont été récoltés à la même hauteur (hauteur d'homme) sur tous les arbres et à la même exposition. Ils ont ensuite été mis dans des sachets portant numéro de l'arbre et conservés au frais.

-Les caractères morphologiques mesurés

- 1- Longueur des aiguilles (LA)
- 2- Largeur des aiguilles dans la partie médiane (la)
- 3- Epaisseur des aiguilles (Ep)
- 4- Nombre de lignes de stomates sur la face inférieure (NLFI)
- 5- Nombre de lignes de stomates sur la face supérieure (NLFS)
- 6- Densité stomatique sur la face inférieure (DFI)
- 7- Densité stomatique sur la face supérieure (DFS)
- 8- Rapport NLFI/NLFS
- 9- Rapport longueur/largeur (LA/la)
- 10- Rapport largeur /épaisseur (la/Ep)

-Les caractères anatomiques mesurés (Figure 11 et Figure 12)

Les caractères ont été mesurés dans le but d'établir une relation entre la morphologie et l'anatomie des aiguilles notamment la position des canaux résinifères par rapport à la périphérie des aiguilles. Les valeurs moyennes ne seront pas utilisées pour étudier la variabilité inter-arbre. Nous avons mesuré les caractères ci après :

- Diamètre du cylindre central (Cy)
- Distance du bord des canaux résinifères à la surface de l'aiguille (e1 et e2)
- Distance du bord des canaux résinifères à l'extrémité latérale de l'aiguille (E1 et E2)
- Diamètre des canaux résinifères (d1 et d2)

E1 et **E2** et **e1** et **e2** correspondent à l'épaisseur des parenchymes palissadiques et lacuneux.

La longueur, la largeur ainsi que l'épaisseur sont mesurés à l'aide d'un pied à coulisse à 1/20 mm de précision.

Le nombre de lignes de stomates et le nombre de stomates par mm de longueur (densité) sont mesurés au moyen d'une loupe binoculaire munie d'un micromètre et étalonnée, de sorte que 1mm corresponde à 2.80 divisions et une division correspond à 357.24 μ m.

Les observations anatomiques sont réalisées à l'aide d'un microscope munie d'un micromètre oculaire, étalonné à l'aide d'une plaque micrométrique afin de convertir les unités

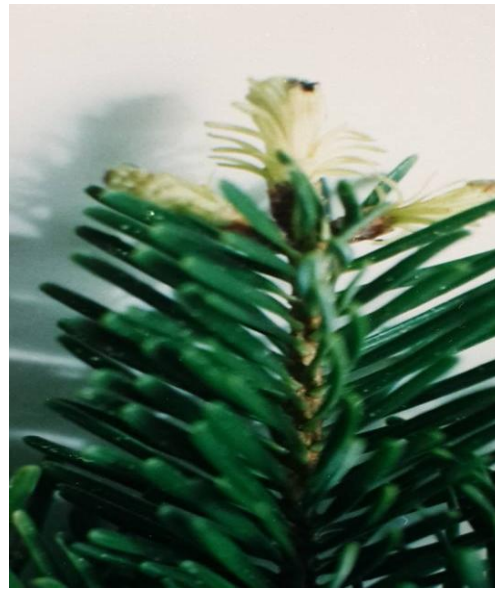
Chapitre 3 : Caractéristiques anatomiques et morphologiques des aiguilles

divisions en unités microns. Toutes les mesures sont réalisées au microscope muni d'un oculaire 10 et l'objectif (10). 1 division oculaire est égale à 15μ pour le grossissement 100.

Les résultats obtenus sont soumis aux différentes analyses statistiques (Analyses de variance). Des calculs de moyennes où chaque arbre est représenté par une valeur moyenne ont également été réalisés pour les tests de comparaison multiples de moyennes et Analyses en Composantes Principales (ACP).



1



2

Figure 10 : Face inférieure (1) et face supérieure (2) des aiguilles

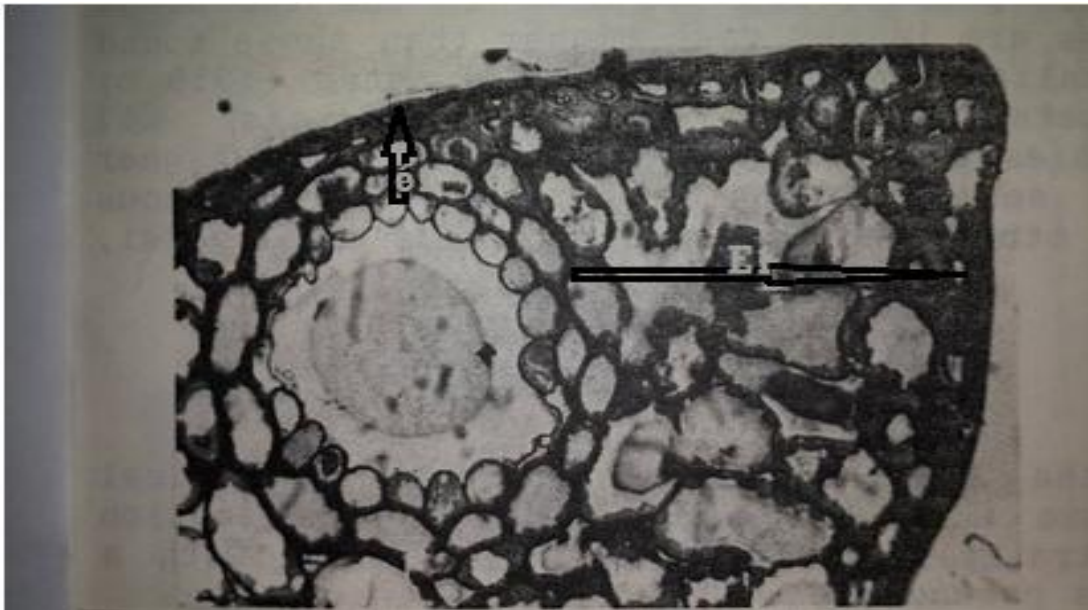


Figure 11 : Coupe anatomique des aiguilles, vue du canal résinifère et du parenchyme palissadique (Gr 10X10)

Légende : -E1 : Distance du bord des canaux résinifères à l'extrémité latérale de l'aiguille
-e1 : Distance du bord des canaux résinifères à la surface de l'aiguille

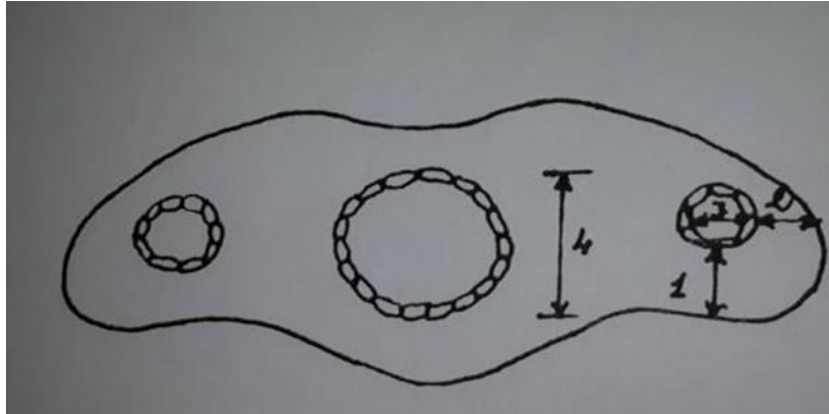


Figure 12 : Dessin d'une coupe anatomique montrant les caractères mesurés des aiguilles

Légende :

- 4 : Diamètre du cylindre central (Cy)
- 1 : Distance du bord des canaux résinifères à la surface de l'aiguille (e1 et e2)
- 2 : Distance du bord des canaux résinifères à l'extrémité latérale de l'aiguille (E1 et E2)
- 3 : Diamètre des canaux résinifères (d1 et d2)

3- Résultats

3-1-Dimensions moyennes

Les dimensions moyennes des caractères mesurés sont données dans le tableau 8.

Tableau 8 : Paramètres statistiques de base des caractères des aiguilles

Variabes	Minimum	Maximum	Moyenne générale	CV (%)
NLFS	4.67	15.20	9.50	22.2
DFS	6.36	10.87	9.14	17
NLFI	12.77	21.93	17.26	9.80
DFI	9.73	12.87	11.09	10.40
LA	11.09	18.36	14.14	13.70
La	1.61	2.40	2.08	6.60
Ep	0.31	0.91	0.60	13.4
NLFI/NLFS	5.10	8.85	6.85	13.2
LA/la	2.63	6.26	3.66	12.9
la/Ep	1.22	3.23	2.12	10.90

3-1-1- Nombre de lignes de stomates sur la face supérieure des aiguilles (NLFS) (Figure 12(2))

La face supérieure des aiguilles est caractérisée par des lignes de stomates courtes, discontinues et localisées à l'extrémité supérieure des aiguilles. Leur comptage est difficile car parfois elles sont invisibles ou elles se présentent en amas chez certaines aiguilles.

Entre les arbres, le nombre moyen de lignes de stomates varie entre 4.67 et 15.20 avec une moyenne de 9.50, le coefficient de variation est de 22.2%.

3-1-2- Nombre de lignes de stomates sur la face inférieure des aiguilles (NLFI) (Figure 12(1))

Les aiguilles présentent sur la face inférieure deux bandelettes blanchâtres de plusieurs lignes de stomates, donnant une couleur vert-luisant à blanchâtre à l'aiguille. Le nombre de

Chapitre 3 : Caractéristiques anatomiques et morphologiques des aiguilles

lignes de stomates varie en moyenne entre 12.77 et 21.93. La moyenne pour l'ensemble des arbres est de 17.26 avec un CV de 9.80%.

3-1-3-Densité des stomates sur la face supérieure des aiguilles (DFS)

Le nombre moyen de stomates par mm (densité) varie entre 6.37 et 10.87 avec une moyenne générale de 9.14 et un coefficient de variation de 17%.

3-1-4- Densité des stomates sur la face inférieure (DFI)

La densité des stomates par mm varie entre 9.73 et 12.87, La densité moyenne pour l'ensemble des arbres est de 11.09 stomates/mm avec un coefficient de variation des 10.40%.

3-1-5- Longueur des aiguilles (LA)

La longueur moyenne des aiguilles oscille entre 11.09 mm et 18.36 mm avec une longueur moyenne pour l'ensemble des arbres de 14.14mm, le Coefficient de variation est de 13.70%.

3-1-6-Largeur des aiguilles (la)

Entre les différents individus, la largeur moyenne des aiguilles varie entre 1.61 mm et 2.40 mm avec une moyenne pour l'ensemble des arbres de 2.08 mm. Le Coefficient de variation est de 6.60%.

3-1-7-Epaisseur des aiguilles (Ep)

L'épaisseur moyenne des aiguilles varie entre 0.31 mm et 0.91mm, l'épaisseur moyenne des aiguilles pour l'ensemble des individus est de 0.6mm. Le Coefficient de variation est de 13.4%.

3-1-8-Le rapport NLFI/NLFS

Ce caractère varie entre 5.10 et 8.85 avec une moyenne générale de 6.85, le Coefficient de variation est de 13.20%.

3-1-9-Rapport longueur et largeur des aiguilles (forme) (LA/la)

Pour ce caractère, la valeur minimale est de 2.63 et la valeur maximale est de 6.26, la moyenne générale est de 3.66 avec un Coefficient de variation de 12.9%.

3-1-10-Rapport largeur et épaisseur des aiguilles (la/Ep)

La valeur moyenne pour le rapport la/Ep varie entre 1.22 et 3.23, la moyenne générale est de 2.12 avec un Coefficient de variation de 10.90%.

Il semble à travers ces résultats, que les valeurs maximales et les valeurs minimales de l'ensemble des caractères n'appartiennent pas dans tout les cas aux mêmes individus. La variation est plus importante pour le caractère Nombre de lignes de stomates (NLFS) et la densité des stomates (DFS) sur la face supérieure, ces caractères sont donc plus discriminants en revanche la largeur, la longueur et la forme (LA/la) des aiguilles sont les caractères les moins variables.

3-2- Analyses statistiques

Les résultats obtenus ont été traités par une Analyse de variance à un facteur, en considérant toutes les variables mesurées pour l'ensemble des arbres (Tableau 9).

Tableau 9 : Analyse de variance des caractères des aiguilles

Variables	Source de variation	ddl	SCE	CM	F _{obs}	Prob.	ET	CV %
NLFS	Totale	1319	19215.97	14.57	70.77***	0.000	2.11	22.2
	Facteur 1	43	13537.84	314.86				
	Résiduelle	1276	5677.13	4.45				
DFS	Totale	1319	570.35	3.47	14.16***	0.000	1.56	17.09
	Facteur 1	43	1476.22	34.33				
	Résiduelle	1276	3094.13	2.42				
NLFI	Totale	1319	9246.83	7.01	46.22***	0.000	1.68	9.8
	Facteur 1	43	6513.27	130.96				
	Résiduelle	1276	3615.57	2.83				
DFI	Totale	1319	2207.33	1.67	8.97***	0.000	1.15	10.4
	Facteur 1	43	512.49	11.92				
	Résiduelle	1276	1694.83	1.33				
LA	Totale	1319	8858.26	6.72	25.28***	0.000	1.94	13.7
	Facteur 1	43	4075.14	94.77				
	Résiduelle	1276	4783.12	3.75				
La	Totale	1319	71.64	0.05	59.50***	0.000	0.14	6.6
	Facteur 1	43	47.80	1.12				
	Résiduelle	1276	23.84	0.02				
Ep	Totale	1319	32.54	0.02	87.69***	0.000	0.08	13.4
	Facteur 1	43	24.31	0.57				
	Résiduelle	1276	8.23	0.01				
NLFI/NLFS	Totale	1319	1081.53	0.82	28.91***	0.000	0.66	30.9
	Facteur 1	43	533.68	12.41				
	Résiduelle	1276	547.85	0.43				
LA/la	Totale	1319	1989.52	1.51	27.23***	0.000	0.90	13.2
	Facteur 1	43	951.99	22.14				
	Résiduelle	1276	1037.53	0.81				
La/Ep	Totale	1319	1042.29	0.79	79.71***	0.000	0.47	12.9
	Facteur 1	43	759.53	17.66				
	Résiduelle	1276	282.75	0.22				

F_{the} = 1.46 (α = 0.05) : différences significatives (*)

F_{the} = 1.70 (α = 0.01) : différences hautement significatives (**)

F_{the} = 1.99 (α = 0.001) : différences très hautement significatives (***)

L'Analyse de la variance a mis en évidence des différences très hautement significatives entre les arbres pour l'ensemble des caractères étudiés, dénotant de l'importante hétérogénéité au sein de la population. Le test de Newman et Keuls (Annexe 1a 1b) a réuni les arbres homogènes dans le même groupe. Pour chaque caractère, plusieurs groupes homogènes se chevauchent, il n'y a pas de distinction très nette entre ces groupes, sauf pour le nombre de lignes de stomates sur la face inférieure (NLFI) et densité des stomates sur la face

Chapitre 3 : Caractéristiques anatomiques et morphologiques des aiguilles

inférieures (DFI), où le groupe A s'individualise avec la densité des stomates sur la face inférieure la plus élevée. Pour le caractère épaisseur des aiguilles (Ep), le groupe A s'individualise avec les aiguilles les plus épaisses et le groupes S avec les aiguilles les plus fines.

Pour une analyse globale prenant en compte les différents caractères ainsi mesurés en combinaison avec l'ensemble des arbres, nous avons réalisé une Analyse en Composantes Principales (ACP) (Figure 15).

Tableau 10 : Matrices de corrélation des caractères mesurés

	NLFS	DFS	NLFI	DFI	LA	la	Ep	NLFI/NLFS	LA/la	la/Ep
NLFS	1									
DFS	0.668***	1								
NLFI	0.655***	0.450**	1							
DFI	0.019	0.461**	0.168	1						
LA	-0.033	-0.128	0.149	-0.191	1					
la	0.579***	0.375*	0.795***	0.018	0.360*	1				
Ep	0.745***	0.437**	0.509***	-0.086	0.253	0.595***	1			
NLFI/NLFS	-0.615***	-0.485**	-0.428**	-0.174	-0.133	-0.260	0.593	1		
LA/la	-0.458***	-0.350*	-0.441**	-0.170	0.726***	-0.356*	-0.176	0.054	1	
la/Ep	-0.581***	-0.404**	-0.240	0.023	-0.178	-0.227	0.877	0.723***	-0.013	1

$r = 0.3044$ pour $\alpha (0.05)$

$r = 0.3932$ pour $\alpha (0.01)$

$r = 0.4896$ pour $\alpha (0.001)$

Les coefficients de corrélations entre les différents caractères sont donnés dans le tableau 10, il en résulte que :

Le nombre de stomates sur la face supérieure (NLFS) est positivement corrélé ($\alpha = 0.001$) au nombre de lignes de stomates sur la face inférieure (NLFI) et à la densité des stomates sur la face supérieure, il est en revanche négativement corrélé aux rapports NLFI/NLFS, la/Ep et LA/la.

Une corrélation positive ($\alpha = 0.001$) s'observe également entre le nombre de lignes de stomates sur la face inférieure (NLFI), la largeur (la) et l'épaisseur (Ep) des aiguilles. La densité des stomates sur la face supérieure (DFS) est positivement corrélé ($\alpha = 0.01$) au nombre de lignes de stomates sur la face inférieure (NLFI) et à la densité des stomates sur la face

Chapitre 3 : Caractéristiques anatomiques et morphologiques des aiguilles

inférieure (DFI). La corrélation est également très significative ($\alpha=0.001$) avec l'épaisseur des aiguilles (Ep), ce dernier caractère est négativement corrélé au rapport la/Ep.

Il n'a été observé aucune corrélation entre la densité des stomates sur la face inférieure (DFI) et les paramètres caractérisant la forme et les dimensions des aiguilles en l'occurrence la longueur, la largeur, l'épaisseur et le rapport la/Ep.

La longueur des aiguilles ne semble pas liée aux caractères des stomates (NLFS, NLFI, DFS et DFI).

L'axe 1 et l'axe 2 de la Figure 13, expliquent 64.70% de la variance totale, la première composante en représente 44.30% et la seconde 20.40%.

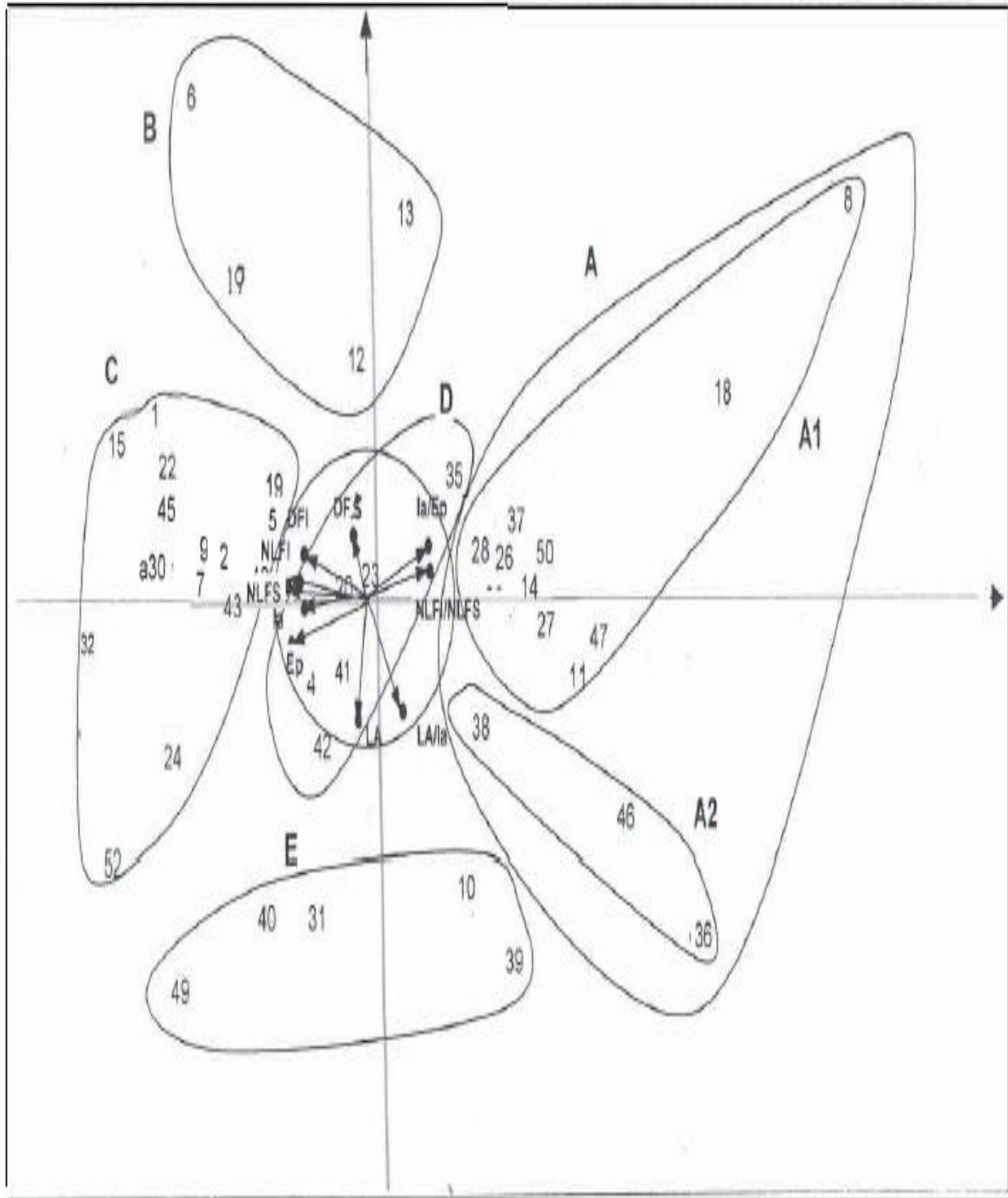


Figure 13 : Analyse en Composantes Principales : Distribution des arbres en fonction des caractères des aiguilles Ep, NLFS, NLFI, la, DFI, DFS, LA, LA/la et la/Ep.

Pour donner une signification aux axes, il est nécessaire de considérer les corrélations entre les variables et les axes principaux. Les variables NLFI/NLFS et la/Ep contribuent positivement à l'axe 1 et les variables Ep, NLFS, NLFI, la et DFI contribuent négativement à

Chapitre 3 : Caractéristiques anatomiques et morphologiques des aiguilles

cet axe. Par contre les variables LA, LA/la contribuent négativement à l'axe 2 et la variable DFS contribue positivement à cet axe.

La distribution des arbres dans le plan défini par l'axe 1 et l'axe 2 apparaît très hétérogène, les individus sont répartis en plusieurs groupes : le groupe A, se trouve du côté positif de l'axe 1 par lequel il est bien représenté, il est subdivisé en deux sous groupes, A1 dans lequel les individus sont caractérisés par les rapports NLFI/NLFS et la/Ep les plus importants. Dans le groupe A2, le caractère LA/la est très élevé, ces individus sont caractérisés par des aiguilles dont l'épaisseur (Ep), la largeur (la) et le nombre de lignes de stomates sont très réduits, en opposition au groupe C, qui s'oriente vers le côté négatif de cet axe dont les individus sont caractérisés par des aiguilles épaisses (Ep), larges (la) avec une densité de stomates et le nombre de lignes de stomates importants.

Le groupe B est bien représenté par l'axe 2, il comprend les arbres dont les aiguilles ont une densité stomatique sur la face supérieure (DFS) très élevée contrairement à leur dimension (la) qui est réduite.

Le groupe E qui est bien représenté dans le côté négatif de l'axe 2, il s'individualise en effet par des aiguilles très longues (la), quant au groupe D, il semble plutôt intermédiaire entre les groupes A, B, C et E.

La distribution des arbres dans le plan défini par l'axe1 et l'axe2 ne confirme pas leur distribution géographique. Des arbres distants se retrouvent en effet, très semblables par l'homogénéité des caractères morphologiques de leurs aiguilles. Aucune explication écologique ne peut être attribuée à la distribution ainsi mise en évidence.

3-3-Corrélation entre les caractères anatomiques et les caractères morphologiques des aiguilles

Tableau 11 : Matrice de corrélation entre les caractères anatomiques et les caractères morphologiques des aiguilles

	LA	la	Ep	LA/la	la/Ep	E1	e 1	d 1	E2	e 2	d 2	Cy
LA	1											
la	0.361*	1										
Ep	0.235	0.595***	1									
LA/la	0.726***	-0.354*	-0.177	1								
La/Ep	-0.178	-0.227	-0.877***	-0.013	1							
E1	0.134	0.452**	0.557***	-0.193	-0.369*	1						
e 1	0.323*	0.312*	0.310*	0.133	-0.188	0.141	1					
d 1	0.022	0.332*	0.630***	-0.166	-0.504***	0.405**	0.350*	1				
E2	0.103	0.752***	0.722***	-0.451**	-0.452**	0.505**	0.147	0.356*	1			
e 2	0.05	0.246	0.240	0.126	-0.163	0.033	0.912***	0.286	0.120	1		
d 2	0.156	0.326*	0.610***	-0.175	-0.485**	0.356*	0.382*	0.973***	0.344*	0.338*	1	
Cy	0.156	0.523***	0.813***	-0.210	-0.662***	0.397**	0.181	0.578***	0.745***	0.143	0.545***	1

$r = 0.3044$ pour $\alpha (0.05)$

$r = 0.3932$ pour $\alpha (0.01)$

$r = 0.4896$ pour $\alpha (0.001)$

La matrice de corrélation (Tableau 11), montre une corrélation positive ($\alpha=0.001$) entre la largeur des aiguilles et la distance (position) des canaux résinifères aux parois (E1 et e1) d'une part et l'épaisseur du cylindre centrale (Cy). Plus l'aiguille est large, plus la distance entre les canaux résinifères avec les parois de cette aiguille est importante. L'épaisseur des aiguilles est fortement corrélée à leurs caractères anatomiques.

Le diamètre des canaux résinifères (d1 et d2) est fortement corrélé au diamètre du cylindre central (Cy). Les aiguilles dont le cylindre central est large sont également dotées de canaux résinifères larges.

Chapitre 3 : Caractéristiques anatomiques et morphologiques des aiguilles

Il existe une corrélation positive et significative entre E1 et d1, entre E1 et d2 et entre E1 et le diamètre du cylindre central. La corrélation est positive ($\alpha = 0.001$) entre e1 et e2, entre d1 et d2 et entre E2 et le cylindre central.

A travers les résultats obtenus, une relation entre la morphologie des aiguilles notamment l'épaisseur et la largeur et leur structure anatomique est mise en évidence. Ainsi, plus l'aiguille est épaisse plus le diamètre des canaux résinifères, le diamètre du cylindre central et la distance des canaux résinifères par rapport aux parois des aiguilles (position des canaux résinifères) augmentent et sont plus importants. Les canaux résinifères sont toujours sur la même position, en revanche, lorsque l'aiguille est épaisse ces canaux ont tendance à se localiser vers l'intérieur, car le parenchyme palissadique est bien développé alors que les aiguilles fines, possèdent des canaux résinifères vers la périphérie, l'épaisseur des parenchymes est réduite.

4-Discussion

Les résultats obtenus ont permis de mettre en évidence une importante variabilité morphologique des aiguilles, ils corroborent avec plusieurs auteurs sur plusieurs espèces de pinacées notamment Arbez et Millier (1971), Aussenac (1973 et 1990), Destremau (1976), Calamassi, (1990), Illoul et Moualek (1991), Aidrous, (1992), Satour (1992), Abdelli (2002), Leal et Thomas (2003) Dangasuk et Panetsos (2004), Ait saïd et al. (2005), Allilou et al. (2006), Wahid (2006), Liesche et al. (2010), Bilton et al. (2010), Kenichi yoshimura (2010) et Abassi et al. (2012), Diop et al., 2013).

Pour estimer la proportion de la variance intra-population ou interindividuelle nous avons eu recours au coefficient de variation (CV) qui indique que, Le nombre de ligne de stomates sur la face supérieure est le caractère le plus variable, auquel succède le nombre de lignes de stomates sur la face inférieure et la densité des stomates sur la face supérieure. La longueur et l'épaisseur des aiguilles sont moyennement variables. La largeur des aiguilles ainsi que la forme (LA/la) sont faiblement variables. Pour Bottaci et al. (1990) l'épaisseur des aiguilles est un indicateur d'une adaptation xeromorphique chez *Abies nebrodensis*. Pour Aussenac et al. (1990), les dimensions des aiguilles varient selon leur position vis-à-vis de la lumière, Bottaci et al. (1990) ont d'ailleurs montré que chez *Abies nebrodensis*, les branches éclairées portent des aiguilles plus longues, plus larges et plus épaisses que les branches d'ombre, ces caractères subissent ainsi l'influence de la lumière. Leal et Thomas (2003) indiquent que des facteurs autre que l'acclimatation à la lumière, jouent un rôle important

Chapitre 3 : Caractéristiques anatomiques et morphologiques des aiguilles

dans la détermination des gradients verticaux de l'arbre dans la morphologie des feuilles et la production des feuilles dans le couvert forestier. Alilou et *al.* (2006) notent en effet, que sous l'effet du stress dû à la pollution, des changements se sont opérés dans la longueur, la largeur et la densité des stomates des feuilles d'arganier. Abassi et *al.* (2012) suggèrent que certains caractères morpho métriques foliaires ont montré des différences inter et intra spécifiques principalement liées à la diversité des conditions éco géographiques du lieu d'origine. Pour Abassi et *al.* (2012), les caractères stomatiques figurent parmi les meilleurs indicateurs de l'adaptation d'une espèce à son milieu. Chez *Cedrus atlantica*, Kaced et Aimen (1998) en étudiant les caractères morphologiques des aiguilles et des rameaux ont montré que la longueur des aiguilles, de la partie cornée de l'apex et du mésoblaste varient davantage entre les arbres de la même parcelle. Les caractères morphologiques des aiguilles (longueur, épaisseur et largeur) ont permis à Dangasuk et Panetsos (2004) et Wahid et *al.*(2006) de mettre en évidence un gradient clinal climatique.

Les aiguilles sont dotées de stomates sur les deux faces, augmentant ainsi la densité des stomates, ce qui permet selon Smail-Sadoun (2005), un échange de dioxyde de carbone (CO₂) plus rapide à travers ces stomates lorsque ces derniers sont ouverts. Aussenac (1973) explique pour sa part, qu'une augmentation de la densité stomatique et une réduction de leur dimension constituent une adaptation du Douglas vis-à-vis de l'économie d'eau. Pradal (1979) explique qu'une forte humidité dans l'aire d'origine du Cèdre de l'Atlas s'accompagne d'une augmentation de la densité stomatique.

Les caractéristiques des stomates pourraient varier selon l'exposition à la lumière ou la position des aiguilles sur l'arbre. Certains caractères des aiguilles notamment le nombre de lignes de stomates ainsi que la densité stomatique seraient plutôt sous dépendance génétique, d'ailleurs pour Vidakovic et *al.* (1966) cités par Calamassi (1986), le nombre de stomates est un caractère génétique stable et utilisable pour discriminer les hybrides. Pour Arbez et Millier (1971) ces deux caractères sont souvent utilisés pour discriminer des sous espèces différentes. Aussenac (1973) pense que pour un certain nombre de cellules épidermiques, le nombre de stomates est génétiquement fixé ce qui varierait serait la taille des cellules stomatiques selon l'importance de la sécheresse.

