

***Exploration de la variabilité géographique
des cèdres méditerranéens***

Cedrus atlantica, Cedrus libani et Cedrus brevifolia

Présentée par :

Nacima AIDROUS – LARBI

Directeur de thèse : M^r DERRIDJ A. Professeur, U.M.M. Tizi-Ouzou
Soutenue le 09/ 09/2007

Devant le jury : Président : M^r KHELIFI L. Maître de Conférences, I.N.A Examineurs : M^{me}
DAHMANI M. Professeur, U.S.T.H.B. M^r NEDJAH A. Maître de Recherches, I.N.R.F. M^{elle} KROUCHI
F. Chargée de cours, U.M.M. Tizi-Ouzou

Table des matières

Remerciements . .	5
Résumé . .	6
ص خ ل م ل ا . .	7
Summary . .	8
Introduction . .	9
Partie I : Présentation du genre <i>Cedrus</i> de son aire naturelle . .	11
1.1. Systématique . .	11
1.2. Paléobotanique . .	12
1.3. Origine phylétique . .	13
1.4. Caractéristiques botaniques . .	13
1.5. Cycle de reproduction . .	15
1.6. Chorologie et écologie du genre <i>Cedrus</i> . .	16
1.6.1 Aire naturelle de répartition . .	16
1.6.2. Exigences édaphiques . .	22
1.6.3 Valeur altitudinale et bioclimatique . .	22
Partie II : Matériel et méthodes . .	26
2.1. Matériel biologique . .	26
2.2 Présentation des stations d'étude . .	26
2.2.1. Les provenances de <i>Cedrus atlantica</i> . .	26
2.2.2. Les provenances de <i>Cedrus libani</i> . .	29
2.3. Caractères étudiés . .	32
2.3.1. Biométrie de la graine . .	32
2.3.2. Germination . .	33
2.3.3. Caractéristiques des plantules de <i>Cedrus</i> . .	35
2.3.4 Composition terpénique des huiles essentielles contenues dans les poches résinifères des graines . .	38
Partie III : Résultats et discussions . .	42
3.1. Biométrie de la graine . .	42
3.1.1. Variation entre provenances de <i>Cedrus atlantica</i> . .	42
3.1.2 Variation entre provenances de <i>Cedrus libani</i> . .	49
3.1.3 Variation interspécifique . .	54
3.1.4. Discussion - Conclusion . .	57
3.2. Germination . .	58
3.2.1. Variation entre provenances de <i>Cedrus atlantica</i> . .	58
3.2.2. Variation entre provenances de <i>Cedrus libani</i> . .	61
3.2.3 Variation interspécifique . .	63
3.2.4 Discussion - Conclusion . .	65
3.3. Caractéristiques des plantules . .	66
3.3.1. Variation entre provenances de <i>Cedrus atlantica</i> . .	66
3.3.2 Variation entre provenances de <i>Cedrus libani</i> . .	74
3.3.3 Variation interspécifique . .	82

3.3.4 Discussion - Conclusion . .	86
3.4. Composition terpénique des huiles essentielles contenues dans les poches résinifères des graines . .	87
3.4.1. Discussion - Conclusion . .	90
Conclusion générale . .	92
Bibliographie . .	94

Remerciements

Je tiens tout d'abord à exprimer ma gratitude à M^rA. DERRIDJ pour avoir bien voulu diriger ce mémoire, mis le fonds documentaire et les moyens matériels de son laboratoire à ma disposition et pour avoir répondu positivement à chaque fois que je le sollicitais.

M^r L. KHELIFI me fait l'honneur d'accepter la présidence du jury, je l'en remercie.

Je remercie également M^{me} M. DAHMANI et M^r A. NEDJAHY pour avoir accepté de participer au jury.

Les remerciements que j'adresse à M^{elle}F. KROUCHI sont surtout pour ses encouragements incessants et son soutien indéfectible.

J'exprime ma reconnaissance à MM. A. ASMANI, H. MADIOU et B. METNA pour leurs conseils et orientations.

Je suis également reconnaissante à M^r M. BARITEAU (INRA d'Avignon) d'avoir aimablement mis un bon échantillon de matériel végétal à la disposition de notre laboratoire.

Que toutes les personnes dont j'ai omis de citer les noms et qui m'ont aidée de près ou de loin durant le parcours chaotique et discontinu qu'a connu ce mémoire, trouvent ici l'expression de ma gratitude.

Résumé

La variabilité géographique de populations naturelles de *Cedrus atlantica* et *Cedrus libani* est étudiée au moyen de caractères liés aux dimensions des graines (longueur et diamètre), à leurs aptitudes germinatives ainsi qu'aux caractéristiques biométriques et anatomiques des plantules au stade cotylédonaire.

Un essai de recherche de marqueurs biochimiques de cette variabilité est effectué à travers l'analyse des huiles essentielles contenues dans les poches résinifères des graines.

Le modèle de variation révélé est essentiellement le suivant :

- Variabilité se présentant en mosaïque entre les provenances marocaines de *Cedrus atlantica* .

- Séparation des populations libanaises et turques de *Cedrus libani* confirmant la distinction de deux taxons préconisée par de nombreux auteurs.

- Difficulté de distinguer l'espèce *Cedrus atlantica* de l'espèce *Cedrus libani* sur la base des caractères considérés.

Mots clés : *Cedrus atlantica*, *Cedrus libani*, provenance, variabilité, graine, plantule, cotylédon, formule cotylédonaire.

ص خ ل م ا

ملخص

التنوع الجغرافي لمستوطنات طبيعية للأرز الأطلسي والأرز اللبثاني تدرس بواسطة خواص مرتبطة بحجم البذور، القدرة على الإنكاش وكذا خواص القياسات الحيوية والتشريحية للنباتات في المرحلة الفلقية. محاولة البحث لهذا التنوع تمت بتحليل الزيوت الأساسية المحنواة في البذور.

نموذج التنوع المكتشف هو أساسا

تنوع على شكل فسيفساء بين المصادر المغربية للأرز الأطلسي

فصل مستوطنات لبثانية وتركيبية للأرز اللبثاني تؤكد ملاحظة درجتين في التصنيف

صعوبة تمييز نوع الأرز الأطلسي عن اللبثاني على أساس الخواص المعمول بها

مفاتيح: أرز الأطلس، أرز لبثان - تنوع - بذرة - نباتات - فلقات

Summary

Geographical variability among natural populations of *Cedrus atlantica* and *Cedrus libani* is examined through some characters as seed length, seed diameter and germination parameters. Seedling characters are also taken in consideration: cotyledon dimensions and anatomical structure of seedling at cotyledonary stage.

Preliminary research of biochemical markers is conducted on other hand through the analysis of seedcoat oleoresin.

The variation pattern revealed is:

- Lack of geographic structuration among Moroccan provenances of *Cedrus atlantica*.
- Discrimination between Lebanese and Turkish populations of *Cedrus libani*.
- Difficulty in distinguishing the two species on basis of the characters studied.

Key words: *Cedrus atlantica*, *Cedrus libani*, provenance, variability, seed, seedling, cotyledon, cotyledon formula.

Introduction

Le cèdre, essence résineuse noble par excellence des forêts montagnardes d'Afrique du Nord et du Moyen - Orient, suscite l'intérêt à plus d'un égard. Sa situation géographique sur le pourtour méditerranéen, creuset de civilisations depuis les temps antiques a fait que la cédraie n'a cessé de subir les coups de boutoir dûs à l'activité anthropique.

En outre, les chercheurs prédisent un avenir des plus sombres à plusieurs populations du Haut-Atlas marocain et de l'Atlas saharien algérien. Celles-ci, exposées aux influences sahariennes, en particulier au Bélezma et au Chelia, sont en voie de dépérissement avancé. Cette catastrophe écologique a mobilisé les communautés universitaire et forestière dans un atelier consacré au dépérissement du cèdre, lequel résulterait de l'action combinée de plusieurs facteurs dont l'évolution rapide du climat vers la sécheresse et une mauvaise gestion du pâturage.

Cette déperdition d'une ressource génétique inestimable et irremplaçable ne peut laisser indifférent et des actions ciblées doivent être menées dans les plus brefs délais, comme il est impératif de mettre au point des stratégies conservatoires adaptées.

Le maintien de la diversité génétique à l'intérieur des populations naturelles est un garant de leur adaptabilité et de leur maintien en cas de changements brusques dans leur environnement.

A cet égard, la mise sur pied d'une politique de conservation des ressources génétiques est loin d'être une lubie de pays riches.

Pour l'essence qui nous intéresse, un programme avait été initié dans le cadre du réseau « cèdre » de la commission FAO « *Silva mediterranea* » avec, pour objectif la création d'un réseau de plantations comparatives de provenances, par l'INRF conjointement avec l'INRA de France. Il a permis l'installation en 1992 d'une plantation d'une trentaine de provenances algériennes et marocaines de *Cedrus atlantica* en un dispositif en blocs complets dans la région de l'Akfadou. Ce dispositif a cependant été presque entièrement détruit (Harfouche, 1996).

Cette ressource est encore toutefois imparfaitement connue, or la mise en place d'une politique de conservation et, le cas échéant, d'un programme de sélection et d'amélioration nécessite une connaissance préalable de celle-ci. Une évaluation de l'étendue de la variabilité génétique des espèces et de sa structuration dans l'ensemble de leurs aires de répartition est donc une étape essentielle dans cette démarche.

Les travaux initiés dans le laboratoire de biosystématique forestière (U.M.M.TO) s'inscrivent dans cette optique, et le notre tente d'apporter des éléments nouveaux dans l'exploration de la variabilité géographique de *Cedrus atlantica* et de *Cedrus libani*.

Notre recherche s'articule autour de la variation, au sein de ces espèces, de caractères essentiellement phénotypiques relevant de plusieurs ordres :

morphologique, avec l'étude des dimensions de la graine puis de la plantule au stade cotylédonaire.

physiologique, par l'appréciation des facultés germinatives des semences.

anatomique, par l'étude du système vasculaire des plantules via les types cotylédonaire.

biochimique, dans un essai de caractérisation des essences extraites des poches résinifères des graines.

Partie I : Présentation du genre *Cedrus* de son aire naturelle

1.1. Systématique

- Le genre *Cedrus* appartient à :
- L'embranchement des Spermaphytes
- Sous-embranchement des Gymnospermes
- Classe des Vectrices
- Ordre des Coniférales
- Famille des Pinaceae
- Sous-famille des Abieteeae
- Tribu des Lariceae
- Genre : *Cedrus*

A sa première description par Linné (1753), le cèdre était classé comme une espèce de pin : *Pinus cedrus* (Gaussen, 1964 et Quezel, 1998). Trew en 1757, en fait un genre à part, le genre *Cedrus*, correspondant à l'actuel *Cedrus libani*.

Cette espèce, parfois également désignée par *Cedrus libanotica* Link 1831 et *Cedrus libanitica* Pilger 1926, est la plus anciennement connue et la première à avoir été définie, et les autres cèdres y ont souvent été subordonnés en tant que sous-espèces ou variétés.

Dans la flore de Turquie (Davis, 1965 in Bariteau et al, 1999), ainsi que dans le Med-Checklist (Greuter et al, 1984 in Bariteau et al, 1999), tous les cèdres méditerranéens sont décrits comme une seule espèce, appelée *Cedrus libani*, avec quatre sous-espèces :

Cedrus libani ssp *atlantica*, en Algérie et au Maroc ;

Cedrus libani ssp *brevifolia*, à Chypre ;

Cedrus libani ssp *libani*, au Liban et en Syrie ;

Cedrus libani ssp *stenocoma*, en Turquie.

Dans la flore de Chypre (Flora of Cyprus), Meikle (1977) in (Quézel et Médail, 2003), distingue trois espèces :

Cedrus deodara ;

Cedrus libani, dont le cèdre de Chypre est considéré comme une sous-espèce ;

Cedrus atlantica.

C'est également la position adoptée par Flora Europeae (Tutin et al, 1964 in Bariteau et al, 1999).

D'autres auteurs, selon Debazac (1977), les rattachent à deux espèces : l'une himalayenne (*Cedrus deodara*), l'autre méditerranéenne (*Cedrus patula*) avec deux sous-espèces (ssp *atlantica*, en Afrique du Nord et ssp *libani*, en Asie Occidentale).

A l'heure actuelle, sur la base de critères biogéographiques, la communauté scientifique convient de l'existence de quatre espèces :

- *Cedrus atlantica* Manetti, en Afrique du Nord ;
- *Cedrus brevifolia* Henry, dans le Sud-Ouest de l'île de Chypre ;
- *Cedrus libani* Barrel, en méditerranée orientale (Liban, Syrie, Turquie) ;
- *Cedrus deodara* Loudon, en Afghanistan et en Inde.

C'est la position adoptée par la majorité des forestiers, notamment les généticiens forestiers. Nous ferons de même tout au long de ce travail.

1.2. Paléobotanique

Dans la famille des Abiétacées, *Cedrus* semble être le genre le plus ancien après *Pinus* et son origine remonterait au Crétacé. En outre, des bois fossilisés qu'on désigne par le nom de *Cedroxylon* sont connus depuis le début du Secondaire et appartiendraient à de possibles ancêtres lointains du cèdre (Gaussen, 1964).

De nombreuses occurrences polliniques attestent de l'extension ancienne du cèdre sur le continent européen : Eocène dans les Carpathes centrales, Oligocène depuis la région de Turgai jusqu'aux environs de Cologne, en passant par la Roumanie et les Carpathes, Miocène en Europe centrale, Ukraine, Pologne, Roumanie, Tchécoslovaquie et Serbie (Ferguson, 1967 in Pons, 1998). Toujours selon ce dernier, un épisode de l'histoire du genre, allant du Miocène terminal au Pleistocène moyen, est mis en lumière grâce à d'importantes données polliniques d'Espagne, de France et d'Italie, sans qu'on puisse toutefois établir une quelconque connexion avec les espèces actuelles. Après les périodes froides et arides plio-pleistocènes, le cèdre a disparu de la rive nord-méditerranéenne (Quézel et Médail, 2003).

Les données relatives à l'aire de distribution actuelle du genre sont plus récentes et moins substantielles. En Méditerranée orientale, les plus anciens témoignages polliniques viennent d'abord de Syrie littorale, dans le lac de Gharb, au cours d'un épisode du dernier Glaciaire datant d'environ 45 650 ans BP (Niklewski et Van Zeist, 1970 in Pons, 1998 et Quézel et Médail, 2003), puis de Turquie où de vastes cédraies se seraient développées dans le sud-ouest du pays au Tardiglaciaire et au début de l'Holocène (Bottema, 1986 in Pons, 1998 et Quézel et Médail, 2003).

Sa présence est attestée dès 33 700 BP, soit au Pléniglaciaire, en Kroumirie (Brun, 1989) et (Bentiba et Reille 1982 in Pons, 1998) d'où il disparut vers 4 600 BP probablement, selon ces derniers auteurs, sous le joug d'actions anthropiques liées à l'installation des phéniciens. Il est également signalé dans le massif de l'Akfadou, en Kabylie, vers 10 140 BP, au cours de la phase de transition entre le Tardiglaciaire et l'Holocène. La cédraie constituait alors la principale formation forestière de la région selon Salamani (1993), elle en disparut vers 7 960 BP, supplantée par la chênaie caducifoliée, aujourd'hui principale structure de végétation.

Dans les massifs marocains, précisément au Jebel Ayachi dans le Haut-Atlas, le cèdre est connu dès le début de l'Holocène (Ballouche et Damblon, 1988 in Salamani, 1993). Au Boréal, dans le Rif, la cédraie régnait en maître mais elle est très exploitée et considérablement réduite dès le Subatlantique, notamment par les Phéniciens et les Romains. Cette influence est également perceptible dans plusieurs diagrammes polliniques

du Moyen-Atlas et du Haut-Atlas où, d'invasions en conquêtes, les fréquences polliniques reflètent les effets directs ou indirects de l'activité humaine (Reille, 1976 et 1977).

1.3. Origine phylétique

Le genre *Cedrus* a un type d'organisation plus évolué que celui de *Pinus* et un lointain ancêtre commun des deux genres a dû exister peut-être longtemps avant le Crétacé (Gaussen, 1964). Les données paléobotaniques connues à ce jour témoignent certes de son ancienneté mais ne permettent guère de reconstituer sa phylogénie.

Selon Höfker (1913) in Emberger (1938), *Cedrus libani* serait le type ancestral qui aurait par la suite donné naissance aux autres espèces.

Gaussen (1964), pour sa part, propose un tableau phylétique avec 3 rameaux rapprochés :

Cedrus brevifolia y serait un rameau primitif ou arrêté dans son évolution par l'insularité pour certains caractères.

Cedrus atlantica et *Cedrus libani* formeraient un rameau intermédiaire, et *Cedrus deodara* serait un troisième rameau, le plus évolué.

Pons (1998) verrait, quant à lui, en le cèdre néogène européen, un ancêtre possible des espèces actuelles, arguant que la faible individualité de ces taxons autoriserait à situer leur différenciation dans un passé récent, peut-être le Pleistocène. .

1.4. Caractéristiques botaniques

A l'instar des autres Lariceae (*Larix* et *Pseudolarix*), le genre *Cedrus* est caractérisé par la présence de deux types de rameaux :

- des rameaux courts ou mésoblastes, portant des aiguilles en rosettes ;
- des rameaux longs ou auxiblastes, avec des aiguilles isolées insérées en spirales.

Pour de nombreux auteurs, les dimensions des aiguilles ont servi de base à la classification et la distinction des différents cèdres.

S'il est à priori aisé d'identifier le cèdre de l'Himalaya et celui de Chypre grâce à la longueur de leurs aiguilles (longues chez le premier, très courtes chez le second), c'est en revanche moins évident pour le cèdre de l'Atlas et celui du Liban tant les valeurs références avancées dans la littérature se chevauchent parfois sur le terrain.

Outre la longueur, le nombre d'aiguilles par rosette et l'extension de la partie cornée de l'apex peuvent s'avérer discriminants pour caractériser les espèces de cèdres (Arbez et al, 1978). Ces caractères présentent cependant souvent une valeur populationnelle et permettent de distinguer différents ensembles géographiques. Selon ces mêmes auteurs, les populations du Haut-Atlas marocain se caractérisent par des aiguilles courtes à apex brièvement corné et de nombreuses lignes de stomates, ainsi qu'un rameau de l'année très

pubescent. Celles du Rif présentent des aiguilles plus longues, regroupés en grand nombre par rosette et un rameau de l'année pubescent.

Les résultats de De Lillo et Fusaro (1990) vont dans le même sens : les provenances du Rif ont un nombre significativement plus élevé d'aiguilles par rosette (40 en moyenne) comparées à celles du Haut-Atlas (35 en moyenne).

Les dimensions du cône ont également servi à la distinction des différents cèdres, celui de *Cedrus brevifolia* étant généralement le plus petit. Mais là encore, il est parfois difficile de ne pas faire de confusion entre le cèdre de l'Atlas et celui du Liban.

Le tableau n°1 résume, à titre indicatif, les principales caractéristiques botaniques des quatre espèces.

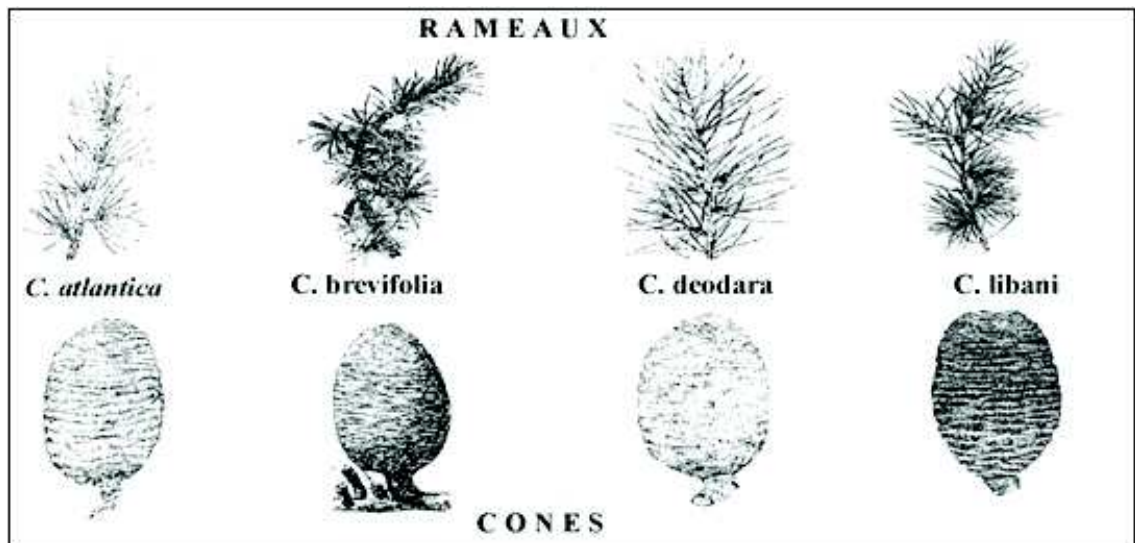


Figure n° 1 : Cônes et rameaux des quatre espèces de *Cedrus*
(in Reynaud, 1999)

Espèce caractères	<i>Cedrus atlantica</i>	<i>Cedrus libani</i>	<i>Cedrus brevifolia</i>	<i>Cedrus deodora</i>
Rhytidome	Gris foncé D'abord lisse puis craquelé	Gris-noir, lisse puis fissures légères chez l'adulte	Gris violacé sombre et terne	Gris foncé, lisse puis fissuré, formé de petites écailles verticales
Rameau	Marron clair Jeune densément pubescent, âgé pubescence faible	Gris brun clair Jeune glabre ou faiblement pubescent	Non pendant Peu ou pas pubescent	Brun jaunâtre clair. Pubescence peu dense. Ramifications aux extrémités pendantes
Aiguilles	Longueur généralement <25mm, apex aigu longuement corné	15 à 35 mm de long. Apex aigu, brièvement corné et un peu piquant	Longueur < 15mm (souvent de 5 à 8 mm) généralement distinctement incurvées, coriaces et acuminées Apex corné	30 à 50 mm de long
Bourgeon	Petit, globuleux gris brun jaunâtre Pas d'enduit cireux	Petit Gris brun violacé	Ogival, vert Non résineux	Petit, arrondi Gris jaune
Cône	5 à 8 cm de long Cylindrique à sommet déprimé D'abord vert jaunâtre puis violacé	7 à 10 cm de long Ovoïde, sommet aplati ou déprimé Pourpre puis grisâtre	Longueur < 7 cm cylindrique	7 à 12 cm de long Ovoïde à sommet arrondi Pourpre puis vert bleuâtre

Tableau n°1 : Caractéristiques botaniques des quatre espèces de cèdre

Sources : Gaussen (1964) Debazac (1977) Seigue (1985)

1.5. Cycle de reproduction

En règle générale, les cèdres sont monoïques. Autrement dit, les inflorescences mâles et femelles se retrouvent sur des structures reproductrices distinctes, mais localisées sur le même individu.

Les inflorescences mâles sont portées sur des pousses frêles et souvent pendantes. Les cônes femelles naissent isolément sur des branches vigoureuses et en position dressée. Il y a une importante superposition des deux types d'inflorescences dans la cime et les branches, et il est peu fréquent de rencontrer des branches portant les deux à la fois.

Après une période juvénile qui dure en moyenne 30 ans et qui peut aller jusqu'à 45 ans (Derridj, 1990), les bourgeons à l'état reproducteur apparaissent, amorçant ainsi le cycle de reproduction.

Les bourgeons donnant les inflorescences mâles apparaissent dès juin de l'année N (observations effectuées par Derridj (1990) sur *Cedrus atlantica*). Toth (1984) parle de début juillet pour *Cedrus libani* et de fin juillet pour *Cedrus deodara*. Ce sont d'abord des bourgeons verts, arrondis, de quelques millimètres. Ils se développent pour arriver à maturité vers la mi-septembre pour *Cedrus atlantica* (Derridj, 1990), fin septembre pour *Cedrus libani* et début novembre pour *Cedrus deodara* (Toth, 1984). C'est alors la pollinisation. Les grains de pollen libérés sont, ce qui est une caractéristique du genre, munis de deux ballonnets remplis d'air permettant leur dispersion à des distances très importantes, notamment par vent fort (pollinisation anémophile).

L'inflorescence femelle est apparente fin août de l'année N (jusqu'à mi-septembre pour *Cedrus deodara*). Elle se développe ensuite en un cônelet ovoïde constitué d'un axe autour duquel sont disposées, en spirale, des écailles ovulifères, portant à leur base, chacune deux ovules. Les écailles sont à ce moment ouvertes, c'est alors qu'a lieu la pollinisation. Les écailles se ferment alors et le cône entre en dormance (Chowdhury, 1961).

La fécondation n'a lieu qu'après la période hivernale car l'activité réduite de l'organisme végétal à ce moment de l'année, se limite à assurer sa survie et ne lui permet pas l'accomplissement sexuel à l'intérieur de l'inflorescence femelle (Toth, 1984).