Chapitre 3 : Caractéristiques anatomiques et morphologiques des aiguilles

Un canal résinifère est une cavité tubulaire, de longueur variable, formée par une ou plusieurs couches de cellules de parenchyme dont la plus interne est sécrétrice. Ces cellules secrètent une oléorésine dans la lumière du canal. D'après nos résultats, le nombre de canaux résinifères est de deux pour toutes les aiguilles. Dansasuk et Panetsos (2004) considèrent le nombre de canaux résinifères comme les caractères les plus utilisés pour déterminer un gradient clinal climatique. Les aiguilles épaisses, possèdent des canaux résinifères de diamètre plus important, le diamètre du cylindre centrale est aussi plus large que les aiguilles fines (épaisseur très réduite). Diop et *al.*(2012) considère que la présence de structure interne à caractère adaptatif et les différenciations du mésophile, comme des caractères adaptatifs aux condition de sécheresse chez *Maerua crassifolia*.

Entre les parois des canaux résinifères et les parois des aiguilles, on note la présence du mésophile, tissu fondamental de la feuille, formé de cellules parenchymateuses appelé parenchyme palissadique et situé sous l'épiderme. Dans le cas des aiguilles épaisses, la distance entre les canaux résinifères et les parois des aiguilles sont plus larges, les aiguilles fines possèdent des canaux résinifères presque en contact avec leurs parois. Chez les aiguilles épaisses, la couche du parenchyme palissadique est donc plus développée que chez les aiguilles fines. La présence de cellules palissadiques pourrait fortement diminuer l'évapotranspiration foliaire, car l'eau qui arrive au niveau des cellules de l'épiderme supérieur et des stomates, transite par les nervures secondaires localisées sous ces deux couches de parenchyme palissadique (Diop et *al.* 2012). De ce fait, avec l'ouverture des stomates de la face supérieure, l'assise supérieure du mésophile de la feuille, exposée à la lumière, pourrait à travers les échanges gazeux, assimiler efficacement le CO₂ tout en atténuant les pertes d'eau (Smail-Saadoun, 2005). Tenant compte de la description donnée par De Ferré (1952), les aiguilles fines possèdent des canaux résinifères angulaires et les aiguilles épaisses des canaux résinifères subangulaires, ainsi, dans la population étudiée les deux types d'aiguilles coexistent.

Il existe une corrélation positive et significative entre la largeur et la longueur des aiguilles et non significative avec l'épaisseur des aiguilles, les aiguilles longues peuvent être large mais pas nécessairement épaisses, Sator (1992) a aboutit au même résultat sur des aiguilles provenant du peuplement naturel des Babors. En revanche, la corrélation entre la largeur et l'épaisseur des aiguilles est très significatives, ceci s'explique par l'importance du mésophylle dans les aiguilles. Une corrélation positive et significative s'observe entre le

Chapitre 3 : Caractéristiques anatomiques et morphologiques des aiguilles

nombre de lignes de stomates sur la face inférieur et la face supérieur, la largeur et l'épaisseur des aiguilles.

Chapitre 4: Caractéristiques morphologiques des graines

Chapitre 4 : Caractéristiques morphologiques des graines

1-Introduction

Les capacités de régénération, de dispersions ou de conservation des essences végétales dépendent essentiellement des caractéristiques de leurs graines, notamment les dimensions, l'anatomie, le poids, la qualité et la viabilité. Palmad (1968) in Sorensen et Franklin (1976) considère en effet, la taille des graines comme un caractère couramment utilisé pour décrire la variation intraspécifique. Debazac et Tomassone (1965) se sont intéressés à l'étude des graines chez *Pinus halepensi*, Birot (1972 et 1978) chez *Pseudotsuga menzienseii* et *Pinus contorta*, Probst (1983) chez *Pinus uncinata* Ram et *Pinus sylvestris* L, Cantegrel (1984) chez le Pin à crochet, Monstera et Talavera (1996) et Arista et al.(1997) chez *Abies pinsapo*, Leshman et Westoboy (1998), Garcia et al. (2000) chez *Juniperus communis*, Asmani (1993), Aidrous et Adjaoud (1992) et Abedelli (2002) chez *Pinus nigra*, Satour (1992), chez *Abies numidica*, Illoul (1998) chez *Abies pectinata*, Derridj (1990), Illoul et Moualek (1991) et Krouchi (2011) chez *Cedrus atlantica*.

2- Anatomie de la graine

Les graines sont constituées de trois parties :

- L'embryon : plantule en miniature occupant la partie centrale de la graine le long de l'endosperme. C'est un organisme diploïde, composé d'une tigelle, d'une radicule et d'un certain nombre de cotylédons (Côme, 1970). A maturité de la graine cette plantule est verte.

- L'endosperme : organe haploïde femelle, chargé de réserves amylacées, protidiques et lipidiques, que l'embryon exploitera au cours de son développement intra séminal, puis lors de la germination (Duchatre, 1970).

- Les téguments : enveloppe molle, entourant l'endosperme, avec de larges poches résinifères s'ouvrant au niveau du micropyle. La partie solide de l'enveloppe séminale comporte des fibres sclérenchymateuses allongées (Gaussen, 1955).

3-Morphologie des graines

3-1- Description des graines

Les graines du sapin de Numidie comme la majorité des pinacées, sont classées parmi les graines résineuses tendres avec de larges poches résinifères à résine fluide (Gaussen, 1955). Elles sont de forme subtriangulaire à triangulaire, assez grosses, pointues et allongées. Elles sont munie d'une aile brune, luisante qui a presque trois fois sa taille, elle est

Chapitre 4 : Caractéristiques morphologiques des graines

intimement liée à la graine et l'entoure presque entièrement. Gausson (1955) note que l'aile ne fait pas partie de la graine, elle existe d'ailleurs même si la graine est avortée. L'aile est formée par les téguments de l'écaille et pince la graine, elle joue un rôle dans la dissémination. Aussi, Pour Duchatre (1970), l'aile et la graine seraient deux formations indépendantes concourant à constituer un ensemble favorable à l'espèce. En raison de sa nature résinifère, l'enveloppe séminale n'est pas facilement perméable à l'eau, elle peut résister par conséquent à la pénétration de micro-organismes dans la graine assurant ainsi un rôle protecteur (Liu, 1971).

3-2-Différents types de graines

Les graines sont disposées par deux à l'aisselle de chaque écaille du cône. Nous avons retrouvé deux types de graines cités déjà par Toths (1978), Derridj (1990), Satour (1992) et Krouchit (2011). (Figure 14)

-Le type 1 : les graines sont fertiles, contenant un embryon et localisées au milieu du cône. Elles sont aptes à germer et à donner un nouvel individu.

-Le type 2 : les graines sont stériles, localisées pour la plupart aux extrémités du cône. Nous avons observé plusieurs catégories :

-Catégories 1 : graines vides, elles correspondent à des graines dont la taille et la morphologie sont similaires à celle du type 1 (graines fertiles). Ces graines sont munies de poches résinifères, Une coupe longitudinale montre que l'endosperme est complètement lignifié et l'embryon est absent.

-Catégorie 2 : graines aplaties, ce sont des graines plus petites que celle de la catégorie 1, elles sont aplaties, dépourvues d'embryon et leur tégument renferment des poches résinifères.

-Catégorie 3 : graines en aiguilles, ce sont des graines en forme d'aiguilles à tégument non résinifère. Leur taille ainsi que leurs ailes se réduisent progressivement vers les extrémités du cône.

-Catégorie 4 : graines en pointe, ces graines sont de taille rudimentaire et lignifiées. Elles sont localisées à la base et au sommet du cône et sont presque collées à l'écaille.

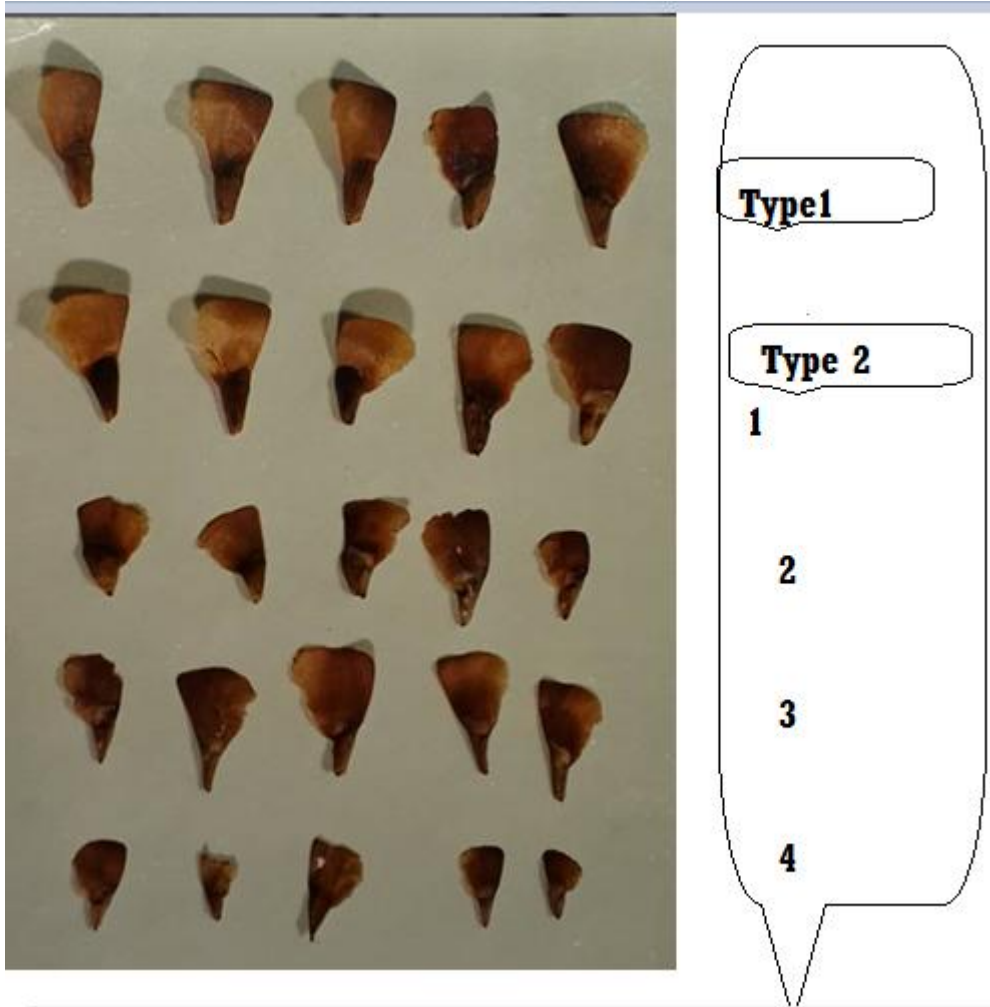


Figure 14 : Différents types de graines

4-Matériel et méthodes

Après désarticulation des cônes, nous avons recueilli les graines de chaque cône, celles-ci ont été triées par la méthode de tridensimétrie dans de l'alcool à 90°, cette technique permet la séparation des graines pleines et des graines vides, ces dernières surnagent le liquide.

Les caractères morphologiques mesurés sont :

- 1- Longueur de la graine (Lg)
- 2- Largeur de la graine (lg)
- 3- Poids de la graine
- 4- Poids de 1000 bonnes graines

Des tests de germination ont été réalisés sur trois années consécutives, chaque année des lots de 90 graines par arbre ont été mis à germer avec des lots de 30 graines répétées trois

Chapitre 4 : Caractéristiques morphologiques des graines

fois. Les graines ont d'abord été trempées dans de l'eau distillée additionnée d'un fongicide (Mthylthiophanole 70% à raison de 2g/l) pendant 24 h pour éliminer le risque de contamination. Elles ont par la suite été mises dans des boîtes de pétri ayant pour substrat du coton recouvert de papier filtre, imbibés d'eau distillée additionnée du fongicide. Les boîtes de pétris ainsi préparées ont été placées dans le réfrigérateur durant deux semaines pour une stratification afin de lever la dormance,

Les graines sont mises à germer dans une chambre de germination à une température ne dépassant pas les 22°C. Le comptage des graines germées se fait tous les trois jours et l'arrosage se fait à chaque fois que le besoin se fait ressentir.

5-Résultats

5-1- Production grainière

Pour chaque catégorie de graines, le nombre moyen est représenté dans le Tableau 12

Tableau 12 : Paramètres statistiques de base des caractères des graines

Variabes	Moyenne générale	Minimum	Maximum	E.T.	CV (%)
ECA	212.96	142.5	280.20	34.87	16.37
GA	18.93	6	142.50	7.63	40.29
GE	47.72	20	92	42.74	19.59
GP	50.09	27.29	116.5	20.46	40.85
GV	85.23	10.25	206.5	42.86	50.29
BG	182.96	83.29	296.5	54.79	29.95
GTV	384.94	251.50	520.20	66.25	17.21

Légende: ECA : nombre moyen d'écaille/cône, GA : Nombre moyen de graines aplaties/ cône, GE : nombre moyen de graines en aiguilles/cône, GP : nombre moyen de graines en pointe/cône, GV : nombre moyen de graines vides/cône, MG : nombre moyen de mauvaises graines/cône, BG : nombre moyen de graines pleines/cône, GTV : nombre moyen de graines tout venant/cône

5-1-1-Nombre moyen d'écailles/ cône

Le nombre moyen d'écailles par cône varie entre 142.50 et 280.20 avec une moyenne de 212.96 écailles, le coefficient de variation est de 16.37%.

Chapitre 4 : Caractéristiques morphologiques des graines

5-1-2- Nombre moyen de graines pleines/cône

Le nombre moyen de graines pleines par cône varie entre 83.29 et 296.50, la moyenne générale pour l'ensemble des arbres est de 182.96 soit un taux de 48.30% de graines pleines, avec un coefficient de variance de 29.95%.

5-1-2- Nombre moyen de graines vides/cône

Le nombre moyen de graines vides par cône varie entre 10.25 et 206.50 avec une moyenne pour l'ensemble des arbres de 85.23 graines vides par cône. Le Coefficient de variance est de 50.29%. La production de graines vides par cône est d'après la valeur du CV très variable.

5-1-3- Nombre moyen de graines aplaties par cône

Le moyenne générale du nombre de graines aplaties est de 18.93 graines, variant entre 6 et 142.50 graines aplaties par cône. Le coefficient de variance (CV) est de 40.29%.

5-1-4- Nombre moyen de graines en aiguilles/cône

Le nombre moyen de graines en aiguilles/cône oscille entre 20 et 92 graines/cône avec une moyenne générale de 47.72 graines en aiguilles, le Coefficient de variance est de 19.59%.

5-1-5- Nombre moyen de graines en pointe/cône

Pour ce type de graines le nombre moyen varie entre 27.29 et 116.50 graines en pointe par cône. Pour l'ensemble des arbres, la moyenne générale est de 50.09 graines en pointe avec un Coefficient de variance de 40.85%.

5-1-6- Nombre moyen de graines tout venant

Le nombre moyen de graines tout venant ou de graines totales par cône varie en moyenne entre 251.50 et 520.20 graines. La moyenne générale pour les arbres est de 384.94 graines, le Coefficient de variation est de 17.21%.

Chapitre 4 : Caractéristiques morphologiques des graines

Tableau 13: Analyse de variance des caractères des graines

Variables	Source de variation	DDL	SCE	CM	Fobs	Prob
ECA	Facteur 1	38	256495.18	6749.87	9.38***	0.000
	Résiduelle	174	125253.13	719.85		
GA	Facteur 1	38	11010.03	289.74	3.12***	0.000
	Résiduelle	174	16179.00	92.98		
GE	Facteur 1	38	66417.86	1747.84	7.25***	0.000
	Résiduelle	174	41936.92	241.02		
GP	Facteur 1	38	67897.28	1786.77	9.59***	0.000
	Résiduelle	174	32406.89	186.25		
GV	Facteur 1	38	315605.95	8305.42	6.08***	0.000
	Résiduelle	174	237787.75	1366.60		
BG	Facteur 1	38	606762.14	15967.42	9.03***	0.000
	Résiduelle	174	307527.06	1767.40		
GTV	Facteur 1	38	901331.39	23719.25	10.31***	0.000
	Résiduelle	174	399755.89	2297.45		

$F_{the} = 1.46$ ($\alpha = 0.05$) : différences significatives (*)

$F_{the} = 1.70$ ($\alpha = 0.01$) : différences hautement significatives (**)

$F_{the} = 1.99$ ($\alpha = 0.001$) : différences très hautement significatives (***)

Les résultats de l'Analyse de variance (Tableau 13), mettent en évidence des différences très hautement significatives entre l'ensemble des arbres, ceci traduit l'existence d'une grande hétérogénéité de la production des différents types de graines entre les arbres. Le test de Newman et Keuls a regroupé les individus en groupes homogènes qui se chevauchent (Annexes 3a et 3b).

Chapitre 4 : Caractéristiques morphologiques des graines

5-2- Dimensions moyennes des graines

Tableau 14 : Paramètres statistiques de base des caractères des graines

Variables	Minimum	Maximum	Moyenne	CV (%)
Lg	11.24	14.83	13.05	7.5
lg	6.12	7.60	6.79	10.5
Pg	0.06	0.12	0.09	27
Lg/lg	1.71	2.14	1.94	12.3

La longueur moyenne des graines oscille entre 11.24 mm et 14.83 mm, pour l'ensemble des arbres la moyenne générale est de 13.07 avec un coefficient de variation CV de 7.5%. La largeur moyenne varie entre 6.12 mm et 7.60 m, la moyenne générale est de 6.79 mm avec un CV de 10.5%. Le poids moyen des graines varie entre 0.06g et 0.12 g, la moyenne générale pour l'ensemble des individus est de 0.09 g avec un CV de 27%. Pour le rapport Lg/lg (forme de la graine), la moyenne entre les arbres varie entre 1.71 et 2.14 avec un CV de 12.3%. Le poids des graines est essentiellement le caractère le plus variable au vu de la valeur du coefficient de variation (Tableau 14).

Il résulte de l'Analyse de variance (Tableau 15), des différences très hautement significatives entre les arbres au seuil de (1%) pour l'ensemble des caractères. Le test de Newman et Keuls (Annexes 2a et 2b) a permis de regrouper les individus dont les différences ne sont significatives en groupes homogènes, ces derniers se chevauchent sans une nette distinction entre eux.

Chapitre 4 : Caractéristiques morphologiques des graines

Tableau 15 : Analyse de variance des caractères des graines

Variables	Source de variation	DDL	SCE	CM	Fobs	Prob	ET	CV (%)
Lg	Totale	889	1328.89	1.48				
	Facteur1	29	495.32	17.08	17.83***	0.000		
	Residuelle1	870	833.58	0.96			0.98	7.5
lg	Totale	899	552.93	0.62				
	Facteur1	29	113.45	3.91	7.74***	0.000		
	Residuelle1	870	439.48	0.51			0.71	10.5
Pg	Totale	899	0.69	0.00				
	Facteur1	29	0.17	0.01	9.65***	0.000		
	Residuelle1	870	0.53	0.00			0.02	27
Lg/lg	Totale	899	59.28	0.07				
	Facteur1	29	9.32	0.32	5.60***	0.000		
	Residuelle1	870	49.96	0.06			0.24	12.3

$F_{the} = 1.46$ ($\alpha = 0.05$) : différences significatives (*)

$F_{the} = 1.70$ ($\alpha = 0.01$) : différences hautement significatives (**)

$F_{the} = 1.99$ ($\alpha = 0.001$) : différences très hautement significatives (***)

Pour mieux expliquer la variation ainsi mise en évidence nous avons eu recours à une Analyse en Composantes Principales (ACP) (Figure 19).

Tableau 16 : Matrice de corrélation des caractères des graines

Variables	Lg	lg	Pg	Lg/lg
Lg	1			
lg	0.541**	1		
Pg	0.662***	0.446*	1	
Lg/lg	0.553*	-0.397	0.290	1

$r = 0.3809$, $\alpha (0.05)$

$r = 0.4869$, $\alpha (0.01)$;

$r = 0.5974$, $\alpha (0.001)$

Le poids et la longueur des graines sont fortement et positivement ($\alpha (0.001)$) corrélés. La largeur et la longueur sont significativement corrélées. Le rapport Lg/lg ou la forme des

Chapitre 4 : Caractéristiques morphologiques des graines

graines n'est pas corrélé avec le poids et la largeur des graines. Les graines longues sont lourdes mais la largeur ne semble pas influencer sur le poids et la forme des graines (Tableau 16).

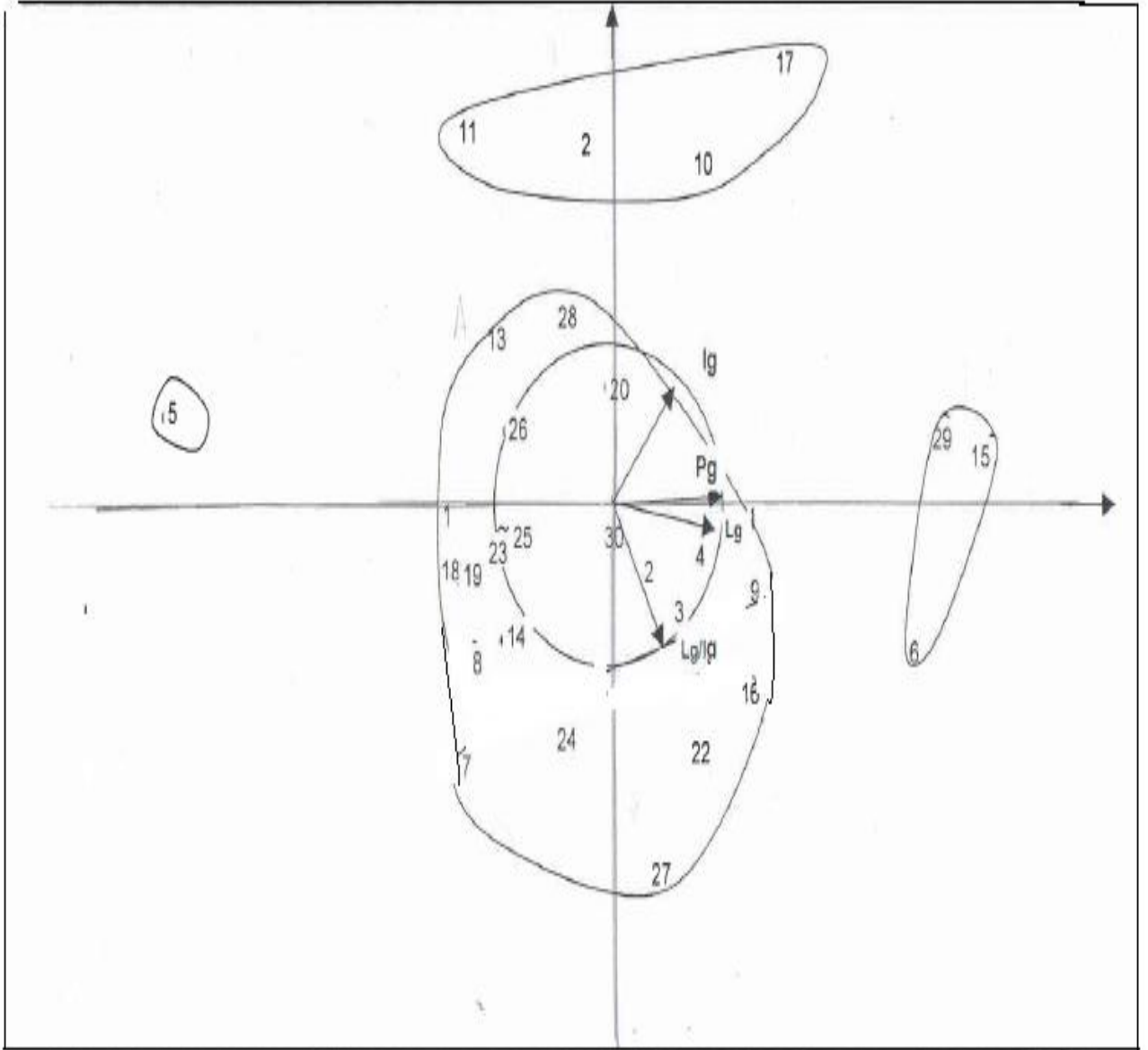


Figure 15 : Analyse en Composantes Principales : Distribution des arbres en fonction des caractères des graines

Le plan défini par l'axe1 et l'axe2, représente 90% de la variance totale (Figure 15). L'axe1 explique 55% de cette variance et l'axe 2 en explique 35%. Toutes les variables sont bien représentées sur les deux axes. Le poids et la longueur des graines sont positivement corrélés à l'axe 1 avec respectivement $r=0.8570$ et $r=0.9508$, alors que la forme et la largeur

Chapitre 4 : Caractéristiques morphologiques des graines

des graines sont bien représentés par l'axe2 avec $r=0.7752$ et $r=0.8871$. Le caractère Lg/lg est négativement corrélé à l'axe2.

Toutes ces variables contribuent à structurer les arbres en quatre groupes. Dans le groupe A sont retrouvés le plus grands nombre d'arbres dont les graines sont moyennement lourdes, de longueur et de largeur moyennes. Pour les arbres du groupe B, les graines sont plutôt longues et larges. Dans le groupe C (un seul individu) les graines sont de tailles réduites avec un poids faible. Les graines des arbres du groupe D sont très larges, c'est ce qui distingue d'ailleurs ces arbres des autres. Ce sont les groupes B, C et D qui contribuent le plus à la variabilité entre les différents individus.

6-Discussion

Il ressort à travers les résultats ainsi obtenus, que les graines longues et larges sont lourdes. De même, Leishman et Westoby (1998) rapportent que le poids des graines est lié à la variance de leurs dimensions. Les résultats de Bretagnolle et *al.* (1995) suggèrent qu'il y a une importante interdépendance entre la taille des graines, leur germination et la croissance des plantules. Les grosses graines produisent souvent des semis relativement vigoureux (Gross, 1984, Stanton, 1984, Roach, 1987, Hendrix et *al.*, 1991, Bretagnolle et *al.*, 1995). Les plants vigoureux peuvent améliorer la probabilité de survie et prédire une meilleure condition physique des plantes adultes, en particulier, dans des conditions de concurrence (Bretagnolle et *al.* (1995). Pour Leishman et Westoby (1998), les graines qui subsistent dans le sol ont tendance à être petites. La dispersion des graines par anémophilie notamment, dépend essentiellement de leurs dimensions à savoir longueur, largeur et poids. Les graines de taille réduite, plus légères, auraient un cercle de dispersion plus important que celui des graines lourdes ; elles contribueraient plus à l'extension de la population et au recrutement de nouveaux individus hors de la plantation.

Les valeurs des coefficients de variations indiquent que le nombre moyen d'écales par cône et le caractère le moins variable entre les différents individus. Dans le peuplement naturel des Babors, Satour (1992) trouve en moyenne 275.3 graines tout venant par cône avec un taux de 75.56 % de graines pleines soit un total de 208.01. D'après nos résultats, le nombre total de graines par cône est plus élevé, le taux de bonnes graines est en revanche plus faible, mais non négligeable soit 48.30%.

Chapitre 4 : Caractéristiques morphologiques des graines

En revanche, le nombre de graines stériles (vides, aplaties et en pointe) est le plus variable. Le taux de graines fertiles est inférieur à celui trouvé par Satour (1992) en peuplement naturel. Ceci pourrait être imputé à la qualité de la pollinisation donc au taux d'avortement des graines. Chez certains arbres, lorsque la plupart des ovules initiées dans le cône se sont développés en graines, le nombre de graines pleines ou fertiles est important. Des carences dans la disponibilité du pollen, son origine et sa qualité ou sa capacité de dispersion influencent directement sur la fréquence et la qualité des graines (Arista et Talavera, 1996) et (Arista et *al.*, 1997). La qualité du pollen dépend pour sa part, de la densité du peuplement (Arista et Talavera, 1996). Le taux de graines fertiles parfois faible chez certains arbres, serait expliqué par la faible densité de la population, affectant directement la disponibilité du pollen. Kormutak et Lindgren (1996) signalent que chez *Abies alba*, le taux d'autofécondation peut agir sur le taux de la production grainière, dans le cas de l'autopollinisation il est de 26.12%, de 40% par l'anémophile et de 45% suivant une pollinisation croisée artificielle. On déduit alors au vu des résultats obtenus à savoir 48.30% de graines pleines, qu'une part importante de la pollinisation est croisée.

Le nombre de mauvaises graines par cône (graines en pointe, graines aplaties, graines en aiguille et les graines vides) dépasse presque pour la majorité des arbres, le nombre de graines pleines. Le nombre de graines en aiguilles et de graines en pointe augmente vers les extrémités du cône. Selon Owens et Black (1996), ceci s'explique par les écailles ovulifères situées à la base et au sommet des cônes, lesquelles ne portent aucun ovule ou des ovules rudimentaires, ces derniers ne se développent pas entièrement ou ils se développent lentement et ne sont pas pollinisés. Mosseler et *al.* (1999) expliquent pour leur part, que les graines vides sont le résultat des effets génétiques néfastes des consanguins sur le développement de l'embryon pour une grande part entraînant leur avortement, ces effets sont très apparents dans les petites populations isolées.

Chapitre 5: Capacités de germination des graines

Chapitre 5 : Capacités de germination des graines

1-Introduction

La régénération des plantes est le résultat de plusieurs processus, commençant lorsque les graines sont mûres et libérées par la plante mère, jusqu'à l'émergence des plantules qui assureront leur propre photosynthèse (Houle, 1998)

La dissémination et la conservation des espèces se font essentiellement par les graines, là où germe une graine, se développe un nouvel individu. Toute fois, certaines graines ne germent pas ou ne mènent pas à terme leur germination. Ceci conduit à s'interroger sur les chances relatives des uns et des autres dans la dissémination des espèces.

Toth (1978) définit la germination comme étant le passage d'une vie latente (dormante) de la graine à la vie active, sous l'effet des conditions favorables. Ces dernières peuvent être intrinsèques (taille et état physiologique de la graine, âge et condition de développement de la plante), et extrinsèques (hydratation, température, oxygène et quelque fois la lumière.

2-Définition et critères de germination

La germination est un processus dont les limites sont le début de l'hydratation de la semence et le début de la croissance de la radicule. C'est la définition adoptée par les physiologistes. Tous s'accordent à considérer que la germination d'une semence est terminée quand la radicule perce les enveloppes (Evenari, 1957 in Mazliak, 1982).

Pour Heller (1978), la germination désigne l'ensemble des processus qui vont du début de la réhydratation de la graine à la sortie de la radicule. Elle consiste d'abord en une intense absorption d'eau dont la plus grande part va à l'embryon, le métabolisme reprend intensément quelques jours après. Les réserves sont hydrolysées et fournissent à l'embryon les métabolites nécessaires à ses synthèses et à ses divisions cellulaires. La radicule la première, puis l'hypocotyle font saillie en dehors, la graine lève.

Pour que la plantule de la graine mûre reprenne une vie active et croisse, il faut selon Gorenflot (1991), que certaines conditions soient réunies :

- La conservation du pouvoir germinatif de la graine
- La levée de certaines inhibitions (dormance d'origine tégumentaire ou embryonnaire)

Chapitre 5 : Capacités de germination des graines

- Les conditions extérieures soient propices notamment la température, l'eau, la composition de l'atmosphère et parfois même la lumière

Pour définir la germination, nous avons adopté la définition couramment utilisée par les laboratoires de physiologie telle que rapportée par Toth (1978), à savoir qu'il y a germination lorsque la radicule pointe hors du micropyle (Figure 16).

3- Paramètres de la germination

Nous avons retenu pour caractériser la germination des graines les paramètres suivants :

3-1-Capacité de germination : C'est le pourcentage des graines capables de germer dans des conditions bien définies

3-2-Vitesse ou temps moyen de germination : c'est le temps mis par les graines pour germer, exprimé en jours et calculé comme suit :

$$TMG = \frac{N_1T_1 + N_2T_2 + \dots + N_nT_n}{N_1 + N_2 + \dots + N_n}$$

Où N_1 : Nombre de graines germées au temps T_1

N_n : Nombre de graines germées au temps T_n

TMG : Temps moyen de germination

3-3-Courbes de germination : elles représentent le plus souvent l'évolution des pourcentages de germination cumulés en fonction du temps, s'exprimant par le pourcentage de germination (taux de germination) en fonction du temps (Mazliak, 1982).