Cet intervalle entre la pollinisation et la fécondation est la conséquence de la floraison automnale, fait qui, selon Boureau cité par Gaussen (1964) pourrait être dû à une origine australe.

Après la fécondation, le cône suit un développement remarquable durant l'année N+1 et atteint sa maturité morphologique : de verte au départ, sa couleur vire au violet puis au marron.

La désarticulation naturelle qui termine le cycle de reproduction connaît son aboutissement avec la dissémination des graines. Si les cônes de *Cedrus deodara* se désarticulent à la fin de l'année N+1, ceux des cèdres méditerranéens n'ayant pas encore atteint leur maturité physiologique, traversent, encore fermés, l'année N+2 pour ne s'ouvrir qu'aux alentours d'octobre ou de novembre de cette même année, et la désarticulation peut même empiéter de plusieurs mois sur l'année N+3 durant les années à hiver doux.

De plus, les cônes de *Cedrus deodara* se désarticulent sous l'effet de la chaleur alors que chez *Cedrus atlantica* et *Cedrus libani*, la désarticulation survient après une alternance de périodes de gel et de dégel précédées d'une humidité suffisante.

Les cycles sont donc en moyenne d'une année et demie pour le Deodar, de deux années et demie pour les cèdres méditerranéens.

1.6. Chorologie et écologie du genre *Cedrus*

1.6.1 Aire naturelle de répartition

Si dans un passé lointain, le cèdre colonisait de vastes étendues, il présente actuellement une aire de distribution très disloquée, formant trois blocs d'importance inégale, eux-mêmes répartis sur de nombreux massifs plus ou moins étendus et éloignés les uns des autres.

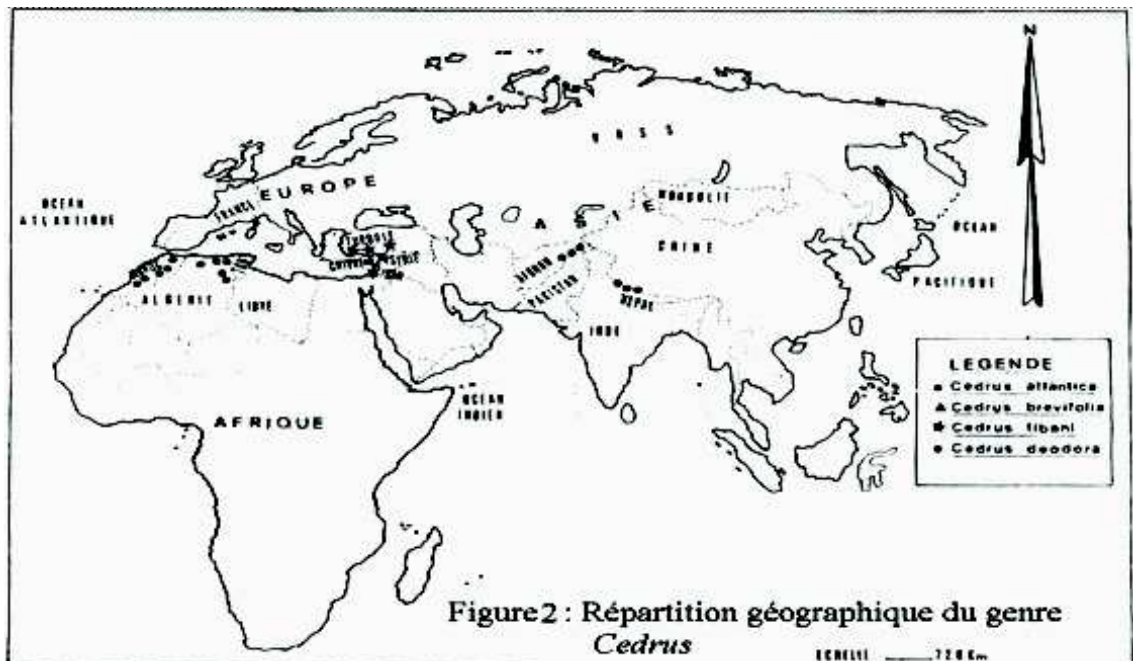


Figure 2 : Répartition géographique du genre *Cedrus*

(in Derridj, 1990)

· Aire de répartition de *Cedrus deodara* :

Le premier ensemble est représenté par le cèdre de l'Himalaya (*Cedrus deodara*) qui forme les peuplements les plus importants, depuis l'Afghanistan jusqu'au Népal occidental. On le retrouve sur le versant sud de l'Himalaya occidental, en particulier dans les hautes vallées du Sulej, du Gange, du Tons, du Dhauli et du Kernauli, ces derniers peuplements étant séparés de ceux du Dhauli par un espace de 320 km. On peut donc distinguer deux blocs de cédraies s'étendant entre 66° et 80° longitude Est, et la surface de la seule masse occidentale est estimée à 520 000 ha (Emberger, 1938).

Dans cette aire très vaste, le cèdre colonise des milieux très variés, tant sur le plan climatique qu'édaphique et s'étage essentiellement de 1 700 m à 3 000 m d'altitude (Debazac, 1977), il peut toutefois descendre à 1 300 m et aller jusqu'à 4 000 m (Gausson, 1964). Il végète généralement en compagnie de *Picea morinda*, *Pinus excelsa*, *Pinus longifolia* et *Abies pindrow*, ainsi que *Quercus incarna* et *Quercus semecarpifolia*.

· Aire de répartition de *Cedrus atlantica*

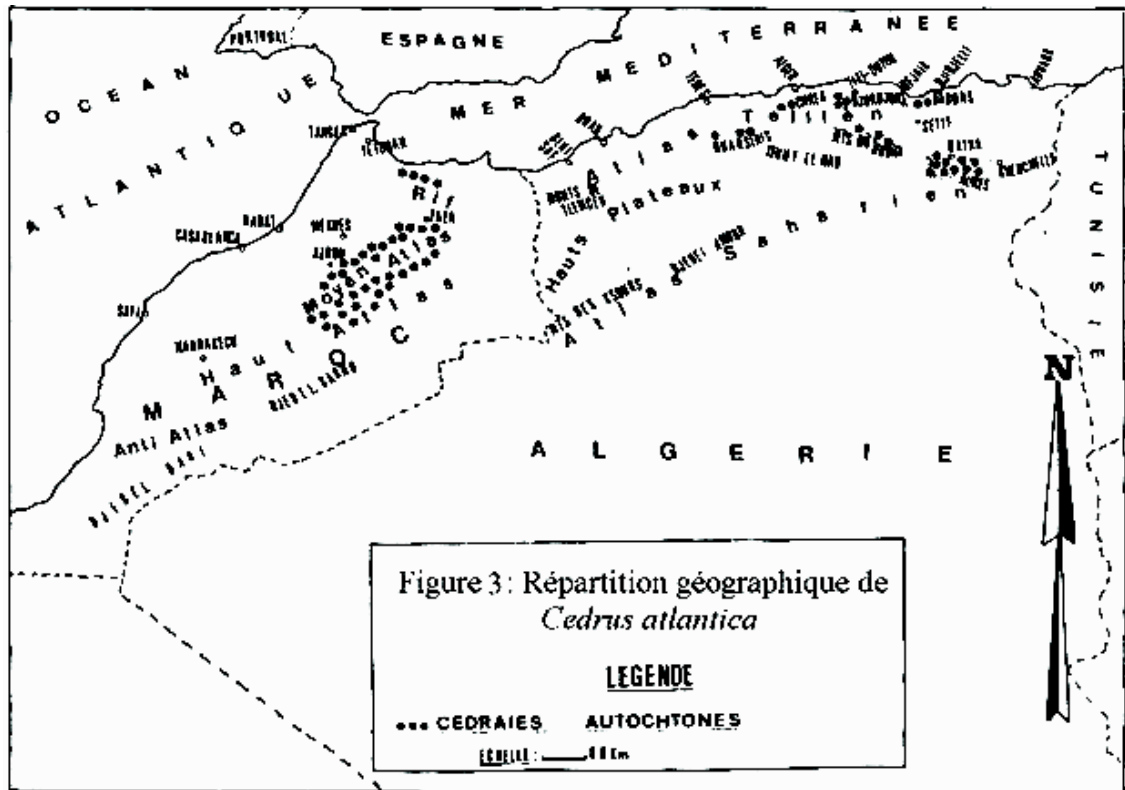


Figure 3 : Répartition géographique de *Cédrus atlantica*

(in Derridj, 1990)

C'est l'essence noble des montagnes d'Afrique du Nord. En 1950, Boudy estimait la surface occupée par les cédraies à environ 115 000 ha au Maroc et 30 000 ha en Algérie alors que les surfaces potentielles en seraient de 456 000 ha et 128 000 ha respectivement. Une exploitation abusive, un pastoralisme séculaire et sans doute pratiqué de manière anarchique ont fait que ces chiffres ne sont malheureusement plus d'actualité. Une source anonyme (1979) citée par Derridj (1990) parle de 23 000 ha pour les seules cédraies algériennes et Barbéro et al (1990) in (Quézel et Médail, 2003) avancent les chiffres de 90 000 ha au Maroc et de 20 000 ha en Algérie.

Au Maroc, la cédraie est répartie en trois blocs : dans le Rif, d'une part, au-dessus de 1 400 m d'altitude sur les versants atlantiques et de 1 600 m sur les versants méditerranéens, avec *Abies marocana* et *Quercus mirbeckii*, d'autre part dans le Moyen-Atlas, dont la cédraie du Tazekka qui s'étend sur une centaine d'hectares sur le piton sommital de ce massif, est en contact avec le Rif puis enfin, les peuplements du Haut-Atlas

oriental, moins humides, avec les massifs de l'Ayachi et du Masker (Destremeau, 1974 ; Debazac, 1977 et Lecompte, 1986).

En Algérie, l'aire du cèdre est plus morcelée et elle se répartit :

- dans l'Atlas Tellien avec, à l'ouest les peuplements de l'Ouarsenis (Teniet El Had, au Djebel Meddad avec 1 500 ha, avec *Quercus ilex* et *Quercus canariensis* et Sraa Si-Abdelkader, 150 ha avec *Quercus ilex* et *Pinus halepensis*) (Sari, 1977 in Derridj, 1990), les peuplements de Chréa, dans l'Atlas Blidéen, ceux du Djurdjura occupant environ 2000 ha puis, plus à l'est, les massifs des Babors et Tababors (stations bien arrosées), formant tantôt des cédraies pures (versant sud) ou en mélange avec *Quercus canariensis* et *Abies numidica*, sur environ 1 300 ha (Seigue, 1985).
- dans l'Atlas Saharien avec les cédraies du Hodna, essentiellement des vieilles futaies sans régénération à Boutaleb, Maadid et Guethian puis, plus à l'est, celles des Aurès, couvrant approximativement 15 000 ha, répartis en plusieurs massifs : le Bélezma avec 8 000 ha, Sgag, Chélia, Feraoun. On y trouve par ailleurs un modeste boisement, celui du Djebel Azreg à 1 800 m, distant d'à peine 40 km de Biskra (Seigue, 1985).

Gaussen (1964), distingue dans les cédraies du Maghreb, deux types d'écologie différente :

- le type *meridionalis*, adapté à une forte sécheresse estivale à laquelle ne survivent que rarement les jeunes semis, d'où une régénération irrégulière. Il est représenté par les populations de l'Atlas Saharien et du Haut Atlas marocain.
- le type *tellica* qui redoute au contraire la sécheresse et végète dans des milieux nettement plus humides. On le retrouve dans l'Atlas Tellien en Algérie et dans le Rif et Le Moyen-Atlas au Maroc.
- Aire de répartition de *Cedrus libani* :

Les populations de *Cedrus libani*, quant à elles, s'étendent sur trois pays méditerranéens orientaux : Liban, Syrie et Turquie, cette dernière en abritant aujourd'hui la majeure partie.

Concernant la superficie occupée par ces peuplements, les chiffres avancés dans les différentes publications ne sont pas toujours concordants : environ 500 000 ha pour Quézel et Barbero (1985) in Quézel et Médail (2003), autour de 170 000 ha pour Seigue (1985) et Bariteau et Ferrandes (1992) dont environ 150 000 ha en Turquie, 20 000 ha en Syrie et 1700 ha au Liban.

Des auteurs turcs (Aslan et Kizmaz, 1990 ; Boydak, 1990 ; Boydak, 1996 et Alptekin et al, (1997) citant O.G.M (1980) (vraisemblablement, un inventaire des services forestiers locaux) avancent des chiffres bien inférieurs à ceux cités plus haut : on dénombrerait 99 325 ha au total en Turquie dont 67 850 ha de peuplements « normaux » et 31 475 ha dégradés, compris pour l'essentiel entre 36°16' à 38°05' latitude Nord et entre 29°01' et 37°18' longitude Est.

Plus de la moitié de la cédraie turque se trouve dans le Taurus occidental où l'espèce, lorsqu'elle ne forme pas des peuplements purs, est en mélange fréquent avec les genévriers arborescents (*Juniperus oxycedrus*, *Juniperus foetidissima* et *Juniperus drupacea*). Le sapin de Cilicie y est absent (Alptekin et al, 1997).

Dans le Taurus central et oriental et dans l'Antitaurus, la cédraie est caractérisée par un mélange fréquent avec *Abies cilicica* et *Pinus nigra* ssp. *pallasiana* et s'étend de 1 400

m à 2 200 m. On y trouve également de nombreux feuillus : *Quercus coccifera*, *Quercus cerris*, *Quercus libani*, *Fraxinus ornus*, *Ostrya carpinifolia*, *Acer monspessulanum*...

Certains versants anatoliens du Taurus portent également des cédraies. Dans la région des grands lacs, l'humidité atmosphérique importante compense la continentalité du climat. Dans ces régions, la distribution naturelle atteint la bordure des steppes (Boydak, 1990 et Alptekin et al, 1997).

On en rencontre aussi dans l'Amanus ainsi que dans deux petites stations de la chaîne pontique (Çatalan et Akincilar) situées vers le nord, hors de l'aire principale méditerranéenne. Elles en présentent d'ailleurs une écologie différente et constituent une

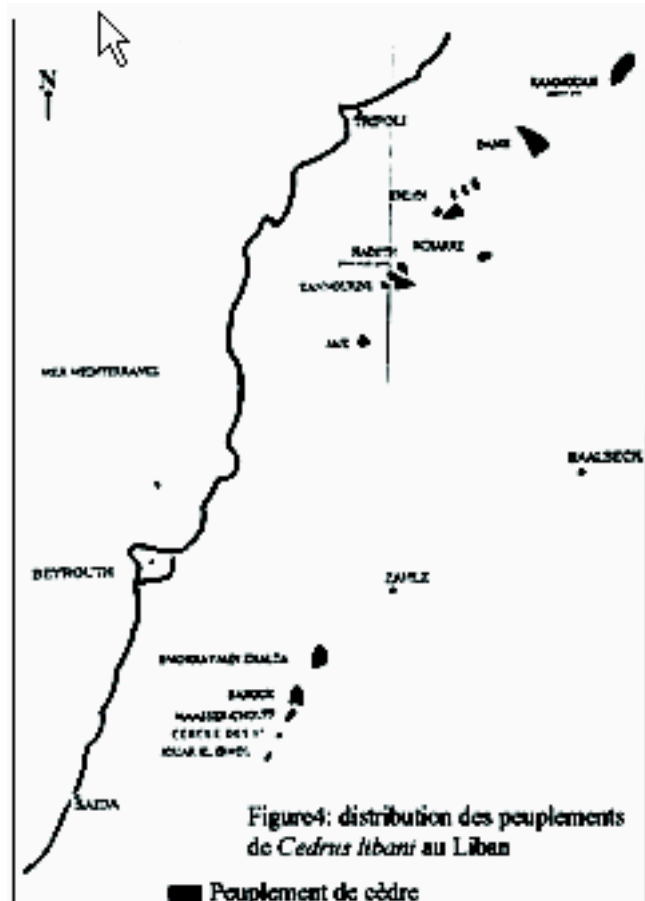


Figure4 : distribution des peuplements de *Cedrus libani* au Liban
(in Al Hallani et al, 1995)

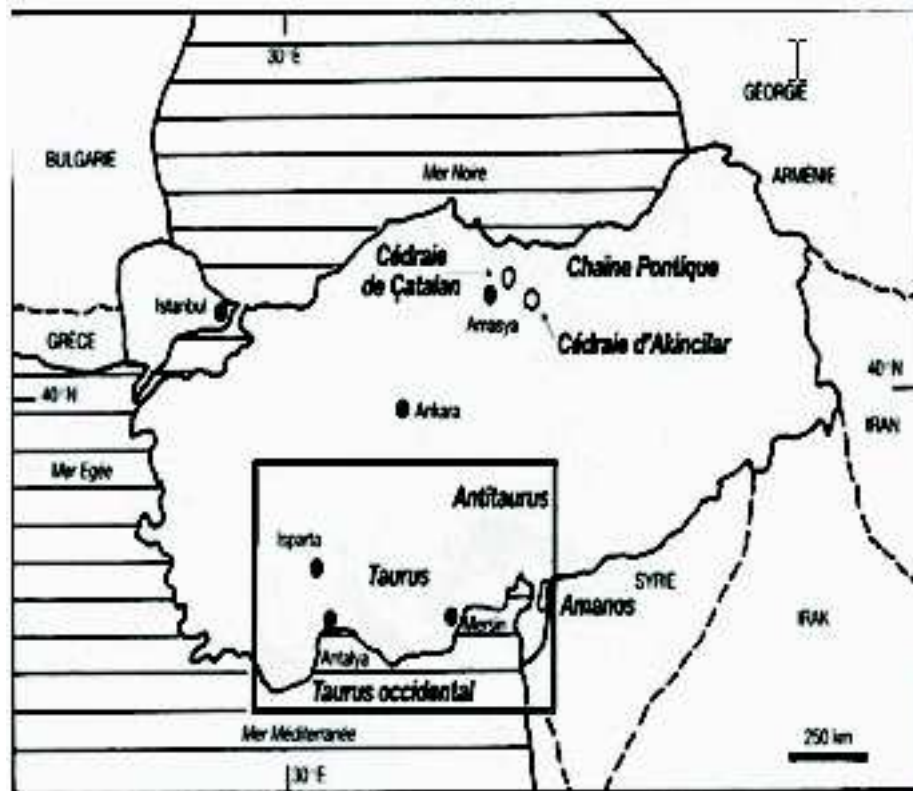


Figure5: Aire schématique de *Cedrus libani* en Turquie

(in Alptekin et al, 1997)

ressource génétique originale (Boydak, 1996 et Alptekin et al, 1997) bien que leur spontanéité soit mise en doute (Pons, 1998 et Quézel, 1998).

Si les populations turques ont été préservées grâce, semble-t-il, à un relief très accidenté rendant leur accessibilité difficile, il est loin d'en être de même pour les populations libanaises lesquelles ont subi, depuis des temps immémoriaux, une exploitation pour le moins abusive, fournissant en bois tour à tour Egyptiens, Phéniciens, Assyriens et Romains. De nos jours, la cédraie libanaise se limite à quelques stations éparses situées sur le versant occidental du Mont Liban et dont la surface totale est approximativement estimée à 2 700 ha (Al Hallani et al, 1995), parfois à 1 700 ha (Bariteau et Ferrandes, 1992) partagés en une douzaine de peuplements plus ou moins bien conservés :

Kammouah, Danié, Ehden, Bcharré (la station la plus connue et la plus prisée par les touristes), Hadeth, Tannourine, Jabel Jaje, Bmohray, Ain Zhalta, Barouk, Maasr El-Chouf (Chouchani et al, 1975). Il est souvent associé à *Abies cilicica*, *Quercus cerris* et *Quercus libani*. On le retrouve également en Syrie, sur le versant Est du Jbel Moussa, point culminant de la chaîne des Alaouites (Chalabi, 1980 in Quézel et Médail, 2003).

- Aire de répartition de *Cedrus brevifolia*

Cette essence est endémique de l'île de Chypre dont elle occupe la partie sud-occidentale, entre 900 m et 1 400 m d'altitude, en mélange avec *Quercus alnifolia*, chêne à feuilles persistantes, également endémique de l'île (Gaussen, 1964 ; Debazac, 1977 ; Bariteau et Ferrandes, 1992 et Quézel, 1998). Il est présent en quelques localités de la forêt de

Paphos. Le site le plus important est celui de Tripylos (environ 7 000 ha), il occupe par ailleurs quelques hectares à Mavrous Kremmous et à Selladhi tis Elias (Quézel, 1998).

1.6.2. Exigences édaphiques

Les substrats colonisés par les cédraies sont très variés et l'on s'accorde à dire que le cèdre est indifférent à la nature chimique du sol.

Selon Boudy (1950), le cèdre de l'Atlas se rencontre aussi bien sur les calcaires plus ou moins compacts du Lias ou marneux du Jurassique moyen que sur les schistes calcaires ou gréseux et les grès. Il ajoute que la grande majorité des cédraies algériennes croissent sur des formations siliceuses et, en proportion moindre, sur des calcaires du Crétacé. Au Maroc, la plupart des cédraies sont localisées sur des calcaires liasiques et jurassiques, notamment dans le Moyen-Atlas et le Haut-Atlas. Certaines croissent toutefois sur sol basaltique (Moyen-Atlas tabulaire), schisteux, marneux ou grès très dur (Emberger, 1971).

Le cèdre de Chypre végète sur un substrat constitué par des roches ultrabasiques très compactes (Quézel, 1998).

A quelques exceptions : basaltes et grès au Liban, roches ultrabasiques sur le Taurus oriental, les cédraies à *Cedrus libanica* colonisent presque exclusivement des substrats calcaires et calcaro-dolomitiques (Quézel, 1998).

La majorité des cédraies turques sont sur calcaire dur. Alptekin et al (1997), ajoutent que le karst est favorable au cèdre en offrant des substrats très fissurés, bien aérés, permettant l'enracinement des arbres qui trouvent l'humidité en profondeur et une terre riche décarbonatée de type rouge ou brun rouge méditerranéen (rendzine, terra fusca).

La structure physique a un rôle prépondérant, notamment pour la régénération : le cèdre a une prédilection pour les sols meubles et caillouteux où la jeune plantule peut se développer rapidement et assurer une bonne résistance à la sécheresse des premiers étés.

Les sols profonds, bien drainés et aérés tels que limons, sols sableux, schistes et quartzites lui assurent un meilleur développement (Sevim, 1955 in Aslan et Kizmaz, 1990).

Il craint les sols humides et asphyxiants. De fortes précipitations, en saison froide ennoient les argiles, peu perméables, retardant ainsi les pousses printanières qui sont ensuite exposées à la sécheresse mortelle de l'été. C'est pourquoi la cédraie se régénère si mal sur les sols argileux (Pujos, 1966 in Lecompte, 1986). Dans l'Akfadou, un reboisement sur sol marneux a donné des cèdres adultes nains dits en bonsaï.

1.6.3 Valeur altitudinale et bioclimatique

Les limites altitudinales du cèdre sont variables d'une station à l'autre, selon les conditions de température et d'humidité respectives de ces dernières.

En Algérie, le cèdre apparaît entre 1 300 et 1 400 m sur les versants nord de l'Atlas tellien, alors que sur les versants méridionaux ainsi que dans les Aurès il n'apparaît qu'à 1 400 - 1 500 m, voire 1 600 m en versant sud (Emberger, 1938 et Abdessamed, 1981 in Derridj, 1990).

La limite altitudinale supérieure va jusqu'à 2 200 m, c'est-à-dire jusqu'aux plus hautes altitudes de l'Algérie (Emberger, 1938).

De façon schématique, le cèdre de l'Atlas apparaît au Maroc à partir de 1 500 m sur le Rif, 1 600 m sur le Moyen-Atlas et 1 700 m sur le Haut-Atlas oriental. Il peut, à la faveur d'effets de thalwegs ou de microclimats locaux, descendre plus bas mais il ne détermine pas alors de véritables formations forestières (M'hirit, 1982).

En réalité, ces valeurs sont très relatives, il y a des différences sensibles de masse, de densité et de composition entre les cédraies des reliefs périphériques des grands massifs montagneux atlasiques bénéficiant avantageusement des vents d'ouest chargés d'humidité, et celles des montagnes situées en arrière de cet écran, végétant souvent dans des conditions proches de leur minimum écologique.

Ainsi, dans la haute vallée de l'oued el Abid (Haut-Atlas oriental), la cédraie descend jusqu'à 1 350 m tandis que sur le versant nord du Galb Errahal, elle ne croit pas au-dessous de 1900 - 2 000 m (Emberger, 1971).

Dans le Moyen-Atlas, la pluviométrie décroît de façon extrêmement rapide du Jebel Hebri vers l'est et le sud-est. Ce fait explique la remarquable juxtaposition existant sur quelques kilomètres de régions de plateaux et sur des différences d'altitude à peine visibles, entre des secteurs de forêts des plus florissantes et des secteurs à végétation steppique (Pujos, 1964).

La limite supérieure des cédraies se tient vers 2 300 - 2 400 m selon Pujos (1964) et oscille entre 2 700 et 2 800 m selon Emberger (1971).

Dans le Taurus, les peuplements de cèdre se rencontrent à partir de 1 200 m environ (Debazac, 1977 ; Alptekin et al, 1997 et Quézel, 1998). Les plus importants sont localisés sur les versants méridionaux où ils montrent un développement considérable et atteignent la limite de 2 400 m.

Sur la chaîne de l'Amanus où le cèdre est moins abondant et où il occupe surtout les versants septentrionaux, il peut descendre bien bas en altitude, jusqu'à 650 m entre les villages de Yoluklar et Sogüt et peut s'étendre jusqu'à 1 500 m. Ces cédraies sont cependant fortement menacées par l'action anthropique (Alptekin et al, 1997). Les cédraies des chaînes syro-libanaises se rencontrent essentiellement entre 1 400 et 1 900 m.

Avec une telle amplitude altitudinale, il n'est pas étonnant que ces essences colonisent plusieurs étages de végétation, et si *Cedrus brevifolia* semble inféodée à l'étage mésoméditerranéen et au bioclimat subhumide froid ou frais ($P = 800$ mm et $m = 0$ à 2°C avec une sécheresse estivale de 5 à 7 mois) (Quézel, 1998 et Quézel et Médail, 2003), *Cedrus atlantica* et *Cedrus libani* sont nettement liées à l'étage montagnard méditerranéen même si elles en « débordent » quelquefois.

En méditerranée orientale, Quézel (1998) et Quézel et Médail (2003) distinguent deux horizons au sein de l'étage montagnard méditerranéen où *Cedrus libani* est à son optimum écologique :

- Un horizon inférieur correspondant à l'ensemble méso-xérophile de l'espèce, pauvre en éléments caducifoliés et où, en revanche, les thérophytes montrent un développement remarquable.
- Un horizon supérieur correspondant à l'ensemble mésophile du cèdre, riche en éléments caducifoliés qui varient selon les stations.

Ces deux ensembles correspondent respectivement aux bioclimats subhumide et humide dans leur variante très froide.

Ces auteurs parlent également d'un ensemble xérophile résiduel en zone présteppe où *Cedrus libanise* retrouve en peuplements clairs et épars, en association avec *Pinus nigra* subsp. *pallasiana* et *Juniperus excelsa* correspondant au bioclimat semi-aride.

En outre, certaines cédraies, dans le Taurus occidental en particulier, semblent descendre dans l'étage méditerranéen supérieur, alors que certains peuplements d'altitude où le cèdre est associé aux genévriers (*Juniperus excelsa*, *Juniperus foetidissima* et *Juniperus drupacea*) s'élevant jusqu'à 2 200 - 2 300 m d'altitude, pénètrent dans l'oroméditerranéen.

Il en est sensiblement de même pour les cédraies du Maghreb qui occupent dans leur majorité l'étage montagnard méditerranéen, entre 1 700 et 2 100 m d'altitude en moyenne. Les cédraies d'altitude plus faible (1 500 - 1 700 m) occupent l'horizon supérieur de l'étage méditerranéen supérieur et celles, plus alticoles (2 100 - 2 500 m) se rapportent au sous-étage inférieur de l'oroméditerranéen.

D'un point de vue bioclimatique, elles se rapportent essentiellement au bioclimat méditerranéen humide froid où le cèdre trouve son optimum, puis au bioclimat subhumide dans sa variante très froide et au semi-aride extrêmement froid (Revers méridionaux de l'Aurès et du Hodna).

A la lumière de toutes ces données, il est aisé de concevoir la grande diversité floristique de ces formations qui se retrouvent dans plusieurs catégories phytosociologiques, s'intégrant essentiellement dans la classe des *Quercetea pubescentis* et, à un degré moindre, dans les *Quercetea ilicis*.

Nous avons cru bon de présenter cela sous forme de tableaux dont les informations sont essentiellement extraites de Quézel (1998) (Cf Tableau n°2 a, b et c).

Unité phytosociologique	Caractéristiques	Cédraies où elle est représentée
<p>Classe : QUERCETEA PUBESCENTIS Ordre : QUERCU CEDRETALIA ATLANTICAE</p> <p>* VIOLO MUNBYANAE - CEDRION ATLANTICAE (Alliance) - LUZULO FORSTERI - CEDRETUM ATLANTICAE (Association) - TEUCRIO OXYLEPIDIS - CEDRETUM ATLANTICAE</p>	<p>Occupe surtout le montagnard méditerranéen mais pénètre aussi au méditerranéen supérieur et oroméditerranéen. Espèces caractéristiques : <i>Digitalis purpurea var maroccana</i>, <i>Arenaria pomelii</i>, <i>Vicia cedretorum</i>, <i>Viola munbyana</i> var <i>rifana</i></p>	Rif, Tazekka et Moyen-Atlas oriental humide
<p>* PAENIO MAROCCANAE - CEDRION ATLANTICAE - HELIANTHEMO CROCEI - CEDRETUM ATLANTICAE - ARGYROCYTISO BATTANDIERI - CEDRETUM ATLANTICAE - PIPATHERO PARADOXI - CEDRETUM ATLANTICAE</p>	<p>Occupe l'horizon supérieur du méditerranéen supérieur et tout le montagnard méditerranéen. Espèces caractéristiques : <i>Argyrocitius battandieri</i>, <i>Pasomia coriacea</i> var <i>marrocana</i>, <i>Arabis josiae</i> et <i>Viola delmhardtii</i> var <i>atlantica</i>.</p>	Moyen - Atlas tabulaire et Haut - Atlas oriental
<p>* PAENIO ATLANTICAE - CEDRION ATLANTICAE - ASPERULO ODORATAE - ABIETETUM NUMIDICAE - SENECIO PERRALDERIA - CEDRETUM ATLANTICAE</p>	<p>Occupe le méditerranéen supérieur et le montagnard méditerranéen en bioclimat humide voire perhumide. Espèces caractéristiques : <i>Myosotis alpestris</i>, <i>Senecio perralderianus</i>, <i>Viola munbyana</i>, <i>Convolvulus dyakum</i>.</p>	Atlas tellien algérien
<p>* LAMIO NUMIDICAE - CEDRION ATLANTICAE Classe des QUERCETEA ILICIS</p>	<p>En bioclimat subhumide, voire semi-aride. Alliance définie par Abdessemed (1981). Cédraies dégradées que Quézel (1998) préconise de rattacher plutôt aux QUERCETEA ILICIS</p>	Atlas saharien algérien
<p>* BALANSAEO GLABERRIMAE - QUERCION ROTUNDIFOLIAE</p>	<p>Localisées au méditerranéen supérieur, dominées par <i>Cedrus atlantica</i> ou <i>Cedrus atlantica</i> et <i>Quercus rotundifolia</i></p>	Causse du Moyen - Atlas et Haut-Atlas oriental
<p>* JUNIPERO THURIFERAEE - QUERCION ROTUNDIFOLIAE</p>	<p>Montagnard méditerranéen, voire horizon inférieur de l'oroméditerranéen. Structures pré-steppe de haute altitude.</p>	Chaînons orientaux du Moyen - Atlas

Tableau n° 2 a : Caractéristiques phytosociologiques des formations à *Cedrus atlantica*

Partie I : Présentation du genre Cedrus de son aire naturelle

Unité phytosociologique	Caractéristiques	Cédraines où elle est représentée
<p>Classe : QUERCETEA PUBESCENTIS Ordre : QUERCO - CEDRETALIA LIBANI</p> <p>* LONICERO - CEDRION (Alliance) - ALLIARO OFFICINALIS - CEDRETUM LIBANI - ORYZOPSISIDIO HOLCIFORMI - CEDRETUM LIBANI</p> <p>* ABIE TO - CEDRION - ACERO TAURICOLI - ABIE TETUM CILICICAE - POTENTILLO CALYCINAE - ABIE TETUM CILICICAE - THLASPO CATAONICI - CEDRETUM LIBANI</p> <p>* GERANIO - CEDRION - ANTHRISCO LAMPROCARPAE - ABIE TETUM CILICICAE - CYTISO DREPANOLOBI - CEDRETUM LIBANI</p> <p>* CAS PARTICULIER : Végétation présteppe à <i>Juniperus excelsa</i> (avec vestiges épars de <i>Cedrus libani</i> et de <i>Pinus nigra</i> subsp <i>pallasiana</i>)</p>	<p>Absence d'<i>Abies cilicica</i> et quasi absence de <i>Pinus nigra</i> subsp <i>pallasiana</i> Importante amplitude écologique allant du bioclimat humide au semi-aride Espèces : <i>Paeonia turcica</i>, <i>Pentapetia boocqueti</i>, <i>Eberus boissieri</i>, <i>Campanulamichanxiodes</i></p> <p>Montagnard méditerranéen ou méditerranéen supérieur, en bioclimat humide et localement subhumide très froid.</p> <p>Bioclimat humide très froid Espèces : <i>Geranium libani</i>, <i>Geranium libanoticum</i>, <i>Paripinnella anthriscoides</i>, <i>Lathyrus libani</i>, <i>Corydalis solida</i> var <i>brachyloba</i>, <i>Prunus ursina</i>, <i>Rubia ancheri</i></p> <p>Bioclimat très froid voire extrêmement froid. Allure de forêt présteppe claire à genévriers et cèdre constituant des pâturages d'estive.</p>	<p>Taurus occidental notamment celles situées dans la portion de la chaîne entre Antalya et Fethiye.</p> <p>Taurus centro - oriental</p> <p>Chaînes syro - libanaises</p> <p>Revers septentrional de la chaîne taurique, en particulier à El Mali, Ermenek et Isparta</p>

Tableau n°2 b : Caractéristiques phytosociologiques des formations à *Cedrus libani*

Unité phytosociologique	Caractéristiques	Cédraines où elle est représentée
<p>Classe des QUERCETEA ILICIS</p> <p>* QUERCION - ALNIFOLLAE (Alliance endémique de Chypre)</p> <p>- CREPIDO FRASII - QUERCETUM ALNIFOLIA</p>	<p><i>Crepis frasi</i>, <i>Stellaria cilicica</i>, <i>Cyclamen cypricum</i>, <i>Leockia cretica</i> et <i>Sedum cypricum</i></p> <p><i>Galium pepitidifolium</i>, <i>Cephalorhynchus cypricum</i>, <i>Epilobium montanum</i>, <i>Arrhenatherum elatius</i>, <i>Poa sintenestii</i> et <i>Stellaria media</i> subsp <i>postii</i></p>	<p>Vallon des cèdres dans la région de Tripilos</p>

Tableau n°2 c : Caractéristiques phytosociologiques des formations à *Cedrus brevifolia*

Partie II : Matériel et méthodes

2.1. Matériel biologique

Il consiste en 29 lots de semences provenant de populations naturelles de cèdres méditerranéens (*Cedrus deodara* n'est pas représenté dans cette étude) et couvrant une partie de l'aire de répartition de ces espèces.

Cedrus atlantica est représenté par 20 provenances, toutes d'origine marocaine.

Cedrus libani est représenté par trois provenances libanaises et cinq turques.

Toutes ces graines nous ont été envoyées par le Laboratoire de Recherches Forestières Méditerranéennes, dépendant de l'INRA, centre de recherches d'Avignon (France). Y étaient joints les fiches descriptives des stations correspondantes et les certificats phytosanitaires.

L'échantillonnage a été réalisé par les services forestiers des pays concernés, au cours de l'année 1994. Il s'agit, pour chaque provenance, de graines issues de cônes récoltés en principe sur de nombreux arbres puis mélangées. Le nombre exact d'individus échantillonnés ne nous a cependant pas été communiqué.

En outre, un dernier lot de graines en provenance de Chypre, et représentant donc l'espèce *Cedrus brevifolia*, nous est parvenu du Département Forestier de Nicosie, dépendant du Ministère de l'Agriculture, des ressources naturelles et de l'environnement Chypriote.

Les provenances et leurs coordonnées respectives sont consignées dans les tableaux n° 3 et n° 4 Cf également les figures 6 et 7.

2.2 Présentation des stations d'étude

2.2.1. Les provenances de *Cedrus atlantica*

Tableau n° 3 : Coordonnées géographiques des provenances de *Cedrus atlantica*

Numéro	Provenance	Code	Latitude (Nord)	Longitude (Ouest)	Altitude (en mètres)
1	Jbel Kelti	KELT	35° 21'	05° 21'	1600
2	Tizi Ifri	IFRI	34° 52'	04° 16'	1850
3	Ikankaben	IKAN	35° 06'	04° 54'	1720
4	Talassantane	TALA	35° 08'	05° 09'	1700
5	Jbel Tizirène	TIZI	-	-	-
6	Bab Chiker	BABC	34° 50'	04° 36'	1580
7	Sidi Mguild	MGUI	33° 15'	05° 14'	2050
8	Ich N'timghilt	ICHN	33° 28'	04° 18'	1900
9	Tatgaline	TAGA	33° 04'	05° 07'	1850
10	Idjrane	IJAR	33° 07'	05° 24'	1635
11	Seheb	SEHE	33° 21'	05° 14'	1700
12	Taffert	TAFF	33° 39'	04° 06'	1900
13	Talarine	TARI	33° 53'	05° 12'	1900
14	Tamtroucht	TARO	33° 48'	04° 02'	1800
15	Tazekka	TAZE	34° 08'	04° 10'	1750
16	Ain Kahla	AKAH	-	-	-
17	Mitkane	MITK	32° 34'	04° 59'	1937
18	Idikel	IDIK	32° 29'	05° 28'	1950
19	Assaka	ASSA	32° 23'	05° 23'	2050
20	Tounfite	TOUN	32° 17'	05° 20'	2050

Les provenances marocaines dont nous disposons sont représentatives de l'aire de répartition de *Cedrus atlantica* au Maroc et sont réparties comme suit :

a. Rif

C'est un massif montagneux parallèle à la côte méditerranéenne. Six provenances de notre étude en sont issues (1, 2, 3, 4, 5 et 6).

Jbel kelti est, après le Jbel Bouhachem (non compris dans notre échantillon), le site le plus occidental de l'aire naturelle. Il appartient, avec Ikankaben, au massif de Chaouen, constitué

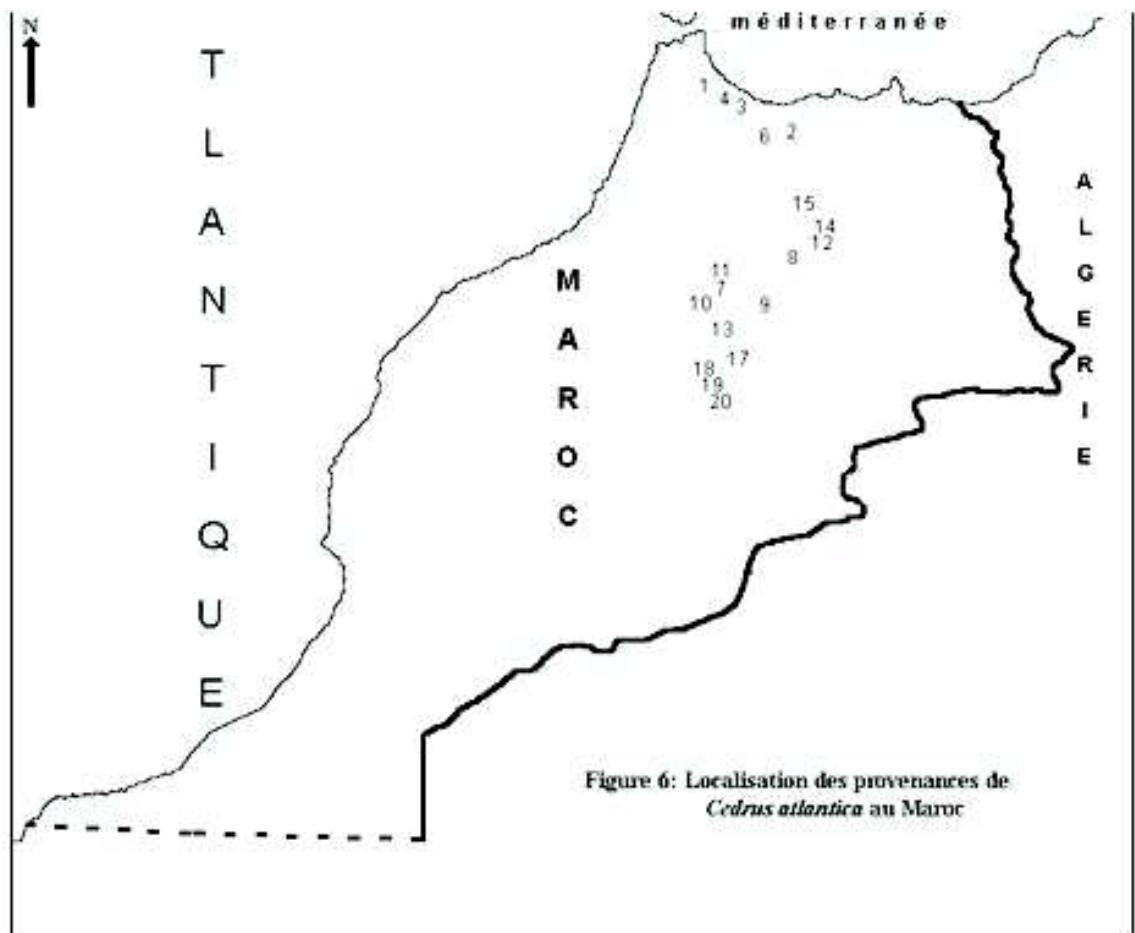


Figure 6: Localisation des provenances de *Cedrus atlantica* au Maroc

Figure6 : localisation des provenances de *Cedrus atlantica* au Maroc

de calcaires dolomitiques. Ces forêts bénéficient de taux d'humidité élevés (brouillard notamment) et de froid modéré. « m » y est légèrement supérieur à 0°C et P = 1500 mm inégalement répartis avec une pluviométrie estivale moyenne < 50 mm (Pradal, 1979).

Tizi-Ifri repose sur les schistes de Ketama avec P = 1350 mm et m < 0 d'où une prédominance de précipitations neigeuses. La sécheresse estivale y est prononcée.

Sur cette nappe schisteuse on retrouve également Bab Chiker, l'une des plus belles stations de la cédraie marocaine selon Destremeau (1974).

b. Moyen-Atlas

Les peuplements du groupe central se distinguent de ceux de la tache de Taza et du massif du Bou Iblane, situés plus à l'est.

. Tache de Taza et massif du Bou Iblane

Tazzeka est un massif isolé de schistes paléozoïques non calcaires, à l'extrémité nord du Moyen-Atlas qui fait jonction avec le Rif et où P = 1400 mm et m = - 2 °C.

Taffert et Tamtroucht se trouvent sur les contreforts du grand massif calcaire du Jbel Bou Iblane, caractérisé par des conditions accentuées de continentalité, ce qui fait que ces provenances présentent de grandes analogies écologiques avec celles du Haut-Atlas (Lecompte, 1986).

Entre les deux massifs parallèles de Bou Iblane et Bou Nacer, dans la forêt d'Imouzzer des Marmoucha se trouve Ich N'timghilt qui reçoit une pluviométrie de l'ordre de 500 mm, assez régulièrement répartie en raison de fréquents orages d'été (Destremeau, 1974).

. Moyen-Atlas central

D'un point de vue structural, le Moyen-Atlas central est constitué de deux ensembles s'étirant dans le sens Sud-ouest - Nord-est, et qui sont le Causse et le Moyen-Atlas plissé.

Le Causse :

Surface tabulaire dominant les plateaux calcaires du Saïs vers le Nord-ouest et la meseta centrale cristalline vers l'ouest, par-dessus lesquels lui parviennent les vents humides de l'océan. La pluviométrie décroît régulièrement vers l'est et le Sud-est.

Quelques accidents, parfois volcaniques rompent l'uniformité altitudinale et culminent à près de 2 100 m. Ce sont, entre autres Sidi Mguild, Idjrane et Seheb.

Seheb avec $m = - 2^{\circ}\text{C}$, située sur des basaltes quaternaires et Idjrane avec $m = - 4^{\circ}\text{C}$, sont parmi les cédraies les plus florissantes du Moyen-Atlas, très arrosées ($P \geq 1000$ mm) car situées sur le rebord du Causse.

Sidi Mguild, situé plus à l'intérieur, sur un substrat dolomitique, reçoit environ 900 mm de pluie. Il présente le même climat que la station de Ain Kahla, voisine (Destremeau, 1974).

Le Moyen-Atlas plissé :

formé de chaînons plus ou moins parallèles s'élevant rapidement au dessus du Causse. On y retrouve les provenances Tatgaline et Talarine au climat relativement humide car situées sur les versants tournés vers l'océan.

Haut-Atlas oriental

Idikel est représentative des forêts intermédiaires entre le Moyen et le Haut-Atlas. Son climat, bien que marqué par la continentalité, est tempéré par les vents humides d'ouest. Le substrat est constitué de schistes marno-calcaires recouverts superficiellement par des sols très érodés.

Tounfite et Assaka sont les cédraies marocaines soumises aux conditions les plus défavorables. La sécheresse y est extrême, pas plus de 400 mm / an (Destremeau, 1974).

2.2.2. Les provenances de *Cedrus libani*

Tableau n° 4 : Coordonnées géographiques des provenances de *Cedrus libani*

Numéro	Provenance	Code	Latitude (Nord)	Longitude (Ouest)	Altitude (en mètres)
1	Ain Zhalta	ZHAL	33° 44'	35° 44.5'	1300
2	Barouk	BARO	33° 41'	35° 41.5'	1700
3	Jbal Kammouah	KAMM	34° 30'	36° 13'	1250/1800
4	Karaçay	KARAC	36° 23' 53 ''	29° 26' 25''	1550
5	Aslankoy	ASLA	37° 00'	34° 14'	1800
6	Avlan Elmali	AVLA	36° 31' 30 ''	29° 44' 09''	1600
7	Dirmil	DIRM	37° 08'	29° 32'	1650
8	Armut alani	ARMU	37° 50' 04''	31° 18' 04''	1550

2.2.2.1. Les provenances libanaises

Le Jabal Barouk se situe au milieu de la chaîne du Mont Liban, sur le versant ouest en regard de la mer. Il culmine à près de 2 000 m d'altitude et abrite, entre 1300 et 1800 m, les peuplements de *Cedrus libani* les plus méridionaux de l'aire naturelle. Ces derniers s'y développent sur un sol rouge issu de la décalcification partielle des roches-mères calcaires compactes et fissurées du Jurassique (Al Hallani et al, 1995).

On y distingue la forêt de Barouk appartenant à la commune de Barouk, à une altitude de 1 700 m. Les arbres y sont souvent trapus car ayant subi un pâturage caprin très intense dès le jeune âge. Elle s'est cependant étendue par régénération naturelle grâce à une mise en défens déjà ancienne d'une soixantaine d'années ou plus.

La forêt de Ain Zhalta appartient à la commune de Ain Zhalta et Bmohraÿ, et se trouve à une altitude d'environ 1 300 m. Le peuplement y est pur comme à Barouk, mais les arbres sont plus élancés et élégants, permettant de le qualifier de beau et même d'exceptionnel (Fiche descriptive délivrée par le Service Forestier Libanais).

La forêt de Kammouah, dans le nord du Liban, repose sur des bancs calcaires ou des calcaires marneux du Crétacé. Le sol y est souvent superficiel à une altitude allant de 1 300 à 1 500 m.

C'est en fait une sapinière où *Abies cilicica* est dominant et est en mélange avec *Cedrus libani*, *Juniperus oxycedrus*, *Juniperus excelsa*, *Pinus brutia*, *Quercus infectoria*, *Quercus cerris*...

Chouchani et al, (1975) tiraient déjà la sonnette d'alarme sur l'état lamentable où se trouvait la forêt et plaidaient pour un plan de sauvegarde urgent.