4- Matériel et méthodes

Les graines ont été récoltées à la fin du mois d'octobre pour les trois années d'étude, durant cette période les cônes sont généralement mûrs (de couleurs marron et prêts à être désarticulés) et encore fermés.

Au laboratoire, nous avons désarticulé les cônes manuellement, les graines ainsi récupérées ont subi un tri densimétrique dans de l'éthanol 90° pour séparer les graines pleines des graines vides, ces dernières surnagent le liquide.

Chapitre 5 : Capacités de germination des graines

Les tests de germination ont été réalisés au laboratoire dans une étuve à 22°C. Le choix de la température de germination est dicté par les résultats de Satour (1992), après avoir testé différentes températures, les meilleurs résultats étaient en effet observés à 22°C.

Pour chaque arbre, 30 graines sont mises à germer avec trois répétitions. Les graines sont trempées d'abord, dans de l'eau distillée pendant 24h suivi d'un traitement au froid humide (stratification) pendant une semaine au réfrigérateur à 6°C. Ces graines sont ensuite mises à germer dans des boîtes de pétri ayant pour substrat du coton recouvert de papier filtre imbibé d'eau distillée mélangée avec un fongicide (Mthylthiophanol 70%, 2g/l).

Les graines germées sont comptées tous les trois jours et arrosées à l'eau distillée additionnée du fongicide, à chaque fois que cela était nécessaire.

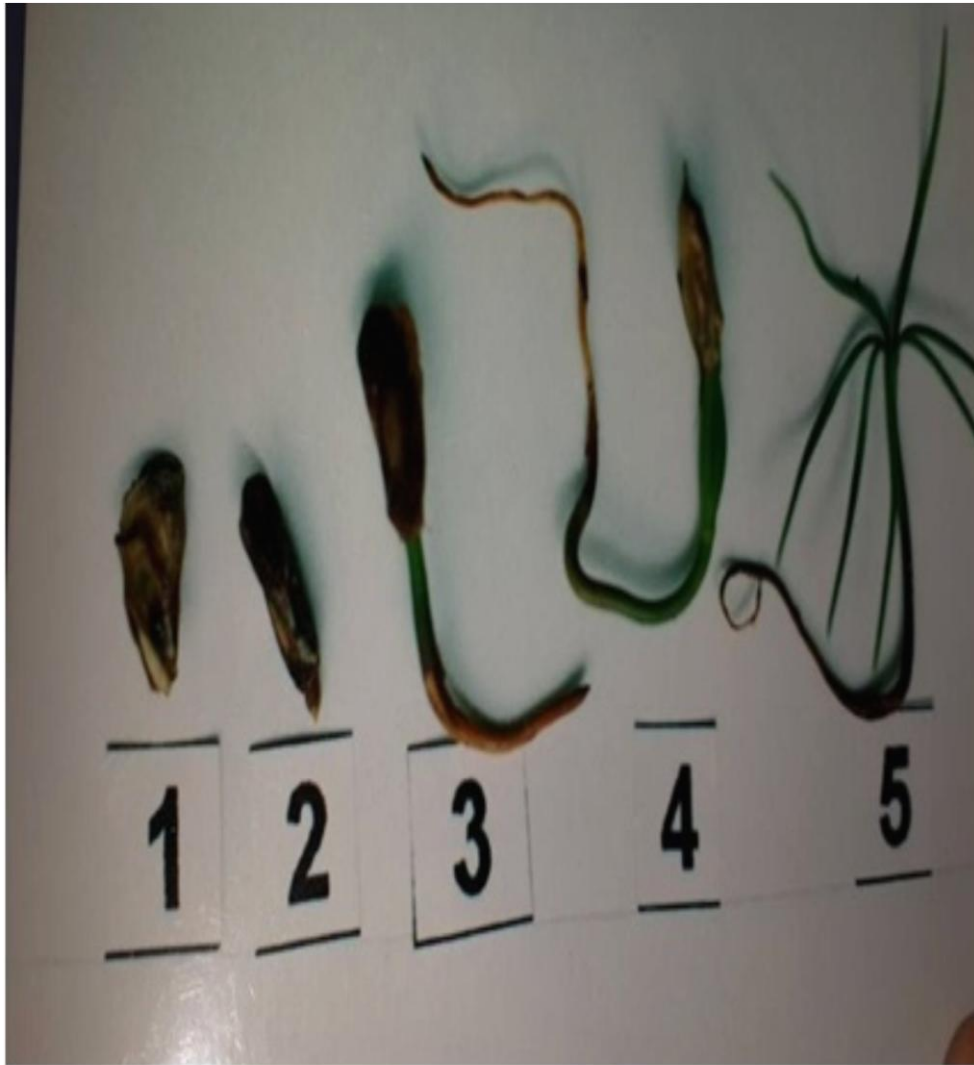


Figure 16 : Différentes phases de la germination

Légende : 1 et 2 : Ouverture du micropyle (tégument) et sortie de la radicule; 3 : Croissance de la radicule ; 4 et 5 : Croissance de la plantule (racine, tigelle et cotylédons)

Chapitre 5 : Capacités de germination des graines

5- Résultats

5-1-Variabilité inter-arbre du taux et du temps moyen de germination

Tableau 17 : Paramètres statistiques de base pour les paramètres de germination

Variables	Maximum	Minimum	Moyenne générale	ET	CV (%)
TMG	34.33	20.89	26.71	1.81	7.00
TG	62.22	4.44	32.18	7.98	25.7

Légende : TMG : Temps Moyen de Germination ; TG : Taux Moyen de germination

Le temps moyen de germination des graines est en moyenne de 26.71 jours avec un minimum de 20.89 jours et un maximum est de 34.33 jours. Le coefficient de variation est de 7.00%. Le taux moyen de germination est de 32.18 % avec un minimum de 4.44% et un taux maximal de 62.22 %, le coefficient de variation est de 25.70%.

Entre les différents arbres, le Taux moyen de germination s'avère plus variable au vu de la valeur du Coefficient de variation (Tableau 17).

Tableau 18 : Analyse de la variance des paramètres de la germination

Variables	Sources de variation	DDL	SCE	CM	F _{obs}	P.
TMG	Totale	89	3119.84	35.05		
	Facteurs1	29	2923.11	100.80	10.18***	0.0000
	Residuelle1	60	196.73	3.28		
TG	Totale	89	29387.73	330.20		
	Facteurs1	29	25564.63	881.54	13.83***	0.0000
	Residuelle1	60	3823.10	63.72		

F_{th} = 1.65 pour 5%, F_{th} = 0.203 pour 1%, F_{th} = 0.256 pour 1%₀

L'analyse de variance (Tableau 18) révèle des différences très hautement significatives (1%₀) entre les différents arbres pour le temps et le taux moyens de germination. Le test de Newman et Keuls met en évidence des groupes homogènes qui se chevauchent sans nette distinction entre les différents arbres (Annexe 4).

Chapitre 5 : Capacités de germination des graines

La variation du Temps moyen de germination n'est pas très importante au vu de la valeur du coefficient de variation et de la courbe de la Figure 17. L'hétérogénéité entre arbres est cependant plus marquée pour le taux moyen de germination (Figure 18).

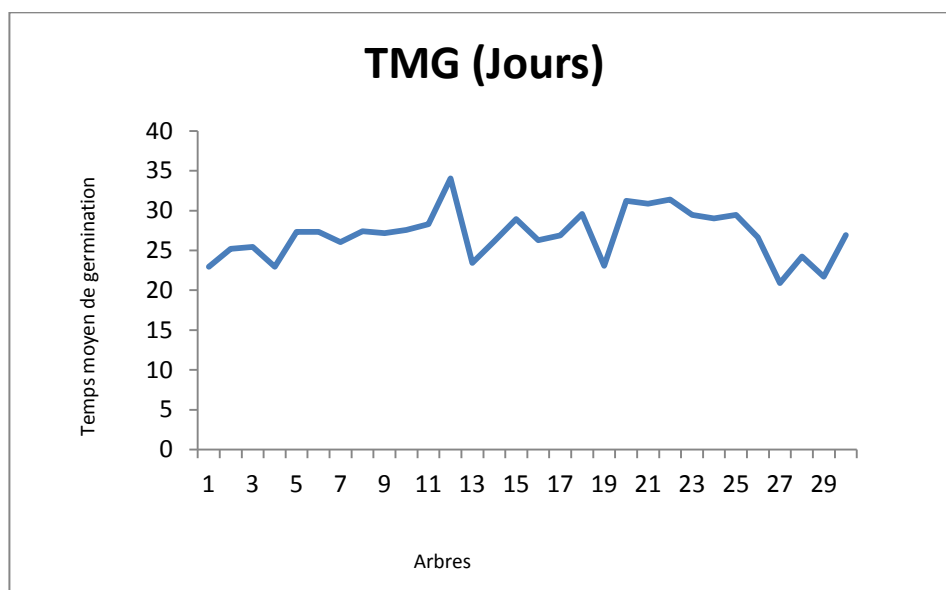


Figure 17 : Variation inter arbres du temps moyen de germination

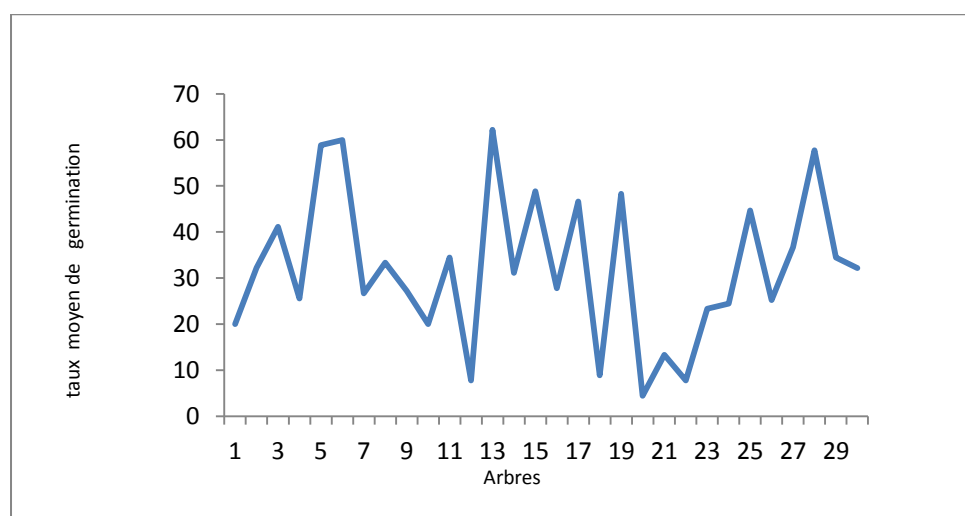


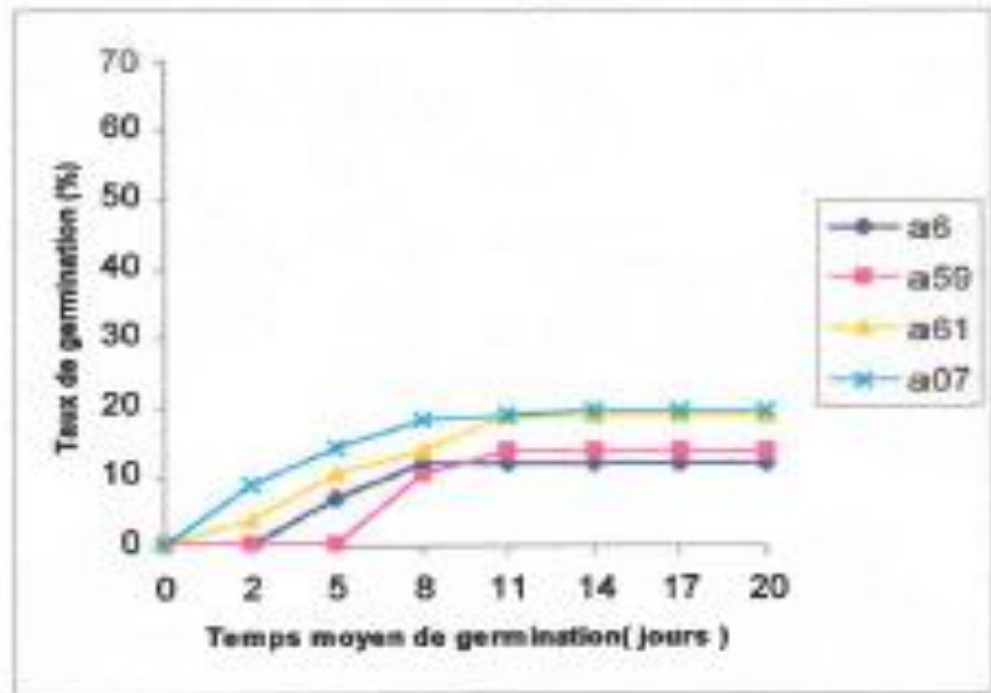
Figure 18 : Variation inter arbre du taux moyen de germination

La dynamique de germination (Figures 19a et 19b) établis pour chaque arbre, permet de distinguer quatre groupes : Dans le groupe 1, le taux de germination des graines n'a pas atteint les 20% et le maximum de germination est atteint en huit jours. Dans le groupe 2, les taux de germination varient en moyenne entre 27.5% et 33.33%. Dans le groupe 3, le taux moyen de germination maximal est de 50%, pour quelques arbres, un taux dépassant 25% est

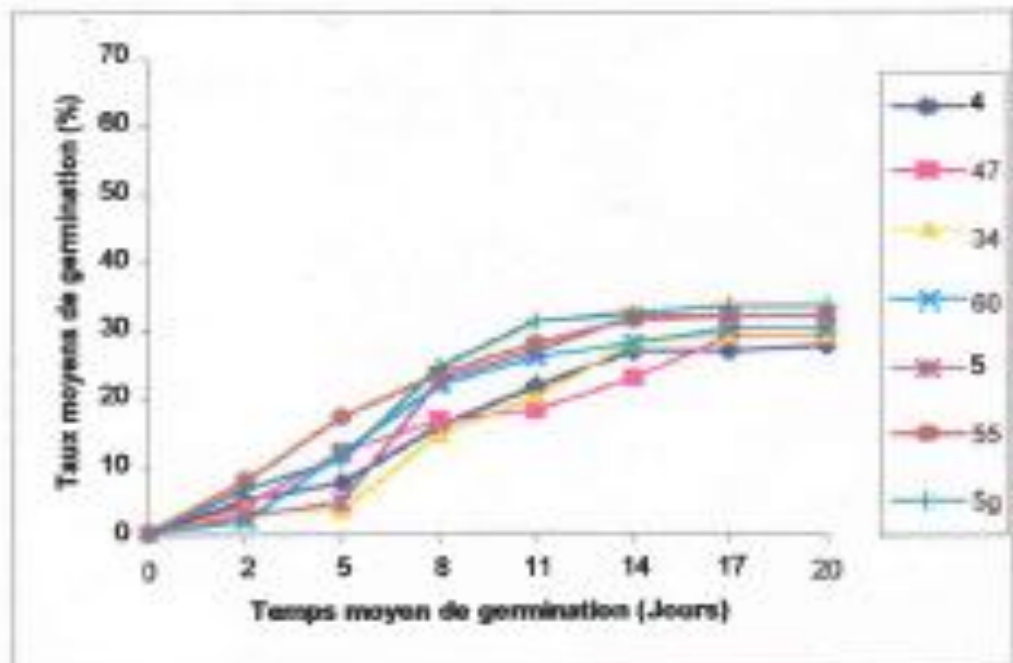
Chapitre 5 : Capacités de germination des graines

atteint en seulement deux jours, la germination est de ce fait accélérée. Dans le groupe 4, la germination des graines est très accélérée, le taux varie entre 61.66% et 66.66%.

Chapitre 5 : Capacités de germination des graines

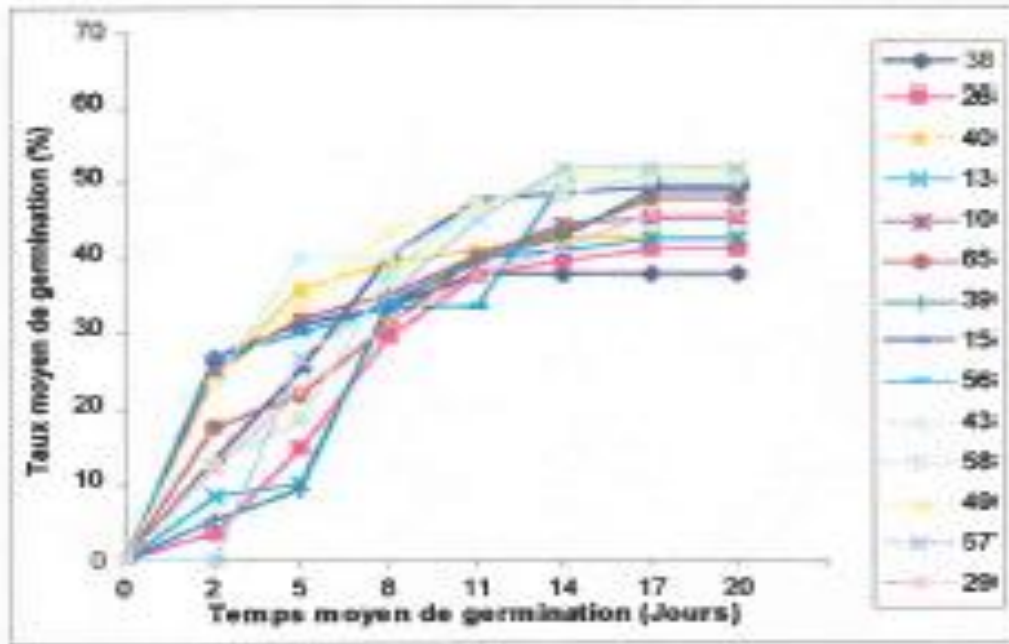


Groupe 1

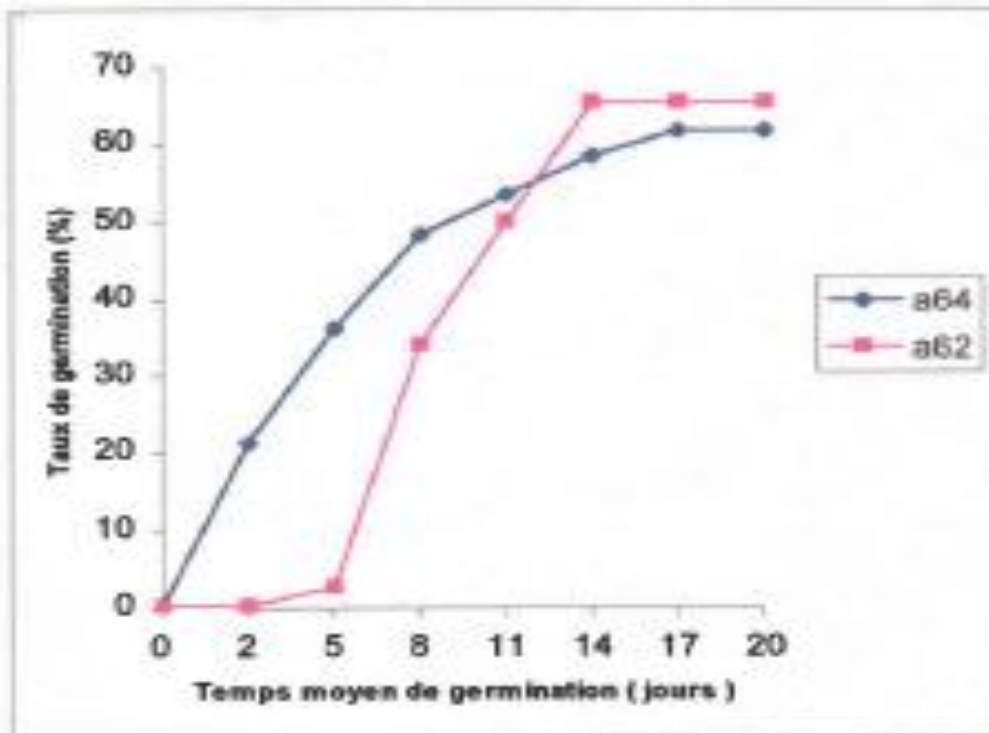


Groupe 2

Figure 19 a : Cinétique de germination des graines par arbres



Groupe 3



Groupe 4

Figure 19 b : Cinétique de germination des graines par arbres

Chapitre 5 : Capacités de germination des graines

5-2-Variabilité inter-année du taux et du temps moyen de germination

Tableau 19 : Paramètres statistiques de base pour le taux et le temps moyens de germination (année 2000)

Variables	Minimum	Maximum	Moyenne générale	CV (%)
Temps moyen de germination	20.89	34.03	26.71	7.00
Taux moyen de germination	4.44	62.22	32.18	25.7

Tableau 20 : Paramètres statistiques de base pour le taux et le temps moyens de germination (année 2001)

Variables	Minimum	Maximum	Moyenne générale	CV (%)
Temps moyen de germination	6.75	14.94	12.22	21.86
Taux moyen de germination	11.91	66.66	39.46	49.08

Tableau 21 : Paramètres statistiques de base pour le taux et le temps moyens de germination (année 2002)

Variables	Minimum	Maximum	Moyenne générale	CV (%)
Temps moyen de germination	3.96	8.36	5.25	6.42
Taux moyen de germination	12.22	75.56	41.56	39.14

Chapitre 5 : Capacités de germination des graines

Sur les trois années d'étude, il y a une importante variation du temps moyen de germination. La germination est en effet très étalée, dépassant 25 jours pour la première année. Progressivement, le temps moyen de germination est réduit de l'année 2000 à 2002 marquant une importante variabilité entre ces années (Tableaux 19, 20, 21) et (Figure 20).

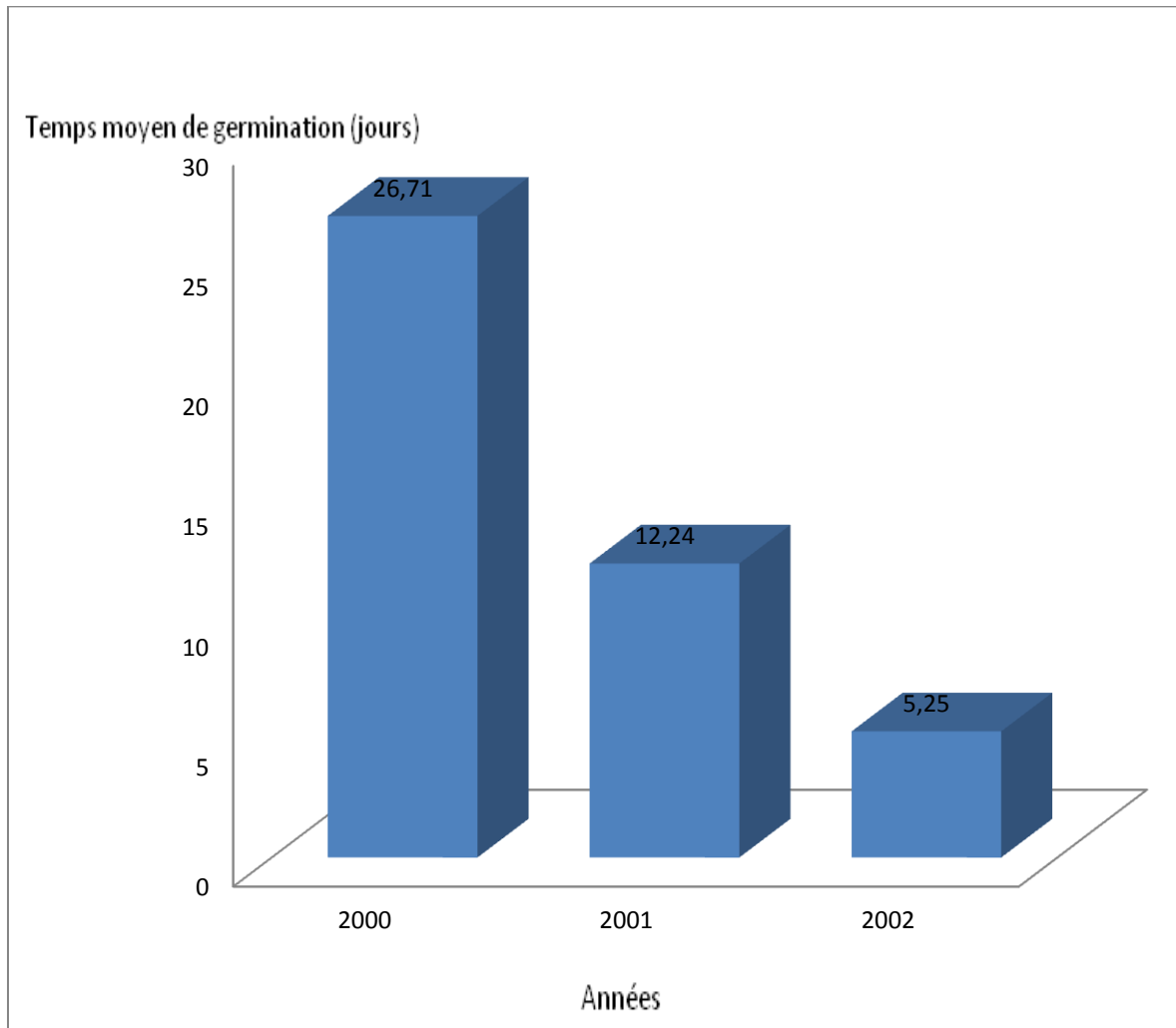


Figure 20 : Variation inter années du temps moyen de germination

Chapitre 5 : Capacités de germination des graines

L'effet inverse est observé pour le taux moyen de germination pour lequel, la variabilité est nettement plus faible. Le taux moyen est plus faible pour l'année 2000 mais augmente progressivement entre les années 2000 à 2002 (Figure 21).

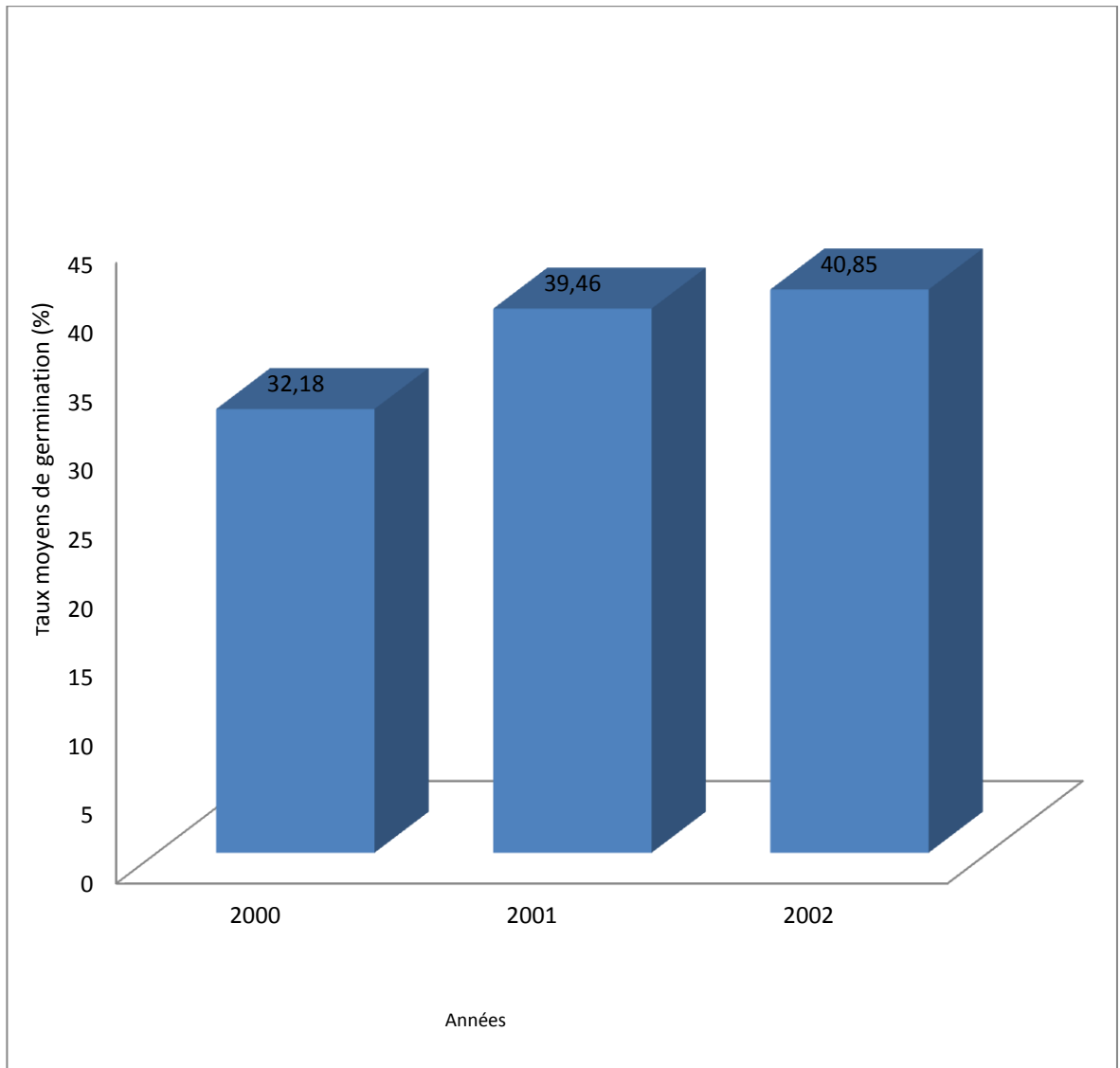


Figure 21 : Variation inter années du taux moyen de germination.

Il est à noter que lorsque le temps moyen de germination est prolongé, les capacités germinatives des graines sont réduites.

Chapitre 5 : Capacités de germination des graines

5-3- Corrélation entre les dimensions des graines, des cônes, le temps et le taux moyens de germinations

5-3-1-Corrélation entre les dimensions et le poids des graines, le temps et le taux moyens de germinations

Tableau 22 : Matrice de corrélation des caractères des graines et des paramètres de germination

Variables	Lg	lg	Pg	P1000BG	TBG	TMG	TG
Lg	1						
lg	0.442*	1					
Pg	0.718***	0.336	1				
P1000BG	0.185	0.038	0.210	1			
TBG	0.334	0.021	0.260	0.130	1		
TMG	0.306	-0.029	0.227	0.127	0.285	1	
TG	0.443*	0.159	0.611**	0.099	0.313	0.071	1

$r = 0.4227$: $\alpha = 0.05$; $r = 0.5368$ pour $\alpha = 0.01$; $r = 0.6524$ pour $\alpha = 0.001$

L'examen de la matrice de corrélation (Tableau 22), montre une corrélation positive et significative ($\alpha = 0.05$) entre la longueur des graines et le taux moyen de germination, la corrélation est très significative ($\alpha = 0.01$) entre le poids des graines et le taux de germination. Il n'y a cependant aucune corrélation entre le temps moyen de germination et les caractéristiques des graines.