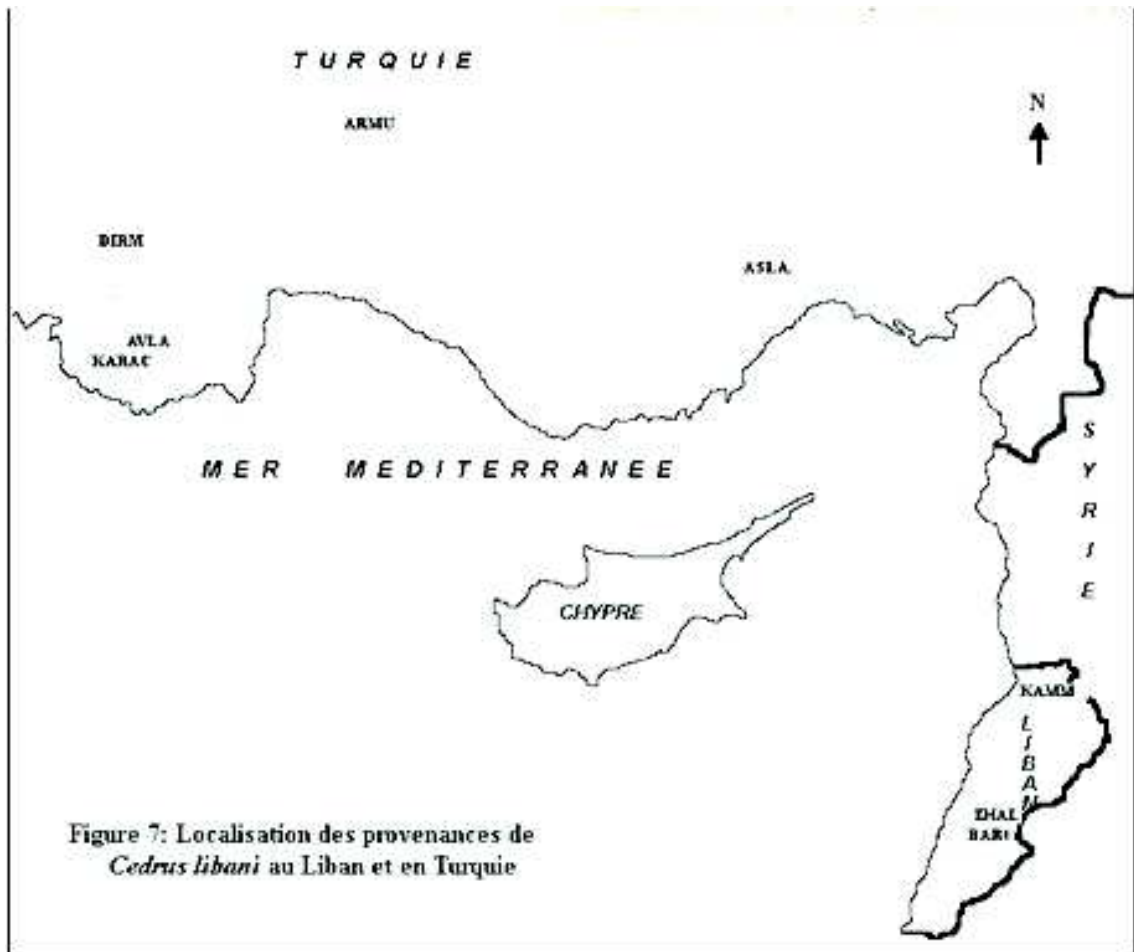


Figure7 : localisation des provenances de *Cdrus libani* au Liban et en Turquie

2.2.2.2. Les provenances turques

Les provenances turques se répartissent dans différentes régions du pays :

a. Taurus occidental

Là où se concentre la plus grande partie de la cédraie turque. Nous y avons :

- - Avlan Elmali à 1 600 m d'altitude, proche de la ville d'Antalya. La pluviosité annuelle y est estimée à environ 800 mm. Sur sol calcaire comme la majorité des cédraies turques, le cèdre y végète en compagnie de *Quercus coccifera*, *Juniperus excelsa*, *Juniperus foetidissima*, *Berberis vulgaris*...
- - Karaçay, plus proche de la côte, est à 1 550 m d'altitude et reçoit 1 500 mm de pluie.

b. Anatolie

Région plus occidentale, on y retrouve :

- - Dirmil - Gölhisar, à 1 650 m d'altitude, *Cedrus libani* y est accompagné de *Juniperus foetidissima*, *Berberis cretius*, *Quercus libani*...
- - Armutalani - Sarkikaraagâç, proche de la ville d'Isparta. A 1 550 m d'altitude, elle reçoit 445 mm de pluviosité annuelle et on y note également la présence des genévriers arborescents (*Juniperus excelsa*, *Juniperus foetidissima*).

- c. Taurus oriental
- - Aslanköy, située à 1 800 m d'altitude dans la région de Mersin. Le peuplement de cèdres y est constitué d'arbres au port particulier, très rectilignes, aux branches fines, courtes à insertion horizontale. Cette provenance a montré des qualités génétiques exceptionnelles pour sa forme et sa croissance en hauteur dans les tests comparatifs installés dans le sud de la France (Alptekin et al, 1997).

2.3. Caractères étudiés

Les études de type biosystématique sont souvent axées sur la caractérisation ou la mesure d'un certain nombre d'organes génératifs ou végétatifs, pouvant intervenir à des degrés divers dans la discrimination de groupes d'individus ou de populations, voire d'espèces selon le niveau d'observation considéré.

Les recherches dans ce sens sont abondantes. Nous en citerons quelques unes à titre d'exemples : Arbez et al (1978) ont mis en évidence des variations géographiques au sein du genre *Cedrus* en se basant sur l'étude des rameaux et des aiguilles de semis de 1 à 4 ans. Taylor et Patterson (1980) ont travaillé sur les espèces de *Picea* du Mexique, Cantegrel (1983) sur les populations de *Pinus uncinata* dans les Pyrénées et Derridj (1990) sur les populations de *Cedrus atlantica* en Algérie.

Pour ce qui est de notre travail, on peut considérer que les caractères pris en compte relèvent de plusieurs aspects :

Aspect morphologique : par l'étude biométrique de la graine puis de la plantule au stade cotylédonaire.

Aspect physiologique : par l'étude des aptitudes germinatives de la graine.

Aspect anatomique : par l'étude du système vasculaire de la plantule à travers les types cotylédonaire.

Aspect biochimique : par l'étude des composés terpéniques contenus dans les poches résinifères de la graine.

La variation dans ces caractères, sera appréhendée à deux niveaux : intraspécifique par la comparaison des provenances au sein d'une même espèce, puis interspécifique dans une tentative de situer les espèces de cèdre les unes par rapport aux autres.

L'étude biométrique de la graine a concerné toutes les provenances énumérées dans les deux paragraphes précédents. Cependant, certaines provenances ayant montré des taux de germination nuls ou trop faibles et n'ayant donc pas abouti à un nombre suffisant de plantules, ont été écartées de la suite du travail. Sont concernées les provenances : Talassantane, Jbel Tizirène, Taffert, Talarine, Tamtroucht et Mitkane pour *Cedrus atlantica*, ainsi que les graines de *Cedrus brevifolia*.

2.3.1. Biométrie de la graine

2.3.1.1. Morphologie et anatomie

A l'instar de celles des autres Pinaceae, les graines de cèdre sont réunies par deux à l'aisselle des écailles du cône. Ce sont des graines résineuses tendres. Le tégument est mou et contient de larges lacunes à paroi très mince remplies d'une résine fluide, qu'on appelle glandes résinifères.

La graine de cèdre est de forme subtriangulaire, allongée et pointue. Elle est pourvue d'une aile jouant un rôle dans la dissémination (anémochorie) et qui fait presque le double de sa taille (Gaussen, 1955). Ce dernier ajoute que l'aile pince la graine et n'en fait pas partie. Derridj (1990) note la ressemblance des structures de l'aile avec celles des téguments de la graine qui se présentent partout en fibres sclérenchymateuses allongées, les poches résinifères exceptées, où les structures sont en mailles. Une coupe anatomique longitudinale au niveau de la graine révèle l'existence de trois parties :

L'embryon : occupant la partie centrale, c'est un organisme diploïde muni d'une radicule, d'une tigelle et d'un nombre variable de cotylédons, une plante en miniature en somme. A maturité, il occupe presque la totalité de la longueur de la graine (Chowdhury, 1961).

L'endosperme : tissu maternel nourricier haploïde, entourant l'embryon. Il est gorgé de réserves glucidiques et lipidiques.

Le tégument : enveloppe molle pourvue de poches résinifères et s'ouvrant au niveau du micropyle.

2.3.1.2. Mesures effectuées

Dans chaque lot de graines, autrement dit sur les 29 provenances de cèdre toutes espèces confondues, nous avons prélevé 100 graines au hasard et avons mesuré sur chacune la longueur et le diamètre, pris sur la partie la plus forte de la graine, ceci à l'aide d'un pied à coulisse ($1/20^{\text{ème}}$ de millimètre de précision).

Certains auteurs, Asmar (1990) entre autres, prennent également en compte les dimensions de l'aile. Pour notre part, les lots de semences reçus étant, certains désaillés, d'autres constitués de graines pourvues d'ailes, nous avons dû écarter ce caractère.

Par ailleurs, le poids de 1000 graines est également pris en considération. Pour ce faire, quatre lots de 100 graines sont pris au hasard dans chaque provenance. La moyenne de ces quatre pesées est par la suite multipliée par dix pour obtenir le poids de 1000 graines.

Les pesées sont réalisées au moyen d'une balance de précision au $1/100^{\text{ème}}$ de gramme.

2.3.2. Germination

2.3.2.1. Définition et critères de germination

La germination est définie comme étant le passage d'une vie ralentie de la graine sèche à une vie active de la graine humidifiée, lorsqu'un certain nombre de conditions nécessaires sont réunies. Celles-ci peuvent être :

Intrinsèques : taille et maturité de la graine, état physiologique, âge et état de la plante-mère...

Extrinsèques : température, humidité, composition de l'air.

Les physiologistes définissent la germination comme un processus dont les limites sont le début de l'hydratation de la semence et le début de la croissance de la radicule (Evenari, 1957 in Mazliak, 1982).

Il s'agit d'abord d'une importante absorption d'eau suivie d'une reprise intense de l'activité métabolique. Les réserves sont alors hydrolysées et pourvoient l'embryon en métabolites. La radicule pointe la première, suivie par l'hypocotyle : la graine lève (Heller, 1978).

Nous considérons donc qu'il y a germination lorsque la radicule pointe hors du micropyle. Ce faisant, elle déchire les téguments, l'hypocotyle apparaît à sa suite, les téguments ne couvrant plus alors que la couronne cotylédonaire. Celle-ci se libère à son tour, la jeune plantule continuant sa croissance. Les premières euphylls apparaissent plus tard.

Pour caractériser la germination de *Cedrus*, nous avons retenu les paramètres suivants :

a/ - La capacité de germination : ou taux de germination. C'est le pourcentage maximal obtenu dans les conditions de l'expérience.

b/ - La vitesse ou temps moyen de germination : ce paramètre est calculé selon la formule :

$$T M G = \frac{N1T1 + N2T2 + \dots + Nn Tn}{N1+N2 + \dots + Nn}$$

Où N1 est le nombre de graines germées au temps T1 et Nn le nombre de graines germées au temps Tn.

c/ - Les courbes de germination : elles renseignent sur l'évolution progressive du phénomène au cours de l'expérience.

2.3.2.2. Réalisation des tests de germination

Les graines utilisées pour les tests de germination sont celles utilisées pour la biométrie, c'est-à-dire les 29 provenances de *Cedrus* (20 de *Cedrus atlantica*, 8 de *Cedrus libani* et 1 de *Cedrus brevifolia*).

Chaque provenance est représentée ici par un lot de 100 graines que l'on a placées dans des boîtes de Pétri, à raison d'une vingtaine de graines par boîte. Celles-ci sont tapissées d'une couche de coton recouvert de papier filtre. Afin d'éviter toute contamination, les boîtes de Pétri ainsi préparées sont d'abord stérilisées dans une étuve à 150 ° C pendant une heure.

Par ailleurs, avant de procéder aux tests, les graines sont soumises à un prétraitement au froid humide ou stratification, durant un mois. Pour ce faire, le papier filtre servant de lit aux graines est imbibé d'eau et les boîtes de Pétri placées au réfrigérateur à une température sensiblement voisine de 4 ° C.

La stratification améliore les aptitudes germinatives des graines en levant la dormance embryonnaire (Muller et al, 1984).

Selon Delevoy (1941) in Derridj (1990), l'exposition aux basses températures provoque le changement des huiles en sucres rapidement utilisables pour les besoins de la respiration de la graine, lorsque celle-ci est ramenée dans les conditions normales de germination.

Derridj (1990) qui a expérimenté plusieurs prétraitements a conclu à l'efficacité de la stratification. On peut donc, selon ce dernier, parler de dormance psychrolabile chez le cèdre.

Les graines sont mises à germer au laboratoire, à température ambiante (elle ne dépassait pas les 25 ° C au moment des tests).

Les comptages sont effectués trois fois par semaine et les arrosages, par petites quantités, à chaque fois que cela était nécessaire.

2.3.3. Caractéristiques des plantules de *Cedrus*

2.3.3.1. Intérêt de ces caractéristiques en systématique

Chez les Pinaceae, les plantules présentent de grandes variations morphologiques et anatomiques leur conférant un intérêt taxonomique certain. Chez les conifères, en effet, le nombre de cotylédons varie considérablement et peut aller selon Boureau (1938) de 2 (*Libocedrus decurrens*) à 18 (*Pinus sabiniana*). L'étude anatomique de ces plantules révèle en outre de grandes différences structurales.

Dans la racine et à la base de l'hypocotyle, la structure primaire est du type alterne à différenciation centripète. A travers l'hypocotyle, les masses de xylème primaire forment d'abord du xylème intermédiaire pseudo-alterne à différenciation centrifuge, puis du xylème superposé au liber, avec résorption progressive des premiers éléments formés (de Ferré, 1965). D'autre part, le xylème alterne centripète est considéré comme un tissu vasculaire essentiellement primitif et il subit une réduction certaine au cours de l'évolution des espèces.

Ainsi, une espèce qui possède sur une plus grande longueur du xylème alterne est sans aucun doute, plus primitive qu'une autre espèce parente où il est plus vite remplacé par du xylème superposé centrifuge (Boureau, 1938).

Boureau (1952) in Derridj (1990) ajoute : la disparition du bois alterne centripète primitif et son remplacement par un bois superposé centrifuge évolué sont, pour une espèce donnée, sous la dépendance des gènes.

2.3.3.2. Mesures effectuées

Les graines germées lors des tests sont repiquées au fur et à mesure sur un substrat constitué d'un mélange de sable et de terreau, puis récoltées à l'âge de trois semaines environ. Elles sont alors à la phase cotylédonaire, c'est-à-dire que la plantule est constituée d'une radicule, d'un hypocotyle, et d'un verticille de cotylédons, avant l'apparition des premières euphylls.

Cette fois-ci, l'échantillonnage a concerné 14 provenances de *Cedrus atlantica* (Jbel Kelti, Tizi Ifri, Ikankaben, Bab Chiker, Sidi Mguild, Ich N'timghilt, Tatgaline, Idjrane, Seheb, Tazekka, Ain Kahla, Idikel, Assaka et Tounfite). Six provenances sont éliminées du fait d'une germination nulle ou trop faible. Les 8 provenances de *Cedrus libani* sont maintenues et la provenance chypriote de *Cedrus brevifolia* est écartée pour les mêmes raisons.

Les caractères mesurés sont comme suit :

a/ - Le nombre de cotylédons

Ce nombre présente une grande amplitude chez les gymnospermes et constitue un caractère phylogénique important. Il a d'ailleurs permis à de nombreux auteurs de distinguer des écotypes ou des races géographiques : De Ferré et Meric (1963) sur *Pinus sylvestris*, Debazac et Tomassone (1965) sur des pins de la section *Halepensis*, Fins et Libby (1982) sur *Sequoiadendron giganteum* et Cantegrel (1983) sur le pin à crochets des Pyrénées.

de Ferré (1965) recommande de faire ce comptage sur 200 plantules. Dans notre cas, ce chiffre n'a pas toujours été atteint à cause de la trop petite taille de certains de nos échantillons.

En effet, dans le cas des provenances libanaises de *Cedrus libani*, le nombre de plantules sur lesquelles ce caractère a été observé est :

de 128 plantules pour Jabal Kammouah

- de 174 plantules pour Barouk

Il faut également préciser que pour atteindre ces chiffres, il nous a fallu utiliser jusqu'aux graines non germées sur lesquelles une incision a été pratiquée pour en retirer les embryons et compter le nombre de cotylédons à l'aide d'une pince. Lorsque les embryons étaient de très petite taille, nous nous sommes servis d'une loupe.

Nous avons procédé de même pour de nombreuses autres provenances où, grâce à ce procédé, le nombre de 200 plantules a pu être atteint.

b/ - Les dimensions des cotylédons

Ce caractère a été mesuré sur des lots de 50 individus. Pour chaque plantule, on mesure sur trois cotylédons prélevés au hasard, la longueur et le diamètre maximal, à l'aide d'un pied à coulisse dont la précision est de $1/20^{\text{ème}}$ de millimètre.

c/ - Le nombre de convergents

Le convergent est l'unité fondamentale de l'appareil conducteur des phanérogames. Dans la racine, il comprend un faisceau vasculaire centripète placé en alternance avec deux demi-faisceaux criblés (Boureau, 1938 et De Ferré, 1965).

Le terme convergent est dû, selon Boureau (1938), à la confluence, à certains niveaux de la plantule des deux parties de l'appareil conducteur (xylème et phloème).

Une autre définition du terme ne serait pas superflue : dans la racine des phanérogames, xylème et phloème sont typiquement en position alterne et leurs cellules ont une différenciation centripète. Le phloème garde ce caractère dans les trois organes (racine, tige et feuille). Une évolution vasculaire change en revanche le sens de différenciation du xylème : de centripète (première phase), il devient tangentiel (deuxième phase) puis centrifuge (troisième phase). L'ensemble des trois phases vasculaires et du phloème qui leur est associé forme un convergent (Roland et Roland, 1983).

Ainsi, pour connaître le nombre de convergents de nos plantules, il a fallu compter le nombre de pôles de xylème primaire au niveau de la radicule en coupe transversale. Cette opération se fait, non plus sur du matériel frais comme lors des mesures sur les cotylédons, mais sur des plantules conservées dans de l'alcool éthylique à 70° durant une semaine au moins, ce qui permet un durcissement des tissus et l'élimination de la chlorophylle. De Ferré (1965) préconise d'utiliser 100 plantules pour l'étude de ce caractère. Etant moins variable que le nombre de cotylédons, un nombre d'observations réduit de moitié suffit, selon elle, pour obtenir une sécurité du même ordre. Pour notre part, et pour les raisons évoquées plus haut, nous avons limité ce nombre à 50 par provenance.

d/- Les types cotylédonaires

Comme on l'a déjà vu, les éléments vasculaires de la plantule passent progressivement d'une disposition alterne à une disposition superposée en passant par l'intermédiaire. Ce passage peut se faire dans la racine, dans l'hypocotyle, à la base des cotylédons, comme dans les cotylédons eux-mêmes.

Le rythme de cette transformation est donc variable d'une plantule à l'autre et même d'un cotylédon à l'autre au sein d'une même plantule. La vitesse à laquelle se fait cette évolution est appelée accélération basifuge et définit le degré d'évolution d'une plantule.

Boureau (1938 et 1948) définit sur cette base, quatre types de cotylédons : A, B, C et D.

Le cotylédon A : c'est le plus primitif. Il contient dans toute sa longueur un convergent entier. L'accélération basifuge y est faible et le xylème alterne persiste jusque dans le cotylédon, quelquefois sur une assez grande longueur.

Le cotylédon B : ils sont regroupés par deux car résultant de la bifurcation du cotylédon A par division longitudinale dans un plan radial. Cette bifurcation est accompagnée de la régression du xylème alterne. Chaque cotylédon ne contient alors que le xylème superposé et le phloème d'un demi-convergent.

Le cotylédon C : comme le cotylédon A, il dérive d'un convergent entier mais avec une accélération basifuge plus forte. On considère le cotylédon C comme étant le résultat de la coalescence des deux faisceaux de xylème superposé au phloème, et des limbes de deux cotylédons B.

Le cotylédon D : son faisceau vasculaire ne correspond pas à un pôle ligneux de la racine. C'est un fragment latéral détaché d'un cotylédon A, B ou C au sommet de l'hypocotyle. Il est donc lié à l'un de ces types fondamentaux et ne peut exister seul dans une plantule.

Boureau (1938) montre que le type B peut coexister aussi bien avec A qu'avec C, mais que les types A et C s'excluent mutuellement confirmant ainsi la filiation $A \rightarrow B \rightarrow C$ par accélération basifuge croissante.

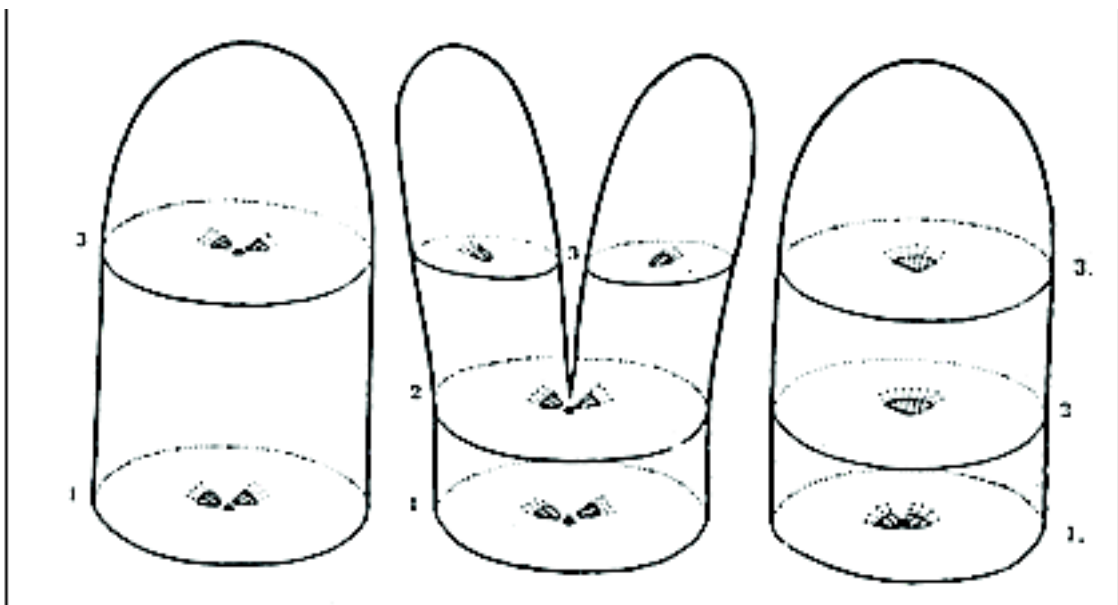


Figure n° 8 : Interprétation schématique des trois types

de cotylédons : A, B et C (Flous, 1938 in Derridj 1990).

Section dans la région moyenne de l'hypocotyle.

Section au sommet de l'hypocotyle.

Section dans les cotylédons.

Le bois alterne est représenté en noir, le xylème superposé par des traits et le liber par un pointillé.

Pour déterminer en pratique les types cotylédonaires de chaque plantule, il faut pratiquer des coupes transversales à 3 niveaux au moins de la plantule :

Au niveau de la racine où le nombre de masses de xylème primaire nous donne le nombre de convergents.

Au niveau de l'hypocotyle pour pouvoir observer d'éventuelles divisions des convergents aboutissant aux cotylédons B.

A la base de la couronne cotylédonaire où se détachent les cotylédons de type D.

Pour ce faire, les coupes réalisées doivent être fines et colorées au réactif de Steimetz qui permet une observation rapide au microscope.

Nous avons utilisé 50 plantules par provenance.

La constitution vasculaire d'une plantule est représentée par la « formule cotylédonaire ». C'est une fraction qui indique, en dénominateur le nombre de convergents de la racine et en numérateur le nombre de cotylédons de chaque type (De Ferré, 1965).

On parle de formule cotylédonaire simplifiée lorsque les cotylédons D ne sont pas pris en compte et de formule cotylédonaire complète lorsqu'ils le sont.

2.3.4 Composition terpénique des huiles essentielles contenues dans les poches résinifères des graines

2.3.4.1 Introduction

Les terpènes sont des substances à poids moléculaire faible entrant dans la composition des essences et des résines sécrétées par les végétaux. Ils peuvent participer au métabolisme général au même titre que les lipides, et ce sont des inhibiteurs du transport des électrons d'où leur claustration dans un système membranaire (Pauly et al, 1981 in Fady, 1990). Ils jouent également un rôle dans le déficit hydrique et dans l'interaction plante - insecte (Yani, 1989 in Fady, 1990).

La formation de quantités significatives de terpènes (plus de 0.1 % du poids de tissu frais) semble limitée à une cinquantaine de familles où on les retrouve dans les huiles essentielles synthétisées et accumulées dans diverses structures spécialisées (Schütte, 1998).

Les *Pinaceae* figurent parmi les familles les plus riches en essences.

Les terpènes dérivent tous d'une unité fondamentale de formule C_5H_8 , l'isoprène. Celui-ci, sous sa forme active, le pyrophosphate d'isopentényle, constitue donc le maillon élémentaire à partir duquel se construit d'abord une chaîne hydrocarbonée insaturée qui se modifie ensuite par oxydation, par réduction ou par élimination de carbone, ce qui explique la grande variété des composés terpéniques connus (Richter, 1988 in Cochu, 1994).