Chapitre 5 : Capacités de germination des graines

5-3-2- Corrélation entre les dimensions des cônes, le temps et le taux moyens de germination

Tableau 23 : Matrice de corrélation des caractères des cônes et des paramètres de germination

Variables	Lc	Dc	Pc	Ntg	Tbg	Pmbg	TMG	TG
Lc	1							
Dc	0.141	1						
Pc	0.738***	0.335	1					
Ntg	0.777***	0.140	0.775***	1				
Tbg	0.229	0.425**	0.223	0.075	1			
Pmbg	0.604***	0.274	0.583***	0.512***	0.688***	1		
TMG	0.183	0.245	0.152	0.184	0.534**	0.557**	1	
TG	0.369	0.282	0.362	0.427**	0.349	0.623***	0.350	1

$r = 0.4227$: $\alpha = 0.05$; $r = 0.5368$ pour $\alpha = 0.01$; $r = 0.6524$ pour $\alpha = 0.001$

A travers les résultats de la matrice de corrélation (Tableau 23), les dimensions (Longueur (Lc) et diamètre (Dc)) ainsi que le poids des cônes ne sont pas corrélés aux temps et au taux moyens de germination. Le temps moyen de germination est positivement corrélé au taux et au poids moyen de bonnes graines. Le nombre total de graines par cône est positivement corrélé au taux moyen de germination.

Seule la longueur et le poids des graines influent sur le taux moyen de germination des graines.

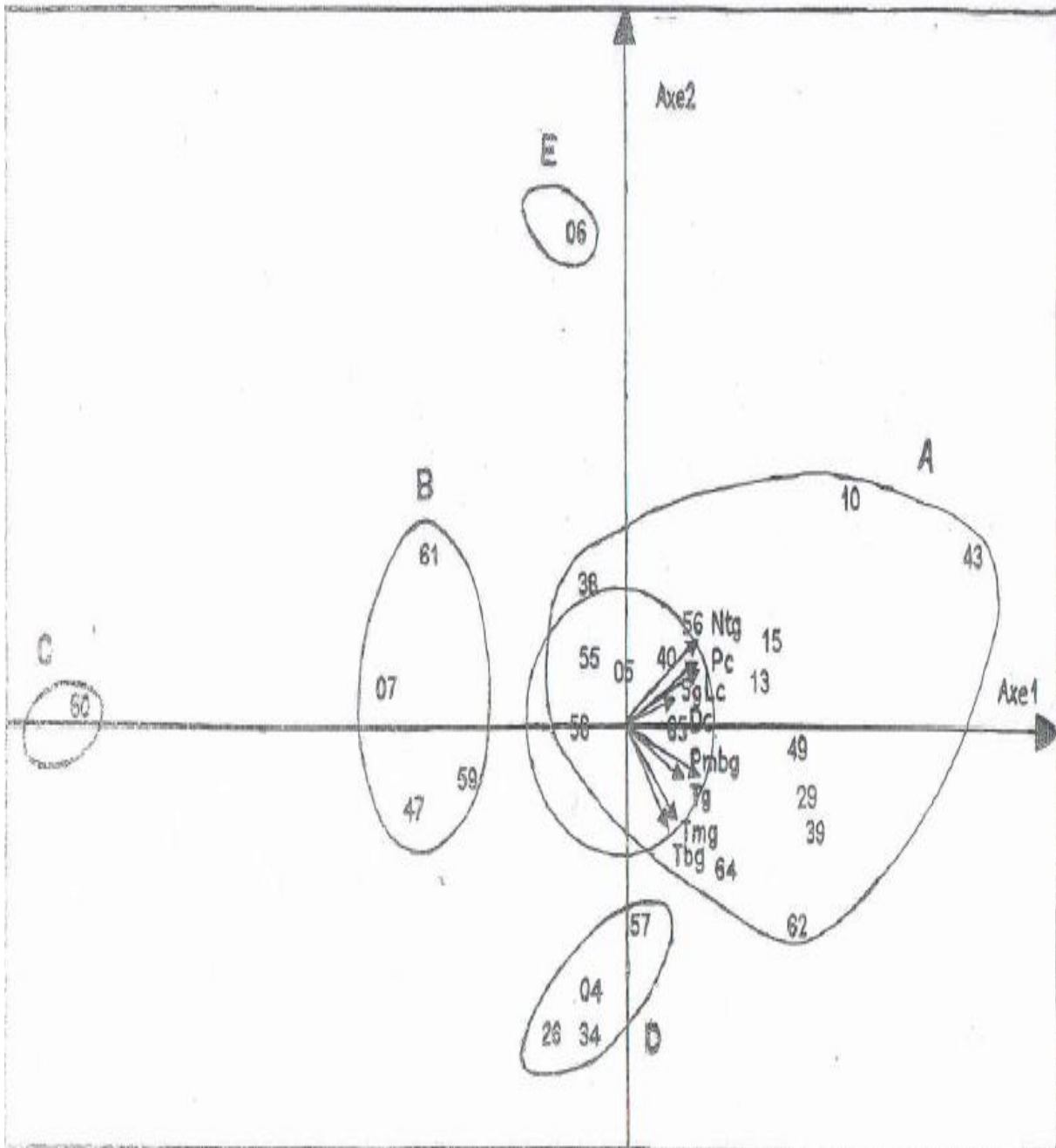


Figure 22 : Analyse en Composante principale sur les caractères des cônes, de la production grainières et de la germination des graines

L'axe 1 et l'axe2 de l'Analyse en composantes Principales (Figure 22) explique 72.8% de la variance totale dont 51% sont expliqués par l'axe 1 et 21% par l'axe 2.

L'axe 1 est positivement corrélé aux caractères : Longueur du cône (Lc), Diamètre (Dc), Poids (P), Nombre total de graine (Ntg), Temps moyen de germination (TMG). Les variables Taux de bonnes graines (Tbg) et Temps moyen de germination (TMG) sont négativement corrélés à l'axe 2, alors que les variables Lc, Pc et Ntg sont positivement

Chapitre 5 : Capacités de germination des graines

corrélés à cet axe. Le sens négatif de cet axe traduit l'augmentation du taux de bonnes graines (Tbg) et du taux de germination (TG).

Dans le plan défini par l'axe 1 et l'axe 2, les individus sont répartis en 5 groupes (A, B, C, D et E). Dans le groupe A, sont regroupés des arbres pour lesquels les cônes sont de dimensions importantes et la production grainières est aussi élevés avec d'importantes capacités de germination (Pc, Lc, Dc, Pmbg, Ntg, et TG). Les arbres des groupes B et C s'opposent à ceux du groupe A. Dans le groupe C, un seul arbre s'isole en raison de ses très faibles valeurs pour les caractères déjà cités. L'axe 2, oppose l'arbre du groupe E au groupe D pour lequel le temps moyen de germination (TMG) et le taux de bonnes graines (Tbg) sont les plus importants. Ce sont les arbres des groupes E, B, C et D qui contribuent plus à l'hétérogénéité ainsi mises en évidence.

6- Discussion

Les taux de germination ainsi obtenus ne sont pas très élevés, ne dépassant pas en moyenne 41% sur les trois années d'étude. La variabilité est très importante entre les arbres, révélant pour certains, des taux très élevés (60 à 70%) pour d'autres des taux très faibles (0 à 10%). Le sapin de Numidie est une espèce qui germe de manière très variable, les taux obtenus sont très hétérogènes entre les arbres. Les espèces du genre *Abies* sont caractérisées d'ailleurs, par des graines dont le taux de germination dépasse rarement 50% (Hickel, 1911). Fady (1990), Illoul (1998) et Sator (1992) ont aboutit aux mêmes résultats chez respectivement *Abies cephalonica*, *Abies alba* et *Abies numidica*.

Entre les années, le temps moyen de germination est plus variable que le taux de germination. La variation inter- arbre est nettement plus importante que la variation inter-années. El-Kassaby et al. (1993), Davidson et al., (1996) et Singh et Sofi (2011) ont démontré à travers des coefficients d'héritabilité très élevés, que les paramètres de germination sont sous contrôle génétique.

Pichot et al. (2006) rapportent que pour toutes les espèces, les intensités de floraison et de fructification sont très variables entre arbres et entre années. Les estimations des taux d'autofécondation sont très variables d'une année à l'autre. Le temps moyen de germination nettement plus élevé pour l'année 2000, peut être expliqué par la qualité des graines, notamment la dormance embryonnaire qui semblait plus longue chez certaines graines. Le temps de latence durant le test de germination a d'ailleurs été très important pour ces graines, dont la germination n'a débuté qu'après une semaine voir même plus depuis le lancement du

Chapitre 5 : Capacités de germination des graines

test de germination. Jassey et *al.* (1979) définissent d'ailleurs, des facteurs qui seraient responsables de la synthèse dans les enveloppes de substances inhibant la germination. D'autres facteurs exerceraient selon cet auteur, leur action au niveau de l'embryon ou de l'albumen et détermineraient la possibilité de germination de la graine. Pour Fins et Libby (1982), la variation des taux de germination peut éventuellement être expliquée par un écart temporel dans la période de pollinisation et la compatibilité des parents ainsi que la distribution spatiale des arbres producteurs de pollen.

Le taux moyen de germination tend à augmenter d'une année à l'autre, à l'opposé du temps moyen de germination qui tend à se réduire. Comme Fady (1990) nous pensons, qu'il est possible qu'il existe un mécanisme de maturation des graines échelonné sur plusieurs années pour palier les années de faible production. Dans la plantation de Searraïdi, la qualité des semences ou des graines devient meilleure d'une année à l'autre, ce qui permet de prédire de meilleures récoltes.

Les graines proviennent d'une plantation dont la densité ne dépasse pas les cents (100) individus, pour (Arista et Talvera, 1996), la densité du peuplement influe sur la viabilité des graines. Comme chez *Abies pinsapo*, il semble que chez *Abies numidica* aussi, lorsque le cercle de dispersion des grains de pollen est réduit, la viabilité et le taux de graines viables sont affectés, comme chez la plupart des conifères. D'autre part, à l'intérieur des peuplements de Sapin, la consanguinité est très élevée et l'autofécondation est très fréquentes (Fady, 1990). (Arista et Talvera, 1996) affirment que la viabilité des graines est faible chez les sujets isolés, pour lesquels le recours à l'autofécondation serait le seul moyen de se reproduire, ce qui explique l'isolement de certains individus à travers les résultats obtenus. Pour Pichot et *al.* (2006) les mères les plus autofécondées se situent dans les zones à faible ou moyenne densité de semenciers. Enfin la diminution du nombre de semenciers augmente significativement le taux de graines vides dans les cônes. Dans les peuplements de faible densité, la disponibilité du pollen est réduite (Cram, 1984), il y aurait aussi une bonne corrélation entre les capacités germinatives du pollen et celles des graines (Kormutak et *al.*, 1994). Dans ce sens, Sobrevila (1988) cité par Krouchi (1995 et 2011) rapporte que le devenir des embryons dépend du comportement des tubes polliniques qui fécondent l'ovule. Les tubes polliniques à croissance rapide donneront des embryons qui accéderont aux ressources plus rapidement que ceux fécondés par des tubes à croissance lente, dont les chances de parvenir à maturité seront réduites. Pichot *al.* (2006), fait remarquer que chez le Cèdre et le Sapin, les plus forts taux d'autofécondation combinent une forte production de pollen et une faible densité de

Chapitre 5 : Capacités de germination des graines

semenciers. Une forte proportion du pollen ne serait dispersé qu'à courte distance, qui conduit à une auto-saturation pollinique des mâles les plus productifs, il y a ainsi augmentation de l'allo-pollen qui augmente la probabilité d'autofécondation chez les arbres fortement polinisateurs. Pichot et *al.* (2006), rappellent cependant que la faible densité de semenciers favorisent l'autopollinisation, mais ne modifient pas toujours le taux d'embryons (viabiles) issues d'autofécondation. Ceci expliquerait la variation inter annuelle observée.

Les dimensions des cônes ainsi que celle des graines n'expliquent pas les variations des capacités de germination des graines. Krouchi (2011) a aboutit aux mêmes résultats chez le Cèdre de l'Atlas. En revanche, le poids moyen de bonnes graines influe sur la germination des graines, Derridj (1990) note que chez le Cèdre de l'Atlas, les graines lourdes ayant une quantité de réserves nutritives importante, présentent de fortes capacités de germination. Le même résultat a été mis en évidence chez le Pin noir par Aidrous et Adjaoud (1992) et Abdelli (2002).

A l'intérieur de la population ainsi étudiée, l'hétérogénéité entre les arbres s'exprime par des différences non seulement des caractéristiques morphologiques des graines et des cônes mais aussi par la capacité des graines à germer et à assurer la régénération et le recrutement de nouveaux individus.

Chapitre 6: Germination des graines en conditions de stress hydrique osmotique

Chapitre 6 : Germination des graines en conditions de stress hydrique osmotique

1-Introduction

La disponibilité de l'eau dans le sol est l'un des facteurs abiotiques pouvant affecter la germination et l'installation des semis en milieu naturel, notamment en région méditerranéenne (Fady, 1990). Une des façons d'étudier l'effet du stress hydrique sur la germination des graines est de recréer les conditions de ce stress en milieu artificiel à l'aide de solutions de pressions osmotiques variables, tel que rapporté par plusieurs auteurs : (Falus et al., 1981 ; Nguyen, 1986 ; Hallgren, 1989 ; Fady, 1990 et 199 ; Falleri, 1994 ; Dirik, 2000 et 2002 ; Calamassi et al., 2001 ; Ladjal, 2001 ; Boydak et al., 2003 ; Tazi et al., 2003 ; Tilki et Dirik, 2007 ; Kouakou et al., 2008 et Ahmadloo et al., 2011).

Evaluer la capacité des graines à résister en phase de germination à la sécheresse du substrat constitue un paramètre important. La réussite de cette phase de développement des végétaux est déterminante dans le maintien et la pérennité des peuplements régénérés naturellement. La germination est non seulement régulée par les caractéristiques génotypiques mais aussi par les conditions environnementales et en particulier la disponibilité de l'eau dans le sol (Kouakou et al., 2008). En conditions de climat méditerranéen notamment et au vu des changements climatiques, qui entraîneront non seulement des augmentations des températures mais aussi la réduction des précipitations, la résistance au stress hydrique constitue alors, une meilleure réponse à ces changements.

Le stress est décrit par Levit (1980) in Ladjal (2001) comme étant tout facteur environnemental biotique ou abiotique capable d'induire une contrainte potentiellement néfaste aux organismes vivants, il existe toute fois dans la notion de stress deux aspects : la contrainte extérieure et l'état de stress qui est la réponse à la contrainte.

Dans le sol, l'eau n'est pas disponible à la graine ou à la plante, elle est retenue par plusieurs forces dont la résultante est dite "Potentiel hydrique du sol" noté Ψ_H , exprimé généralement en bars par un nombre négatif. Ψ_H correspond à la force opposée qu'il faut appliquer au sol pour en extraire un gramme d'eau exprimé par : $\Psi_H = \Psi_s + \Psi_M$

Où : Ψ_s : potentiel osmotique dû à la rétention d'eau créée par la présence de soluté, c'est un terme négatif.

Ψ_M : potentiel matriciel tenant compte des forces d'imbibition, d'absorption et de capillarité qui ne prend de l'importance que lorsque les tissus sont fortement déshydratés.

Le potentiel hydrique renseigne sur l'état de liaison de l'eau dans les différents compartiments du système "Sol-Plante-Atmosphère". Le potentiel de l'eau "liée" dans un végétal est

Chapitre 6 : Germination des graines en conditions de stress hydrique osmotique

négatif. Le mouvement de l'eau dans la plante se produit suivant un gradient décroissant du potentiel hydrique depuis le sol vers l'air (Belkhodja, 2000).

2-Matériel et méthodes

Le stress osmotique est généralement simulé par des agents osmotiques tels que : le Chlorure de sodium (NaCl), le Nitrate de potassium (KNO₃) et le mannitol.....etc. Le seul soluté qui satisfait le mieux est le Polyéthylène Glycol (PEG). Le choix de ce dernier est justifié dans plusieurs références tel que Sharma (1973), Fady (1990), Nguyen (1986) et Nguyen et Lamant (1989). Le Polyéthylène Glycol (PEG) choisi est un polymère de formule HO(C₂H₄O)_nH, il est de poids moléculaire 600, c'est un agent osmotique relativement stable, inerte, bien soluble dans l'eau et non toxique (Belkhodja, 2000).

Après désarticulation des cônes, les graines pleines ont été séparées des graines vides par tridensimétrie dans de l'éthanol 90°. Les graines ont d'abord subi un prétraitement au froid humide à 6°C pendant 7 jours puis, des lots de 30 graines répétées 3 fois pour chaque traitement et pour chaque arbre ont été mis dans des boîtes de pétri ayant pour substrat du coton recouvert de papier filtre et arrosées avec de l'eau distillée contenant du Poly Ethylène Glycol (PEG 600) à différentes concentrations à raison de 4ml/boîte. Les lots témoins n'ont été arrosés que par de l'eau distillée. Le test de germination s'est déroulé dans une chambre de germination à 22°C.

Les milieux physiologiquement secs ont été constitués par des concentrations croissantes de PEG 600 avec cinq modalités de stress osmotique (0 Mpa, -0,2Mpa, -0,4 Mpa, -0,6 Mpa et -0,8 Mpa), sachant que 1 bar = -0,1 Mpa. La correspondance entre quantité de PEG et pression osmotiques développées dans la solution a été établie en se référant aux mesures par osmomètre cryoscopique de Nguyen (1986) (Tableau 24)

Chapitre 6 : Germination des graines en conditions de stress hydrique osmotique

Tableau 24 : Relation entre la concentration de PEG-600 de la solution nutritive et le potentiel hydrique mesuré par cryoscopie pour quelques valeurs (d'après Nguyen, 1986)

Pression osmotiques en bar	PEG 600 en g/l
1	17
2	36,5
3	53,5
4	67
5	79,5
6	90,5
7	100,5
8	110,5
9	119
10	128
11	137
12	145
13	153
14	160
15	166

3-RESULTATS

3-1-Effet des traitements osmotiques sur la germination des graines

Le taux moyen de germination varie entre 41,56 % (traitement témoin) et 19,77% (-0,8Mpa), on note une baisse progressive du taux moyen de germination au fur et à mesure que les pressions osmotiques augmentent de -0,2, -0,4 -0,6 et enfin -0,8 MPa (Tableau 25). L'analyse de la variance met en évidence des différences significatives au seuil de 5% ($P < 0,05$) entre les différents traitements (Tableau 25 et Tableau 26).

Chapitre 6 : Germination des graines en conditions de stress hydrique osmotique

Tableau 25 : Analyse de variance des différents traitements et des différents arbres

Source da variation	Somme des carrés	ddl	CM	Fobs.	F the.
Entre traitements (effet traitements)	10021,16	4	2505,29	12,21	2,41
A l'intérieur des traitements (effet arbre)	38958,64	190	205,04		
Total	48979,81	194			

Tableau 26: Comparaison des différents traitements osmotiques d'après le test de Newman et Keuls :

Traitements	Taux moyens de germination	Groupes homogènes
T0	41,56	A
T1	31,79	B
T2	27,05	B
T3	27,16	C
T4	19,77	D

Légende : (T0) : 0Mpa (témoin ; (T1) : -0,2 Mpa; (T2) : -0,4 ; Mpa (T3) : -0,6 Mpa et (T4) : -0,8 Mpa

Le test de Newman et Keuls (Tableau 26) distingue 4 groupes homogènes, le traitement témoin est nettement différent des autres traitements. Les traitements -0,2 MPa et -0,4 MPa constituent un groupe homogène où les taux de germination sont sensiblement identiques, le traitement à -0,6 Mpa constitue un seul groupe et le taux le plus faible est obtenu à -0,8 MPa. Il y a une diminution de 23% entre le traitement témoin et le traitement à -0,2 MPa, de 34,91% à -0,4 MPa, de 34,64% à -0,6 MPa et de 52,43% à -0,8 MPa.

Les graines n'ayant pas subi de traitements osmotique (T0) présentent une dynamique de germination plus accélérée et plus importante que les graines traitées, avec des capacités de germination plus élevées, en revanche le processus de la germination correspondant au temps moyen de germination (TMG) est continu jusqu'à J8 correspondant au 25^{ème} jours où s'opère l'arrêt de la germination (Figure 23).

Chapitre 6 : Germination des graines en conditions de stress hydrique osmotique

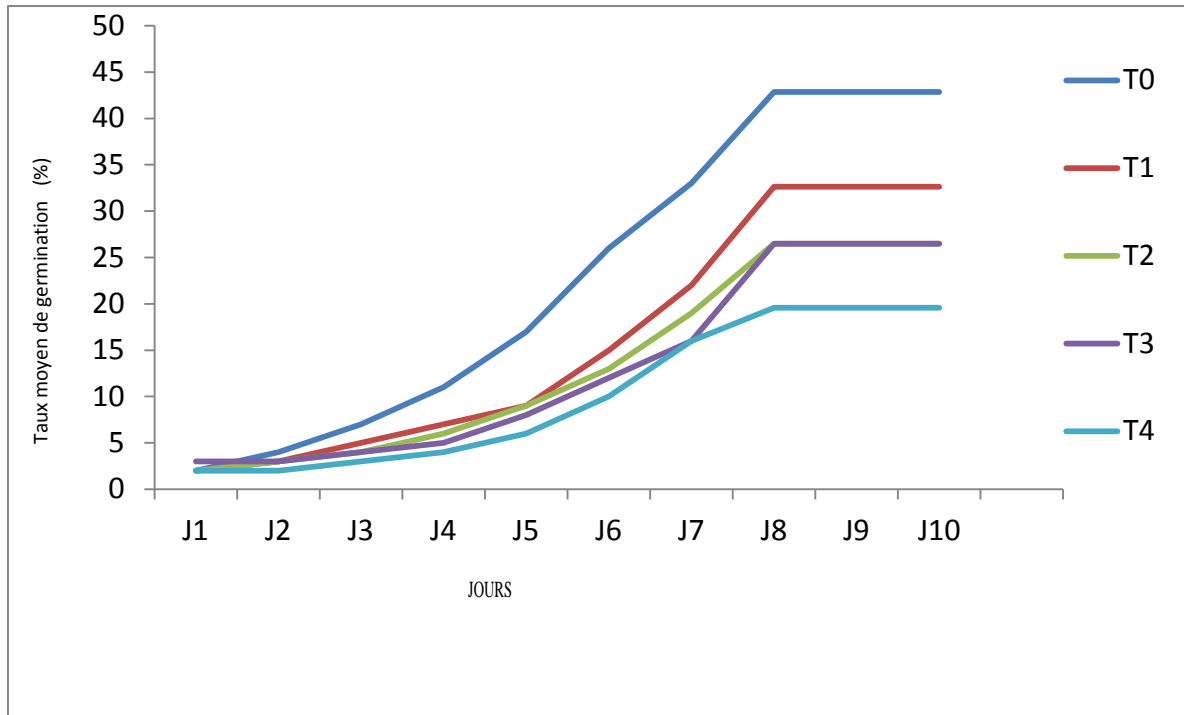


Figure 23 : Cinétique de germination des graines sous l'effet du stress hydrique

Légende : (T0) : 0Mpa (témoin ; (T1) : -0,2 Mpa; (T2) : -0,4 ; Mpa (T3) : -0,6 Mpa et (T4) : -0,8 Mpa - J1 : jours1, J2 : jour 5, J3 : jour 10, J4 : jour 13, J5 : jour17, J6 : jour21, J7 : jour 25, J8 : jour 30

3-2-Variation du taux et du temps moyens de germination entre arbres

Tableau 27 : valeurs minimales et maximales du temps et du taux moyens de germination :

Traitements	Temps moyen de germination (jours)	CV(%)	Taux moyens de germination (%)	CV(%)
T0	5,25 ±1,01	19.14	41,56±17,74	43.42
T 1	5,97±0,97	16.21	32,62 ±16,90	51.82
T 2	6,03±1,40	23.24	26,55 ±11,64	43.86
T 3	5,73±0,95	16.63	26,47±12,61	47.66
T 4	6,14±1,12	18.19	19,77±13,91	71.01

Légende : (T0) : 0Mpa (témoin ; (T1) : -0,2 Mpa; (T2) : -0,4 ; Mpa (T3) : -0,6 Mpa et (T4) : -0,8 Mpa

Le temps moyen de germination le plus faible est enregistré sur les graines du traitement témoin (5,25 jours), variant entre 3,96 et 8,36 jours. Le temps le plus lent est enregistré pour le traitement à -0,8 Mpa (6,14 jours) avec un minimum de 4,13 et un maximum de 10 jours. Entre les arbres, la variation n'est pas très élevée, avec un Coefficient de variation qui varient ente 16,21% et 23,24%.

Chapitre 6 : Germination des graines en conditions de stress hydrique osmotique

Le taux moyen de germination des graines du traitement témoin est de 41.56% variant entre 12,22 et 75,56%, le taux le plus faible est de 19,59% observé à -0,8Mpa variant entre 0 et 64,44% (Tableau 27).

L'Analyse de la Variance met en évidence des différences significatives entre les arbres pour chaque niveau de stress hydrique (Tableau 28).

Tableau 28: Analyse de variance pour le Taux et le Temps moyen de germination entre arbres

Traitements	Source de variation	Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F.obs.	F.the.
T0	-Entre arbres	33537.32	37	906.41	12.65***	1.55
	-à l'intérieur des arbres	5444.44	76	71.63		
	-Total	38981.77	113			
T (-0,2 Mpa)	-Entre arbres	28737.89	38	756.26	11.67***	1.55
	-à l'intérieur des arbres	5051.85	78	64.76		
	-Total	33789.73	116			
T(-0.4Mpa)	-Entre arbres	14805.84	38	389.62	7.33***	1.55
	-à l'intérieur des arbres	4140.47	78	53.08		
	-Total	18946	116			
T(-0.6Mpa)	-Entre arbres	15203.40	36	422.31	6.66***	1.55
	-à l'intérieur des arbres	4692.59	74	63.41		
	-Total	19895.99	110			
T(-0.8 Mpa)	-Entre arbres	21721.69	38	571.62	12.59***	1.55
	-à l'intérieur des arbres	3538.88	78	45.37		
	-Total	25260.58	116			

Les variations entre les arbres sont très importantes, 82,05 % des arbres sont sensibles à partir de -0,2Mpa cependant les taux de germination restent significatifs n'atteignant pas des valeurs faibles, 10,25 % sont sensibles à partir de -0,4Mpa, et 2,56% à partir de - 0,8Mpa, certains arbres ont des taux de germination nettement élevés à - 0,8Mpa (Figure 24a et b).

Chapitre 6 : Germination des graines en conditions de stress hydrique osmotique

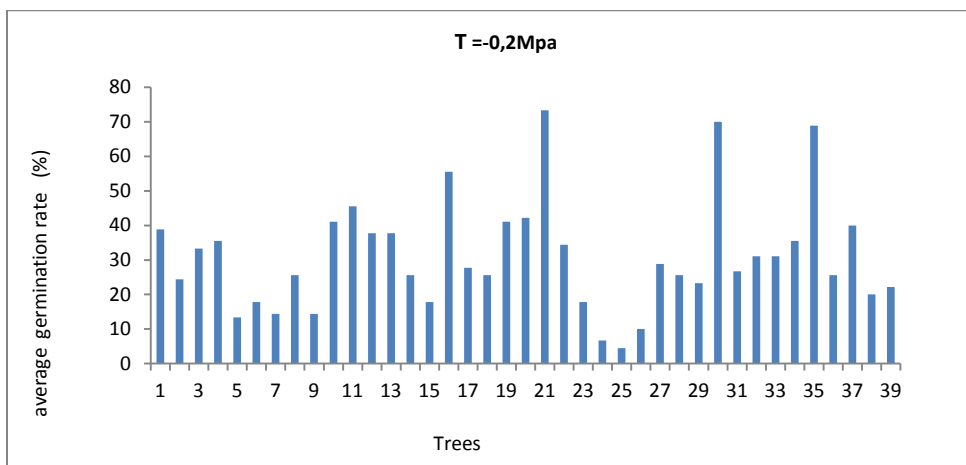
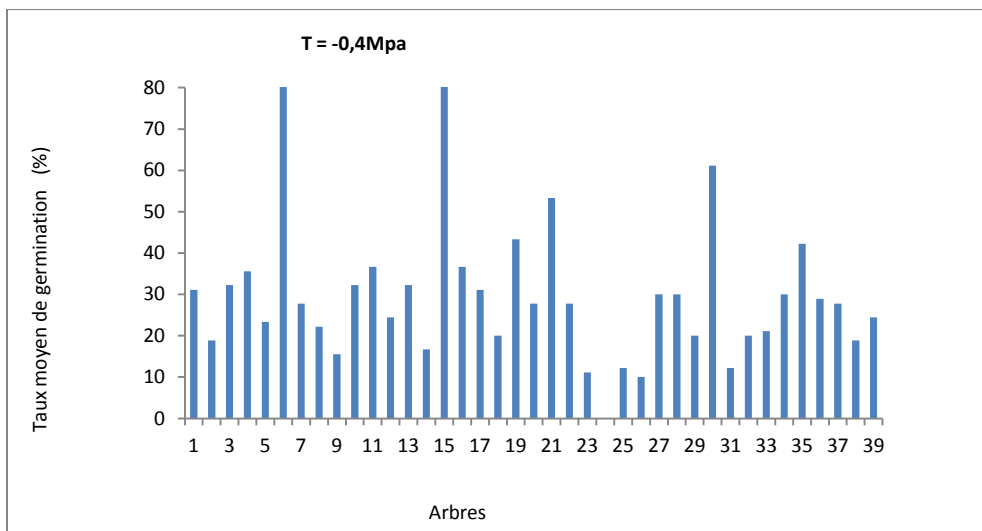
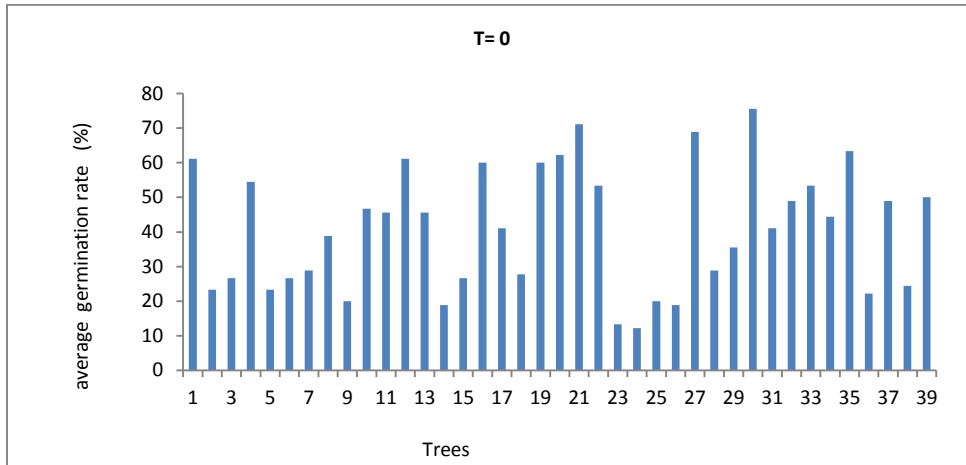


Figure 24a: Distribution du taux moyen de germination des graines sous l'effet du stress hydrique entre les arbres

Chapitre 6 : Germination des graines en conditions de stress hydrique osmotique

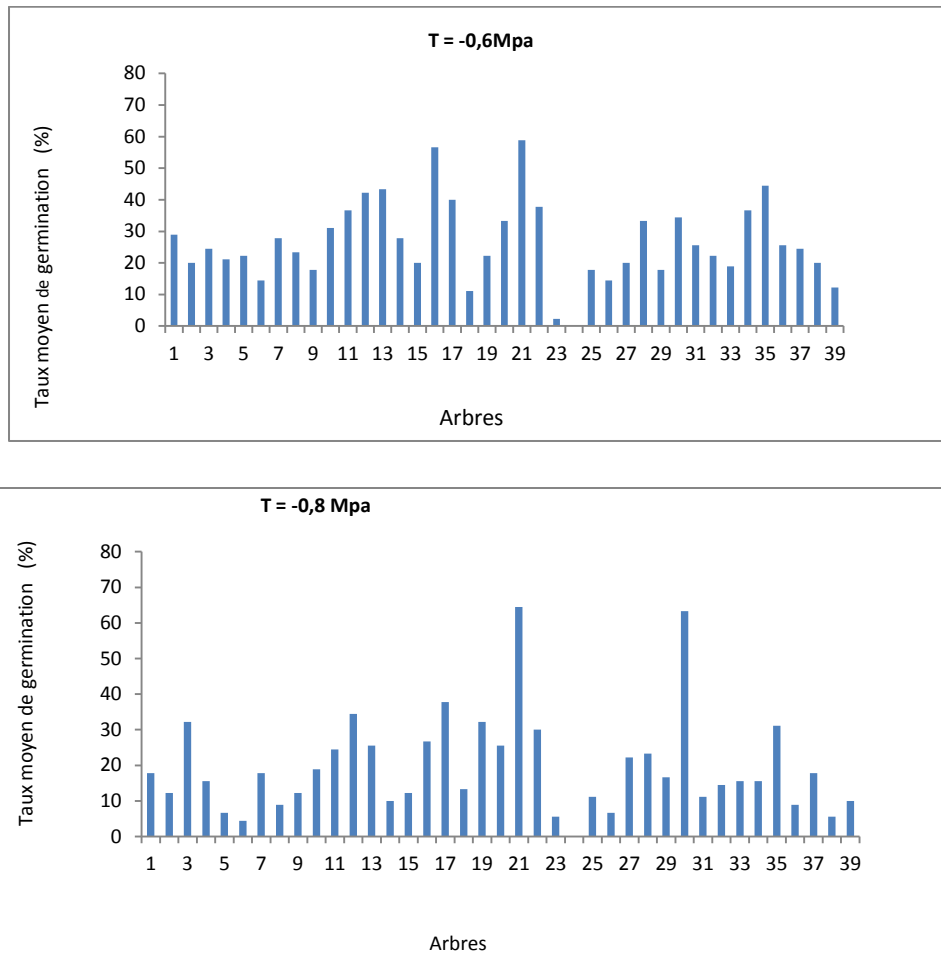


Figure 24 b: Distribution du taux moyen de germination des graines sous l'effet du stress hydrique entre les arbres

Chapitre 6 : Germination des graines en conditions de stress hydrique osmotique

4-DISCUSSION

Le taux moyen de germination du traitement témoin (T= 0) est de 41,56%, les taux moyen de germination pour les espèces du genre *Abies* dépassent rarement 50% (Hickel, 1911, Franklin & Ritchie, 1970, Franklin, 1974 et Fady, 1990). Ces taux seraient dus à la fragilité des graines. La situation isolée de la plantation entrainerait l'étroitesse de sa base génétique, la germination est de ce fait faible (Dirik, 2000).