Les monoterpènes (C₁₀H₁₆) et les sesquiterpènes (C₁₅H₂₄) présentent des configurations structurales très variables : ils peuvent être linéaires, mono-, bi- ou tricycliques.

On a montré par ailleurs que les sites de biosynthèse de ces deux grands groupes de composés étaient distincts : les composés monoterpéniques sont formés dans des cellules sécrétrices, par les leucoplastes (Gleizes et *al*, 1983 in Marpeau et *al*, 1989) alors que la formation des sesquiterpènes a lieu dans le réticulum endoplasmique (Gleizes et *al*, 1980 in Marpeau et *al*, 1989).

Les composés terpéniques sont des marqueurs chimiques à déterminisme génétique étroit. Pour Forrest (1992), l'identité des composés terpéniques et leurs taux relatifs sont des caractères génétiques. De nombreux auteurs ont pu mettre en évidence des mécanismes de transmission héréditaire simples, de type mendélien (Baradat et *al*, 1972 et 1975 pour *Pinus pinaster* ; Kinloch et *al*, 1986 pour *Pinus sylvestris*).

Pour Li et Adams (1989), le modèle de variation révélé par l'analyse allozymatique concorde avec les résultats d'études basées sur les composés terpéniques dans des populations de *Pseudotsuga menziesii*.

Les marqueurs terpéniques sont souvent utilisés pour étudier la variation intraspécifique, entre provenances au sein d'une même espèce : Forrest (1978) sur *Pinus sylvestris* et *Pinus contorta* ; Forrest (1980) sur *Pinus sylvestris* ; Cantegrel (1983) sur *Pinus uncinata* ; Smith (1983) sur *Pinus contorta* ; Von Rudloff et Lapp (1992) sur *Pinus ponderosa* ; Arbez et *al* (1974) ; Gerber et *al* (1995) et Rafii et *al* (1996) sur des provenances de *Pinus nigra*.

Ils peuvent également s'avérer efficaces pour discriminer des espèces voisines (Schaeffer et Hanover, 1986 et Rehfeldt, 1994 sur *Picea pungens* et *Picea engelmannii*).

Dans nombre des cas sus-cités, les auteurs ont pu conclure quant aux liens phylétiques possibles entre les unités taxinomiques étudiées, esquisser des hypothèses sur leur spéciation ou détecter une éventuelle introgression d'espèces voisines sympatriques.

L'analyse des composés terpéniques peut être de deux types :

Analyse qualitative : on s'y intéresse à la composition terpénique, à travers les proportions des différents composés, exprimées en pourcentage du volume (ou de la masse) des terpènes totaux ou de l'oléorésine.

Analyse quantitative : il s'agit ici de déterminer les taux de production terpénique (rendement en $\mu\text{g/g}$ de tissu frais). Ce dernier type d'analyse permet, selon Fady (1990) une meilleure observation d'éventuelles voies de biosynthèse communes entre composés.

Des variations peuvent toutefois intervenir dans la composition terpénique. Les causes de ces variations peuvent être extrinsèques, comme les changements dûs aux saisons (Squillace, 1976 et Yani, 1989 in Fady, 1990), ou intrinsèques comme le stade de développement du végétal ou son état physiologique. Des blessures, mécaniques ou dûes à des attaques de parasites peuvent induire des changements notables dans la composition terpénique (Bernard-Dagan et *al*, 1971 ; Li et Adams, 1989 et Marpeau et *al*, 1989). A cet égard, il y a lieu de distinguer les monoterpènes qui représentent, selon Forrest (1994), des caractères génotypiques stables des composés davantage susceptibles de subir les effets du milieu à travers des changements dans la concentration, tels certains sesquiterpènes et diterpènes.

2.3.4.2 Matériel végétal

Les huiles essentielles analysées proviennent des poches résinifères des graines de cèdre. L'échantillon concerné par cette partie est toutefois réduit et ne représente pas toutes les populations étudiées dans les parties précédentes. L'étude biochimique a en effet été réalisée en collaboration avec une équipe du laboratoire de chimie organique de la Faculté de Chimie de l'U.S.T.H.B. travaillant sur les huiles essentielles de cèdre, en vue d'une exploitation commune des résultats.

En raison de contraintes matérielles, nous n'avons pas pu peser sur le choix des provenances qui se répartissent comme suit :

deux (2) provenances de *Cedrus atlantica* d'Algérie (Tala-Guilef du Djurdjura et Ouled Yacoub des Aurès) ;

deux (2) provenances de *Cedrus atlantica* du Maroc (Ain Kahla du Moyen-Atlas et Bab Chiker du Rif) ;

une (1) provenance de *Cedrus libani* du Liban (Ain Zhalta) ;

une (1) provenance de *Cedrus brevifolia* de Chypre.

Comme pour les parties précédentes, étant donné la nature de l'échantillonnage, la variabilité individuelle n'est pas prise en compte. C'est donc un mélange de graines issues de plusieurs individus qui représente chaque provenance.

2.3.4.3. Extraction et analyse

Le matériel végétal est pesé, lavé et soumis à l'hydrodistillation au moyen d'un dispositif de Clevenger durant 2 heures à la pression atmosphérique. Les essences sont recueillies dans des flacons que l'on ferme hermétiquement et que l'on conserve au frais et à l'abri de la lumière jusqu'au moment de l'analyse.

Le rendement en huile essentielle de chaque échantillon est calculé par la formule :

$R = m/M \times 100$ où m = masse de l'huile essentielle et M = masse de la charge végétale.

La chromatographie en phase gazeuse est réalisée sur un chromatographe Hewlett Packard équipé d'une colonne capillaire en silice fondue (60m x 0.25mm, 0.25 μ m (épaisseur du film)), à phase polaire Permabond CWX 20.

La température est programmée pour une élévation de 50° C à 240° C à raison de 2° C / mn, avec un temps initial de 5 minutes.

Le gaz vecteur utilisé est l'hélium, la pression est de 24 psi. L'injecteur et le détecteur sont à des températures respectives de 250° C et 280° C.

Les constituants d'un mélange injecté dans l'appareil traversent la colonne à l'état gazeux et à des vitesses différentes et sortent séparément par suite de la différence de solubilité des divers composés dans la phase stationnaire liquide et les coefficients de partage entre les liquides et les gaz (Boudarène, 1991). La sortie des composés de la colonne est signalée par un système détecteur, et on obtient alors un chromatogramme dont la surface des pics correspond au volume des constituants contenus dans l'extrait.

Les composés n'ayant pas tous été identifiés, on a recours à un couplage GC/MS (Chromatographie en phase gazeuse, spectrométrie de masse).

Les constituants de chaque échantillon sont identifiés par la comparaison des indices de rétention et des spectres de masse aux données de la littérature.

Dans certains travaux, on a d'abord recours à un fractionnement chimique au moyen d'une première chromatographie par adsorption sur gel de silice, qui retient un nombre de composés indésirables pour l'analyse (acides résiniques, terpènes oxygénés, lipides, stérols, pigments...) et libère les hydrocarbures terpéniques en C₁₀ et C₁₅ (Cantegrel, 1983 et Fady, 1990).

Dans notre cas, il n'y a pas eu de séparation des terpènes hydrocarbonés du reste. On a donc un extrait brut des composés qu'il y a lieu de comparer, à l'instar de ce qu'a fait Adams (1998) sur dix espèces de genévrier.

Nous avons également voulu comparer ces différentes provenances par leurs teneurs respectives en monoterpènes en les soumettant à une classification ascendante hiérarchique (l'analyse adoptée est ainsi seulement de type qualitatif).

Partie III : Résultats et discussions

3.1. Biométrie de la graine

3.1.1. Variation entre provenances de *Cedrus atlantica*

3.1.1.1. Longueur et diamètre

Les fréquences de chaque provenance par classes de longueurs et de diamètres ainsi que les valeurs moyennes sont consignées dans le tableau n° 5. Ces mêmes données sont représentées graphiquement dans les figures n° 9 et n° 10.

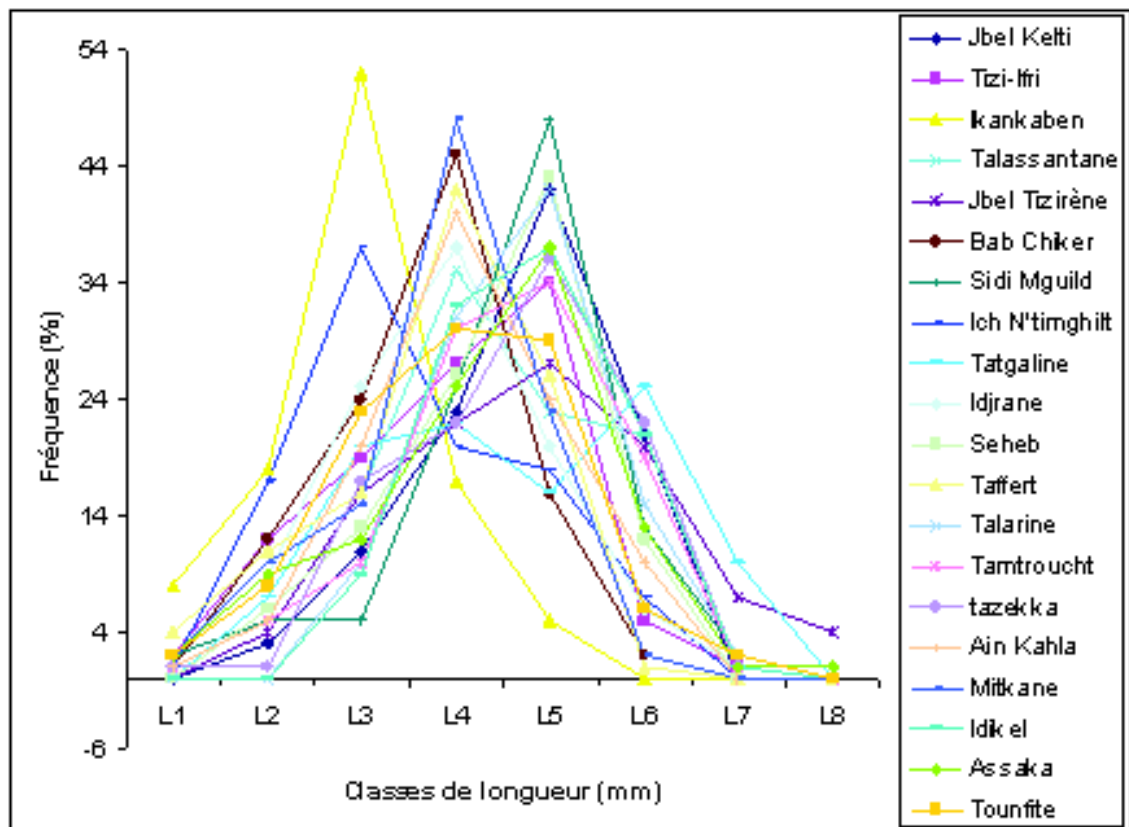
Provenances	Longueur moyenne (mm)	Diamètre moyen (mm)	Fréquences des classes de longueur (en %)								Fréquences des classes de diamètre (en %)						
			L1	L2	L2	L4	L5	L6	L7	L8	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
			9 a 10 mm	10 a 11 mm	11 a 12 mm	12 a 13 mm	13 a 14 mm	14 a 15 mm	15 a 16 mm	16 a 17 mm	17 a 18 mm	4 a 4,5 mm	4,5 a 5 mm	5 a 5,5 mm	5,5 a 6 mm	6 a 6,5 mm	6,5 a 7 mm
Jbel Kelti	13,1	5,83	0	3	11	23	42	21	0	0	0	2	19	43	26	9	1
Tizi-fri	12,44	5,29	2	12	19	27	34	5	1	0	9	17	37	26	9	2	0
Ikankaben	11,44	4,96	8	18	52	17	5	0	0	0	15	31	41	12	1	0	0
Talassantane	12,9	5,44	0	4	16	35	23	21	1	0	5	15	34	28	13	4	1
Jbel Tizirène	13,27	5,54	0	4	16	22	27	20	7	4	6	13	25	30	19	7	0
Bab Chiker	12,12	5,12	1	12	24	45	16	2	0	0	7	29	38	23	3	0	0
Sidi Mguild	13,07	5,59	2	5	5	25	48	13	2	0	1	9	28	38	20	4	0
Ich N'fmgहित	12,05	5,33	1	17	37	20	18	7	0	0	7	18	33	30	11	1	0
Tatgaline	13,1	5,76	0	7	20	22	16	25	10	0	1	6	23	28	34	7	1
Idjrane	12,32	5,35	2	9	25	37	20	6	1	0	4	21	35	31	8	1	0
Seheb	12,9	5,36	0	6	13	26	43	12	0	0	2	11	48	30	8	1	0
Taffert	13,2	5,46	4	11	16	42	26	1	0	0	4	15	28	34	18	1	0
Talarine	13,08	5,62	0	0	10	31	42	15	2	0	2	10	27	34	21	5	1
Tamtroucht	12,99	5,54	1	5	10	30	34	19	1	0	5	9	35	25	20	6	0
tazekka	13,04	5,55	1	1	17	22	36	22	1	0	1	13	28	38	16	4	0
Ain Kahla	12,57	5,58	1	5	20	40	24	10	0	0	2	12	28	27	28	2	1
Mitkane	12,33	5,27	2	10	15	48	23	2	0	0	6	25	34	21	12	2	0
Idikel	13,21	5,51	0	0	9	32	37	21	1	0	4	12	32	33	13	5	1
Assaka	12,77	5,56	2	9	12	25	37	13	1	1	3	12	28	31	20	6	0
Tounfite	12,42	5,53	2	8	23	30	29	6	2	0	3	9	29	39	16	4	0

Tableau n° 5 : Dimensions des graines de *Cedrus atlantica*

La moyenne générale pour le caractère longueur est de 12.71 mm et l'amplitude de variation est comprise entre 9 et 17 mm, avec un coefficient de variation de 8.7 %.

La plupart des provenances présentent des fréquences maximales pour les classes de longueurs L4 (12 – 13 mm) et L5 (13 – 14 mm). La classe L7 (16 – 17 mm) est très faiblement représentée : seulement 4 % dans la provenance Jbel Tizirène et 1 % à Assaka. Les classes de diamètres enregistrant le maximum d'occurrences sont D3 et D4.

Derridj (1990), dans son étude des cédraies algériennes, donne 12.5 mm comme longueur moyenne de la graine avec une amplitude de 9 à 16 mm. Bekhouche (1995) avance

Figure n° 9 : Courbes des fréquences de longueurs chez *Cedrus atlantica*

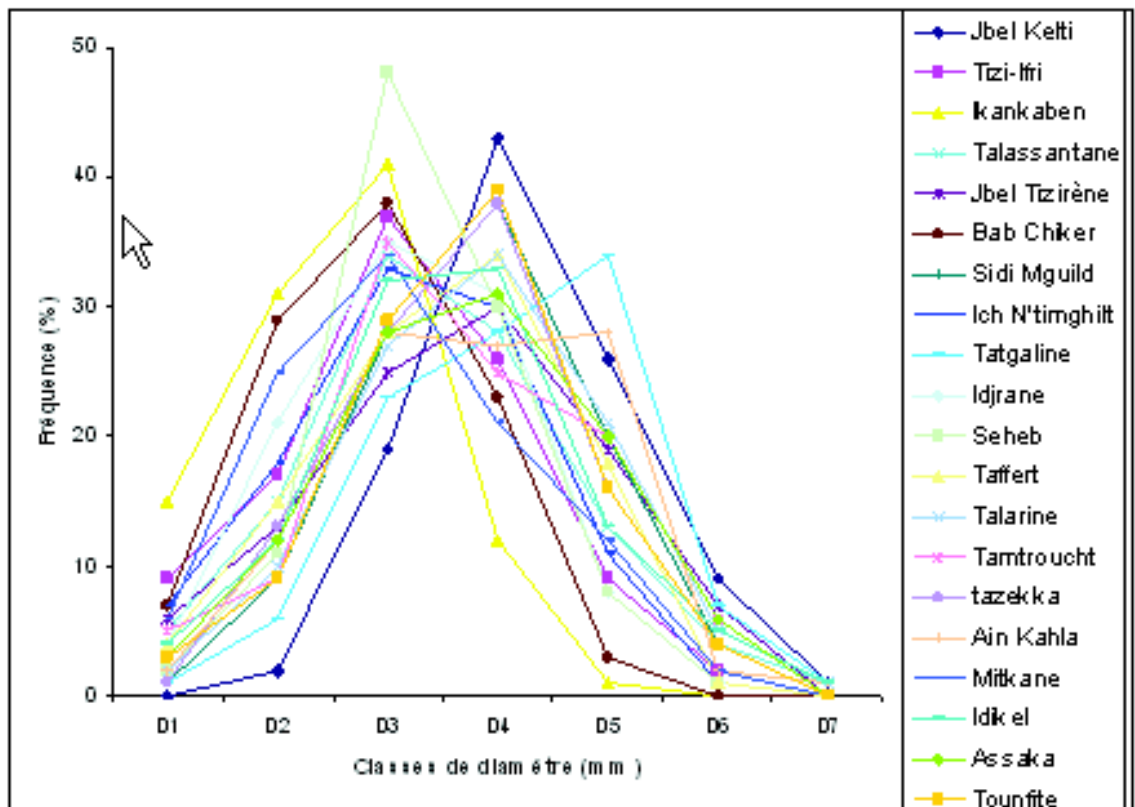


Figure n° 10 : Courbes des fréquences de diamètres chez *Cedrus atlantica*

une moyenne de 12.37 mm et une amplitude de 8 à 16 mm pour les graines des mêmes provenances marocaines concernées par la présente étude (à deux provenances près).

Quant au diamètre, la moyenne calculée pour l'ensemble de l'échantillonnage est de 5.46 mm avec des valeurs s'échelonnant de 4 à 7.5 mm et un coefficient de variation de 9.9 %. Cet intervalle est de 3 à 7 mm pour Derridj (1990) et Bekhouche (1995) avec des moyennes respectives de 5.29 mm et 5.09 mm.

Analyse de la variance

L'analyse de la variance à un critère de classification a révélé l'existence de différences statistiquement significatives au seuil $\alpha = 1\%$, permettant de rejeter l'hypothèse nulle d'égalité des moyennes de longueurs, d'une part, et de diamètres d'autre part, entre les lots de graines de *Cedrus atlantica*.

Tableau n° 6 : Analyse de la variance à un facteur sur les dimensions des graines de *Cedrus atlantica*

Variable	d.d.l	S.C.E	C.M	F obs
Longueur	19	450.49	23.71	19.33***
Diamètre	19	79.57	4.19	14.48***

Provenances	Longueur moyenne (mm)	Groupes homogènes
Jbel Tizirène	13.27	A
IdiKel	13.21	A
Taffert	13.20	A
Jbel Kelti	13.10	A
Tatgaline	13.10	A
Talarine	13.08	A
Sidi M'guild	13.07	A
Tazekka	13.04	A
Tamtroucht	12.99	A B
Seheb	12.90	A B
Talassantane	12.90	A B
Assaka	12.77	B C
Ain Kahla	12.57	B C D
Tizi Ifri	12.44	C D E
Tounfite	12.42	C D E
Mitkane	12.33	C D E
Idjrane	12.32	C D E
Bab Chiker	12.12	D E
Ich N'timghilt	12.05	E
Ikankaben	11.44	F

Tableau n° 7 : Groupes homogènes formés par les provenances de *Cedrus atlantica* pour la longueur de la graine selon le test de Newman et Keuls.

Provenances	Longueur moyenne (mm)	Groupes homogènes
Jbel Kelti	5.83	A
Tatgaline	5.76	A B
Talarine	5.62	B C
Sidi M'guild	5.59	B C D
Ain Kahla	5.58	B C D E
Assaka	5.56	B C D E
Tazekka	5.55	B C D E
Tamtroucht	5.54	B C D E
Jbel Tizirène	5.54	B C D E
Tounfite	5.53	B C D E
Idikel	5.51	C D E F
Taffert	5.46	C D E F G
Talassantane	5.44	C D E F G
Seheb	5.36	D E F G
Idjrane	5.35	D E F G
Ich N'timghilt	5.33	E F G
Tizi Ifri	5.29	F G H
Mitkane	5.27	G H
Bab Chiker	5.12	H
Ikankaben	5.49	I

Mis à part le groupe A qui est plus ou moins bien individualisé et qui regroupe les provenances à longues graines (autour de 13 mm) ainsi que la groupe F représenté par la seule provenance Ikankaben, laquelle est caractérisée par des graines à longueur réduite, le reste des stations de *Cedrus atlantica* au Maroc, forme plusieurs groupes qui se chevauchent.

La comparaison multiple de moyennes ne permet pas non plus de dégager des groupes distincts pour la variable diamètre de la graine.

Par ailleurs, il serait utile de noter, au vu de ces classements, qu'ils ne semblent guère liés à la répartition des cédraies à travers les massifs marocains. Les moyennes générales calculées pour les grands ensembles géographiques qu'on a coutume de distinguer sont respectivement pour le Rif, le Moyen-Atlas puis le Haut-Atlas oriental, de 12.54 mm, 12.83 mm et 12.68 mm pour la longueur et 5.36, 5.51 et 5.46 pour le diamètre de la graine lesquelles, de prime abord, semblent sensiblement voisines.

Analyse factorielle des correspondances

Une AFC est réalisée sur les fréquences des classes de longueurs et de diamètres de la graine (Cf. Figure n° 11).

Le plan principal exprime 70.18 % de l'inertie totale, dont 53.38 % pour l'axe 1 et 16.80 % pour l'axe 2.

Les contributions des variables à l'inertie sont plus importantes pour les classes de longueur que pour les classes de diamètre.

Comme pour l'analyse de la variance, la part de variation expliquée par la longueur est donc plus importante.

L'axe 1 traduit, en allant des valeurs négatives vers les valeurs positives, le passage des classes de longueur et de diamètre les plus élevées à celles de dimensions plus réduites.

A droite de l'axe 1, on retrouve un groupe que nous nommerons A, formé par les provenances Ikankaben, Ich N'timghilt, Bab Chiker, Idjrane et Tizi Ifri, toutes caractérisées par les longueurs et les diamètres les plus faibles. Elles sont d'ailleurs corrélées aux classes de longueur L1, L2 et L3 et de diamètre D1 et D2.

D'autre part, du côté négatif de l'axe 1 se détache le groupe C constitué des provenances Jbel Tizirène, Tatgaline et Jbel Kelti.

Jbel Tizirène est caractérisée par la longueur moyenne la plus élevée de tout l'échantillonnage. Elle doit donc cette position aux variables L7 et L8. Tatgaline et Jbel Kelti, outre des longueurs moyennes importantes, présentent les diamètres moyens les plus importants. En atteste leur proximité sur le graphique avec les classes D6 et D7.

Le reste des provenances compose un groupe assez hétérogène au sein duquel on pourrait distinguer un sous-groupe formé de Talarine, Sidi M'guild, Tamtroucht, Idikel et Assaka, de par leur proximité avec les variables L5 et L6.

Notons encore une fois que les provenances ne se regroupent pas suivant les zones géographiques. Les provenances rifaines par exemple, se retrouvent tout aussi bien dans le groupe A, caractérisé par des dimensions réduites (Ikankaben, Tizi Ifri et Bab Chiker) que dans le groupe B où se concentrent surtout les lots à graines de dimensions intermédiaires (cas de Talassantane) ou enfin dans le groupe C qui rassemble les lots de graines de dimensions élevées (Jbel Kelti et Jbel Tizirène).

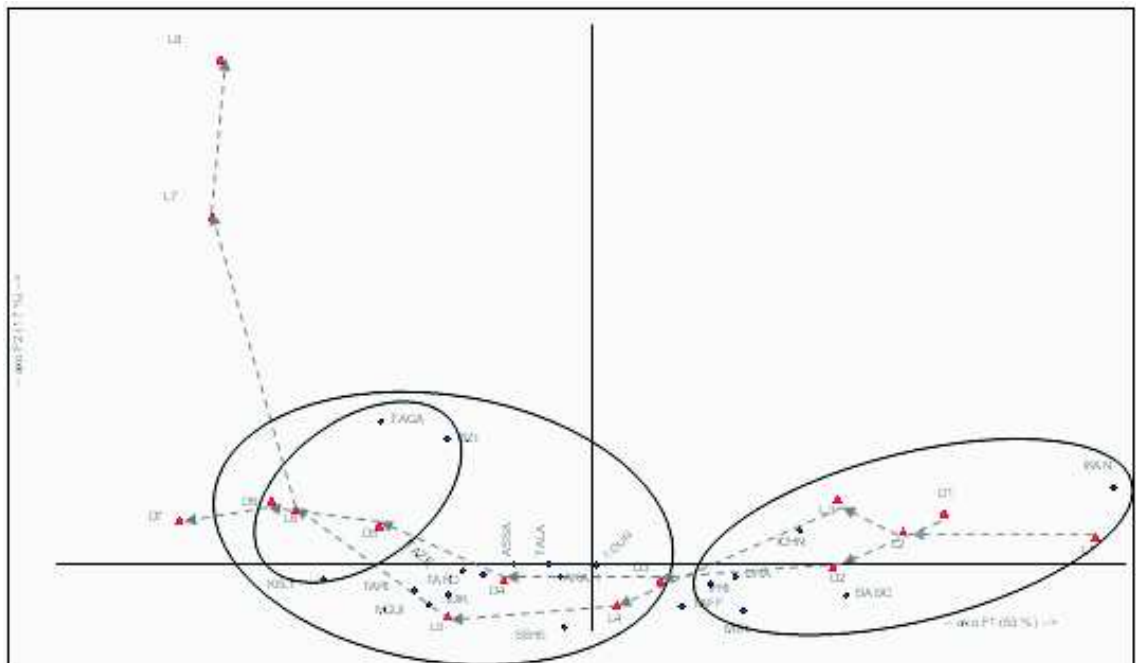


Figure n°11 : A.F.C. sur les classes de dimensions de la graine dans les provenances de *Cedrus atlantica*

Poids des graines

Ce caractère semble assez variable et les valeurs s'échelonnent de 64.22 g (Bab Chiker) à 87.52 g (Jbel Kelti).