Le taux moyen de germination diminue considérablement avec l'augmentation du stress hydrique osmotique du substrat. Des résultats similaires ont été obtenus chez beaucoup d'espèces, Falus et al. (1981) chez *Pinus halepensis*, Hallgren (1989) chez *Pinus Taeda* et *Pinus elliottii*, FADY (1990 et 1992) sur *Abies cephalonica*, Falleri (1994) chez *Pinus contorta*, Dirik (2000 et 2002) chez *Cedrus Libani*, Calamassi et al. (2001) chez *Pinus halepensis*, Ladjal (2001) chez les Cèdres méditerranéens, Boydak et al. (2003) chez *Pinus brutia*, Tazi et al. (2003) sur l'Arganier (*Argania spinosa*), Tilki et Dirik (2007) chez *Pinus sylvestris*, Kouakou et al. (2008), Ahmadloo et al. (2011) chez *Cupressus arizonica* et *Cupressus sempervierens*. Ces espèces ont montré des différences de sensibilité au stress hydrique pendant la germination.

La réduction du taux moyen de germination est de 23% à -0,2 MPa, 34,91% à -0,4Mpa, de 34,64% à - 0,6 Mpa et de 52,43% à -0,8 Mpa, par rapport au traitement témoin. Chez *Cedrus libani*, le taux de germination diminue en moyenne de 48% à -2bars, de 61% à -4bars et de 75% à -6bars (-0,6 Mpa) (Dirik, 2000). Boydak et al. (2003) affirment qu'à -8bars (-0,8 Mpa) la germination est réduite de 50% chez *Pinus brutia* tandis que Falusi et al.(1983) rapportent que le même seuil est observé chez *Pinus halepensis* à -2 bars (-0,2 Mpa). Fady (1992) obtient 18,30% de germination chez *Abies cephalonica* à -0,7Mpa, alors que chez *Abies numidica* le taux est de 19,59% à -0,8Mpa. Les graines d'*Abies numidica* sont plus résistantes à la sécheresse édaphique que les espèces sus citées mais très proche d'*Abies cephalonica*.

La baisse du potentiel hydrique dans le substrat réduit la germination des graines des espèces sensibles indiquant que le stress hydrique inhibe la germination comme certains cas de dormance embryonnaire (Falusi et al.1983 ; Boydak et al.,2003 et Ahmadloo et al.2011). DuboS (2001) signale qu'un des métabolismes qui apparaît fortement régulé au cours du stress hydrique est celui des sucres, et un des sucres préférentiellement accumulés chez les

Chapitre 6 : Germination des graines en conditions de stress hydrique osmotique

plantes soumises à un stress hydrique est le saccharose, cela semble être aussi le cas chez le Pin maritime (surexpression d'une saccharose phosphate synthase et d'une saccharose synthase) qui limite donc les dommages au niveau des structures cellulaires

Les résultats obtenus font apparaître des différences très nettes des facultés germinatives des graines entre les arbres de la même population, mettant en évidence une importante hétérogénéité. Certains arbres constituent en effet, un ensemble dans lequel les graines sont très sensibles au déficit hydrique, d'autres sont moins sensibles, bien qu'il y ait une diminution du taux de germination à partir de $-0,2\text{Mpa}$ les taux restent intéressants (40 et 55%). Pour d'autres arbres, le taux de germination n'a pas été affecté d'une façon remarquable, la relation entre la germination et la diminution du potentiel hydrique du substrat n'est dans ce cas, pas évidente. Certains arbres maintiennent des germinations importantes mêmes à $-0,8\text{ Mpa}$. L'augmentation du taux de germination lorsque la pression osmotique augmente a déjà été signalée par Fady (1992) chez *Abies cephalonica*, il s'agirait d'une adaptation des semences à la pression osmotique qui existe dans la solution du sol, le seuil critique pour ces arbres serait donc plus important.

Abies numidica est une espèce qui germe de manière très variable ne montrant pas d'adaptation particulière à la sécheresse du substrat, mais une très grande variété de stratégies individuelles. Une part importante de variance du caractère résistance au stress hydrique se situe en l'occurrence entre individus d'une même population. Des résultats similaires ont été observés chez *Abies cephalonica* par Fady (1992). Une telle variabilité individuelle tend à montrer selon Fady (2005) que la sélection agit à l'échelle micro géographique favorisée par la grande variabilité locale du système de reproduction.

Au sein de la population ainsi étudiée, certains arbres pourraient assurer la régénération en condition de sécheresse, et qu'à long terme, la sélection naturelle agira sur le maintien de ces derniers. Dirik (2000) suggère que les fréquences des gènes qui contrôlent la résistance au stress hydrique du substrat au cours de la germination des graines, augmentent sous les effets de la sélection naturelle de génération en génération, permettant le maintien des populations en conditions sèches. Dubos et *al.* (2003) ont d'ailleurs identifié et caractérisé des gènes dont l'expression est régulée au cours d'un stress hydrique.

Chapitre 6 : Germination des graines en conditions de stress hydrique osmotique

Bibliographie

- Ahmadloo F., Tabari M., Behtari B., 2011** : Effect of drought stress on the germination parameters of *Cupressus* seeds. International Journal of Forest, Soil and Erosion, 1 (1):11-17.
- Almansouri M., Kinet J.M., Lutts S., 2001** : Effect of salt and osmotic stress on germination in durum wheat (*Triticum durum* Desf). Plant and soil 231: 243-254.
- Aussenac G., 2002**: Ecology and ecophysiology of circum-Mediterranean firs in the context of climate change. Ann.For.Sci ; 59 823-832.
- Barbero and Quezel, 1975** : Les forêts de Sapin sur le pourtour méditerranéen. Anal.Inst.Bot. Cavanilles 32 (2) 1245-1289.
- Boydak M., Dirik H, Tilki F., Calikoglu, 2003** : Effects of water stress on germination in six provenances of *Pinus brutia* seeds from different bioclimatic zones in Turkey. Turk. J. Agric. For. 27 : 91-97
- Calamassi R., Rocca G.D., Falusi M. Paoletti E. and Strati S., 2001** : Resistance to water stress in seedlings of eight European provenances of *Pinus halepensis* Mill. Ann. For. Sci. 58 : 663-672.
- Côme D., 1970** : Les obstacles à la germination des graines. Ed. Masson et Cie. Paris, 10P.
- Dirik H., 2000**: Effet du stress hydrique osmotique sur la germination des graines chez les provenances de Cèdre du Liban (*Cedrus libani* A. Rich.) Ann. For.Sci. 57 : 361-367.
- Dubos C., 2001** : Réponse moléculaire de jeunes plants de Pin maritime soumis à un stress hydrique en milieu hydroponique. Thèse Doc. U. Henri Poincaré, Nancy-I (France), P.292.
- Dubos C., LeProvost G., Pot D., Salin F., Lalane C., Madur D., Frigerio J.M. and Plomion C. 2003** : Identification and characterization of water stress responsive genes in hydroponically grown Maritime pine (*Pinus pinaster*) seedlings. Tree Physiology 23, 169-179.
- Duckrey M., 1998** : Aspects ecophysologiques de la réponse et de l'adaptation des sapins méditerranéens aux extrêmes climatiques : gelée printanières et sécheresse estivale. Forêt méditerranéennes t.XIX, n°2.
- Fady B., 1990** : Variabilité génétique du Sapin de Grèce, Thèse Doc. , spécialité Biologie et physiologie Végétale, Univ. De droit , d'économie et des sciences d'Aix-Marseille. 116P.
- Fady B., 1992** : Effect of osmotic stress on germination and radicle growth in five provenances of *Abies cephalonica* Loud. Acta Aecologica, , 13 (1) 67-79.

Chapitre 6 : Germination des graines en conditions de stress hydrique osmotique

- Fady B., 2005** : Biodiversité des populations de conifères existe-t-il une spécificité méditerranéenne. Mém. Habilitation à diriger des recherches. U.R.F.M., INRA (France)
- Falleri E., 1994** : Effect of water stress on germination in six provenances of *Pinus pinaster* Ait. Seed Science Technology, 22 (2), 591-599.
- Falleri E., Muller C. and Laroppe E., 2004**: Effect of water stress on germination of beechnuts treated before and after storage. Canadian Journal of Forest Research, 34(6), 1204-1209.
- **Falusi M., Calamassi R. and Tocci A., 1983** : Sensitivity of germination and seedling root growth to moisture stress in four provenances of *Pinus halepensis* Mill. Silvae Genetica 32,1-2
- Franklin J.F. Ritchie G.A., 1970** : Phenology of cone and shoot development of noble fir and some associated true firs. Forest Sci.,16, 3,356-364.
- Franklin J.F., 1974** : *Abies*. In “Seed of woody plants in the United States”, USDA forest service, Agricultural Handbook n°450,168-183.
- Gharzouli R. et Djellouli M., 2005** : Diversité floristique de la kabylie des Babors (Algérie). Sécheresse Vol. 16, n°3.
- Hallgren S.W., 1989** : Effects of osmotic priming using earated solutions of polyethylene glycol on germination of pine seeds. Ann. Sci. For. 46, 31-37.
- Hickel R. ,1911** : Graines et plantules des conifères. Bull.Soc.Dendrol.Fr.,19,13-115 et 20,134-204.
- Kolai L., 1986** : La sapinière d'*Abies numidica* dans le mont Bobor. Ann.Rech.For, INRF Bainem (Algérie) : 85-97.
- **Kolb P.F. and Robberecht R., 1996** : Hight tempertaure and drought stress on survival of *Pinus ponderosa* seedlings. Tree Physiology 16, 166-672 :
- Ladjal M., 2001** : Variabilité de l'adaptation à la sécheresse des Cèdres méditerranéens (*Cedrus atalantica*, *C.brevifolia*, *C.libani*) aspect éco physiologique. Thèse Doc.Bio.For.U.H.P. de Nancy I, 212P.
- Maire R., 1926** : Notice de la carte phytogéographique de l'Algérie et de la Tunisie. Ed. Baconier, 75P.
- **Nguyen A., 1986**: Effet d'une contrainte hydrique racinaire sur de jeunes plants de Pin maritime (*Pinus pinaster* Ait). Thèse de Doctorat, Université de Bordeaux1, Talence, France.
- **Nguyen A. and Lamant A., 1989** : Variation in growth and osmotic regulation of roots of water stressed maritime pine (*Pinus pinaster* Ait) provenances. Tree physiology,5, 123-133.

Chapitre 6 : Germination des graines en conditions de stress hydrique osmotique

- **Kouakou T.H., Kone M., Kone D., Kouadio Y.J. et Zouzou M., 2008:** Réponse physiologique au stade juvénile du génotype R405-2000 de cotonnier (*Gossypium hirsutum* L.) au déficit hydrique induit par le polyéthylène glycol. *Sci. Nat.* Vol.5 N°1 : 81-87.
- Tazi M.R., Berrichi A., et Haloui B., 2003 :** Effet du stress hydrique par le PEG sur la germination et la croissance de l'Arganier in vitro. *Secheresse* vol.14n°14, PP23-27.
- Tilki F., Dirik H., 2007:** seed germination of three provenances of *Pinus brutia* (Ten) as influenced by stratification, temperature and water stress. *Journal of Environmental Biology*, 28(1), 133-136.
- Vickers A.D., Palmers S.C.F., 2001:** The influence of canopy cover and other factors upon the regeneration Scots pine and its associated ground flora within Glen Tanar National Nature Reserve. *Forestry*, 73, 37-49.

Chapitre 7: Genetic diversity of *Abies numidica* de Lannoy in plantation

1-Introduction

Abies numidica de Lannoy is an Algerian forest species, endemic to the Babors mountains, where it covers an area of 300 ha (Kolai, 1986). It is met from 1650 m and goes up to 2000m (Gharzouli & Djellouli, 2005). These species occupying the bioclimatic humid with rainfall between 800 mm and 1500 mm, minimum temperatures vary between -2.2°C and 1.5°C and maximum average between 25.8°C and 29°C (Gharzouli & Djellouli, 2005). It is an intermediate species between *Abies nordmanniana*, *Abies marocana*, *Abies pinsapo* and *Abies cilicica*, *Abies concolor* and *Abies cephalonica* (Duckrey, 1998).

Abies numidica is a seldom and endangered species, classified in the list of species protected and non-cultivated plant, it was introduced outside its natural range in some arboreta (Chr ea, Djbel Ouahch and Serra di) in Algeria and sites in France.

Genetics analysis of remnant forest fragment is particularly important for rare, endemic, relictual and threatened tree species (Parducci & al., 2001). Dorset & al., 2012) propose that individuals should be selected will introduce a representative cross section of the genetic diversity, this strategy should insure that much of the genetic diversity at more adaptive genes will also be included in the seeds used to augment or restore populations. Conservation of genetic resources requires as exhaustive as possible description of genetic diversity in the current population (Kremer, 1994). The importance of the conservation of tree genetic diversity has been long recognized (Kremer, 1994 ; Kathleen and Furnier.,2002 ; Fady, 2005;Teixeira and al. 2014; Kalinowski, 2009 ; Parducci and al., 2001) ; Papi and al. 2012.

Microsatellite markers have been widely used to study population genetic, evolutionary processes and conservation or management of biological resources, and are often highly polymorphic and relatively easy to survey and hence offer the of greater understanding of population structure (Jarne and Lagoda, 1996).

The main objective of this study was to evaluate the genetic diversity of *Abies numidica* in plantation in its origin area (Algeria) and its introduction area (France).

This study would assess if this genetic resource is properly retained and detect eventual loss of genetic diversity at the time of sampling in the natural population to the constitution arboretum (planting) and finally assess whether plantations can be used to establish viable populations.

2-Material and methods

Needles and seeds were collected in Algerian (Serraidi plantation) and French arboretums (Pelenq, Royat and Treps), the Algerian arboretum is located in natural area of *Abies numidica*. Number of trees sampled varied between 20 and 39 (table 1).

The Algerian plantation (Serraidi) is valued for its adult trees (Serraidi_adulte) up by the crop needles. Seeds were collected to test the ability to breed and give offspring with the same diversity as adults (Serraidi_embryon) (Table 1).

Table 29 : Samples characteristics (Fady,2005)

Population	Country	Latitud N	Longitude E	Effectif (tree number)	Material sampled
S_embryon	Algeria	36°55	7°40	34	seed
S_adult	Algeria	36°55	7°40	39	leaf
Pelenq	France	43°38	6°05	31	leaf
Royat	France	45°45	3°02	20	leaf
Treps	France	43°16	6°23	30	leaf

Genetic markers used are chloroplast microsatellites (cpSSR) (regions of chloroplast DNA composed of repeating or long mono-nucleotides, inherited by pollen) and 04 cpSSR were used: pt71936, pt63718, pt30141 and pt30249, using an automatic sequencer gel LiCor and software of conventional interpretation of population genetics and molecular ecology. Analysis of length polymorphism cpSSR was performed in laboratory of Molecular Biology at Avignon INRA, France, under Bruno FADY direction.

Genetic diversity within and between populations was evaluated by the following parameters using the GENALEX logiciel (Peakall and smousse, 2006). :

We calculated the average number of alleles per loc, the effective number for alleles per loci (N_e), total number of alleles across loci, allelic frequency by loci haploid diversity by loci and F_{st} index.

For both markers we calculated genetic (GD) and geographic distances (GGD) and tested for a significance of spatial structure using Mantel test and Principal Coordinate Analysis (PCA).

Chapitre 7 : Genetic diversity of *Abies numidica* in plantation

The percentage of molecular variance between and within populations is obtained using AMOVA test.

3-RESULTS

3-1-Genetic diversity in Serraiidi plantation

3-1-1-Parameters of genetic diversity

We found 04 alleles for Pt71936 and Pt30141, 02 for Pt 63718 and 01 allele for Pt 30249 totalizing 11 alleles. The number of effective alleles (N_e) is 6.52 in adult individuals and 4.68 in the embryo or offspring, the average number of alleles is 10 in embryos and 11 in adult (table 2). The percentage of polymorphic loci is 100% for both populations. Genetic diversity (h) is slightly different and evaluated to 0.787 and 0.847 respectively for embryos and adults. These results indicate an important genetic diversity in adult population than embryos as explained by Shanon Indice (Table 30).

Table 30 : Parameters of genetic diversity

Population	Locus	N	Na	Ne	I	h	uh
Embryos	Hplo1	30	10	4.688	1.899	0.787	0.814
adults	Haplo1	33	11	6.521	2.094	0.847	0.873

N: sample Nbre, Na : Nbre of different allèles , Ne : Nbre of effective alleles, I : Schannon Indice, h : Diversité, uh : Unbiased Diversity

3-1-2-Molecular Variance Analysis:

Table 31 : Molecular Variance Analysis (AMOVA)

Source de variation	df	SS	MS	Est	Var (%)	P(rand > =data))	Fst
Among population	1	40,381	40,381	0,837	6	0.100	0.06
Within population	61	859,270	14,086	14 ,086	94		
Total	62	899,651		14,923	100		

There is no genetic differences between the two populations (embryos and adults) $P(\text{rand} > = \text{data}) > 0.05$, however 94% of molecular variance resides within the same population and 6% between populations embryos and adult populations (table 31). This result is confirmed by the value of Fst which equals 0.06 (6%) .

3-1-3- Geographic and Genetic distances

Table 32 : Princl Coordinates Analysis (PCoA):

Axis	1	2	3
%	54.93	18.75	11.13
Cum %	54.93	73.68	84.81

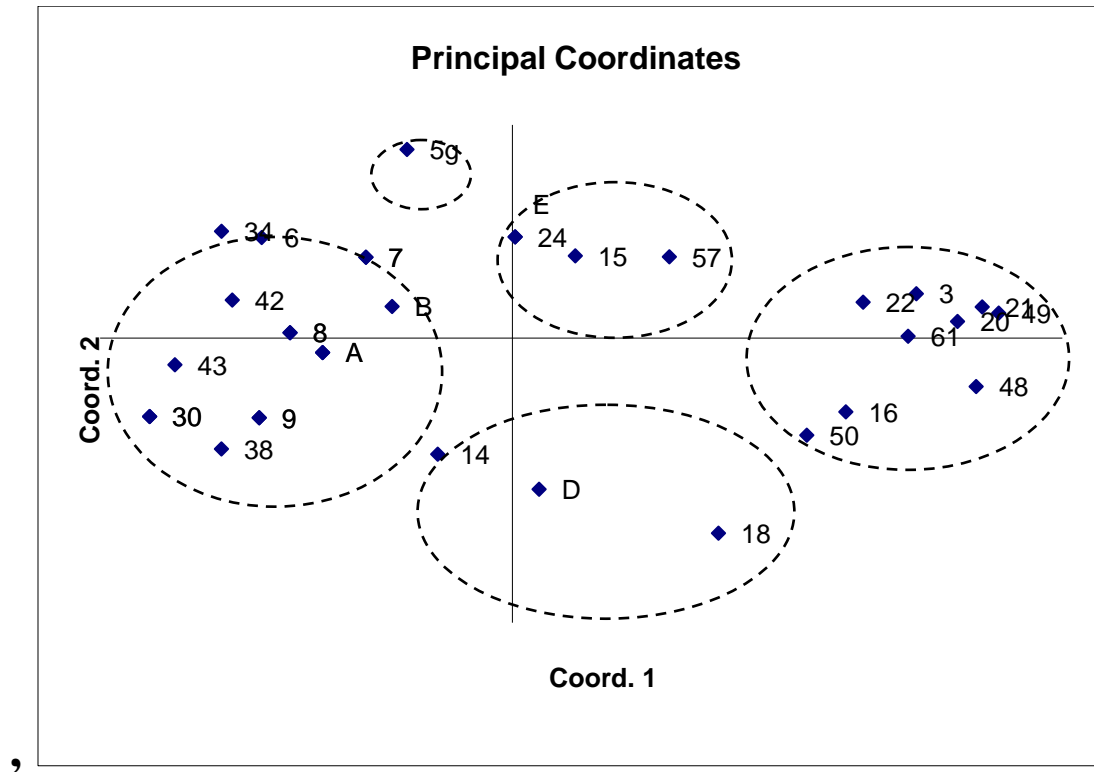


Figure 25 : Principal Coordinates

The axes 1 and 2 explain 73.68 % (Table 32) of the total variance in the distribution of individuals in Serraidi plantation, Trees are allocated in 05 different groups in each one individuals are genetically similar (Figure 25).

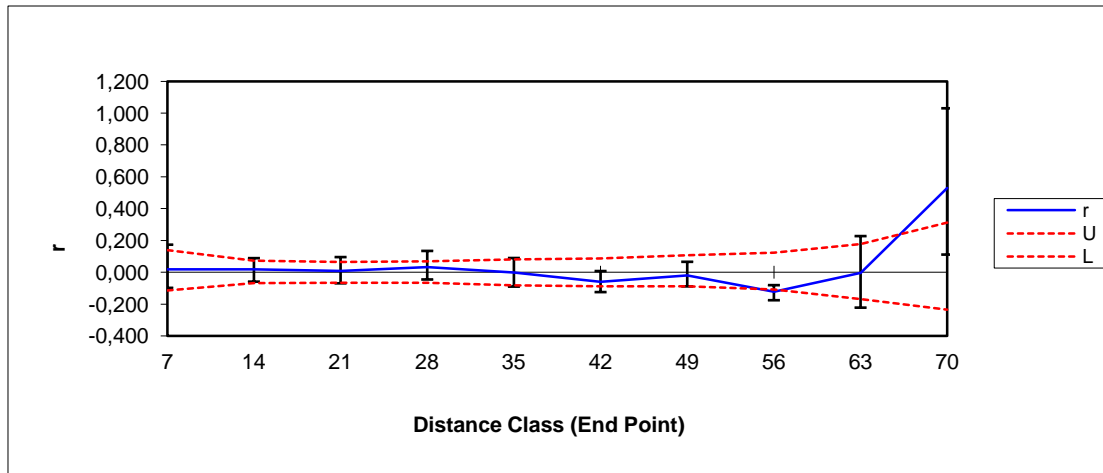


Figure 26: Spatial structure Analysis

Mantel test ($R_{xy} = 0.042$ and Probability $P = 0.303 (> 0.05)$) demonstrates the lack of correlation between genetic and geographic distances, this result is confirmed by the graph of (Figure 26) which showing that the distribution of the genotypes in the population is independent of the distribution of individuals in the space.

3-2- Genetic variation among and within Serraidi and French populations

3-2-1-Parameters of genetic diversity

Table 33 : Genetic diversity Parameters

Population	Locus	N	Na	Ne	I	h	%P
S_embryon	Hplo1	30	10	4.688	1.899	0.787	100
S_adulte	Hplo1	33	11	6.521	2.094	0.847	100
Pelenq	Hplo1	30	9	5.844	1.942	0.829	100
Royat	Hplo1	20	11	7.692	2.207	0.870	100
Treps	Hplo1	30	12	9.783	2.370	0.898	100
Total	Mean	28.600	10.600	6.906	2.102	0.846	100
	SE	2.227	0.510	0.869	0.087	0.01	0.00

N: sample Nbre, **Na :** Nbre of different allèles , **Ne :** Nbre of effective alleles, **I :** Schannon's Indice, **h :** Diversité, **uh :** Unbiased Diversity, **P% :** Pourcentage of loci polymorphic

The number of haplotypes is 18, the number of alleles is : 09 in Pelenq, 10 for Serraidi_ embryo, 11 for Serraidi_adult populations and Royat and 12 in Treps. The number of effective alleles (Ne) is the highest for Treps population with 9.783 and the lowest for the Serraidi_ embryo population with 4.688, the values 5.844 7.692 and 6.521 correspond respectively to Pelenq, Serraidi_adult and Royat. Genetic diversity h was slightly higher in

Treps population with 0.898 and lowest among the population Serraidi_embryos with 0.787, also the overall results showed significant genetic diversity within each population (Table 33).

3-2-2 - Molecular Variance Analysis

Table 34 : Molecular Variance Analysis (AMOVA)

Source	df	SS	MS	Est	Var (%)	P(rand>=data)
Among pops	4	155.000	38.750	0.643	3	0.120
Within pops	138	2824.203	20.465	20.465	97	
Total	142	2979.203		21.108	100	

There is no significant differences between populations ($P(\text{rand} \geq \text{data}) > 0.05$), indeed 97% of the genetic variance is within each population, however only 3% of the variance is between different populations (Table34).

3-2-3-Genetic and geographic distances

Table 35 : Nei' s genetic distances

S_embryon	S_adultes	Pelenq	Royat	Treps	
0.000					S_embryon
0.000	0.000				S_adulte
0.192	0.137	0.000			Pelenq
0.145	0.003	0.294	0.000		Royat
0.199	0.045	0.288	0.000	0.000	Treps

In Serraidi planting, distances between adults and descendants are zero (0.000), which explains the smooth transfer of genetic diversity between these two populations. However, the distances are slightly larger between populations Royat and Pelenq and between Treps and Pelenq. It seems Pelenq population is more isolated, there is also the rapprochement between the Algerian and French populations (Table 35).

4-Discussion

Not only can genetic analysis provide insights into the conservation biology of rare, endemic, relictural and threatened tree species, they can also inform conservation decision by comparing patterns amongst closely related taxa. Comparative studies of rare, endangered species and of an abundant and closely related species can help determine the conservation measures to taken for the threatened taxon (Parducci and *al.*,2001).

In the present research 18 haplotypes were found in more than 150 individuals analyzed, Parducci and *al.* (2001) Showed a similar result in *Abies numidica*, but in *Abies*

alba for the same effective it was found more than 50 haplotypes (Fady, 2005), this result is a characteristic already noted in this species which is often connected to its small area distribution (endemism) and isolation (Fady, 2005).

In planting Serraidi, genetic diversity is high among adult individuals and slightly lower in embryos, this indicates the proper transmission of genetic diversity between parents and progeny, similar results were found in *Abies nebrodensis* in Sicily (Italy), where it is restricted to a single population but the adults and the juveniles present considerable levels of genetic differentiation with no correlation with physical distance (Conte and *al.*, 2004). Genetic diversity in planting serraidi could be maintained as seed production in this plantation is important varied with years, in fact the results of our previous research has shown that seed production is important with changing reproductive individuals over the years (Sadou and Fakheur, 2000 ; Aidi and Megdoud, 2001 ; Yaïche and Chebrek, 2002)

The results indicate that *Abies numidica* appears to maintain a high level of genetic diversity within population (mean $H_e = 0.846$ and varied between 0.787 and 0.898 with 18 haplotyps), the same results is reported by Parducci and *al.*(2001) with $H = 0.968$ and 18 haplotyps in *Abies numidica*.

Kathleen and Furnier (2002) in *Abies balsamea*, Krouchi (2011) and Terrab and *al.*, (2006) in *Cedrus atlantica*, Troupin and *al.*(2006) in *Pinus halepensis*, Eliades and *al.* (2011) in *Cedrus brevifolia*, çengel and *al.*(2012) in *Pinus nigra* report the same results.

Forest biodiversity is also very high in Mediterranean basin where 100 tree species can be found compared to fewer than 30 species located in European temperate forest (Fady, 2005). *Abies numidica* genetic diversity is important supporting an out-breeding mating system as reported for the majority of species which reproduce sexually and believed to be outcross. Wind pollination might contribute largely to this high level of genetic diversity. Indeed genetic variation gives information on mating system and pollen seed dispersal (Papi and *al.*, 2012). Hamrick and *al.* (1992) showed that forest species are extremely polymorphic and more than 50% of the loci are polymorphic. This is attached with biological characteristics of forest species, such as mating system that is close to the strict out crossing to except for a limited number of species (Kremer, 1994 and Mitton, 1992).

The F_{st} indicates, that 6% and 3% of the variance is among population respectively in Algerian and French-Algerian populations. 94% and 97% is within each population. These results are low than the mean $F_{st} = 7, 3\%$ reported by Hamrick and *al.* (1992). Genetic

similarity between populations as measured by F_{st} , can be attributed to migration or historical association (Slatkin, 1995). The same results whether 6% is obtained in *Pinus nigra* in plantation (çengel and *al.*, 2012). Kathleen and Furnier (2002) observed 3,7% of the genetic diversity among population in *Abies balsamea*. Papi and *al.*, (2012) observed a high level of within population variation and low genetic differentiation between them. In fact, Hamrick and Godt (1996) reported that isoenzyme variation within populations of out crossing species was higher than that observed among populations.

Observation of high genetic diversity based on microsatellite markers in the current study, should not be a surprise since previous studies revealed that *Abies numidica* in natural population (Satour, 1992). (Sadou and Fakheur, 2000 ; Aidi and Megdoud, 2001 ; Yaïche and Chebrek, 2002) shows evidence of substantial variation in morphological traits as seed, cone and leaf in the same plantation.