Selon Debazac (1977), le poids de 1000 graines, chez le cèdre de l'Atlas, va de 60 à 100 g. Derridj (1990), ayant mesuré ce paramètre sur 19 lots de semences issues de cédraies algériennes, rapporte des valeurs comprises entre 53.4 g et 105.4 g.

L'examen du tableau n° 9 nous apprend en outre que l'on se trouve dans le même cas de figure que pour les variables longueur et diamètre de la graine : la répartition des différentes valeurs de ce caractère à travers les provenances représentées ne peut être liée à leur distribution géographique. Les moyennes calculées pour chaque ensemble géographique pour cette variable sont de :

- 75.12 g pour le Rif ;
- 74.74 pour le Moyen-Atlas ;
- 75.40 pour le Haut-Atlas.

Les moyennes sont très voisines, masquant ainsi les écarts observés à l'intérieur de chaque région.

Tableau n° 9 : Variation du poids de 1000 graines entre les provenances de *Cedrus atlantica*

Provenance	Poids de 1000 graines (g)
Jbel Kelti	87.52
Tizi Ifri	71.10
Ikankaben	66.22
Talassantane	80.75
Jbel Tizirène	80.96
Bab Chiker	64.22
Sidi M'guild	80.12
Ich N'timghilt	68.20
Tatgaline	86.75
Idjrane	65.85
Seheb	75.60
Taffert	66.83
Talarine	71.21
Tamtroucht	76.38
Tazekka	82.10
Ain Kahla	74.37
Mitkane	69.15
Idikel	77.05
Assaka	78.62
Tounfite	76.80
Moyenne	74.99

En conséquence, aucun cline ne peut être dégagé de la variation des caractères mesurés de la graine. Ceux-ci varient manifestement dans le même sens. Des corrélations positives et significatives au seuil $\alpha = 1\%$ ont été établies entre la longueur et le diamètre de la graine, puis entre la longueur et le poids d'une part et le diamètre et le poids d'autre part (respectivement $r = 0.826$, $r = 0.821$ et $r = 0.90$) (Cf matrice de corrélation au chapitre suivant).

3.1.2 Variation entre provenances de *Cedrus libani*

3.1.2.1 Longueur et diamètre

Le tableau n°10 regroupe les fréquences par classe de longueurs et de diamètres ainsi que les valeurs moyennes.

Provenances	Dimensions		Fréquences des classes de longueur (en %)								Fréquences des classes de diamètre (en %)						
	Longueur moyenne (mm)	Diamètre moyen (mm)	L1 9 a 10 mm	L2 10 a 11 mm	L2 11 a 12 mm	L4 12 a 13 mm	L5 13 a 14 mm	L6 14 a 15 mm	L7 15 a 16 mm	L8 16 a 17 mm	D1 4 a 4,5 mm	D2 4,5 a 5 5,5 mm	D3 5 a 5,5 a 6 6,5 mm	D4 6 a 6,5 a 7 7,5 mm	D5 6,5 a 7 7,5 mm	D6 7 a 7,5 mm	D7 7,5 mm
Ain Zhalta	14,07	6,3	0	5	8	13	15	30	15	14	2	13	18	25	25	18	1
Barouk	13,81	6,29	0	0	10	16	25	32	15	2	1	12	19	24	28	13	3
Kammouah	13,12	6,32	0	6	12	25	34	18	3	2	0	6	18	36	30	8	2
Karaçay	12,58	6,13	0	7	21	36	23	10	3	0	0	13	29	36	13	8	1
Aslankoy	12,9	5,98	0	2	17	30	36	14	1	0	2	16	30	35	13	4	0
Avlan	11,41	5,91	8	29	34	20	8	1	0	0	1	18	40	25	12	4	0
Dirmil	12,1	5,91	3	10	27	41	14	4	1	0	2	15	37	34	9	2	0
Armutalani	11,89	5,74	2	17	32	38	8	3	0	0	2	29	38	25	4	2	0

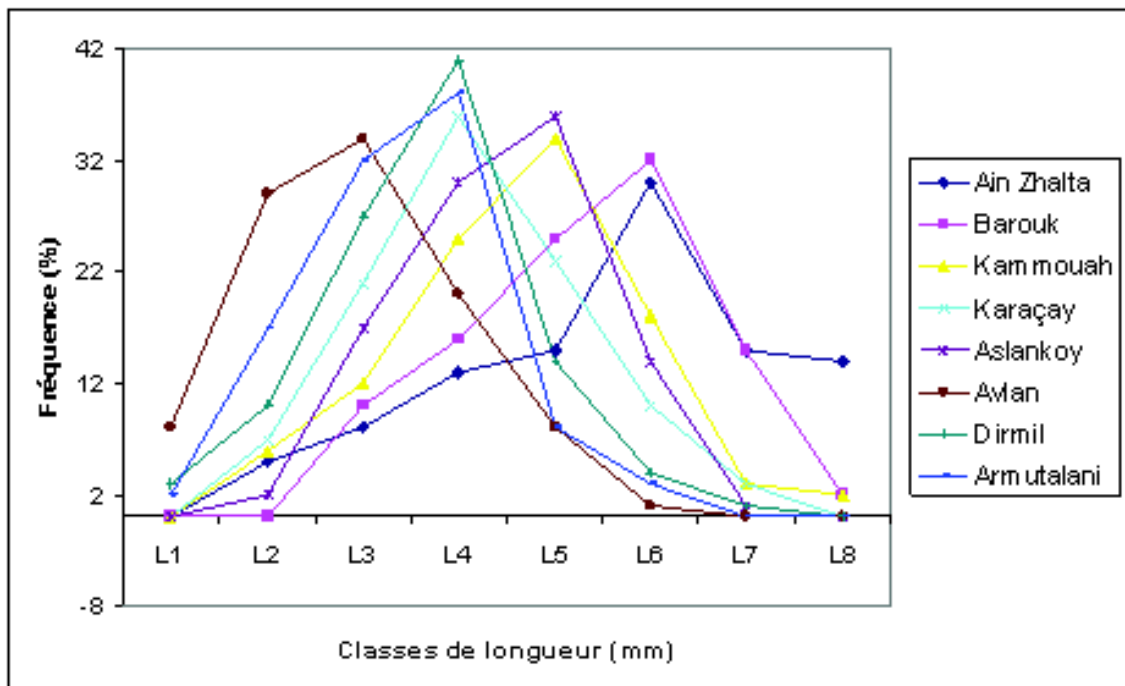
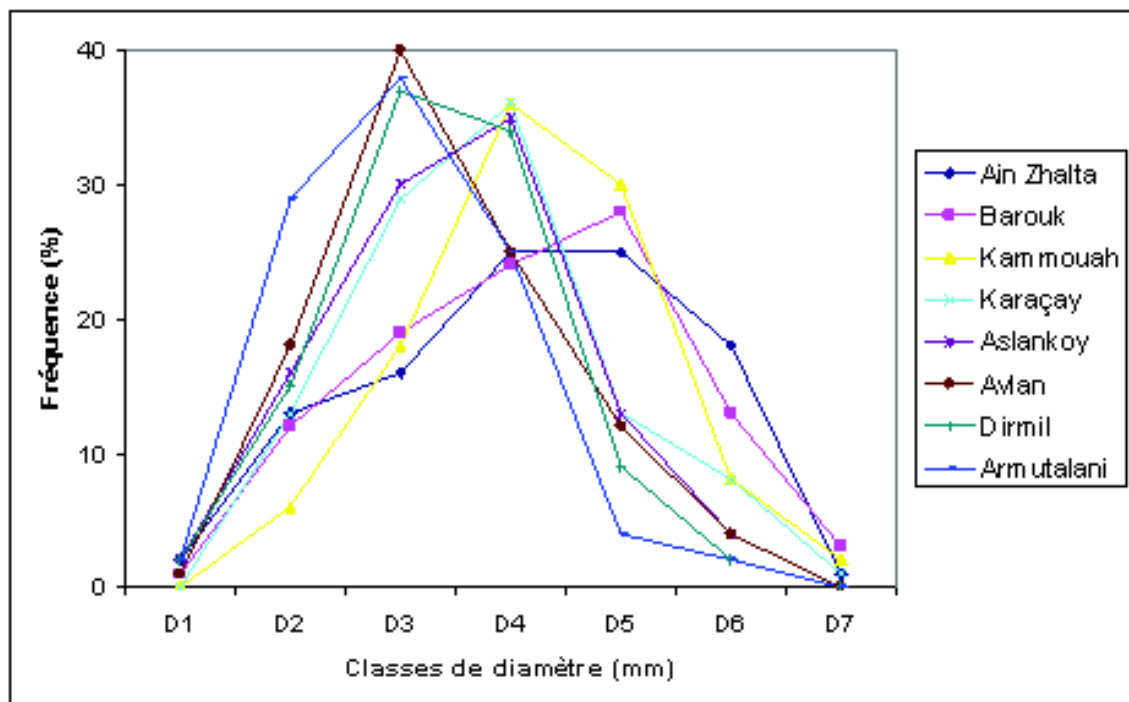
Tableau n° 10 : Dimensions des graines de *Cedrus libani*

La moyenne générale pour l'ensemble des provenances est de 12.74 mm pour la variable longueur avec un coefficient de variation de 9.3 %.

Jusqu'à-là, on se situe dans le même ordre de grandeur que pour *Cedrus atlantica*. La moyenne la plus élevée enregistrée pour une provenance est de 14.07 mm (Ain Zhalta), valeur que l'on n'a pas rencontrée parmi les populations d'Afrique du Nord.

Le diamètre moyen est de 6.07 mm, avec un coefficient de variation de 9.2 %.

Par ailleurs, un examen rapide du tableau n° 10 et des figures n° 11 et n° 12 permet de constater que les fréquences les plus élevées pour les classes de dimensions supérieures sont plutôt le lot des graines issues des populations libanaises.

Figure n° 12 : Courbes des fréquences de longueurs chez *Cedrus libani*Figure n° 13 : Courbes des fréquences de diamètres chez *Cedrus libani*

Analyse de la variance

L'analyse de la variance à un critère de classification réalisée sur la longueur de la graine d'une part et le diamètre de celle-ci d'autre part, a fait ressortir des différences très hautement significatives entre les provenances de *Cedrus libani* pour ces deux caractères.

Tableau n° 11 : Analyse de la variance à un facteur sur les dimensions des graines de *Cedrus libani*

Variable	d.d.l	S.C.E	C.M	F obs
Longueur	7	602.18	86.03	61.86***
Diamètre	7	33.58	4.80	15.30***

Provenances	Longueur moyenne (mm)	Groupes homogènes
ZHAL	14.07	A
BARO	13.81	A
KAMM	13.12	B
ASLAN	12.90	B C
KARAC	12.58	C
DIRMIL	12.10	D
ARMUT	11.89	D
AVLAN	11.41	E

Tableau n° 12 : Groupes homogènes pour la longueur de la graine formés par les provenances de *Cedrus libani* selon le test de Newman et Keuls.

Provenances	Diamètre moyen (mm)	Groupes homogènes
KAMM	6.32	A
ZHAL	6.30	A
BARO	6.29	A
KARAC	6.13	A B
ASLAN	5.98	B C
DIRMIL	5.91	C D
AVLAN	5.91	C D
ARMUT	5.74	D

Tableau n° 13 : Groupes homogènes pour le diamètre de la graine formés par les provenances de *Cedrus libani* selon le test de Newman et Keuls.

La comparaison multiple de moyennes fait apparaître plusieurs groupes pour le caractère longueur. Le premier groupe rassemble deux provenances libanaises : Ain Zhalta et Barouk, très voisines géographiquement, et qui possèdent donc les graines les plus longues. Le groupe E, représenté par la provenance Avlan Elmali, est caractérisé par les graines les plus courtes.

Pour la variable diamètre, les provenances libanaises, toujours en tête de classement appartiennent toutes les trois au groupe A même si les limites ne sont pas clairement tranchées avec le reste des provenances représentées.

Analyse factorielle des correspondances

Comme précédemment, cette analyse est réalisée sur les fréquences des classes de dimensions.

Le plan principal exprime 85.02 % de l'inertie totale répartis en 65.66 % pour l'axe 1 et 19.36 % pour l'axe 2. Les variables étudiées sont bien représentées sur ce plan, notamment celles représentant les classes de longueur.

Le passage de gauche à droite de l'axe 1 traduit le sens d'augmentation de la taille.

Trois groupes peuvent nettement être distingués :

Le groupe A constitué des provenances turques Avlan Elmali et Armutalani dont les graines sont les moins longues et les moins larges de tous les échantillons mesurés.

Le groupe B que forment les provenances turques Dirmil, Karaçay et Aslankoy, à dimensions moyennes.

Le groupe C composé des trois provenances libanaises réunies, dont les graines présentent les longueurs et les diamètres les plus importants.

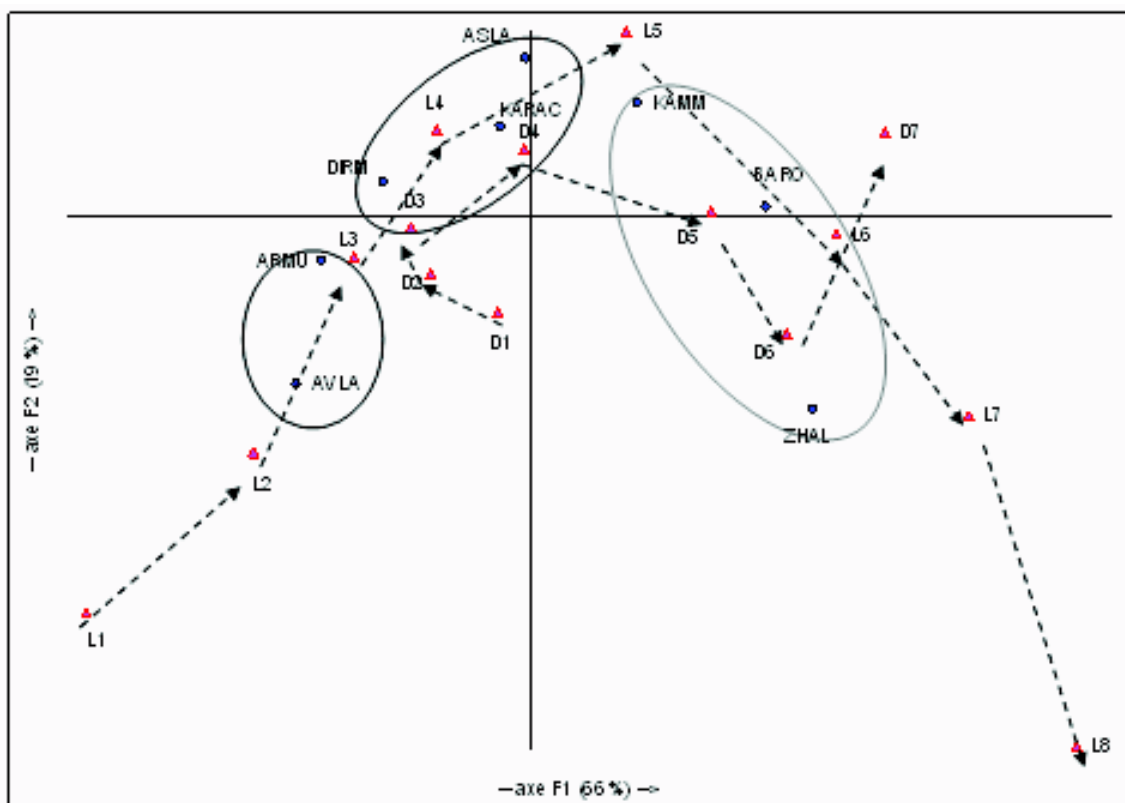


Figure n°14 : A.F.C. sur les classes de dimensions de la graine dans les provenances de *Cedrus libani*

3.1.2.2. Poids des graines

Le poids de 1000 graines varie de 57.48 à 101.20 g au sein des provenances de *Cedrus libani*, avec une moyenne générale de 78.34 g.

La moyenne calculée pour les cédraies du Liban est de 98.97 g et pour celles de Turquie, de 65.96 g. Arbez et al, (1978) rapportent des valeurs calculées sur quatre provenances chacune, de 95.5 g pour le cèdre du Liban et de 71.2 g pour le cèdre de Turquie. Nous sommes en présence du même cas de figure que pour les caractères longueur et diamètre de la graine.

Tableau n° 14 : Variation du poids de 1000 graines entre les provenances de *Cedrus libani*

Provenance	Poids de 1000 graines (g)
Ain Zhalta	98.72
Barouk	97.00
Kammouah	101.20
Karaçay	76.17
Aslankoy	66.82
Dirmil	64.00
Avlan	65.32
Armutalani	57.48
Moyenne	78.34

On pourrait dans ce cas, parler de gradient clinal suivant la latitude : le poids de 1000 graines diminuerait alors avec l'augmentation de la latitude. Seulement, au sein même des provenances libanaises, ce gradient ne semble pas vérifié : La provenance Kammouah, qui possède les graines les plus lourdes, est en effet la station la plus septentrionale de notre échantillonnage au Liban. Une autre hypothèse pourrait être avancée, et elle compte de nombreux adeptes : le *Cedrus libanidu* Liban et celui de Turquie appartiendraient à des unités taxonomiques distinctes. Nous y reviendrons plus loin.

3.1.3 Variation interspécifique

La provenance chypriote de *Cedrus brevifolia* étant représentée par un lot unique de graines, elle n'a pu faire l'objet d'une analyse statistique dans le paragraphe consacré à la variation intraspécifique. Voici donc, présentées dans le tableau n° 15 et les figures n° 15 et 16, les fréquences relatives à la distribution des classes de longueurs et de diamètres chez cette espèce de cèdre.

On note la prédominance de graines appartenant aux classes de longueurs L₄ et L₅ et aux classes de diamètres D₃ et D₄, ainsi que l'absence des classes de dimensions supérieures L₈ et D₇.

Dimensions	Fréquences des classes de longueur (en %)							Fréquence des classes de diamètre (en %)					
	L1	L2	L2	L4	L5	L6	L7	D1	D2	D3	D4	D5	D6
	9 a 10 mm	a 11 mm	a 12 mm	a 13 mm	a 14 mm	a 15 mm	a 16 mm	4 a 4,5 mm	4,5 a 5 mm	5 a 5,5 mm	5,5 a 6 mm	6 a 6,5 mm	6,5 a 7 mm
<i>C. brevifolia</i>	1	4	19	32	32	10	2	1	18	31	35	12	3

Tableau n° 15 : Dimensions des graines de *Cedrus brevifolia*

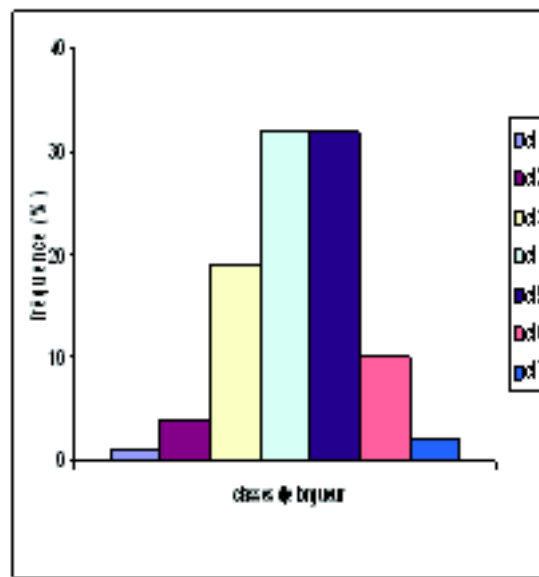


Figure n° 15 : Histogramme des fréquences des longueurs de la graine chez *Cedrus brevifolia*

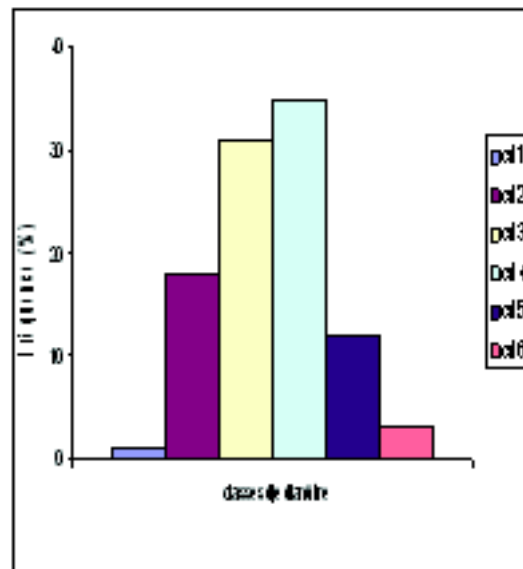


Figure 16 : Histogramme des fréquences des diamètres de la graine chez *Cedrus brevifolia*

L'analyse factorielle des correspondances est effectuée sur les mêmes variables que celles en 3.1.1., avec, comme individus les provenances de *Cedrus atlantica* et de *Cedrus libani* réunis ainsi que la provenance unique de *Cedrus brevifolia*.

Le plan principal exprime 72.62 % de l'inertie totale. L'axe 1 en exprime 50.25 % et les contributions relatives des variables étudiées à la variance de cet axe sont plus importantes pour les classes de longueur. C'est donc comme dans les cas précédents un axe qui exprime le passage des classes de longueurs réduites à celles de longueurs élevées. La répartition des provenances au sein d'une même espèce reste inchangée : absence de structuration géographique dans la distribution des populations appartenant à *Cedrus atlantica* et séparation des population de *Cedrus libani* en deux ensembles : les provenances libanaises du coté positif de l'axe 1 et les provenances turques, proches de l'origine du plan pour celles ayant des graines de dimensions moyennes (Karaçay, Aslankoy), ou du coté négatif pour celles à petites graines.

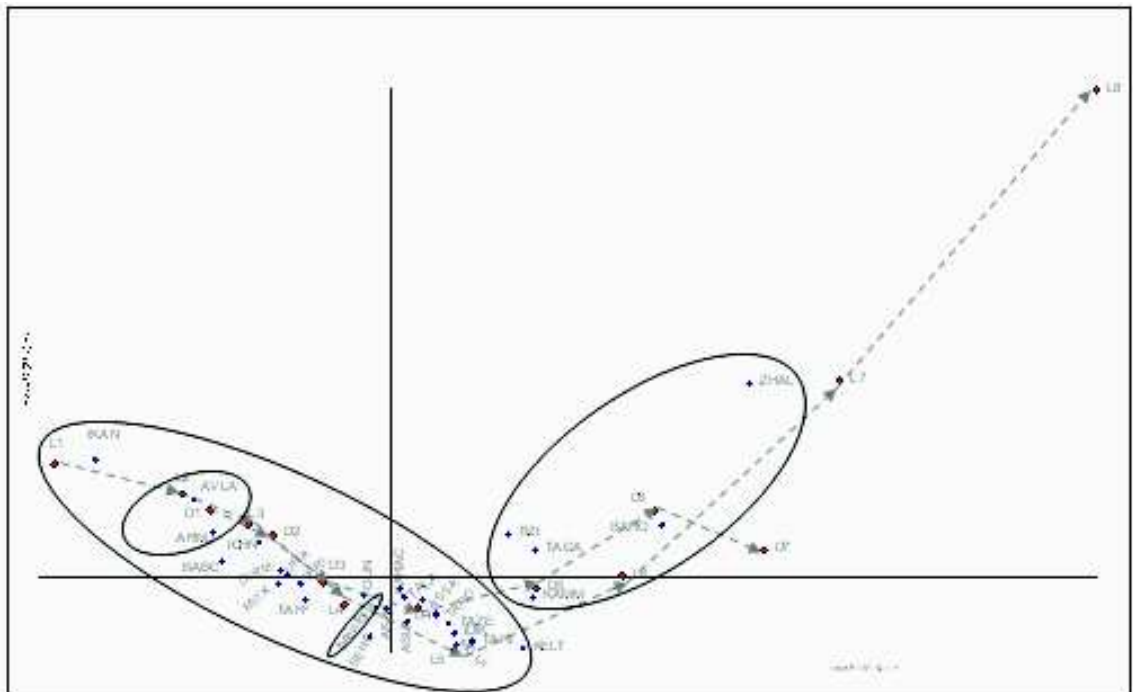


Figure n°17 : A.F.C sur les classes de dimensions de la graine dans les provenances de *Cedrus atlantica*, *Cedrus libani* et *Cedrus brevifolia*

La limite entre provenances subordonnées à l'espèce *Cedrus atlantica* et celles inféodées à l'espèce *Cedrus libani* n'est en revanche pas bien nette. L'amplitude de variation des dimensions de la graine chez *Cedrus atlantica* est telle qu'elle intègre celle des populations turques de *Cedrus libani*, et dans une moindre mesure, celle des provenances libanaises qui se démarquent par des fréquences plus importantes des classes de longueurs L7 et L8.

La population de *Cedrus brevifolia*, par ses dimensions moyennes, se rapproche davantage des provenances turques de *Cedrus libani*.

3.1.4. Discussion - Conclusion

Au terme de ce chapitre, il est important d'en relever les résultats essentiels :

Pour les paramètres mesurables de la graine (longueur, diamètre et poids de 1000 graines) chez *Cedrus atlantica*, la variabilité se présente en mosaïque. Nos résultats n'ont pas permis de dégager un gradient géographique comme on l'avait escompté eu égard aux résultats de Derridj (1990) sur les provenances algériennes de cèdre. Il s'est avéré en effet, que les dimensions de la graine variaient selon un gradient géographique et augmentaient en allant des populations méridionales, appartenant à l'Atlas saharien, vers celles, situées au nord et appartenant à l'Atlas Tellien, allant ainsi dans le sens de la distinction établie par Gaussens (1964) au sein de l'espèce *Cedrus atlantica* de deux écotypes : *tellica* et *meridionalis*. Le poids de 1000 graines, pris également en compte, n'a pas montré ce modèle de variation, comme c'est le cas dans la présente étude.

Dans le cas de *Cedrus libani*, nous nous trouvons devant un autre cas de figure : les provenances concernées par l'échantillonnage ont montré des différences significatives pour la longueur et le diamètre de la graine et les provenances libanaises se distinguent à chaque fois de leurs homologues turques par leurs dimensions plus élevées scindant ainsi l'échantillon représenté en deux ensembles distincts. Même si elle n'est pas étayée par des arguments statistiques, on peut dire que la même tendance est observée pour le poids des graines.

On a noté la position de la seule provenance de *Cedrus brevifolia* au voisinage des lots turcs de *Cedrus libani* plutôt que de ceux issus du Liban. On ne peut tirer des conclusions d'ordre taxonomique sur la base de ce seul fait mais il est important de noter qu'il va dans le même sens que les conclusions d'investigations génétiques via des marqueurs enzymatiques (Scaltssoyianes, 1999 et Fady et al, 2000).

La taille des graines est considérée comme l'un des caractères les moins plastiques des végétaux (Palmslad, 1968 in Sorensen et Franklin, 1977). C'est pourquoi il est souvent utilisé, de même que le poids, pour décrire la variation infraspécifique et quelquefois, pour identifier des graines de source inconnue.

Pour bon nombre d'auteurs, les caractères mesurés de la graine (taille ou poids selon les travaux ou les deux, des corrélations ayant souvent été établies) sont sous la dépendance de facteurs génétiques (Biro, 1972 ; Fins et Libby, 1982 ; Sorensen et Campbell, 1985 ; Briand et al, 1992 et Davidson et al, 1996) mais il est indéniable que l'action des facteurs environnementaux intervient également dans l'expression de ce potentiel.

Des variations clinales ont pu être mises en évidence :

La longueur et la largeur de la graine chez les pins de la section *halpensis* augmentent suivant la longitude, d'ouest en est (Debazac et Tomassone, 1965). Des corrélations avec la latitude ont été également mises en évidence : Biro (1972), Houle et Babeux (1994) et Khalil (1986) in Davidson et al (1996). L'altitude n'est pas en reste : Fober et Giertych (1971), Baker (1972), Biro (1972) et Cantegrel (1983) ont fait état de liens évidents entre taille ou poids de la graine et altitude. Les graines issues d'individus végétant en altitude élevée seraient plus légères que celles portées par ceux vivant à basse altitude.

A défaut de cline latitudinal, nous avons essayé de relier la variation des caractéristiques biométriques de la graine à l'altitude. L'examen attentif de leurs coordonnées respectives ne nous a pas fourni d'explication satisfaisante : les stations d'Ikankaben, Bab Chiker et Ich N'timghilt par exemple, qui se démarquent par les valeurs les plus faibles de tout l'échantillon marocain, se trouvent à des altitudes respectives de 1720

m, 1580 m et 1900 m, celles de Jbel Kelti et Tatgaline d'autre part, dont le diamètre moyen et le poids de 1000 graines viennent en tête du classement, se trouvent à 1600 m et 1850 m.

Il est clair qu'à travers les paramètres géographiques, ce sont des facteurs écologiques, essentiellement climatiques tels la température ou la pluviométrie, qui agissent sur ces caractères. L'effet de l'année de récolte est par conséquent à ne pas négliger comme l'ont souligné Sorensen et Franklin (1977) et Venable (1992) in Houle et Babeux (1994).

Baker (1972) et Ager et Stettler (1983) in Briand et *al*, (1992) rapportent que le poids des graines tend à augmenter avec l'exposition à la sécheresse, les graines les plus lourdes pouvant plus rapidement installer leur système racinaire.

On a en effet montré l'existence de corrélations entre la taille des graines et celles des jeunes plants qui en étaient issus (Sorensen et Campbell, 1985 ; Houssard et Escarré, 1991 in Houle et Babeux, 1994), les graines de plus grandes dimensions contenant des embryons et des gamétophytes femelles plus grands et de poids plus important comme l'ont montré West et Lott (1993) sur 11 espèces du genre *Pinus*, ce qui expliquerait une vigueur plus importante et des réserves plus substantielles et plus rapidement utilisables.

Il est aisé d'entrevoir, à la lumière de ces données, non seulement la complexité des facteurs qui régissent la variation de ces caractères, mais également les implications écologiques que pourrait avoir cette dernière sur le maintien des espèces végétales dans l'espace et dans le temps.

3.2. Germination

3.2.1. Variation entre provenances de *Cedrus atlantica*

Les résultats relatifs aux paramètres de la germination chez le cèdre de l'Atlas sont regroupés dans le tableau n°16.

Tableau n°16 : Capacités et temps moyens de germination des provenances de *Cedrus atlantica*

Provenance	Capacité de germination (%)	Temps moyen de germination (jours)
Jbel Kelti	71	14.41
Tizi Ifri	55	14.75
Ikankaben	57	14.35
Talassantane	0	
Jbel Tizirène	5	14.75
Bab Chiker	62	13.57
Sidi Mguild	72	14.52
Ich N'timghilt	38	15.50
Tatgaline	69	14.30
Idjrane	61	14.66
Seheb	66	14.59
Taffert	4	17.52
Talarine	8	16.36
Tamtroucht	4	17.30
Tazekka	78	14.16
Ain Kahla	75	14.40
Mitkane	0	
Idikel	57	14.66
Assaka	35	15
Tounfite	41	15.12
Moyenne	42.9	14.99

La capacité germinative moyenne pour tout l'échantillon est de 42.9 %. Les pourcentages par provenance sont toutefois disparates et on peut y distinguer trois groupes, ce qu'illustre bien la figure n° 18.

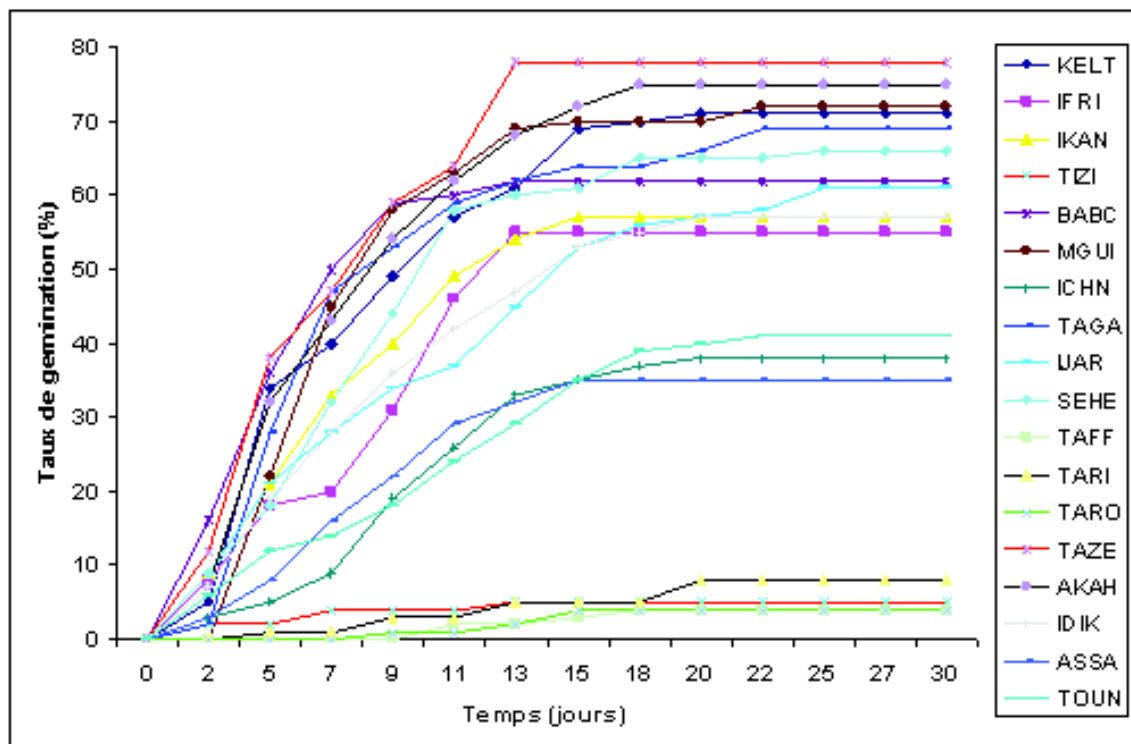


Figure n° 18 : Courbes de germination des provenances de *Cedrus atlantica*

Un premier groupe dont les taux sont nettement supérieurs à la moyenne générale. Certaines provenances arborent même des taux très satisfaisants : 78 % pour Tazekka, 75 % pour Ain kahla et 72 % pour Sidi M'guild.

Un groupe dont les capacités germinatives sont inférieures à la moyenne. On y retrouve Tounfite, Ich N'timghilt et Assaka avec respectivement : 41 %, 38 % et 35 %.

Un dernier groupe enfin, dont les taux sont très faibles : de 4 à 8 %. Il est composé des lots provenant de Taffert, Tamtroucht, Talarine et Jbel Tizirène.

Il est à noter qu'aucune graine germée n'a été enregistrée, pendant toute la durée du test, au sein des provenances Talassantane et Mitkane.

Les temps moyens de germination sont assez voisins. Ils s'échelonnent de 13.57 jours pour Bab Chiker, qui présente le rythme de germination le plus rapide, à 17.52 jours pour Taffert qui a d'ailleurs donné des résultats très médiocres. Derridj (1990) a enregistré des vitesses de germination allant de 9.12 à 18 jours, et Bekhouche (1995), des valeurs comprises entre 6.07 à 22.15 jours.

Les dynamiques de germination sont différentes comme on peut le voir sur la figure n° 18.

On peut dire que la plupart des provenances ont démarré rapidement leur germination : au deuxième jour, on a enregistré des graines germées dans toutes les provenances, à des taux variables, sauf Sidi Mguild qui n'a démarré qu'au cinquième jour.

Des provenances comme Tazekka, Ain Kahla, Jbel Kelti et Bab Chiker ont dépassé les 30% dès le cinquième jour. Elles ont d'ailleurs abouti à des taux appréciables. Sidi Mguild, malgré son temps de latence relativement plus long, a atteint les 72 % à la fin du test.

Le plateau a été atteint entre le treizième jour et le dix-huitième jour pour la plupart des lots.

Test de comparaison du Khi deux

Le χ^2 observé pour les capacités germinatives des provenances de *Cedrus atlantica* est égal à 298.03*** (valeur supérieure à la valeur théorique au seuil $\alpha = 1 \%$). Ceci nous permet de dire que les différences observées dans les taux de germination des différentes provenances marocaines de cèdre sont très hautement significatives (il faut préciser que l'on n'a tenu compte que des lots dont les pourcentages étaient supérieurs à 5 %, ceci pour les besoins de réalisation du test).

Matrice de corrélation

Tableau n° 17 : Matrice de corrélation entre caractéristiques biométriques et germinatives des graines de *Cedrus atlantica*

	Longueur	Diamètre	Poids de 1000 graines	C.G	T.M.G
Longueur	1.00				
Diamètre	0.83***	1.00			
Poids de 1000 graines	0.82***	0.90***	1.00		
C.G	0.40	0.28	0.34	1.00	
T.M.G	-0.06	0.12	-0.01	-0.72	1.00

ddl (degré de liberté) = 12

*** : corrélation très hautement significative.

C.G : capacité germinative

TMG : temps moyen de germination

La matrice de corrélation fait ressortir une corrélation positive et significative au seuil $\alpha = 0.001$ entre la longueur et le diamètre d'une part, et entre chacun de ces paramètres et le poids de 1000 graines d'autre part, ce qui signifie que les graines les plus longues et de plus grand diamètre sont également les plus lourdes.

Ces caractéristiques ne sont toutefois pas corrélés aux critères de germination (capacité germinative et temps moyen de germination) indiquant que les graines de plus grand poids et de plus grandes dimensions ne sont pas nécessairement celles qui germent le mieux et le plus rapidement et inversement.

3.2.2. Variation entre provenances de *Cedrus libani*

Tableau n° 18 : Capacités et temps moyens de germination des provenances de *Cedrus libani*

Provenance	Capacité de germination (en %)	Temps moyen de germination (en jours)
Ain Zhalta	81	14.23
Barouk	63	14.31
Kammouah	70	14.62
Karaçay	54	14.37
Aslankoy	57	14.72
Dirmil	70	13.88
Avlan	51	14.78
Armutalani	64	14.23
Moyenne	63.75	14.39

Les résultats concernant les capacités germinatives et les vitesses de germination sont donnés dans le tableau n° 18 et représentés graphiquement par la figure n° 19.

La capacité germinative moyenne est de 63.75 % et nous n'avons pas observé d'écart important dans les taux comme nous l'avons vu pour *Cedrus atlantica*. Le pourcentage le plus élevé est enregistré pour la provenance Ain Zhalta du Liban. Il est de 81 %. Le taux de germination le plus bas de tout l'échantillon est celui enregistré pour Avlan Elmali de Turquie. Il n'apparaît pas de différence nette comme c'était le cas pour les caractéristiques de la graine, entre les provenances turques et les provenances libanaises.

Les temps moyens de germination sont encore moins différents que dans le cas de *Cedrus atlantica*, ils vont de 13.88 à 14.78 jours.

Deux jours après le début du test, toutes les provenances avaient commencé à germer, plus ou moins fortement (de trois graines germées pour Avlan Elmali à dix-sept pour Armutalani). Le plateau est atteint entre 18 jours et 22 jours.

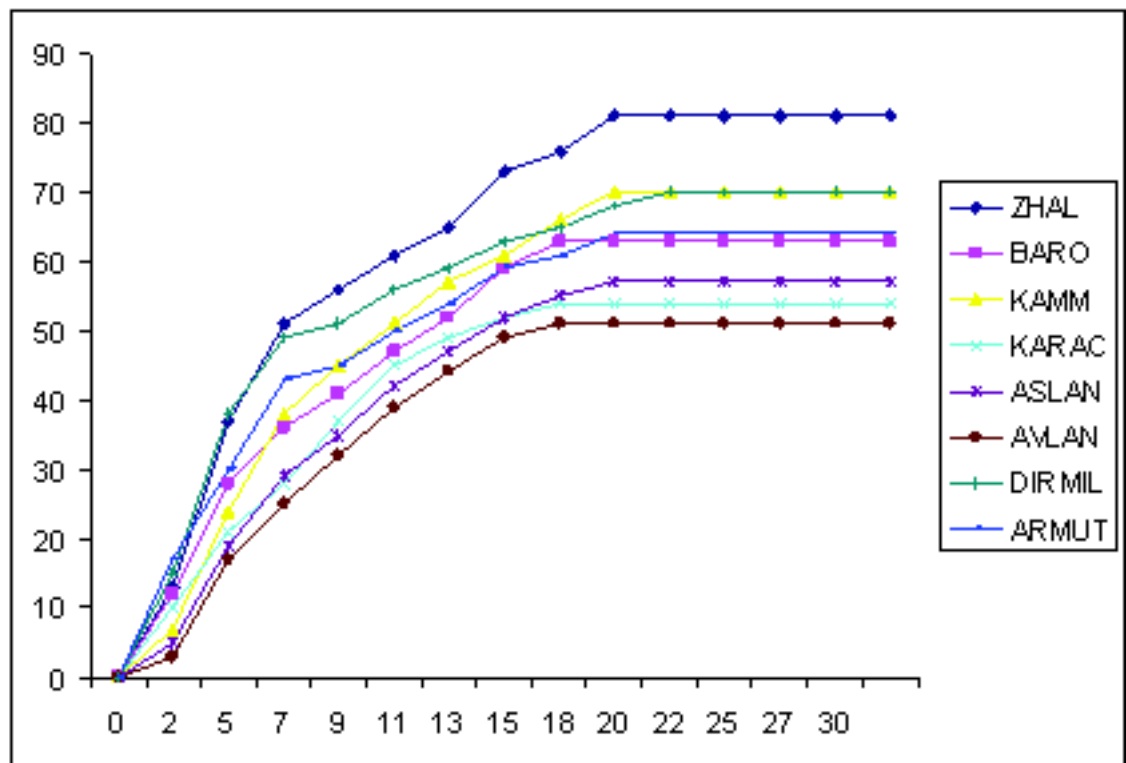


Figure n°19 : Courbes de germination des provenances de *Cedrus libani*

Test de comparaison du Khi deux

Le χ^2 observé pour les capacités germinatives des provenances de *Cedrus libani* est égal à 29.40*** (valeur supérieure à la valeur théorique au seuil $\alpha = 1\%$). Nous pouvons donc dire, comme précédemment, que les graines de *Cedrus libani* possèdent des taux de germination qui diffèrent entre provenances de manière très hautement significative.

Matrice de corrélation

Tableau n° 19 : Matrice de corrélation entre caractéristiques biométriques et germinatives des graines de *Cedrus libani*

	Longueur	Diamètre	Poids de 1000 graines	C.G	T.M.G
Longueur	1.00				
Diamètre	0.85**	1.00			
Poids de 1000 graines	0.86**	0.97***	1.00		
C.G	0.39	0.42	0.53	1.00	
T.M.G	0.21	0.10	0.06	-0.55	1.00

ddl = 6 ; *** : corrélations très hautement significatives ($\alpha = 0.001$) ;

** : corrélations hautement significatives ($\alpha = 0.05$)

La matrice de corrélation réalisée sur les caractéristiques biométriques et germinatives des graines de *Cedrus libani* a fait ressortir des corrélations significatives au seuil $\alpha = 0.001$ entre le diamètre et le poids de 1000 graines.

Les corrélations entre longueur et diamètre de la graine d'une part, et entre longueur et poids de 1000 graines d'autre part, sont significatives au seuil $\alpha = 0.05$.

Ainsi les graines les plus lourdes sont celles possédant un fort diamètre et, dans une moindre mesure, celles dont la longueur est élevée.

Comme dans le cas de *Cedrus atlantica*, il n'apparaît pas, pour l'échantillon de *Cedrus libani*, d'influence des caractéristiques de la graine sur la germination.

3.2.3 Variation interspécifique

* Analyse en composantes principales

Tableau n° 20 : Matrice de corrélation sur les caractéristiques de la graine de *Cedrus atlantica* de *Cedrus libani*

	Longueur	Diamètre	Poids de 1000 graines	C.G	T.M.G
Longueur	1.00				
Diamètre	0.54**	1.00			
Poids de 1000 graines	0.84***	0.60**	1.00		
C.G	0.37	0.31	0.38	1.00	
T.M.G	0.02	-0.11	-0.01	-0.69***	1.00

ddl = 20 ;

** : corrélations hautement significatives ($\alpha = 0.01$)

*** : corrélations très hautement significatives ($\alpha = 0.001$) ;

La matrice de corrélation sur les caractéristiques de la graine de *Cedrus atlantica* et *Cedrus libani* fait ressortir des corrélations hautement significatives entre longueur et diamètre puis entre diamètre et poids de 1000 graines. On y trouve également des corrélations très hautement significatives, positive entre longueur et poids de 1000 graines et négative entre capacité de germination et temps moyen de germination. Autrement dit, les provenances ayant les taux de germination les plus importants présentent les temps moyens de germination les plus courts et inversement.

L'A.C.P. est représentée dans la figure n°20. Le plan défini par les axes 1 et 2 rapporte 82,19 % de la variance totale dont 52,69 % pour l'axe 1 et 29,50 % pour l'axe 2.

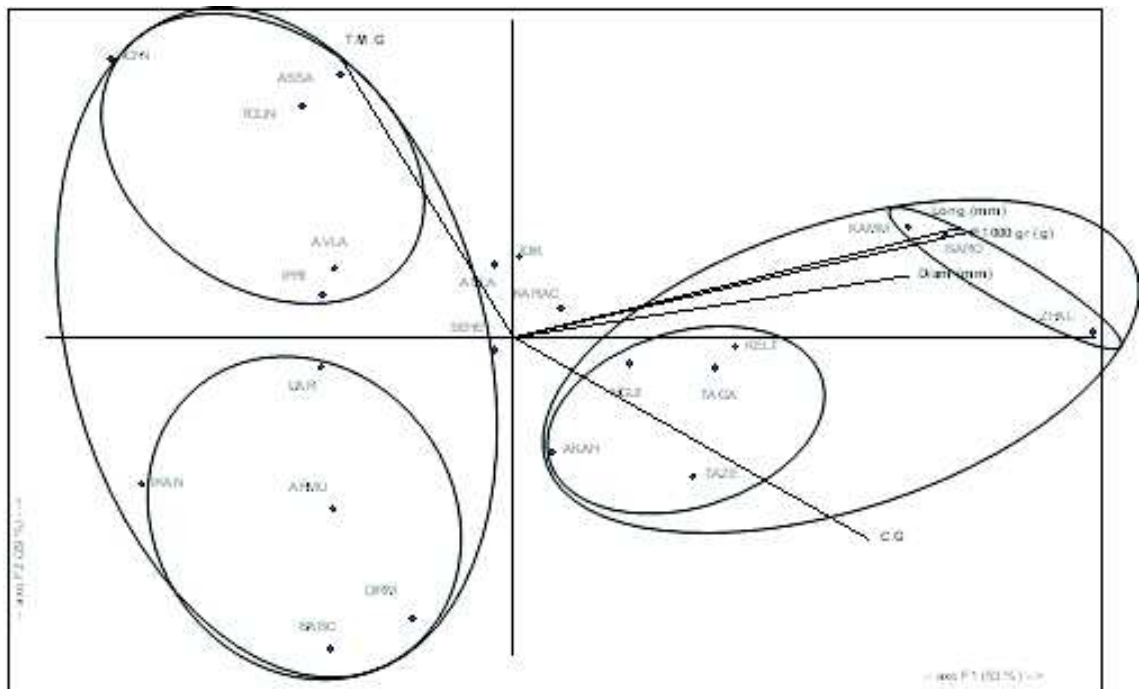


Figure n°20 : A.C.P sur les caractéristiques biométriques et germinatives des graines de *C. atlantica* et *C. libani*

Les variables longueur et diamètre de la graine ainsi que le poids de 1000 graines sont bien représentées sur l'axe 1.

La variable T.M.G (temps moyen de germination) est bien représentée sur l'axe 2.