In Serraidi plantation, there is no significant correlation between geographic and genetic distance suggesting no spatial genetic structure. The distribution of genotypes is random, an individual of a given genotype is not surrounded by genetically related individuals within a short distance (Krouchi, 2011). In *Abies bracteata* population, Ledig and *al.* (2006) reports, similarly absence of correlation between genetic and geographic distance but has a low differentiation in spite of the fragmented range. (Krouchi, 2011) obtained same results in *Cedrus atlantica*. Nei's genetic distances highlight the rapprochement between adult and embryo in Serraidi plantation. Distances are also very low between Algerian and French populations; this suggests that these people come from the same origin which is the natural population of Babors in Algeria. Low levels of inter-population variation, indicate that many of the alleles are seen at similar frequencies in the different population sampled. The cause of this homogeneity is an open question: common history, wide spread gene flow or similar type of natural selection acting on alleles across the sampled population (Parducci and *al.*, 2001).

The results of the study on the genetic variation of some species of Mediterranean firs (*Abies nebrodensis*, *Abies alba*, *Abies cephalonica* and *Abies numidica*) led by Parducci and *al.* (2001) showed the presence of 18 haplotypes with coefficient of genetic diversity equal 0.968 in *Abies numidica* and the samples analyzed came from the natural population of Babors, these results are very close to those obtained in this study (18 haplotypes and $H_e = 0.847$), which suggests that the genetic diversity of *Abies numidica* is actually captured in the serraidi plantation.

Conclusion

Genetic diversity of *Abies numidica* is effectively captured in plantations, Serraidi plantation is the only site isolated and located within the natural range (Algeria) of *Abies numidica*, which seed production is important and variables depending on year and trees. Genetic quality in terms of diversity in progeny is slightly lower than that of the adult generation. Mixing of seeds from one year to another for several years would venture to restore a level identical to that of seed diversity. Genetic diversity is important within populations in serraidi while population structure is absent. Regarding capturing genetic diversity from natural population the present data demonstrated that the number of trees used in serraidi plantation (80-100) is adequate to conserve a high level of genetic diversity.

French arboretum presents a significative conservation of genetic diversity of *Abies numidica* ex situ and could serve as a source of seed if they were isolated because when species of genus *Abies* are mixed there is hybridization.

Bibliographic references

1-Aidi F. and Megdoud A.,2002 : Contribution à l'étude de la variabilité inter-arbre des caractères des cônes, de la production grainière, de la germination des graines et des paramètres de vigueur des plants du Sapin de numidie (*Abies numidica* De Lann) dans la plantation de Serraidi. Mem.Ing. U.M.Mammeri de Tizi-Ouzou, Algérie. 54P.

2-Çengel B, Tayanç Y., Kendemir G., Velioglu E., Alan M. and Kaya Z., 2012: Magnitude and efficiency of genetic diversity captured from seed stands of *Pinus nigra* (Arnold) subsp. *pallasiana* in established seed orchards and plantations. New Forest 43:303-317

3-Conte L., Cotti C., Schicchi R. Raimondo F.M., Cristofolini G., 2004 : Detection of ephemeral genetic sub-structure in the narrow endemic *Abies nebrodensis* (Lojac) Mattei (Pinaceae) using RADP markers. Plant Biosystems 138, 279-289.

4-Dorset W., Trapnell J., Hmarick L., Vivian Negron-Ortiz, 2012 : Genetic diversity within a threatened, endemic North America species, *Euphorbia telephioides* (Euphorbiaceae). Conserv. Genet. 13:743-751.

5-Duckrey M., 1998 : Aspects ecophysiologiques de la réponse et de l'adaptation des sapins méditerranéens aux extrêmes climatiques : gelée printanières et sécheresse estivale. Forêt méditerranéenne T.XIX, n°2.

6-Eliades N-G. H., Gailing O., Leinemann L., Fady B., Kinkeldey R., 2011: High genetic diversity and significant population structure in *Cedrus brevifolia* Henry, a narrow endemic Mediterranean tree from Cyprus. Plant syst. Evol. 294:185-198

7-Fady B. , 2005 : Utiliser le Sapin d'Algérie pour sauvegarder la forêt provençale. Rapport scientifique final. INRA-URFM.Avignon, France.6P.

8-Fady B., 2005: Biodiversité des populations de conifères : existe-t-il une spécificité méditerranéenne ? Mémoire pour habilitation à diriger des recherches. U.P . Cézanne, France. 58 P.

9-: Gharzouli R. et Djellouli M. (2005) : Diversité floristique de la kabylie des Babors (Algérie). Sécheresse Vol. 16, n°3.

10-Hamrick J.L., Godt M.J.W. and Sherman-Broyles S.L., 1992 : Factor influencing levels of genetic diversity in woody plant species. New For 6: 95-124.

11-Hamrick J.L., Godt M.J.W. 1996: Effects of life history traits on genetic diversity in plant species. Phil.Trans.R.Soc.Lond.B.35,1291-1298.

12-Jarne P. and Lagoda P.J.L, 1996: Microsatellite, from molecules to populations and back. Trends Ecol Evol 11: 424-429.

13-Kalinowski ST ,2009: How well do evolutionary trees describe genetic relationship among populations?.Heredity, 102,506-513

14- Kathleen L. S. and Furnier G. R.,2002: Genetic variation and population structure in central and isolated population of Balsam Fir, *Abies balsamea* (Pinaceae). American Journal of Botany 89 (5): 783-791

15- Kolai L.(1986): La sapinière d'*Abies numidica* dans le mont Babors. Ann.Rech.For, INRF Bainem (Algérie). 85-97.

16-Kremer, 1994:Diversité génétique et variabilité des caractères phénotypiques chez les arbres forestiers. Gent Sel Evol 26, Suppl1,105s-123s.

17-Krouchi F.,2011 : Etude de la diversité de l'organisation reproductive et de la structure génétique du Cèdre dev l'Atlas (*Cedrus atlantica M.*) en peuplement naturel (Tala-guilef, Djurdjura nord-Ouest, Algérie). Th. Doc. U.M.Mammeri, Tizi-Ouzou, Algérie.127P.

18-Ledig F.T., Hodgskiss P.D. and Johnson D.R. ,2006 : Genetic diversity and seed production in Santa Lucia fir (*Abies bracteata*), a relic of the Miocene Broadleaved Evergree. Forest. Conserv. Genet. 7,383-398.

19-Mitton J.B. ,1992 : The dynamic mating system of conifers. New For6, 197-216.

20-Papi R.M., Spanos K.A., Kyriakidis D.A. , 2012: Genetic variation of *Fraxinus angustifolia* natural populations in Greece based on nuclear and chloroplast microsatellite markers. Eur. J. Forest Res. 131:1151-1161

- 21-Parducci L., Szmidt A.E., Madaghiele A., Anzidei M., Vendramin A. 2001** : Genetic variation at chloroplast microsatellites (cpSSRs) in *Abies nebrodensis* (Lojac.) Mattei and three neighboring *Abies* species. *Theor Appl Genet* (2001) 102 : 733-740.
- 22-Pautasso M., 2009** : Geographical genetics and the conservation of forest trees. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 11:157-189.
- 23-Peakall R. and Smouse P.E. , 2006**: GENALEX 6: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research. *Molecular Ecology Notes* 6,288-295.
- 24-Pyhäjärvi T., Salmela matti J., Savolainem O., 2008** : Colonization routes of *Pinus sylvestris* inferred from distribution of mitochondrial DNA variation. *Tree Genetics&Genome* 4:247-254
- 25-Sadou H. et Fakheur S., 2001** : Etude de la variabilité inter-arbre du Sapin de Numidie (*Abies numidica* De Lann) dans la plantation de Serraidi : approche morphologique et physiologique. Mem. Ing.U.M.Mammeri de Tizi-Ouzou, Algérie.79P
- 26-Satour A. , 1992**: Contribution à l'étude biosystématique du sapin de Numidie (*Abies numidica* De Lann). Mem. Ing.U.M.Mammeri de Tizi-Ouzou, Algérie.92P.
- 27-Slatkin M., 1995** : A measure of population subdivision based on microsatellite allele frequencies. *Genetics* 139:457-462
- 28-Teixeira H.,Rodriguez-Echeverria S. and Nabais C. 2014**: Genetic diversity and differentiation of *Juniperus Thurifera* in Spain and Morocco as determined by SSR. *PLOS ONE*/ www.plosone.org. Vol.9/issue2/e88996.
- 29-Terrab A., Paun O., Talavera S. Tremestsberger K, Arista M. and Stuessy T.F., 2006**: Genetic diversity and population structure in natural populations of Moroccan Atlas Cedar (*Cedrus atlantica* ; Pinaceae) determined with cpSSR markers. *American Journal of Botany* 93(9):1274-1280.
- 30-Troupin D, Nathan R. and Vendramin G., 2006** : Analysis of spatial genetic structure in an expanding *Pinus halepensis* population reveals development of fine-scale genetic clustering over time. *Molecular Ecology* 15, 3617-3630
- 31-Yaiche T and Chebrek L., 2003**: Etude de la variabilité intraspecificue de sapin de Numidie et effet du stress hydrique osmotique sur la germination des graines dans la plantation de Serraidi. Mem. Ing. U.M.Mammeri de Tizi-Ouzou, Algérie 82P.

Chapitre 8: Efficiency of seed production and cone size of *Abies numidica* De Lannoy in plantation

EFFICIENCY OF SEED PRODUCTION AND CONE SIZE OF ABIES NUMIDICA DE LANNOY IN PLANTATION

M. ILLOUL-HACHI¹ A. DERRIDJ² & B.FADY³

^{1,2}Département d'Agronomie, U.M. Mammeri de Tizi-Ozou, Algérie

³Institute National de Recherche Agronomique, URFM d'Avignon, France

ABSTRACT

Total seed number /cone, proportion of filled seeds/cone, cone size (diameter, length) and weight are used to evaluate the seed production of *Abies numidica*.

Total number of seeds/cone ranged between 572 - 98 (2000), 410 - 223 (2001) and 459 -251 (2002). The filled seed rate varying between 70 -194 (2000), 72 - 205 (2001) and 58, 18 -233 (2002). The number of reproductive equivalent N (27.56) is the highest in 2000 and the production is high but the proportion of filled seed is the lowest. The SEF (47, 37) is highest in 2002.

Seed production is variable between years and trees, the production is continuous on 03 years or there is an alternation in years or the production is limited to 2000.

Cone length, cone weight and total seed /cone and weight of filled seed are significantly correlated. The diameter of cone is significantly correlated with the rate of filled seed

KEYWORDS: Cone, Efficiency, Seed Production, Year, Tree

INTRODUCTION

Abies numidica De Lannoy is an endemic forest species in Babors mountains (Algeria), it covers an area of 300 ha [1]. It is a kind of mountain, like all Mediterranean pines for which the natural area is located in areas beyond the 2000m with cold, very cold winters [2], it is met from 1650m and goes up to 2000m [3]. *Abies numidica* is a genetic resource that is important to maintain, it is indeed threatened because of the small number of individuals in the natural population and its endemism. *Abies numidica* is a seldom and endangered species, classified in the list of species protected and non-cultivated plant, it was introduced outside its natural range in some arboreta (Chr ea, Djbel Ouahch and Serraidi) in Algeria and sites in France.

Maintains its starts with its capacities of seed production, seed quality and natural regeneration.

Cone seed contents is a reliable and simple tool in monitoring forest trees seed crops in seed orchards [4]. In artificial stands settled for breeding programs an understanding of trees reproductive processes and their biology is essential for maximizing genetic gain obtained from tree breeding [5]. Reducing seed loss is a major concern in seed production and tree breeding program [4].

In flowering plants, low seed production can result from low availability of resources, low pollen transfer and

flower or seed predation [6]. The low efficiency may be due to large distances between conspecifics, low pollen production by individuals, and poor pollen dispersal. These conditions are assumed to affect both ovule fertilization and seed production negatively [7]. Predicting pollen cone production as well as seed-cone production is required because pollen levels determine rates of fertilization and degree of panmixie [8].

Year is suggested to cause a significant variation in reproductive components such as the number of cones and the number of seeds per cone [9], [10]. Of the reproductive traits examined at cone level seed efficiency is the most common one. It measures the filled seed produced per cone as percentage of the seed potential (number of fertile ovule per cone [11], [4] and [12].

MATERIEL AND METHODS

Cones were collected from the plantation located in Serraidi forest which located between 7 ° 54' Nord and 36 ° 38' Est at a distant from the sea of about 7km, average altitude of 856m, in the variant bioclimatic humid, with Q₂ calculated equal to 148,06. The average annual rainfall is 984.25 mm. *Abies numidica* has been introduced in 1968 from natural stands of Babors. Cones were harvested on 30 trees, the sample is realized on three (03) consecutive years with a follow on same trees on which we collected a variable number of cones (5and8). In laboratory, these cone were disjointed manually, seeds were separated by tridensimetric in ethanol 90°C to separate filled seeds (good seeds) and empty seeds.

On each cone we measured length (Lc), diameter (Dc) with a caliper and Weight (Pc) with precision scales. We counted total number seed/cone (TNS), Number and average weight of filled seeds (FNS/C and W) and proportion of filled seed / cone (PFS/C) we have calculated. Equivalent number reproductive N: it corresponds to the number of trees that produced seed out of trees.

Seed efficiency, (SEF) is defined as the number of filled seeds to the total number of ovule initiated on the fertile scales or total seed production;

RESULTS

Cone Seizes and Weight

Table 1: Basic Statistics Analysis

	Year 2001					Year 2002				
	Mean	Min	Max	ET	CV (%)	Mean	Min	Max	ET	CV (%)
Pc	109, 40	31,09	167, 83	40, 08	37, 15	60, 35	18, 51	116, 40	27, 42	46, 11
Lc	14, 20	7, 92	21, 29	3, 21	22, 68	12, 23	8, 51	16, 36	2, 22	18, 12
Dc	4, 35	3, 74	4, 64	0, 33	7.62	3, 48	2, 75	4, 21	0, 51	14, 64

Legend: -Pc: cone weight, cone length (Lc), cone diameter (Dc), Min: Minimum, Max: Maximum.

The average length of cone is 14.20 cm ranging between 7.92 -21.29 cm, with a variation coefficient of 22.68% for 2001, and 12.23 cm ranging between 8.51 -16 36 cm with a coefficient of variation of 18.12% for 2002. The average diameter is 4.35 cm ranging between 3.74-4.64cm for 2001 and 3.48 cm ranging between 2.75-4.21 cm for 2002 and. The average weight of cone is 109.40 g ranging between 31.09 - 167.83 g with a CV of 37.15% for 2001 and 60.35 g ranging between 18.51 -116.4 g and the CV is 46.11% for the year 2002 (Table.1

Table 2: Variance Analysis

Variables	Year 2001					Year 2002				
	ddl	SCE	CM	Fobs	P	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Pc	26	186383	32,606	5,723	0.00	19	63114.41	3321.81	29.67	0.00
Lc	26	1197,10	2,284	3,935	0.00	19	413.55	21.77	18.27	0.00.
Dc	26	12,964	0,260	5,953	0.00	19	19.74	1.04	51.83	0.00

The differences between trees are significant at the 5% level, there is a significant heterogeneity within the same population, the effect of tree is important every year (Table 2).

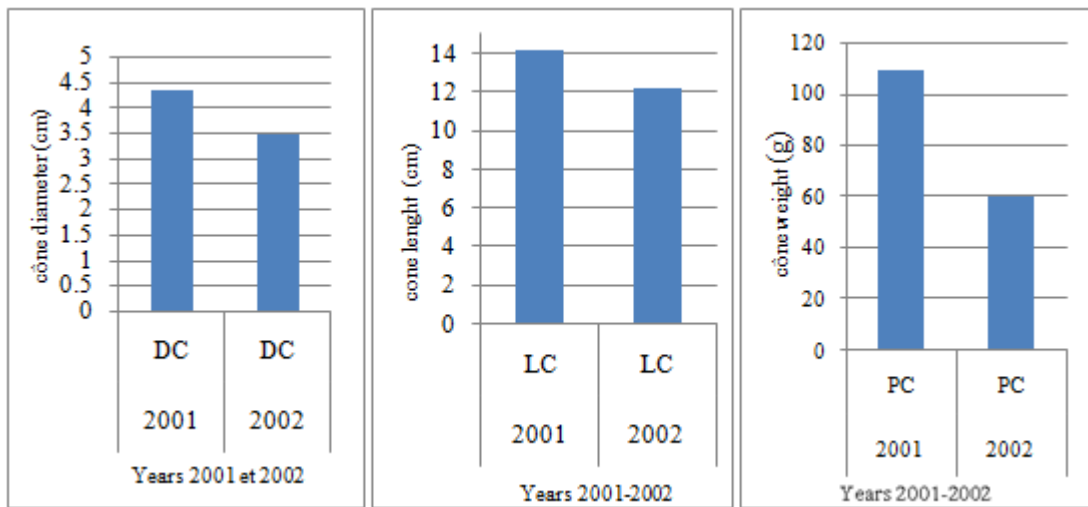


Figure 1: Cone Size and Weight Variation between Years 2001 and 2002

Diameter and length of the cone do not vary greatly from year to year, they mark a stability, however the weight of the cone seems more variable, cones of 2001 are heavier and there was a decrease in the weight of cones the following year. The variation in each population or between trees is also important, given the coefficients of variation obtained, this variation is more important for the year 2002 regarding the size of cones. The weight of the cone is the character that showed a net change inter year, the effect of the tree is also significant each year (Fig.1)

Seed Production

Average Number of Seeds per Cone and Average Number of Filled Seeds per Cone

The average number of seeds per cone is 293.83 for 2000 ranging between 97.75- 572 seeds, 325.54 in 2001 ranging between 194.33 -432.66 and, 383.94 in 2002 ranging between 251.50 -520.20. For the year 2000 rate of filled seeds is not very important not exceeding 32.34%, in contrast to two years, an inter-individual variation is very important (Table 3,4, 5)

Average Weight of Seeds per Cone

There is a significant change in the average weight of filled seeds between two years, in fact it is 80.85 g and 248.00g respectively for 2000 and 2001. The change is also important among trees for a year with a maximum of 392 g and a minimum of 43 g for the year 2001. Results of variance analysis showed significant differences (0.05) between trees within a population (Table 3,4,5).

Table 3: Basic Statistics Analyses (2000)

Variable	Year 2000				
	Mean	Maximum	Minimum	ET	CV
TNS/C	293.83	572.00	97.75	75	40
FNS/C	97.15	195.00	39.00		
PFS/C (%)	32.34	54.08	12.60	25	45
W (g)	80.85	104.97	14.37		
SEF	33.06				
N	27.56				

Legend: TNS: Total number seed, FNS/C: Filled seed number per cone; PFS/C: Filled seed proportion; W: Weight SEF: seed Efficiency; N: Reproductive equivalent number

Table 4: Basic Statistics Analyses (2001)

Variable	Year 2001				
	Mean	Maxim	Minimum	ET	CV
TNS/C	325.54	432.66	194.33	70	22
FNS/C	152 .06	217.66	39.66		
PFS/C (%)	47.12	63.75	20.44	16.4	35.5
W (g)	248.00	392.00	43.00	0.82	32.12
SEF	46.71				
N	8.68				

Table 5: Basic statistics Analyses (2002)

Variable	Year 2002				
	Mean	Maximum	Minimum	ET	CV
TNS/C	384.94	520.20	251.50	66	17
FNS/C	182.96	296.5	83.29	55	30
PFS/C (%)	47.52	57.00	33.11		
W (g)	-		-		
SEF	47 37				
N	22.26				

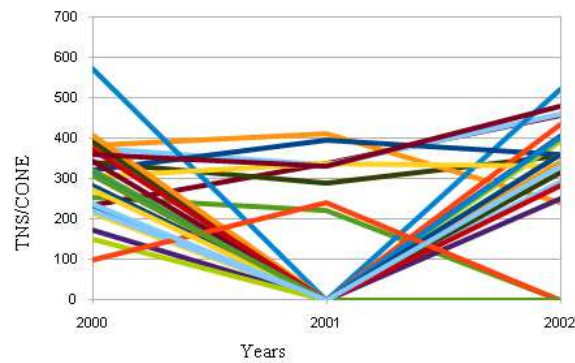


Figure 2: Seed Production between Years

There is a variation between years (Figure 2), reflecting the effect of year on seed production, explaining the reproductive behavior of trees. Indeed, three groups of trees emerge: trees produce seeds in three consecutive years, others against produce seeds every two years to know a good production in 2000 but not in 2001, followed by a good production in 2002 and finally, a group of tree that produce successively in 2000 and 2001.

The year 2000 is considered as a reference year because all the trees have produced the cone and the equivalent number reproductive N is 27.56 on a total of 30 trees, followed in 2002 with N equal to 22.26 (Table 3), but the year 2001 is the year when the number of trees that produced seed is the lowest, N do not exceeding 8.68, however, the rate of filled seeds is most important for the year 2002 followed by 2001.

In 2000 SEF is 33.06 while it was 46.71 and 47.35 respectively for the years 2001 and 2002, this years have better production filled seeds than 2000. The SEF indicate That seeding in a good year, as in 2002 where 47.35% of egg fertile initiated on the scale of the cone to may develop fully filled seed, Whereas relatively lower seeding years in the proportion of eggs all which fulfilled such development was lower.

Table 6: Correlation between Cone Size and Cone Seed Production

Variables	Lc	Dc	Pc	TNS/C	PFS/C	W
Lc	1.000					
Dc	0.141	1.000				
Pc	0.738	0.335	1.000			
TNS/C	0.777	0.140	0.775	1.000		
PFS/C	0.229	0.425	0.223	0.075	1.000	
W	0.604	0.274	0.583	0.512	0.688	1.000

There is a very highly significant correlation between length and weight cone and total number seeds per cone (Table 6).

The diameter of the cone is significantly correlated with the rate of filled seeds, which explains the location of such seeds to this part of the cone. There is no correlation between the total number of seeds produced by tree and the rate of filled seed, which is largely explained through the results as the change of SEF.

DISCUSSIONS

The dimensions and weight of cones are allowed to discriminate against them trees and explain the heterogeneity within a population. The weight of cones appeared more variable between years [11] and [4] observed the same results in *Cedrus atlantica*.

The number of seed corresponding to ovule initiated per cone, revealed proportionate to cone length ($r= 0.777$), this is logical since a bigger cone may contain a larger number of scales which in turn may support a larger number of ovules [4]. An important seed production does not necessarily correspond to an important production filled seeds, [13] observed in populations of *Pseudotsuga menziesii* with wide cones an important grain production and heavier seeds but not necessarily high seed efficiency.

We observed in this study a significant correlation between cone size and seed production and the weight of seed. All cone and seed traits showed a highly significant variation between years and trees. [14] propose that the number of seed per cone was more related to cone size, in the same results [15] observed that the number of seed per cone and the number of filled seed per cone varied significantly between geographical regions and among population. The character weight appears to be the most variable character from one year to another it depends on the weather conditions throughout the period of development of the flowering natural to cones disarticulation [16], [17] and [9].

The stand effect is considered as a factor responsible of variation in parameters of reproductive success and seed efficiency of coniferous species [11] and [4]. [18] observed on *Abies pinsapo* a seed crop viability which was four times greater in the high density population than in the low density one, they suggest in a previous study [19] the lower number of viable seeds per tree in low density area to be a direct consequence of lack of pollen. [20] and [12] found different values of seed efficiency among sites of *Abies amabilis*, [4] found the same results in *Cedrus atlantica* they linked this to differences in pollen availability. [7] found mean pollen production and mean nearest neighbor distance were recorded for several populations of *Taxus canadensis* and correlated with the proportion of ovules pollinated and, seed set was correlated most strongly with pollination success and mean ovule production. Seed production is limited by pollen supply or by resource available to the mother plant maturing seeds. [21] proposed a model showing that natural selection may often act to bring the female's allocation of her reproductive effort to a point where seed production is limited by both pollen supply and provisioning resources, the [21] model indicate that seed production could be expected to respond to a decrease in pollen supply but not to an increase. In the same results [6] suggested a strict dichotomy between pollen limitation and resource limitation of female reproductive success in plants.

Year effect in the present study caused for its part substantial variation in the number of seed per cone with higher seed efficiency and higher cone production in 2002, [22] found an inter annual variation in seed efficiency among plantation of *Picea mariana*, [23] found a lower pollen crop and lower filled seed yield in two different years and suggested limited pollen supply as the main cause of the filled seed yield in cone year comparatively to the other in population of *Tsuga hatarophylla*, in the same results [11] and [4] observed a significant variation among years for the reproductive parameters on *Cedrus atlantica*.

There is an important variation in cone production per tree between years, so the cone production is lower in 2001 where $N= 8.68$ corresponding to number of tree produced a cone, than to 2001 with $N= 27.56$ and 2002 with $N= 22.2$. [8]

Observed a relationship between the production of cone pollen and seed cone with age of trees, the rate of growth cones varies between good and bad years of production, the annual fluctuations in the production of cones can be affected by the production of anterior years and environmental factors [9], [8] and [14].

CONCLUSIONS

In the present study we calculated the total number seed per cone and the proportion of filled seed, measured the cone size and weight and the tree reproductive number.

We examined the effect of year and tree on variation on cone-seed contents, seed number / cone and related SEF (Seed efficiency).

Year showed a global influence on seed production resulting in low and high seeding years, variation between trees is so important there is an important heterogeneity, the tree reproductive number is low in 2000 but high in 2002.

Cone weight is the trait which showed the retest variation among trees and years. There is a correlation between cone size and weight, this indicate that total number of seed/cone is sensitive to variation of cone weight and size tendency substantiated by the positive correlation between this parameters, this showed that there is a relation between resource allocation and environmental factors. These allometric relationships suggest the number of ovule initiated per cone to be proportionate to cone weight.

REFERENCES

1. Kolai L.1990 : La sapinière d'*Abies numidica* dans le mont Babor. Ann. Rec. For.Algérie, INRF, Bainem, pp. 85-97.
2. Duckrey M. 1998 : Aspect ecophysiologique de la réponse et de l'adaptation des sapins méditerranéens aux extrêmes climatiques gelées printanières et sécheresse estivale. Forêt méditerranéenne. XIX, 2, mai 1998;
3. Gherzouli R. 2007 : Flore et végétation de la kabylie des Babors étude floristique et phytosociologique de groupement Forestier et post forestiers des djbel Takoucht, Adrar ou-Mellal, Tababort et Babors. These Doc. U.F. Abbas, Setif, P. 373.
4. Krouchi F. 2011 : Etude de la diversité de l'organisation reproductive et de la structure génétique du Cèdre de l'Atlas (*Cedrus Atlantica* M) en peuplement naturel (Tala-Guilef, Djurdjura Nord-ouest, Algérie. These Doc. U.M.Mammeri de Tizi-Ouzou, Algérie. P.150
5. Edwards D.G.W. and El Kassaby Y.A. 1996: The biology and management of coniferous forest seed: Genetic perspectives. The Forestry chronicle, Vol.72 n°5 pp.481-484.
6. Campbell D.R. and Halama K.J. 1993: Resource and pollen limitation to lifetime seed production in a natural plant population. Ecology, 74(4), 1993, pp.1043-1051.
7. Allisson T.D., 1990: Pollen production and plant density affect pollination and seed production in *Taxus Canadensis*. Ecology, 71(2), 1990, pp.516-522.

8. Caron G.E. 1995: Seed-cone and pollen-cone production models for young black spruce seedling seed orchards : a first approximation. *Can. J.For. Res.*25 : 921-928 (1995).
9. Derridj A. 1990 : Etude de populations de *Cedrus atlantica* M. en Algérie. Thèse Doc. En Ecologie, U.P.S. de Toulouse, France, P.288
10. Houle, G and Fillon, L. 1993: Interannual variation in the seed production of *Pinus banksiana* at the limit of the species distribution in northern Quebec, Canada. *Amer. J.Bot.* : 80: 1242-1250.
11. Krouchi F., Derridj A. and Lefevre F. 2004: year and tree effect on reproductive organization of *Cedrus Atlantica* M. in a natural forest. *Forest Ecology and Management*, 197:181-189.
12. Owens J.N. Bennet J. and L'Hirondelle S. 2000 Pollination and cone morphology affect cone and seed production in lodge pole pine seed orchards. *Can. J.For.Res.* 35: 383-400;
13. Mapula-Lareta M., Lopez-Upton J., Vargas-Hernandez J.J. and Hernandez-Liver A. 2007 : Reproductive indicators in natural populations of Douglas-fir in Mexico. *Biodiversity and conservation*, 16: 727-742.
14. **Messaoud Y., Bergeron Y. and Asselin H. :** Reproductive potential of Balsam fir (*Abies Balsamea*), White Spruce (*Picea glauca*) and Black Spruce (*P. Mariana*) at the ecotone between mixed wood and coniferous forests in the boreal zone of western Quebec. *American Journal of Botany* 94(5) : 746-754, 2007.
15. Garcia D. Zamora R. Gomez JM. Jordano P. and Hodar A. Geographical variation in seed production, predation and abortion in *Juniperus communis* through its range in Europe. *Journal of Ecology* 2000, 88, 436-446 ;
16. Toth J. (1978) : Contribution à l'étude de la fructification et de la regeneration naturelle du Cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* M.) dans le sud de la France. Th. Doc.Ing.Fac. des Sci et Tech.. Marseille St. Jerome : 136P.
17. Toth J. (1980) : Le Cèdre II: la graine, la dissémination, l'extraction, la qualité, la germination, la conservation. La forêt privée. 131P.
18. Arista M. and Talavera S. 1996: Density effect on the fruit-set, seed crop viability and seedling vigor of *Abies pinsapo* . *Annals of Botany* 77: 187-192.
19. Arista M. and Talavera S.1994: Pollen viability and pollen dispersal capacity of *Abies pinsapo* Bois. *Silvae Genetica*, 43: 155-158.
20. Owens J.N. and Moris S.J. 1998: Factors affecting seed and cone development in Pacific silver fir (*Abies amabilis*). *Can. J. For. Res.* 28: 1146-1163.
21. Haig D. and Westoby M. 1988: Note and comments on limits to seed production. *Am.Nat.*1988. Vol.131, pp.757-759.
22. Caron G.E. and Powell, G.R.1989: Cone size and seed yield in young *Picea mariana* trees. *Can.J.Fore.Res.*19 (3): 351-358.
23. Collangeli A.M. and Owens J.N. 1990: Cone and seed development in a wind-pollinated, western hemlock (*Tsuga heterophylla*) clone bank. *Can. J.For.Res.*20: 1432-1437.

Conclusion Générale

CONCLUSION GENERALE

Au terme de cette recherche, il convient de rappeler de façon synthétique les principales conclusions auxquelles nous avons abouti.

Les aiguilles possèdent des stomates sur les deux faces, le nombre de lignes de stomates est cependant plus important et plus structuré sur la face inférieure que sur la face supérieure où les stomates sont localisés vers l'extrémité de l'aiguille. Ce caractère pourrait être considéré comme une caractéristique de l'espèce *Abies numidica*. Le nombre de lignes de stomates sur la face inférieure et la largeur des aiguilles sont moins variables que le nombre de lignes de stomates sur la face supérieure ainsi que la densité des stomates sur les la face supérieure des aiguilles qui ont tendance à plus discriminer les arbres. Par ailleurs, la variabilité individuelle des dimensions (Longueur, largeur et épaisseur) des aiguilles est nettement plus faible.

Il existe une corrélation positive et significative entre la largeur et la longueur des aiguilles et non significative avec l'épaisseur des aiguilles, les aiguilles longues peuvent être larges mais pas nécessairement épaisses. La corrélation entre la largeur et l'épaisseur des aiguilles est très significative. L'épaisseur et la largeur des aiguilles sont positivement corrélées au nombre de lignes de stomates sur les deux faces des aiguilles, ainsi les aiguilles larges et épaisses sont riches en stomates.

Le nombre de lignes de stomates sur la face supérieure est positivement corrélé à la densité des stomates sur la même face, mais il n'a été relevé aucune corrélation entre le nombre de lignes de stomates sur la face inférieure et la densité des stomates sur la même face des aiguilles, sur cette face, les stomates sont groupées en lignes discontinues et irrégulières vers l'extrémité des aiguilles, la densité peut donc être importante sans toute fois que le nombre de lignes soit élevé.

Il n'a été observé aucune corrélation entre la longueur des aiguilles et les caractères des stomates (nombre de lignes de stomates et densité des stomates sur les deux faces).

Le nombre de canaux résinifères est de deux pour toutes les aiguilles. La distance entre les parois des canaux résinifères et les parois des aiguilles sont plus larges lorsque les aiguilles sont épaisses. Les aiguilles fines possèdent des canaux résinifères presque en contact avec les parois des aiguilles. De ce fait, les aiguilles fines possèdent des canaux résinifères angulaires tandis que les aiguilles épaisses des canaux résinifères subangulaires. On peut conclure que les deux types se retrouvent chez *Abies numidica*.

CONCLUSION GENERALE

Le diamètre et la longueur du cône ne varient pas considérablement entre les années. Ils marquent une stabilité, mais le poids du cône semble plus variable. Les cônes de l'année 2001 sont plus lourds. Compte tenu des coefficients de variation obtenus, la variabilité de la taille des cônes est plus importante pour l'année 2002. La variation entre les arbres est également importante.

La production grainière est variable entre les années et entre les arbres reproducteurs pour la même. En effet, trois groupes d'arbres émergent : les arbres produisant des graines sur trois années consécutives, d'autres produisent des graines tous les deux ans avec une bonne production en 2000 mais faible en 2001, suivie par une bonne année de production en 2002. Un groupe d'arbres qui produisent successivement en 2000 et 2001. L'année 2000 est considérée comme une année de référence, car tous les arbres ont produit des cônes. Le nombre d'équivalent reproducteurs N est 27.56 sur un total de 30 arbres. En 2002, N est égal à 22,26, mais l'année 2001 est l'année où le nombre d'arbres qui ont produit des semences est le plus faible, N ne dépassant pas 8,68. Le taux de graines pleines est toutefois plus important pour l'année 2002, suivi de 2001.

Les dimensions ainsi que le poids des graines sont très variables entre les différents arbres. Il existe une corrélation significative entre les dimensions des graines et leur poids, les graines longues et larges sont lourdes. De même, Leishman et Westoby (1998) rapportent que le poids des graines est lié à la variance de leurs dimensions. Les résultats de Bretagnolle et *al.* (1995) suggèrent qu'il y a une importante interdépendance entre la taille des graines, leur germination et la croissance des plantules. La dispersion des graines par anémophilie notamment, dépend partiellement de leurs dimensions et leur poids. Les graines de taille réduite, plus légères, auraient un cercle de dispersion plus important que celui des graines lourdes ; elles contribuent ainsi plus à l'extension de la population et au recrutement de nouveaux individus en dehors de la plantation.

Les taux moyens de germination obtenus ne sont pas très élevés, ne dépassant pas en moyenne, 41% sur les trois années d'étude. La variabilité est très importante entre les arbres, révélant pour certains, des taux très importants (60 à 70%) et pour d'autres, les taux sont très faibles (0 à 10%), ce sont les meilleurs arbres qui contribueront plus à la régénération naturelle. Le sapin de Numidie est une espèce qui germe de manière très variable. Les espèces du genre *Abies* sont caractérisées par des graines dont le taux de germination dépasse rarement 50% (Hickel, 1911). Fady (1990), Satour (1992) et Illoul (1998) ont aboutit aux mêmes résultats chez, respectivement *Abies cephalonica*, *Abies numidica* et *Abies alba*.

CONCLUSION GENERALE

Le temps moyen de germination accuse une variation inter annuelle plus importante que le taux moyen de germination. En revanche, la variation inter- arbre est nettement plus marquée que la variation inter-années. Le taux moyen de germination tend à augmenter de l'année 2000 à l'année 2002, tandis que le temps moyen de germination est de plus en plus réduit. La maturation des graines s'échelonne ainsi sur plusieurs années. La qualité des semences ou des graines devient meilleure d'une année à l'autre, ce qui laisse prédire de meilleures récoltes au fil des années. La plantation de Serraïdi semble pouvoir correctement servir de lieu de récolte des graines pour la conservation et l'utilisation de l'espèce.

La densité de la population ne dépassant pas en moyenne 100 arbres, ce qui semble avoir des conséquences sur la production de graines pleines et viables, favorisant essentiellement l'autofécondation, le cercle de dispersion des grains de pollen est réduit, ce qui affecterait la viabilité et le taux de graines pleines, comme chez la plupart des conifères. Arista et Talvera (1996) rapportent d'ailleurs que la densité du peuplement influe sur la viabilité des graines. D'autre part, à l'intérieur des peuplements de Sapin, la consanguinité est très élevée et l'autofécondation est très fréquentes (Fady, 1990). Arista et Talvera (1996) affirment que la viabilité des graines est faible chez les sujets isolés, pour lesquels le recours à l'autofécondation serait le seul moyen de se reproduire. Pour Pichot et *al.* (2006), les mères les plus autofécondées se situent dans les zones à faible ou moyenne densité de semenciers. Enfin la diminution du nombre de semenciers augmente significativement le taux de graines vides dans les cônes. Dans les peuplements de faible densité, la disponibilité du pollen est réduite (Cram, 1984), il y aurait aussi une bonne corrélation entre les capacités germinatives du pollen et celles des graines.

La germination des graines est nettement corrélée aux dimensions et au poids des graines, mais il n'a été observé aucune relation avec les dimensions des cônes.

Le taux moyen de germination diminue considérablement avec l'augmentation du stress hydrique osmotique du substrat. Le taux moyen du traitement témoin ($T=0$) est de 42,56%. La réduction du taux moyen de germination est de 23% à -0,2 Mpa, 34,91% à -0,4Mpa, de 34,64% à - 0,6 Mpa et de 52,43% à -0,8 Mpa, par rapport au traitement témoin. Les résultats obtenus font apparaître des différences très nettes des facultés germinatives des graines entre les arbres sous l'effet du stress hydrique osmotique. Certains arbres produisent en effet, des graines très sensibles au déficit hydrique, pour d'autres les graines sont moins sensibles. Bien qu'il y'ait une diminution du taux de germination à partir de -0,2Mpa, les

CONCLUSION GENERALE

taux restent intéressants (40 et 55 %). Certains arbres maintiennent d'ailleurs des germinations importantes même à -0,8 Mpa. Le sapin de Numidie est de ce fait une espèce tolérante au stress hydrique au stade de germination. La variabilité inter arbres est très marquée.

A Serraidi, *Abies numidica* montre une importante diversité génétique ($H = 0,846$ variant entre 0.787 et 0.898), le nombre d'haplotypes est de 18, ces résultats sont proches de ceux obtenus par Parducci et *al.*, (2001) ($H = 0.968$ avec 18 haplotypes) sur des graines provenant des Babors, la diversité génétique de la population naturelle semble ainsi bien conservée dans la plantation de Serraidi. D'après l'étude Parducci et *al.*, (2001) *Abies numidica* est proche d'*Abies cephalonica* (18 haplotypes et $H = 0.978$).

La diversité génétique dans la descendance est légèrement inférieure à celle de la génération adulte. 94% de la variance moléculaire réside en effet, au sein de la même population d'arbres adultes ou la population embryons mais, seulement 6% entre les deux populations. Il en résulte ainsi, une bonne transmission de cette diversité des parents vers les descendants. Un mélange de semences sur plusieurs années pourrait rétablir un niveau identique à celui de la diversité des adultes. Cependant, la structure géographique de cette diversité est absente.

Entre les arboretums Français et la plantation Algérienne, la diversité génétique est plus importante à l'intérieur de chaque population (entre arbre) mais faible entre les populations. En effet 97% de la variance génétique est observé au sein de chaque population mais seulement 3% de la variance entre les différentes populations.

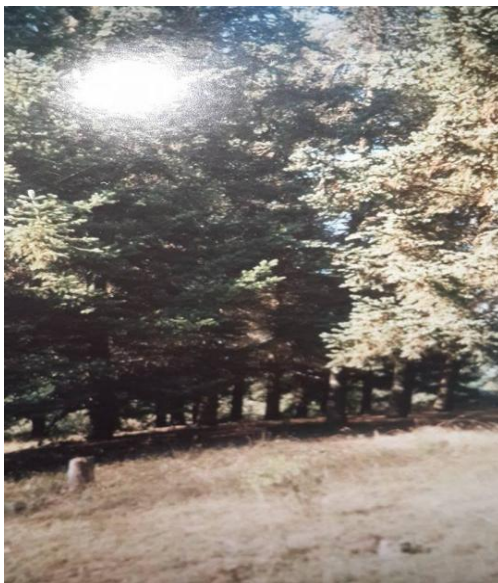
Le nombre d'arbres plantés à Serraidi pourraient être suffisant pour conserver un niveau élevé de diversité génétique. Les Arboretum français présentent quant à eux, une conservation ex situ significative de la diversité génétique d'*Abies numidica*. Ils pourraient servir comme source de semences si elles ont été isolés, parce que quand des espèces du genre *Abies* sont mélangés comme c'est le cas dans les arboretums français, les hybridations inter spécifiques sont fréquentes (Fady, 2005).

La variabilité de la population de Serraidi a été mise en évidence par des caractères morphologiques des aiguilles, des graines et des cônes puis affinée par les marqueurs moléculaires, neutres et indépendants de l'environnement. La qualité de la production grainières dont la variabilité inter arbres et inter annuelle est significative, reste un indicateur de la capacité des arbres à se

CONCLUSION GENERALE

reproduire et à produire des semences viables. Ces semences sont résistantes au déficit hydrique. Les conditions écologiques en l'occurrence les variantes pédoclimatiques notamment un climat humide à variante « doux », l'altitude et l'humidité dans la forêt de Serraidi, paraissent favorables à l'extension du sapin de Numidie en dehors de son aire naturelle, les Babors. La population de Serraidi pourrait constituer ainsi une population de conservation et, elle pourrait servir de site exemplaire pour servir comme source de graines.

Le recrutement de nouveaux individus au vue de la régénération en place (Figure 25) et les capacités des arbres à produire des semences permettra d'augmenter la taille de la population et d'évoluer vers une structure plus hétérogène élargissant ainsi le cercle pollinique et la diversité génétique. Ces résultats dénotent de la capacité d'*Abies numidica* à se développer et à se maintenir en dehors de son aire naturelle.



A



B

Figure 29 : Régénération du sapin de Numidie dans la plantation de Serraidi entre l'année 2003 (A) et 2012 (B)(source : Ait Kaki, 2013).

Il est impératif et dans un objectif de conservation de créer d'autres plantations avec des graines issues de la sapinière des Babors.

CONCLUSION GENERALE

La continuité de cette recherche doit se faire en complément avec les échantillons récoltés sur des arbres dans la sapinière des Babors pour affiner les résultats ainsi obtenus.

Références bibliographiques

Références Bibliographiques

- Abassi M., Mguis K., Nja R.B., Albouchi A., Boujneb D. et Bejaoui Z. ,2012 : Adaptation micro morphologiques foliaires développées par le peuplier blanc (*Populus alba* L.) face à la salinité. Acta Botanica Gallina Botany Letters, Vol. N°1 (59-15).
- Abdelli D., 2002 : Etude de la variabilité morphologique et anatomique de quelques provenances du Pin noir de la méditerranée occidentale (*Pinus nigra* Arn.). Mém. Magistère, Agronomie, U.M.Mammeri de Tizi-Ouzou. 155P.
- Ahmadloo F., Tabari M., Behtari B., 2011 : Effect of drought stress on the germination parameters of *Cupressus* seeds. International Journal of Forest, Soil and Erosion, 1 (1):11-17.
- Aidi F. et Megdoud A., 2002 : Contribution à l'étude de la variabilité inter-arbre des caractères des cônes, de la production grainière, de la germination des graines et des paramètres de vigueur des plants du sapin de Numidie (*Abies numidica* De Lann) dans la plantation de Serraidi. Mem. Ing. U.M. Mammeri de Tizi-Ouzou, Algérie. 54P.
- Aidrous N. et Adjaoud D., 1992 : Contribution à l'étude biosystématique du Pin noir du Djurdjura (*Pinus nigra* Subs Mauretunica Maire et Peyer). Mem. Ing. Ins. Agronomie, Univ. M.Mammeri, 134P.
- Ait Said S., Smail-Saadoun . et Kadi-Bennane L. ,2005 : Etude comparative de trois populations de *Pistacia atlantica* Desf. (Ain Oussara-Messad-Tamanrasset) par le biais des dimensions stomatiques. Actes des journées Scientifiques de l'INRGRE .Ann. INEGREF 7 : 13-26.
- Almansouri M., Kinet J.M., Lutts S., 2001 : Effect of salt and osmotic stress on germination in durum wheat (*Triticum durum* Desf). Plant and soil 231: 243-254.
- Allilou H., Rouhi R. et Idrissi Hassani L.M., 2006 : Effet de la pollution minière sur les paramètres stomatiques chez *Argania spinosa* (L).Biol. Biotec. 5 :41-45.
- Arbez M., 1969 : Etude comparative en pépinière de quelques provenances françaises de sapin pectiné (*Abies alba* Mill). Premier aperçu de la variabilité intraspécifique et mise au point sur le sapin de l'Aude. Ann. Sci. For., 24,4 (474-509).
- Arbez M. et Millier, 1970 : Comparaison de deux générations successives de sapin (*Abies alba* Mill.). Structure génétique de populations. Hypothèse sur l'action de la sélection naturelle. Ann. Sci. For., 27 (3), (287-301).

Références Bibliographiques

- Arbez M., 1987** : Les ressources génétiques forestières en France. T1- Les conifères, INRA, BRGP.
- Arbez M., 1988** : Méthodes biochimiques des caractérisations variétales des arbres forestiers. Rev.For.Fra.N°special, (71-76) ENGREF.288P.
- Arista A. and Talavera , S.,1996** : Density effect on the fruit-set, seed crop viability and seedling vigor of *Abies pinsapo*. Ann.of Botany 77 (187-192).
- Arista M. and Talavera S., 1997** : *Abies pinsapo* Boiss : a protected species in an protected area. Bacconea 7-1997.
- Asmani A., 1993** : Exploration de la variabilité chez le Pin noir de la forêt de Tigounatine (Djurdjura) en comparaison avec quelques provenances de Pins noirs méditerranéens. Th. Magistère Ins. Agronomie, Univ.M. Mammeri de Tizi-Ouzou 130P.
- Aussenac G., 1973** : Effet des conditions microclimatiques différentes sur la morphologie et la structure anatomiques des aiguilles de quelques résineux. Ann. Sc. For. (376-391)
- Aussenac G., 2002**: Ecology and ecophysiology of circum-Mediterranean firs in the context of climate change. Ann. For. Sci., 59 823-832.
- Barbero M.et Quezel P., 1975** : Les forêts de Sapin sur le pourtour méditerranéen. Anal.Inst.Bot. Cavanilles 32 (2) 1245-1289.
- Barbero M et Quezel P., 1976** : Les forêts du pourtour méditerranéen. Forêts et maquis méditerranéens. Ecologie, conservation et aménagement. Note technique du MAB, UNSCO, 2 (14-32)
- **Barbero, M., Loisel, R., Médail F.et Quézel, P., 2001**: Signification biogéographique et biodiversité des forêts du bassin méditerranéen. – *Bocconea* **13**: 11 -25.
- Barbero M., Loisel R. et Quezel P. et Quezel , 1995** : Les essences arborées des îles méditerranéennes : leur rôle écologique et paysager. Ecol. Médit., 20 (1/2) : 53-69.
- Barbey A., 1934** : Une relique de la sapinière méditerranéenne : Les monts Babors. Librairie Agricole de la maison rustique. Paris. (1-11).

Références Bibliographiques

- Bennadja, S. and Tlili Ait Kaki, Y. 2013:** The Fir of Numidia: a Threatened Species. – Kastamonu. Univ., J. Forest. Fac., Special Issue: 283-286.
- Bikay-Bikay V., 1977 :** Mise en évidence des isozymes par la technique de micro électrophorèse : Application à l'étude de la taxonomie expérimentale chez *Pinus nigra* (Arn). Th. Doct. Biochimie appliquée. 137P.
- Bilton M.C., Whitelok R., Grime J.P., Marion G. and Pakeman R.J. , 2010 :** Intraspecific trait variation in grassland plant species reveals fine –scale strategy trade offs and size differentiation that under pins performance in ecological communities. *Botanique* 88(12) 1045-1056.
- Birot Y., 1972 :** Variabilité intraspécifique du poids de la graine chez le Douglas (*Pseudotsuga menziesii*). *Silva. Gent.*, 21 (6), (230-242).
- Birot Y., 1978 :** Variabilité géographique du poids de la graine de *Pinus contorta*. *Silv. Gent.* 272 (32-40).
- Blondel, J. et Médail F., 2005:** Biodiversity and conservation.– Chapter 23 in Woodward, J. C. (ed.) *The physical geography of the Mediterranean Basin.* – Oxford.
- Bottaci A., Gellini R. and Grossoni P., 1990 :** Morphological and anatomical aspects of *Abies nebrodensis* (Lojac) Mattei. *Sem. Int. Sapins méditerranéens*, Avignon, 11-15 juin, (117-124).
- Boydak M., Dirik H, Tilki F.and Calikoglu, 2003 :** Effects of water stress on germination in six provenances of *Pinus brutia* seeds from different bioclimatic zones in Turkey. *Turk. J. Agric. For.* 27 : 91-97.
- Bretagnolle F., Thomson J., Lumaret R. (1995) :** The influence of seed size variation on seed germination and seedling vigour in diploid and *tetraploid Dactylis glomerat* L.. *Annals of Botany* 76 : 607-615.
- Calamassi R. ,1986 :** Caractérisation de quelques provenances de *Pinus halepensis* Mill. sur la base de la structure anatomique et morphologique des aiguilles. *Ann. Sci. For.*, 43 (3) 281-298.

Références Bibliographiques

- Calamassi R., Rocca G.D., Falusi M. Paoletti E. and Strati S., 2001:** Resistance to water stress in seedlings of eight European provenances of *Pinus halepensis* Mill. Ann. For. Sci. 58: 663-672
- Callen G., 1976 :** Les conifères cultivés en Europe. Ed.J.B. Bailliere. 55P.
- Cantegrel R. ,1984 :** Contribution à l'étude de la variabilité biologique et biochimique du Pin à crochet (*Pinus uncinata* Ram) dans les Pyrénées orientales. Ann.Sci. For.,41 (3).
- Çengel B, Tayanç Y., Kendemir G., Velioglu E., Alan M. and Kaya Z., 2012:** Magnitude and efficiency of genetic diversity captured from seed stands of *Pinus nigra* (Arnold) subsp. *pallasiana* in established seed orchards and plantations. New Forest 43:303-317
- Colombet M. 1988 :** Ecologie des sapins méditerranéens. Mem.3^{ème} année. CEMAGREF, Groupement d'Aix en Provence. D.T.F.M.(3-17)
- Come D., 1970 :** Les obstacles à la germination des graines. Ed. Masson et Cie. Paris, 10P.
- Conte L., Cotti C., Schicchi R. Raimondo F.M. and Cristofolini G., 2004 :** Detection of ephemeral genetic sub-structure in the narrow endemic *Abies nebrodensis* (Lojac) Mattei (Pinaceae) using RADP markers. Plant Biosystems 138, 279-289.
- Cook I.O. and Ladiges P.Y. , 1991 :** Morphological variation within *Eucalyptus nitens* s.l. and recognition of a new species, *E.denticulata*. Aust. Syst. Bot. 4 (375-390).
- Cram W.M., 1984 :** Some effects of self-cross and open pollination in *Picea pungens*. Can.J. Bot. 62(392-395)
- Dangasuk O.G. et Panetsos K.D., 2004 :** Altitudinal and longitudinal variation in *Pinus brutia* Ten of Crete. New Forest 27 : 269-284.
- Davidson R.H., Edwards D.G.W., Tszikalai O., et El Kassaby Y.A. , 1996 :** Genetic variation in germination parameters among populations of Pacific silver fir. Silv.Genet.45,2-3(165-171).
- De Ferre ,1952 :** Les formes de jeunesse des abietacées ontogénie phylogénie. Th. Fac. Sci. Toulouse, France. 284P.

Références Bibliographiques

- Debazac E.-F., 1991** : Manuel des conifères. 256P, ENGREF 2^{ème} édition.
- Debazac E.F., 1977** : Manuelle des conifères. 2^{ème} Edit. Ecol. Nat. Gen; Rural et Forêt. 33P.
- Derridj A. 1990** : Etude de populations de *Cedrus atlantica* M. en Algérie. Thèse Doc. En Ecologie, U.P.S. de Toulouse, France, P.288
- **Destremau D.X., Jolly H. and Thari T. , 1976** : Contribution à la connaissance des provenances de *Pinus pinaster*.Ann. Rech.For. Maroc 16 (101-153).
- Dirik H., 2000**: Effet du stress hydrique osmotique sur la germination des graines chez les provenances de Cèdre du Liban (*Cedrus libani* A. Rich.) Ann. For.Sci. 57 : 361-367.
- Diop E.H.M., Coundoul M.and Akpo L.E., 2013** : Caractéristiques morpho-anatomiques des feuilles de *Maerua crassifolia* Forssk. Secheresse vol.23,n°1.
- Dorset W., Trapnell J., Hmarick L.,Vivian Negron-Ortiz, 2012** : Genetic diversity within a threatened, endemic North America species, *Euphorbia telephioides* (Euphorbiaceae). Conserv. Genet. 13:743-751
- Dubos C., 2001** : Réponse moléculaire de jeunes plants de Pin maritime soumis à un stress hydrique en milieu hydroponique. Thèse Doc. U. Henri Poincaré, Nancy-I (France), P.292
- Dubos C., Le Provost G., Pot D., Salin F., Lalane C., Madur D., FrigerioJ.M. and Plomion C. 2003** : Identification and characterization of water stress responsive genes in hydroponically grown Maritime pine (*Pinus pinaster*) seedlings. Tree Physiology 23, 169-179.
- Duchatre , 1970** : Des ovules à la graine. Masson et Cie (11-15), 134P.
- Duckrey M., 1998** : Aspects ecophysiologiques de la réponse et de l'adaptation des sapins méditerranéens aux extrêmes climatiques : gelée printanières et sécheresse estivale. Forêt méditerranéenne t.XIX, n°2.
- Eliades N-G. H., Gailing O., Leinemann L., Fady B., and Kinkeldey R., 2011**: High genetic diversity and significant population structure in *Cedrus brevifolia* Henry, a narrow endemic Mediterranean tree from Cyprus. Plant syst Evol 294:185-198

Références Bibliographiques

- El-Kassaby Y.A., Chaisurisri K., Edwards D.G. and Taylor D.W. , 1993 :** Genetic control of germination parameters of Douglas fir, Stica soruce, western red Cedar and yellow-Cedar and its impact of container nursery production proceeding of International Symposium of IUFRO. Projet, Group P2.04600 (37-42), 23-26 Avril, 1993.
- Fady B., 1990 :** Variabilité génétique du Sapin de Grèce, Thèse Doc. , spécialité Biologie et physiologie Végétale, Univ. De droit, d'économie et des sciences d'Aix-Marseille. 116P.
- Fady B., 1992:** Effect of osmotic stress on germination and radical growth in five provenances of *Abies cephalonica* Loud. Acta Aecologica, 13 (1) 67-79.
- Fady B., 2005 :** Biodiversité des populations de conifères existe-t-il une spécificité méditerranéenne. Mém. Habilitation à diriger des recherches. U.R.F.M., INRA (France).
- Fady B., 2005 :** Utiliser le sapin d'Algérie pour sauvegarder la forêt de sapin provençale. Projet INRA-Région PACA. Rapport final. 7P.
- Falleri E., 1994 :** Effect of water stress on germination in six provenances of *Pinus pinaster* Ait. Seed Science Technology, 22 (2), 591-599.
- Falleri E., Muller C .and Laroppe E., 2004:** Effect of water stress on germination of beechnuts treated before and after storage. Canadian Journal of Forest Research, 34(6), 1204-1209.
- Falusi M., Calamassi R. and Tocci A., 1983 :** Sensitivity of germination and seedling root growth to moisture stress in four provenances of *Pinus halepensis* Mill. Silvae Genetica 32,1-2 .
- Fins A. and Libby D., 1982 :** Population variation in Sequoia Dendron : seed and seedling studies, vegetative propagation and isozyme variation. Silva Gent.31,4 (102-109)
- Flous, 1936 :** La classification naturelle des Pinacées.
- Franklin J.F. and Ritchie G.A., 1970:** Phenology of cone and shoot development of noble fire and some associated true firs. Forest Sci.,16, 3,356-364.

Références Bibliographiques

- Garcia D. Zamora R. Gomez JM. Jordano P. and Hodar A., 2000** : Geographical variation in seed production, predation and abortion in *juniperus communis* through its range in Europe. *Journal of Ecology* , 88, 436-446 ;
- Gausсен H., 1949** : L'influence du passé dans la répartition des gymnospermes de la péninsule Ibérique. Ext. Compte-rendu du XVI Cong.Int.de Géog. Lisbonne, (806-822).
- Gausсен H., 1952** : Les résineux d'Afrique du nord, Ecologie, reboisement. 3^{ème} année Nov. Dec., (505-532)
- Gausсен H., 1955** : Les gymnospermes actuelles et fossiles. Trav. Lab. For. Toulouse, II (5), (67-81).
- Gausсен H., 1964** : Les gymnospermes actuelles et fossiles. Trav. Lab. For. Univ. Toulouse, (7), (321-480).
- Gharzouli R. et Djellouli M., 2005** : Diversité floristique de la kabylie des Babors (Algérie). Sécheresse Vol. 16, n°3.
- Hallgren S.W., 1989**: Effects of osmotic priming using aerated solutions of polyethylene glycol on germination of pine seeds. *Ann. Sci. For.* 46, 31-37.
- Gross K.L., 1984** : Effect on seed size and growth from seedling establishment of six monocarpic perennial plants. *Journal of Ecology* 72: 369-387.
- Hamrick J.L., Godt M.J.W. and Sherman-Broyles S.L., 1992** : Factor influencing levels of genetic diversity in woody plant species. *New For* 6: 95-124.
- Hamrick J.L., Godt M.J.W. 1996**: Effects of life history traits on genetic diversity in plant species. *Phil.Trans.R.Soc.Lond.B.*35,1291-1298.
- Heller R. , 1978** : Physiologie végétale, et développement ed. Masson, 149P.
- Hendrix S.D., Nielsen E., Nielson E. Shutt M., 1991** : Are seedling from small seeds always inferior to seedlings from large seed? Effect of seed biomass on seedling growth in *Castanea sativa* L.. *New Physiologist* 119 : 299-305.
- Hickel R., 1911** : graines et plantules des conifères. *Bull.Soc. Dendro. Fr*, 19,13-115.

Références Bibliographiques

- Hilly j., 1962** : Etude géologique du massif de l'Edough et du Cap de fer (Est Constantinois). Serv. Geol. Algérie. Bull. n°19. Alger.
- Houle G. : 1998** : Seed dispersal and seedling recruitment of *Betula alleghaniensis* : spatial inconsistency in time. Ecology, 79 (3), 807-818.
- Illoul M. et Moualek O., 1991** : Exploration de la variabilité morphologique et germination des graines du Cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* M.) de provenances algériennes. Mém. Ing. Inst. Agronomie, U.M.Mammeri de Tizi-Ouzou.100P.
- Illoul M. 1998** : Etude de la variabilité de populations naturelles de Sapin pectiné (*Abies alba* Mill). Mem. Magistère, Inst. Agronomie, U.M.Mammeri de Tizi-Ouzou.155P.
- Jarne P. and Lagoda PJL, 1996**: Microsatellite, from molecules to populations and back. Trends Ecol. Evol. 11: 424-429.
- Jacquard, 1970** : Structure génétique des populations. Masson et Cie. 387 P.
- Kaced Z. et Aimen F., 1998** : Etude de la variabilité morphologique (aiguilles et rameaux), phénologique et biochimique du Cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* M.) à Tala-Guilef (Djurdjura Nord occidental). Mém. Ing.Agronomie, U.M.Mammeri, Tizi-Ozou.90P.
- Kalinowski S.T. ,2009** : How well do evolutionary trees describe genetic relationship among populations?.Heredity, 102,506-513
- Kathleen L. S. and Furnier G. R., 2002** : Genetic variation and population structure in central and isolated population of Balsam Fir, *Abies balsamea* (Pinaceae). American Journal of Botany 89 (5): 783-791
- Kenichi Y., 2010**: Spatial distribution and morphology of shoots in the variant crown form of *Rhododendron reticulatum*. Botanique 88 (11) : 995-1005.
- Kolai L., 1986** : La sapinière d'*Abies numidica* dans les monts Babors. Ann.Rech.For, INRF Bainem (Algérie) : 85-97.
- Kolb P.F. and Robberecht R., 1996** : High temperature and drought stress on survival of *Pinus ponderosa* seedlings. Tree Physiology 16, 166-672

Références Bibliographiques

- Kormutak A., Salai J and Vookava B. , 1994 :** Pollen viability and seed set of silver fir (*Abies alba* Mill) in polluted areas of Slovakia. *Silva Gent.* 43, 2-3, (68-73).
- Kremer, 1994 :** Diversité génétique et variabilité des caractères phénotypiques chez les arbres forestiers. *Gent. Sel. Evol.* 26, Suppl1, 105s-123s.
- Krouchi F., 1995 :** Contribution à l'étude de l'organisation reproductive de Cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Man) à Tala Guilef, Djurdjura Nord occidental. Th. Magistère, INA El Harrache, 105P.
- Krouchi F., Derridj A. and Lefevre F. 2004 :** year and tree effect on reproductive organization of *Cedrus Atlantica* M. in a natural forest. *Forest Ecology and Management*, 197 : 181-189
- Krouchi F., 2011 :** Etude de la diversité de l'organisation reproductive et de la structure génétique du Cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* M.) en peuplement naturel (Tala-guilef, Djurdjura nord-Ouest, Algérie). Th. Doc. U.M.Mammeri, Tizi-Ouzou, Algérie.127P.
- Ladjal M., 2001 :** Variabilité de l'adaptation à la sécheresse des Cèdres méditerranéens (*Cedrus atalantica*, *C.brevifolia*, *C.libani*) aspect éco physiologique. Thèse Doc.Bio.For.U.H.P. Nancy I, 212P.
- Lebtahi F., et Bouguedoura N., 2000 :** Le sapin de Numidie (*Abies numidica* De Lannoy). La forêt algérienne. *Rev. N°3*, INRFB de Bainem. Alger : 39-42.
- Ledig F.T., Hodgskiss P.D. and Johnson D.R., 2006 :** Genetic diversity and seed production in Santa Lucia fir (*Abies bracteata*), a relic of the Miocene Broadleaved Evergreen. *Forest. Conserv. Genet.* 7,383-398.
- Leal D.B. et Thomas S.C., 2003 :** Vertical gradients and tree-to-tree variation in shoot morphology and foliar nitrogen in an old-growth *Pinus strobes* stand. *Rev. Can. de Rech. For.*, 33(7) : 1304-1314.
- Leishman M.R. and Westoby M., 1998 :** Seed size and shape are not related to persistence in soil in Australia in the same way as in Britain. *Functional Ecology* 12, 480-485

Références Bibliographiques

- Lieche J. Martens H.J. and Schulz A., 2010** : Symplasmic transport and phloem loading in gymnosperm leaves. *Prot. Int. J. of Cell Biology*. 10/1007, (1-10).
- Liu T.S., 1979** : A monograph of the genus *Abies*. Dep. of For. Colleg of National Taiwan Univ.508P.
- M'Hirit O., 1982** : Etude écologique et forestière du Rif marocain. Essai sur une approche multidimensionnelle de la phyloécologie du Cèdre. *Ann. Rech. Maroc*, 2 :1-502.
- M'Hirit O, 1993** : Biodiversité et conservation in situ au Maroc. Réseau des ressources phytogénétiques pour la zone de l'Asie de l'ouest et de l'Afrique du Nord. 4-8 Octobre. Smyrne, Turquie.
- Maire R., 1926** : Notice de la carte phytogéographique de l'Algérie et de la Tunisie. Ed. Baconier, 75P.
- Mayr E., 1974** : Population, espèce et évolution. Hermann, 485P.
- Mazliak, 1892** : Physiologie végétale II, croissance et développement. Coll.Meth. Hermann, Paris. 465 P.
- Messaoud Y., Bergeron Y. and Asselin H. (2007)**: Reproductive potential of Balsam fir (*Abies Balsamea*), White Spruce (*Picea glauca*) and Black Spruce (*P. Mariana*) at the ecotone between mixed wood and coniferous forests in the boreal zone of western Quebec. *American Journal of Botany* 94(5) : 746-754,.
- Mitton J.B. ,1992** : The dynamic mating system of conifers. *New For*6, 197-216.
- Nguyen A., 1986**: Effet d'une contrainte hydrique racinaire sur de jeunes plants de Pin maritime (*Pinus pinaster* Ait). Thèse de Doctorat, Université de Bordeaux1, Talence, France.
- Owens N. et Black M.D., 1986**: Production des semences forestières. Rapport d'information PI-X-53F Inst. For. De Petawawa, Service .Canadien des Forêts, 219P.
- Ozenda , 1964** : Biogéographie végétale. Ed. Dion.P. (33-35)
- Panetsos K.P.,1990** - Species provenance- test of Mediterranean firs. Seminaire Intern. Sapins médit.: Sem. Int. Sapins méditerranéens, Avignon, 11-15 juin, (29-42).

Références Bibliographiques

- Papi R.M., Spanos K.A., and Kyriakidis D.A., 2012:** Genetic variation of *Fraxinus angustifolia* natural populations in Greece based on nuclear and chloroplast microsatellite markers. Eur. J. Forest Res. 131:1151-1161
- Parde L., 1937 :** Les conifères. La maison Rustique (64-93)
- Parducci L., Szmidt A.E., Madaghiele A., Anzidei M., and Vendramin A., 2001 :** Genetic variation at chloroplast microsatellites (cpSSRs) in *Abies nebrodensis* (Lojac.) Mattei and three neighboring *Abies* species. Theor Appl Genet (2001) 102 : 733-740.
- Pautasso M., 2009 :** Geographical genetics and the conservation of forest trees. Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics 11:157-189.
- Peakall R. and Smouse P.E. , 2006:** GENALEX 6: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research. Molecular Ecology Notes 6,288-295.
- Pyhäjärvi T., Salmela matti J., Savolainen O., 2008 :** Colonization routes of *Pinus sylvestris* inferred from distribution of mitochondrial DNA variation. Tree Genetics&Genome 4:247-254.
- Passioura J.A.et Ash J.E., 1993 :** Phenotypic, genetic and ecological variation in the *Eucalyptus saligna-E. botryoides* complex. Aust.J.Bot. 41 (393-412).
- Pichot C., Bastien C., Courbet F., Demesure Meuch B., Dreyfus P., and Fady B., 2006 :** Détermination et conséquences de la qualité génétique des graines et semis lors de la phase initiale de régénération naturelle des peuplements forestiers. Les Actes du BRG,6 (277-297)
- Pradal F., 1979 :** Variabilité génétique et éco physiologique du Cèdre. Mem.de fin d'étude à L.I.T.E.F. Nancy. P.463
- Probst A., 1983 :** Variation intraspecificque et introgression entre *Pinus uncinata* Ram. et *Pinus sylvestris* L. en forêt d'Osseja (Pyrénées orientales). Th. 3^{ème} cycle, UPS Toulouse. 221P.
- Quezel P., Barbero M., Bonnin G. et Loisel R., 1980.** Essai de corrélations phytosociologiques et bioclimatiques entre quelques structures actuelles et passées de la végétation méditerranéenne. Naturalia Monspelliensis, Act. Coll. Fond.

Références Bibliographiques

- Quezel P. (1985)** : Les Sapins du pourtour méditerranéens. For. Médit., 7(1), 27-34.
- Quezel P. et Barbero M. ,1989** : Les formations à Genévriers rampants du Djurdjura (Algérie). Leur signification écologique dynamique et syntaxinomique dans une approche globale des cédraies kabyles. Lazaroa, II : 85-99.
- Quezel P. et Barbero M., 1990** : Les forêts méditerranéennes. Problème posés par leur signification historique, écologique et leur conservation. Acta Bot. Malacitana, 15 : 145-178.
- Quezel P. ,1998** : Diversité et répartition des sapins sur le pourtour méditerranéen. Forêt méditerranéenne 19 (2) : 93-104.
- Roach D.A., 1987** : Variation in seed and seedling size in *Anthoxanthum odoratum*. American M. Nat. 117: 248-264
- Saadi H., 2013** : les facteurs de dépérissement des subéraies de l'Edough (Serraidi). Etude des ravageurs des feuilles et des glands du Chêne-liège (*Quercus suber* L.). Mem. Magister, Institut des Sciences de la nature et de la vie département de biologie, option : biologie animale. 110P
- Sadou H. et Fakheur S., 2001** : Etude de la variabilité inter-arbre du Sapin de Numidie (*Abies numidica* De Lann) dans la plantation de Serraidi : approche morphologique et physiologique. Mem. Ing.U.M.Mammeri, Tizi-Ouzou, Algérie.79P
- Satour A. , 1992:** Contribution à l'étude biosystématique du sapin de Numidie (*Abies numidica* De Lann). Mem. Ing.U.M.Mammeri de Tizi-Ouzou, Algérie.92P.
- Sharma M.L., 1973** : Simulation of drought and its effect on germination of five pasture species. Agro. J., 65-987.
- Slatkin M., 1995** : A measure of population subdivision based on microsatellite allele frequencies. Genetics 139:457-462
- Singh O.et Sofi A.H., 2011** : Clone variation of seed traits, germination and seedling growth in *Dalbergia sissoo* Roxb. Clonal seed orchard. Ann. For.Res. 54(2) : 139-149.

Références Bibliographiques

- Smaïl Sadoun N., 2005** : Réponse adaptative de l'anatomie des chénopodiacées du Sahara algérien à des conditions de vie d'aridité extrêmes. *Secheresse* 16 : 121-124.
- Sorensen F.C.-Franklin J., 1977**: Influence of year of cone collection on seed weight, on cotyledon number in *Abies orocrea*. *Silv. Gent.* 26, 1(41-43).
- Stanton M.L., 1984**: Seed variation in wild radish: effect of seed size on components of seedling and adult fitness. *Ecology* 65: 1105-1112.
- Tanoh H Kouakou T.H., Kone M., Kone D., Kouadio Y.J. et Zouzou M., 2008**: Réponse physiologique au stade juvénile du génotype R405-2000 de cotonnier (*Gossypium hirsutum* L.) au déficit hydrique induit par le polyéthylène glycol. *Sci. Nat.* Vol.5 N°1 : 81-87.
- Tazi M.R., Berrichi A., et Haloui B., 2003** : Effet du stress hydrique par le PEG sur la germination et la croissance de l'Arganier in vitro. *Secheresse* vol. n°14, PP23-27.
- Teixeira H.,Rodriguez-Echeverria S. and Nabais C. 2014**: Genetic diversity and differentiation of *Juniperus Thurifera* in Spain and Morocco as determined by SSR. *PLOS ONE*/ www.plosone.org. Vol.9/issue2/e88996.
- Tilki F., Dirik H., 2007**: seed germination of three provenances of *Pinus brutia* (Ten) as influenced by stratification, temperature and water stress. *Journal of Environmental Biology*, 28(1), 133-136.
- Terrab A., Paun O., Talavera S. Tremetsberger K, Arista M. and Stuessy T.F., 2006**: Genetic diversity and population structure in natural populations of Moroccan Atlas Cedar (*Cedrus atlantica* ; Pinaceae) determined with cpSSR markers. *American Journal of Botany* 93(9):1274-1280
- Tlili-Ait Kaki Y., S. Bennadja et Chefrou A., 2013** : Revalorisation d'une essence endémique : le sapin de Numidie (*Abies numidica*).*Fl. Medit.* 23 : 123-129.
- Toth, 1978** : Contribution à l'étude de la fructification et de la régénération naturelle de Cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* M.) dans le sud de la France. Th. Doc. Ing. Fac. Des Sci et Tch de Marseille St Jérôme. 136P.

Références Bibliographiques

-Wahid N., Gonzalez-Martinez S.C., El Hadami I. and Boulli A., 2006 : Variation of morphological traits in natural populations of maritime pine (*Pinus pinaster* Ait) in Morocco. Ann. For. Sci. 63 (83-92)

-Zandouche W., 2000 : Etude comparative de la croissance des trois espèces forestières : *Pinus pinea* L., *Pinus pinaster* Ait et *Pinus canariensis* Ch. Smith. Aspect éco-dendrométrique. Th. Magistère Ins. Agronomie, U.M.Mammei, Tizi-Ouzou. 82P.

-Zenasni F., 1982 : La forêt du mont Babors : Définition des types forestiers. Mém. Ing. INA, El Harrach, Alger.65P.

Annexes

ANNEXE 1 (a)

Arbre	Moy	Groupes homogènes (la/Ep)
8	6,26	A
18	5,77	B
14	4,69	C
6	4,49	CD
35	4,43	CD
5	4,41	CD
16	4,30	DE
39	4,24	DEF
47	4,16	DEF
33	4,16	DEF
13	4,01	EFG
37	3,98	EFGH
38	3,96	EFGH
48	3,94	EFGH
17	3,93	EFGH
4	3,85	FGHI
20	3,76	GHIJK
31	3,73	GHIJK
19	3,72	GHIJK
46	3,68	GHIJKL
23	3,67	GHIJKL
43	3,65	GHIJKL
10	3,65	GHIJKL
26	3,59	HIJKL
12	3,56	IJKL
50	3,49	JKLM
27	3,47	JKLM
11	3,40	KLMN
28	3,35	KLMNO
9	3,30	LMNOP
15	3,28	MNOPQ
2	3,15	MNOPQ
1	3,08	NOPQR
10	3,04	NOPQRS
42	3,02	NOPQRS
7	2,99	OPQRST
40	2,83	QRST
41	2,79	QRST
49	2,78	QRST
22	2,75	RST
32	2,73	- RST
45	2,67	ST
52	2,63	T
24	2,63	T

Arbre	Moy	Groupes homogènes (LA/la)
39	8,85	A
36	8,58	AB
49	8,24	ABC
10	8,21	ABC
11	8,20	ABC
46	8,05	BCD
27	7,87	CDE
38	7,64	CDEF
31	7,64	CDEF
47	7,62	CDEF
40	7,61	CDEF
26	7,46	DEFG
33	7,23	EFGH
14	7,22	EFGH
43	7,03	FGHI
4	7,03	FGHI
42	6,94	FGHI
37	6,85	GHIJ
23	6,72	HIJK
50	6,69	HIJK
18	6,69	HIJK
7	6,68	HIJK
28	6,64	HIJK
32	6,62	HIJK
32	6,59	HIJK
41	6,57	HIJK
30	6,49	HIJKL
2	6,48	HIJKL
5	6,45	HIJKL
9	6,44	HIJKL
13	6,41	HIJKL
35	6,41	HIJKL
20	6,35	IJKL
24	6,32	IJKL
48	6,29	IJKL
19	6,25	IJKL
22	6,21	IJKL
45	6,17	IJKL
12	6,04	JKL
15	5,95	JKLM
8	5,71	LM
17	5,42	MN
1	5,35	+ MN
6	5,10	N

Groupes homogènes établis par le test de Newman et Keuls
pour les dimensions des aiguilles (1)

ANNEXE 1 (b)

Arbre	Moy	Groupes homogènes(LA)
49	18,36	A
39	18,27	A
31	17,93	A
10	17,10	AB
40	16,48	BC
36	16,46	BC
38	15,88	BCD
32	15,78	BCDE
4	15,66	BCDEF
43	15,55	CDEFG
5	15,03	CDEFGH
12	14,99	CDEFGH
46	14,79	DEFGHI
14	14,45	DEFGHIJ
2	14,35	DEFGHIJK
30	14,31	DEFGHIJK
30	14,30	DEFGHIJK
42	14,29	DEFGHIJK
33	14,25	DEFGHIJK
45	14,15	EFGHIJKL
23	14,08	EFGHIJKL
41	14,06	EFGHIJKL
19	13,98	FGHIJKLM
47	13,97	FGHIJKLM
24	13,87	GHIJKLMN
7	13,79	GHIJKLMN
15	13,74	HJKLMN
27	13,55	IJKLMNOP
9	13,45	JKLMNOPQ
37	13,28	HJKLMNO
26	13,26	HJKLMNO
11	13,16	IJKLMNQP
1	12,79	KLMNOPQ
50	12,66	KLMNOPQ
41	12,58	KLMNOPQ
21	12,53	KLMNOPQ
45	12,38	LMNOPQ
12	12,27	MNOPQ
38	12,27	MNOPQ
17	12,04	NOPQ
18	11,99	OPQ
13	11,58	PQ
8	11,52	PQ
6	11,09	Q

Arbre	Moy	Groupes homogènes(LA)
52	2,40	A
1	2,39	A
31	2,35	AB
3	2,33	ABC
15	2,31	ABCD
32	2,27	BCDE
30	2,25	CDE
19	2,24	CDE
48	2,24	CDE
17	2,23	CDE
4	2,23	CDE
49	2,23	CDE
1	2,22	CDE
30	2,22	DE
43	2,21	DE
35	2,21	DE
24	2,20	DE
6	2,18	EF
40	2,17	FGH
23	2,10	FGH
9	2,09	FGHI
10	2,09	FGHI
38	2,08	GHI
7	2,08	GHI
39	2,07	GHI
42	2,06	GHI
12	2,04	HJ
22	2,02	IJK
8	2,02	HJ
45	2,01	HJ
14	2,00	HIJK
33	1,97	JK
37	1,94	JK
36	1,91	KL
41	1,91	KL
50	1,90	KL
38	1,84	LM
46	1,84	LM
47	1,83	LM
13	1,81	LMN
18	1,79	MN
36	1,78	MN
27	1,72	N
11	1,61	O

Arbre	Moy	Groupes homogènes(Ep)
52	0,91	A
24	0,84	B
32	0,84	B
49	0,81	BC
1	0,78	CD
40	0,77	CDE
45	0,76	CDEF
30	0,74	DEFG
22	0,74	DEFG
15	0,73	DEFG
2	0,71	EFG
7	0,71	FG
42	0,69	GHI
41	0,69	GHI
9	0,64	HI
31	0,64	HJ
19	0,62	JK
20	0,61	IJKL
43	0,61	IJKL
23	0,60	IJKL
4	0,59	IJKLM
10	0,59	IJKLM
12	0,58	IJKLM
48	0,57	IJKLM
17	0,57	IJKLM
28	0,57	KLMN
50	0,55	LMNO
5	0,53	MNOP
38	0,53	MNOP
27	0,50	NOPQ
26	0,50	NOPQ
35	0,50	NOPQ
46	0,50	NOPQ
49	0,50	OPQ
6	0,49	OPQR
37	0,49	OPQR
33	0,48	PQR
11	0,48	PQR
13	0,47	PQR
36	0,45	QR
47	0,44	QR
14	0,43	R
8	0,33	S
18	0,31	S

Arbre	Moy	Groupes homogènes(NLFI/NLFS)
36	3,23	A
18	3,22	A
33	3,19	A
46	3,17	A
33	3,11	A
18	2,99	AB
27	2,98	AB
39	2,95	AB
8	2,90	AB
50	2,83	ABC
10	2,75	ABC
14	2,69	ABC
47	2,50	BCD
26	2,38	CDE
17	2,23	DEF
12	2,21	DEF
23	2,19	DEFG
11	2,17	DEFGH
37	2,16	DEFGH
28	2,14	DEFGH
40	2,13	DEFGH
31	2,10	DEFGH
13	2,09	DEFGH
20	2,07	DEFGH
4	1,99	DEFGHI
1	1,98	DEFGHI
18	1,96	DEFGHI
42	1,90	EFGHIJ
2	1,87	EFGHIJ
5	1,73	FGHIJK
6	1,65	FGHIJK
24	1,61	GHIJK
49	1,61	GHIJK
30	1,57	HJK
15	1,48	JK
48	1,43	JK
43	1,41	JK
32	1,32	K
9	1,30	K
41	1,27	K
22	1,26	K
32	1,24	K
45	1,23	K
7	1,22	K

Groupes homogènes établis par le test de Newman et Keuls pour les dimensions des aiguilles (2)

ANNEXES 2 (a)

Arbre	Moy	Groupes homogènes (Lg)
15	14,83	A
6	14,37	AB
29	14,29	BC
9	13,70	CD
4	13,65	CDE
16	13,63	CDEF
10	13,57	CDEF
27	13,48	CDEF
1	13,46	CDEF
17	13,36	DEFG
21	13,35	DEFG
22	13,32	DEFG
3	13,21	DEFG
30	13,12	DEFGH
1	13,09	DEFGH
26	12,99	DEFGHI
23	12,99	DEFGHI
8	12,88	DEFGHIJ
24	12,82	EFGHIJK
25	12,78	EFGHIJK
14	12,76	EFGHIJK
19	12,76	EFGHIJK
28	12,73	FGHIJK
13	12,54	GHIJK
18	12,35	HJK
7	12,18	JK
26	12,10	JK
12	12,03	K
11	12,01	K
5	11,34	L

Arbre	Moy	Groupes homogènes (Lg)
17	7,40	A
10	7,43	AB
15	7,40	ABC
2	7,38	ABC
29	7,25	ABCD
11	7,08	BCDE
28	7,02	BCDE
20	6,97	BCDE
6	6,96	BCDE
1	6,89	BCDE
13	6,89	BCDE
4	6,88	BCDE
9	6,84	CDE
21	6,77	DEF
30	6,76	DEF
23	6,75	DEF
16	6,70	DEF
3	6,64	DEF
25	6,64	DEF
19	6,60	EF0
26	6,59	EF
8	6,52	EF
22	6,50	EF
18	6,49	EF
14	6,49	EF
12	6,45	EF
24	6,41	EF
27	6,38	EF
5	6,36	EF
7	6,12	F

Groupes homogènes établis par le test de Newman et Keuls
pour les dimensions des graines (1)

Arbre	Moy	Groupes homogènes (Lg/hg)
27	2,14	A
6	2,09	AB
21	2,07	ABC
16	2,06	ABCD
24	2,03	ABCDE
9	2,02	ABCDE
15	2,02	ABCDE
7	2,01	ABCDEF
3	2,00	ABCDEFG
1	1,99	ABCDEFG
4	1,99	ABCDEFG
21	1,99	ABCDEFG
8	1,99	ABCDEFG
14	1,98	ABCDEFG
29	1,98	ABCDEFG
30	1,95	ABCDEFG
23	1,95	ABCDEFG
19	1,95	ABCDEFG
25	1,93	ABCDEFG
18	1,93	ABCDEFG
20	1,89	BCDEFGH
12	1,88	BCDEFGH
26	1,85	CDEFGH
13	1,84	CDEFGH
28	1,84	DEFGH
10	1,82	EFGH
2	1,79	FGH
5	1,78	GH
17	1,78	GH
11	1,71	H

Arbre	Moy	Groupes homogènes (Pg)
29	0,12	A
17	0,11	AB
15	0,11	ABC
6	0,11	ABC
3	0,10	BCD
1	0,10	BCD
9	0,10	BCD
22	0,10	BCDE
16	0,09	BCDE
22	0,09	BCDE
20	0,08	BCDEF
30	0,09	BCDEFG
10	0,09	BCDEFG
4	0,09	BCDEFG
27	0,09	BCDEFG
7	0,09	BCDEFG
12	0,09	CDEFG
28	0,08	DEFG
24	0,08	DEFG
11	0,08	DEFG
2	0,08	DEFG
21	0,08	DEFG
18	0,08	DEFG
14	0,08	DEFG
13	0,07	DEFG
25	0,07	EFG
19	0,07	FGH
23	0,07	FGH
8	0,07	GH
5	0,05	H

ANNEXES 2 (b) Groupes homogènes établis par le test de Newman et Keuls pour les dimensions des graines (2)

ANNEXE 3(a)

Arbre	Moyenne	groupes homogènes (ECA)	Arbre	Moyenne	groupes homogènes (GA)	Arbre	Moyenne	groupes homogènes (GE)
43	280,20	A	6	33,83	A	B	92,00	A
12	279,40	A	48	32,75	A B	D	90,00	A
57	264,20	A B	43	31,80	A B	50	89,80	A
6	256,00	A B	57	30,60	A B	43	87,00	A
29	256,00	A B	25	29,00	A B	29	81,00	A B
A	254,27	A B	24	28,00	A B	7	67,33	A B
5	254,00	A B	8	27,75	A B	12	63,20	A B
D	253,80	A B	20	26,63	A B	14	58,50	B
48	244,50	A B	5	23,82	A B	19	56,71	B
E	242,50	A B	49	23,75	A B	57	56,40	B
14	241,00	A B	58	23,33	A B	16	55,33	B
5G	240,25	A B	12	23,00	A B	24	55,20	B
9	231,33	A B	50	22,20	A B	40	52,33	B
58	227,00	A B	61	21,00	A B	22	50,88	B
B	225,40	A B	16	20,50	A B	3	50,71	B
42	220,50	A B	30	20,20	A B	11	49,25	B
50	214,40	B	B	20,00	A B	58	47,00	B
24	212,60	B	34	19,75	A B	34	46,75	B
34	212,25	B	E	18,50	A B	25	46,00	B
25	211,33	B C	18	18,50	A B	A	45,09	B
38	209,25	B C	10	18,00	A B	6	44,67	B
7	207,83	B C	D	16,80	A B	13	44,00	B
8	206,75	B C	19	16,43	A B	20	43,50	B
22	203,88	B C	22	16,38	A B	5	42,18	B
20	203,75	B C	14	16,17	A B	48	41,50	B
61	200,66	B C	13	16,00	A B	30	40,40	B
10	197,66	B C	15	15,93	A B	5G	38,75	B
30	195,00	B C	7	15,17	A B	9	37,00	B
13	193,00	B C	5G	14,25	A B	38	36,50	B
16	189,67	B C	38	13,00	A B	49	33,17	B
3	187,71	B C	42	12,75	A B	23	33,00	B
49	183,92	B C	29	10,50	A B	42	32,75	B
15	182,07	B C	A	10,18	A B	15	31,13	B
40	177,66	B C	11	9,75	A B	8	31,00	B
19	173,29	B C	23	9,43	A B	10	29,66	B
11	164,00	B C	3	8,71	B	E	26,75	B
23	157,00	B C	9	8,33	B	61	22,33	B
21	148,75	C	21	8,00	B	18	21,75	B
18	142,50	C	40	6,00	B	21	20,00	B

Groupes homogènes établis par le test de Newman et Keuls pour les différents types de graines (1)

ANNEXE 3 (b)

Arbre	Moyenne	groupes homogènes (GP)	Arbre	Moyenne	groupes homogènes (BG)	ARBRE	Moyenne	Groupes homogènes (GV)
29	116,50	A	5G	296,50	A	6	206,50	A
57	106,00	A B	42	288,75	A	58	184,33	A
40	98,00	A B	43	286,60	A B	57	135,00	B
B	88,40	B	9	279,00	A B	13	133,33	B
7	77,17	B C	A	252,55	A B	23	126,71	B C
12	70,80	B C	12	249,20	A B	E	122,00	B C
E	67,75	B C	48	248,50	A B	34	116,50	B C
D	60,20	C	10	241,33	A B	12	114,00	B C
42	57,50	C	5	233,45	A B	A	109,18	B C
38	56,00	C	29	232,00	A B	15	108,80	B C
50	55,60	C	D	226,80	A B	5	102,18	B C
5	55,27	C	14	224,17	A B	24	97,60	B C
25	55,00	C	38	218,00	A B	25	95,00	B C
10	54,00	C	61	216,00	A B	49	93,00	B C
11	53,50	C	E	210,75	A B	7	90,17	B C
21	53,00	C	8	193,75	B	8	86,25	B C
8	51,25	C	B	193,60	B	14	85,00	B C
14	50,83	C	30	186,20	B	D	83,20	B C
43	50,00	C	3	186,14	B	22	75,75	B C
49	49,92	C	20	172,13	B C	19	75,57	B C
16	47,17	C	24	171,20	B C	20	72,00	B C
24	47,00	C	18	169,75	B C	3	68,00	B C
6	46,33	C	50	167,80	B C	50	67,60	B C
20	44,63	C	11	167,25	B C	38	63,50	B C
48	43,50	C	16	163,67	B C	48	61,00	B C
19	42,86	C	34	157,25	B C	61	52,33	B C
18	42,25	C	22	156,25	B C	43	51,80	B C
5G	42,00	C	57	151,00	B C	5g	51,50	B C
30	40,20	C	40	146,33	B C	16	49,67	B C
22	40,13	C	58	140,00	B C	21	49,50	B C
34	38,75	C	49	139,42	B C	9	45,67	B C
9	37,33	C	15	137,73	B C	B	44,80	B C
13	36,67	C	25	135,67	B C	30	42,60	B C
15	34,93	C	6	128,17	B C	18	38,75	C
61	33,33	C	13	126,67	B C	29	38,00	C
A	32,09	C	21	123,00	B C	42	31,50	C
23	29,86	C	19	122,86	B C	40	22,00	C
58	29,67	C	7	106,83	B C	10	13,33	C
			23	83,28	C	11	10,25	C

Groupes homogènes établis par le test de Newman et Keuls pour les différents types des graines (2)

ANNEXE 4

Arbre	Moy TMC (j)	Groupe homogène
13	34,83	A
23	31,39	AB
21	31,24	ABC
22	30,87	ABCD
19	29,51	BCDE
24	29,47	BCDE
26	29,45	BCDE
25	29,03	BCDEF
16	28,93	BCDEF
12	28,31	BCDEFG
11	27,59	BCDEFGH
9	27,43	BCDEFGH
7	27,34	BCDEFGH
6	27,33	BCDEFGH
10	27,16	BCDEFGH
18	26,90	BCDEFGH
27	26,64	BCDEFGH
17	26,27	CDEFGHI
15	26,18	DEFGHI
8	26,04	DEFGHI
3	25,43	EFGHI
2	25,22	EFGHIJ
29	24,24	FGHIJ
14	23,43	GHIJ
20	23,08	IJ
4	22,94	IJ
1	22,94	IJ
30	21,70	J
28	20,89	J

Arbre	Taux %	Groupe homogène
14	62,22	A
7	60,00	A
6	58,88	A
29	57,77	A
16	48,88	AB
20	48,33	AB
18	46,66	ABC
26	44,66	ABCD
3	41,11	ABCD
28	36,66	BCDE
30	34,44	BCDE
12	34,44	BCDE
9	33,33	BCDE
2	32,22	BCDE
15	31,11	BCDEF
17	27,77	BCDEFG
10	27,22	BCDEFGH
8	26,66	BCDEFGH
4	25,55	BCDEFGH
27	25,55	BCDEFGH
25	24,44	CDEFGH
24	23,22	CDEFGH
11	20,00	DEFGH
1	20,00	DEFGH
22	13,33	EFGH
19	8,89	FGH
23	7,77	GH
13	7,77	GH
21	4,44	H

Groupes homogènes établis par le test de Newman et Keuls pour les taux et temps moyens de germination des graines

Résumé

La variabilité intra spécifique du sapin de Numidie (*Abies numidica* De Lannoy) en plantation (plantation de Serraidi), a été mise en évidence à travers l'étude des caractères morphologiques des graines, des cônes et des aiguilles. La diversité et la structuration génétique ont également été mis ont évidence par l'étude des marqueurs génétiques : les microsatellites chloroplastiques (cpSSR). Les potentialités de régénération ont été abordées par les capacités des graines à germer d'une part, et leur capacité à germer en condition de stress hydrique osmotique d'autre part. La production grainière a été abordée par la proportion de graines pleines et de graines vaines ainsi que les différents types de graines.

Les caractères des graines (longueur, largeur et poids), des cônes (longueur, diamètre et poids) ainsi que des aiguilles (longueur, épaisseur, largeur, nombre de lignes de stomates et position des canaux résinifères) ont montré une importante variabilité entre les différents arbres. La variabilité est plus marquée pour le poids des graines qui est positivement corrélé à la longueur des graines. La variabilité individuelle est plus marquée que la variabilité annuelle pour le poids des cônes. Les dimensions des cônes sont positivement corrélées au poids des graines ainsi que la production des graines. Pour certains arbres, Il y a une alternance de production grainière pour d'autres, la production est continue sur les trois années.

Les taux moyens de germination varient entre 32.18% et 41.65% sur les trois années d'étude. Il y a une faible variation du taux moyen de germination, mais le temps moyen de germination est plus variable. La variabilité individuelle est plus marquée. Le taux moyen de germination diminue avec l'augmentation du stress hydrique osmotique du substrat. Des différences très nettes entre les arbres mettent en évidence une importante hétérogénéité. Certains arbres constituent un ensemble dans lequel les graines sont très sensibles au déficit hydrique, d'autres sont moins sensibles.

Une part importante de la diversité génétique réside dans la population de Serraidi. Cette diversité est faible entre adultes et les embryons, elle est donc bien transmise des parents vers leurs descendants. la structuration spatiale de cette diversité est absente. Entre les populations algériennes et les populations françaises les différences sont très faibles. La diversité génétique du sapin de Numidie est bien conservée en dehors de son aire naturelle.

Mots clefs : *Abies numidica*, variabilité morphologique, diversité génétique, graine, cône, aiguilles, germination, production grainière, stress hydrique.

Abstract :

Intra-specific variability of Numidia Fir (*Abies numidica* De Lannoy) in plantation (planting Serraidi) has been demonstrated through the study of morphological characters of seeds, cones, needles and seed production. The diversity and genetic structure of the population studied have also been evidence in the study of genetic markers namely chloroplast microsatellites (cpSSR). Regeneration potentials were addressed by the capabilities of seeds for sprouting and their ability to germinate under conditions of osmotic water stress

Seeds characters (length, width and weight), cones (length, diameter and weight) and needles (length, thickness, width, number of lines of stomata and position of resin canals) showed significant variability between the different trees. Variability was more pronounced for seed weight, that is positively correlated to the length of the seeds. Individual variability is greater than the annual variation for the weight of the cones. The dimensions of the cone are positively correlated to the weight of seeds and seed production. For some trees, there is alternating seed production, for other production is continuous over the three years.

The average rate of germination varies between 32.18% and 41.65 over the three years of study. There is a small change in the average germination rate, but the average germination time is variable. Individual variability is marked. The mean germination rate decreases with the increase of osmotic water stress of the substrate. Some differences between the trees show significant heterogeneity. Some trees constitute a set in which the seeds are very sensitive to water deficit, others are less sensitive.

A significant part of genetic diversity in each population (adult and embryos) is important, but remains low between these populations. Genetic diversity is transmitted from parents to their descendants in planting Serraidi, where spatial structuring of this diversity is absent. There is no difference between Algerian and French populations. Genetic diversity of Numidia Tree seems well preserved outside its natural range.

Key Words : *Abies numidica*, morphological variability, genetic diversity, seed, cone, needles, germination, seed production, water stress.