L'axe 1 reflète les caractères liés aux dimensions et poids des graines. Il permet de distinguer deux groupes principaux :

- - Le groupe A, situé dans la partie positive de l'axe 1 regroupe les provenances possédant des graines à poids et dimensions importants, ce qui est notamment le cas des provenances libanaises de *Cedrus libani*, également caractérisées par de bonnes capacités germinatives, groupées à l'extrême droite du graphique. Un autre sous-groupe, situé dans le quart correspondant aux valeurs positives de l'axe 1 et négatives de l'axe 2, réunit les provenances de *Cedrus atlantica*, aux graines de dimensions d'autant plus élevées qu'on avance du côté positif de l'axe 1, et aux taux de germination importants.
- - Le groupe B situé dans la partie négative de l'axe 1 regroupe les provenances aux dimensions et poids modestes et se scinde à son tour en deux sous-groupes que séparent essentiellement cette fois, les valeurs des paramètres de germination qui leur sont associées.
- Dans la partie positive de l'axe 2, on retrouve Tizi Ifri (Rif marocain), Avlan Elmali (Turquie), Assaka et Tounfite (Haut-Atlas marocain) et Ich N'timghilt (Moyen-Atlas marocain). Ces provenances ont en commun des capacités germinatives d'autant plus faibles qu'elles se rapprochent du haut du graphique, et des temps moyens de germination élevés.
- Le sous-groupe cantonné dans les parties négatives de l'axe 1 et de l'axe 2 est composé de provenances que caractérisent des capacités germinatives moyennes et des vitesses de germination importantes.

- Les provenances situées près de l'origine du plan sont inclassables dans l'un ou l'autre groupe en raison des valeurs intermédiaires qu'elles présentent pour les caractères considérés d'une part, mais aussi de la qualité médiocre de leur représentation sur le plan principal d'autre part.

3.2.4 Discussion - Conclusion

Les lots de semences de *Cedrus* étudiés ici ont montré une certaine hétérogénéité dans leurs aptitudes germinatives, autant dans les taux atteints en fin de test que dans la dynamique mise en marche pour y parvenir.

Les coefficients de corrélation calculés entre dimensions et poids des graines d'une part et les paramètres de la germination d'autre part, ne sont pas significatifs, ce qui revient à dire que les graines les plus grandes ou les plus lourdes ne donnent pas nécessairement les meilleures germinations. Ceci concorde avec les résultats de Krouchi (1995) pour qui les capacités germinatives chez *Cedrus atlantica* sont indépendantes du poids des graines, de celui des cônes ainsi que de la production globale des arbres en cônes, estimée sur trois années.

Un grand nombre d'auteurs ont au contraire établi des relations positives entre ces deux catégories de caractères. Autrement dit, les graines de poids faible présentent des capacités germinatives faibles et celles de poids élevé, de bonnes aptitudes germinatives, ceci chez différentes espèces de conifères : Cantegrel (1983) sur des populations pyrénéennes de *Pinus uncinata* ; Derridj (1990) sur des populations algériennes de *Cedrus atlantica* ; Singh *et al.*, (1990) sur *Picea smithiana* ; Ackerman et Gorman (1969), Wang et Patel (1974) et Khalil (1986) tous cités par Davidson *et al.*, (1996) sur *Pinus contorta*, *Pinus ponderosa* et *Picea glauca* respectivement.

On explique généralement cet avantage régénératif des semences lourdes par la plus grande quantité de réserves que fourniraient des tissus nourriciers plus importants en volume. Devillez (1971) pense toutefois que la taille des structures enveloppant l'embryon n'exerce aucune action significative sur les processus germinatifs et que c'est la robustesse embryonnaire correspondant à son état de différenciation qui est la plus significative à cet égard chez *Pseudotsuga menziesii*. Les embryons les plus petits semblent être, pour cet auteur, les moins aptes à germer, cette déficience pouvant être en partie surmontée par la stratification.

Par ailleurs, une variation clinale dans la germination a été décelée chez *Abies amabilis* dont les paramètres de germination exhibent les meilleures valeurs dans les populations les plus méridionales, suggérant que la germination est plus rapide aux basses latitudes (Davidson *et al.*, 1996). Les écarts importants que nous avons observés dans les taux de germination, en particulier entre les provenances de *Cedrus atlantica* ne correspondent pas à un modèle clinal. Nous pensons qu'ils seraient dûs à des réponses différentielles des semences au prétraitement au froid humide. Celui-ci, appliqué aux graines de conifères, a habituellement pour conséquence, une accélération de la germination, avec une réduction dans la variabilité de celle-ci (Edwards, 1982 in Davidson *et al.*, 1996).

La durée de stratification appliquée n'était peut-être pas suffisante pour amorcer la levée de dormance chez certaines provenances. Derridj (1990), ayant testé plusieurs durées de stratification, a conclu à l'efficacité optimale d'un prétraitement d'un mois. Muller *et al.*, (1984) font état d'une variation exponentielle des facultés germinatives des graines de cèdre en fonction de la durée de stratification.

La dormance affecte les lots de graines à des degrés divers. Elle peut être fonction de la période de récolte des cônes (Edwards, 1982 in Davidson *et al.*, 1996). Ces auteurs rapportent que des différences peuvent également exister entre les cônes d'un même arbre et même entre les graines d'un même cône.

Bekhouche (1995) qui a travaillé sur des graines de *Cedrus atlantica* du Maroc, a rapporté des résultats qui ne sont pas superposables à ceux de la présente étude. Il faut noter cependant que les provenances qui ont germé le plus mal (pourcentages nuls ou trop faibles) coïncident (Talassantane, Taffert et Mitkane) Si nos graines proviennent de la même collection, cela pourrait confirmer l'état de dormance plus profond des graines issues de ces populations.

D'autre part, des conditions inadéquates de conservation peuvent altérer, parfois de façon irrémédiable, les facultés germinatives des semences.

Nous avons reçu l'ensemble de nos lots de graines en février 1995. Les tests de germination se sont déroulés fin avril - début mai de la même année. Entre-temps les graines étaient entreposées dans un réfrigérateur, à des températures positives oscillant entre 2 et 4°C, conditions acceptables pour Derridj (1990). Nous ne savons cependant rien des conditions ayant entouré ces échantillons avant de nous parvenir, de leur degré de maturité au moment de la récolte, ainsi que des stress qu'ils auraient pu subir.

Les provenances de *Cedrus libani* prises dans leur ensemble, ont répondu plus favorablement au prétraitement, la durée d'un mois ayant été apparemment suffisante pour surmonter une bonne part des dormances éventuelles au sein de ces provenances.

A cet égard, Davidson *et al.*, (1996) concluent que la stratification affecte différemment les lots de graines et que son efficacité peut être une fonction complexe des milieux de développement des graines, des conditions de manutention, ainsi que de la variation inter et intra-individuelle dans la dormance et les réponses germinatives.

Un contrôle génétique important sur les paramètres liés à la germination a pu par ailleurs être mis en évidence, grâce à une variation interindividuelle importante (Bramlett *et al.*, 1983 ; Farmer et Rienholt, 1986) in Davidson *et al.*, (1996) et Illoul (1998) ainsi qu'à des estimations élevées de l'héritabilité au sens large (Davidson *et al.*, 1996).

D'autres facteurs comme l'autogamie peuvent également influencer sur la qualité physiologique des graines et leurs aptitudes germinatives (Fins et Libby, 1982 ; Arista et Talavera 1996 in Illoul (1998).

Selon Linhart et Mitton (1987) in Krouchi (1995), le taux de germination des graines et la survie des plantules de *Pinus ponderosa* diminuent avec l'augmentation du rapport pollen / cônes sur un arbre.

Pour Weber et Sorensen (1992) in Davidson *et al.*, (1996), la germination des graines de *Pinus ponderosa* est liée à la sévérité de la sécheresse estivale.

3.3. Caractéristiques des plantules

3.3.1. Variation entre provenances de *Cedrus atlantica*

3.3.1.1. Le nombre de cotylédons

Le nombre de cotylédons varie de 6 à 12 pour l'ensemble des provenances représentées dans cette étude. Les plantules à 8 et 9 cotylédons sont les plus fréquentes (voir tableau n° 21 et figure n° 21). Elles représentent 35,5 % et 37,55 % respectivement, de toutes les plantules observées.

Provenances	Fréquences (%)							Moyenne	Mode	Amplitude
	Nombre de cotylédons									
	6	7	8	9	10	11	12			
KELT	0	3	29	39	27	2	0	8,96	9	7 - 11
IFRI	1	11	35	43	9	1	0	8,51	9	6 - 11
IKAN	1	10	37	41	11	0	0	8,51	9	6 - 10
TALA	0	5	39	36	17	3	0	8,74	8 - 9	7 - 11
TIZI	0	8	35	30	23	3	1	8,81	8	7 - 12
BABC	1	13	43	33	10	0	0	8,38	8	6 - 10
MGUI	1	5	32	33	25	4	0	8,88	8 - 9	6 - 11
ICHN	2	13	44	29	11	1	0	8,37	8	6 - 11
TAGA	0	1	23	41	31	4	0	9,14	9	7 - 11
IJAR	1	3	43	34	17	2	0	8,69	8	6 - 11
SEHE	0	10	42	35	11	1	1	8,54	8	7 - 12
TAFF	0	7	31	38	23	1	0	8,8	9	7 - 11
TARI	0	12	30	44	12	2	0	8,62	9	7 - 11
TARO	3	10	25	38	19	4	1	8,76	9	6 - 12
TAZE	0	3	32	47	13	3	2	8,87	9	7 - 12
AKAH	1	19	37	33	8	2	0	8,34	8	6 - 11
MITK	1	11	40	41	6	1	0	8,43	8 - 9	6 - 11
IDIK	0	10	38	37	13	2	0	8,59	8 - 9	7 - 11
ASSA	1	11	37	41	7	3	0	8,51	9	6 - 11
TOUN	1	9	31	38	17	4	0	8,73	9	6 - 11
Echantillon	0,7	8,7	36	38	15,5	2,15	0,3			

Tableau n°21: Fréquences du nombre de cotylédons chez les provenances de *Cedrus atlantica*

Les plantules à 10 cotylédons représentent quant à elles 15,5 % de l'échantillon. Les modes sont de 8 ou 9 en général, avec quelques provenances à deux modes (8 et 9).

Les moyennes de ce paramètre varient de 8,34 (Ain Kahla) à 9,14 (Tatgaline). Pour Derridj (1990) ces valeurs sont comprises entre 8,35 et 8,19 concernant les provenances algériennes de *Cedrus atlantica*.

Bekhouche (1995) rapporte des valeurs de 8,29 à 8,96. L'intervalle est plus réduit que dans notre cas, mais les provenances concernées sont respectivement Ain Kahla et Tatgaline, les mêmes extrêmes donc que pour notre échantillon.

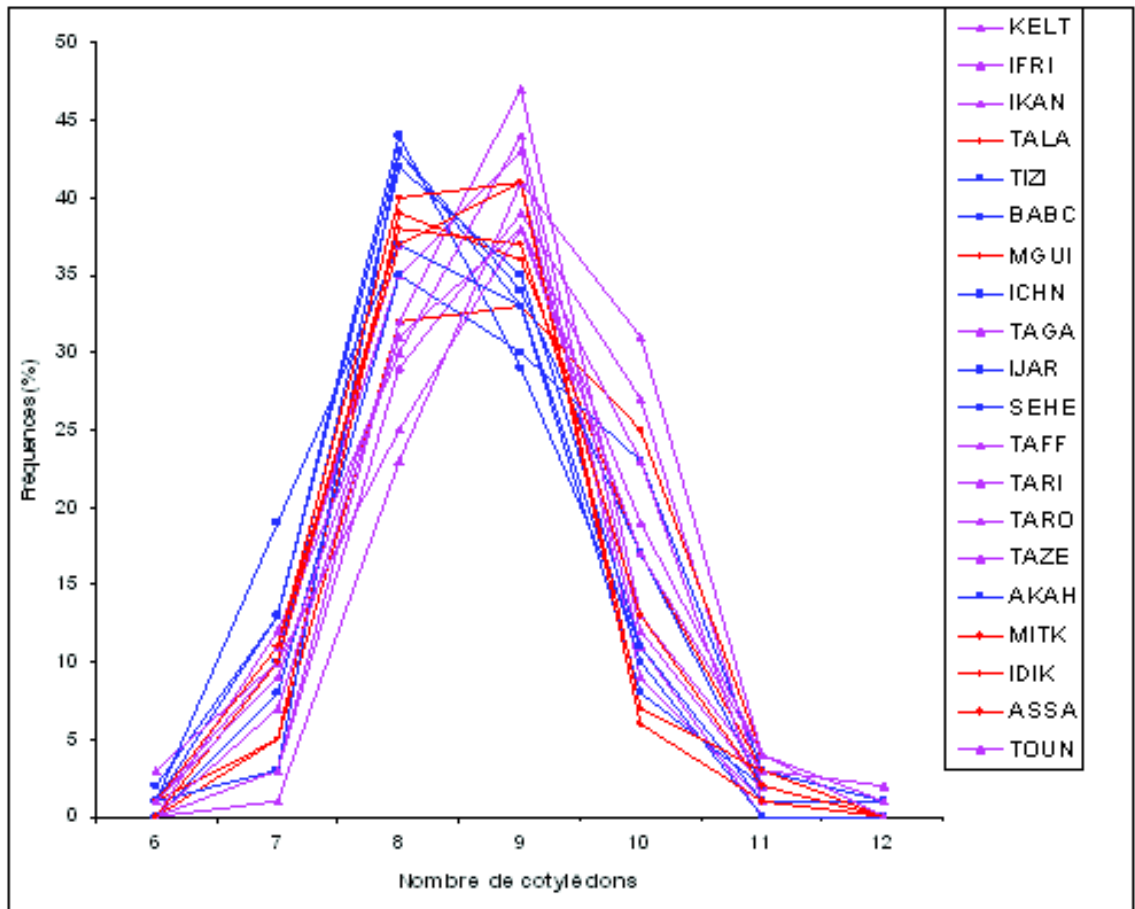


Figure n°21 : Courbes de fréquences du nombre de cotylédons pour les provenances de *Cedrus atlantica*

3.3.1.2. Les dimensions des cotylédons

Les résultats, répartis en classes de fréquences de longueur et de diamètre, sont consignés dans le tableau n°22.

La longueur moyenne des cotylédons pour tout l'échantillon mesuré est de 30,87 mm avec un coefficient de variation de 18,37 %. Un minimum de 17,15 mm et un maximum de 49,81 mm. Les moyennes par provenance vont de 26,7 mm (Bab Chiker) à 35,22 mm (Sidi Mguild).

Le diamètre, moins variable, nous donne une moyenne générale de 0,87 m avec un coefficient de variation de 10,38 %.

Provenances	Longueur moyenne (mm)	Diamètre moyen (mm)	Fréquences des classes de longueur (%)					Fréquences des classes de diamètre (%)						
			L1	L2	L3	L4	L5	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
			10 à 20 mm	20 à 30 mm	30 à 40 mm	40 à 50 mm	50 à 60 mm	0,6 à 0,7 mm	0,7 à 0,8 mm	0,8 à 0,9 mm	0,9 à 1,0 mm	1,0 à 1,1 mm	1,1 à 1,2 mm	1,2 à 1,3 mm
KELT	30,53	0,88	0	23	26	1	0	1	8	20	17	4	0	0
IFRI	27,59	0,85	3	32	15	0	0	1	8	30	11	0	0	0
IKAN	27,46	0,82	1	38	11	0	0	4	16	25	5	0	0	0
BABC	26,7	0,84	2	37	11	0	0	0	23	17	8	0	2	0
MGUI	35,22	0,91	0	6	36	8	0	0	3	22	20	5	0	0
ICHN	29,97	0,81	2	27	17	4	0	12	14	10	12	2	0	0
TAGA	33,23	0,94	0	14	31	5	0	0	2	17	17	13	1	0
IJAR	30,26	0,87	0	28	21	1	0	1	9	24	14	1	1	0
SEHE	32,74	0,87	0	14	33	3	0	0	9	23	18	0	0	0
TAZE	29,34	0,87	1	25	24	0	0	1	8	27	11	3	0	0
AKAH	32,26	0,89	0	15	34	1	0	0	3	27	20	0	0	0
IDIK	33,03	0,86	0	19	23	8	0	1	13	25	8	2	1	0
ASSA	32,3	0,9	1	19	22	8	0	1	7	16	20	6	0	0
TOUN	31,53	0,89	3	18	23	6	0	2	7	15	20	5	1	0
Moyenne	30,87	0,87	0,93	22,5	23,36	3,21	0	1,71	9,29	21,3	14,36	2,93	0,43	0

Tableau n° 22 : Fréquences des dimensions des cotylédons pour *Cedrus atlantica*

Le diamètre moyen le plus faible est de 0,82 mm (Ikankaben) et le plus élevé de 0,94 mm (Tatgaline). Le minimum pour tout l'échantillon est de 0,61 mm et le maximum de 1,19 mm.

Les dimensions les plus importantes ou les plus faibles ne sont pas le lot d'une région donnée. Aucun gradient géographique n'est donc décelé dans ces variations.

Analyse factorielle des correspondances

L'A.F.C réalisée sur les classes de longueur et de diamètre des cotylédons est représentée dans la figure n°22.

Le plan principal constitué des axes 1 et 2 contribue pour 71,32 % de l'inertie totale. L'axe 1 en explique 49,33%. Il traduit, de la gauche vers la droite, le passage des classes de longueur et de diamètre les plus élevés aux classes de longueur et de diamètre les plus faibles. L'ensemble formé par les provenances Ifri, Bab Chiker, Ikankaben, toutes trois rifaines, ainsi qu'Ich N'timghilt (Moyen-Atlas) est caractérisé par des plantules possédant les cotylédons les plus courts et les moins gros de tout l'échantillon.

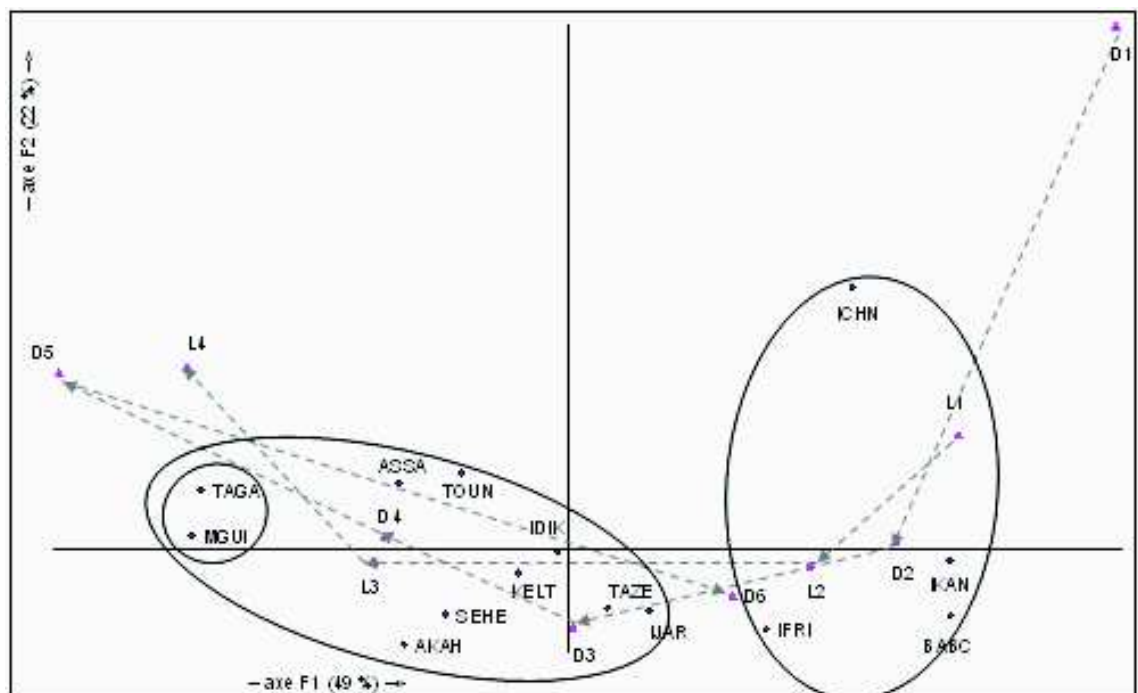


Figure n°22 : A.F.C sur les dimensions des cotylédons des provenances de *Cedrus atlantica*

Du côté opposé s'individualise un groupe formé de deux provenances moyen-atlasiques, Sidi Mguild et Tatgaline qui se démarquent par la présence de cotylédons à dimensions élevées.

Le nombre de convergents

Ce caractère varie de 3 à 5 convergents dans toutes les plantules observées, avec un mode à 4 convergents commun à toutes les provenances de *Cedrus atlantica* (Cf tableau n°23 et figure n°23).

Provenances	Fréquences (%)			Moyenne	Mode	Amplitude
	3	4	5			
KELT	25	71	4	3,79	4	3 - 5
IFRI	41	59	0	3,59	4	3 - 4
IKAN	35	65	0	3,65	4	3 - 4
BABC	45	55	0	3,55	4	3 - 4
MGUI	23	68	9	3,86	4	3 - 5
ICHN	34	66	0	3,66	4	3 - 4
TAGA	15	80	5	3,9	4	3 - 5
IJAR	26	72	2	3,76	4	3 - 5
SEHE	36	60	4	3,68	4	3 - 5
TAZE	35	64	1	3,66	4	3 - 5
AKAH	30	68	2	3,72	4	3 - 5
IDIK	23	77	0	3,77	4	3 - 4
ASSA	32	68	0	3,62	4	3 - 4
TOUN	39	67	0	3,61	4	3 - 4
Echantillon	31,4	66,7	1,9	-	-	-

Tableau n°23 : Fréquences du nombre de convergents chez les provenances de *Cedrus atlantica*

Les plantules possédant 4 convergents représentent 66,71 % de l'ensemble de l'échantillon. 31,35 % possèdent 3 convergents et les 1,93 % qui restent sont constitués de plantules à 5 convergents.

Les moyennes du nombre de convergents s'échelonnent entre 3,55 (Bab Chiker) et 3,90 (Tatgaline).

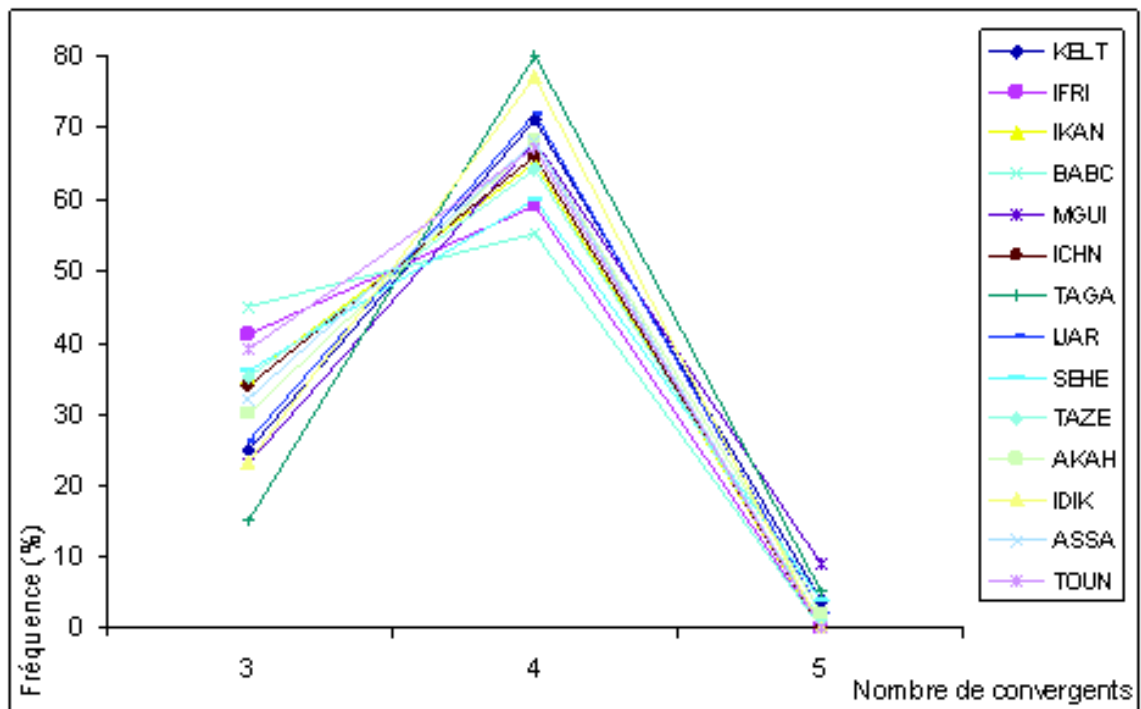


Figure n° 23 : Courbes de fréquences du nombre de convergents pour les provenances de *Cedrus atlantica*

3.3.1.4 Les types cotylédonaire

Les types cotylédonaire rencontrés dans les plantules observées sont les deux types fondamentaux B et C ainsi que le type subsidiaire D. Les différentes formules cotylédonaire mises en évidence sont reportées dans le tableau n° 24 avec les fréquences correspondantes pour chaque provenance.

Les fréquences les plus importantes sont relevées pour 8 B/4 qui est sans conteste la formule principale avec 62,2 % du total. En seconde position on retrouve la formule 6 B/3 avec 31,21 %.

Provenance Formules	KELT	IFRI	IKAN	BABC	MGUI	ICHN	TAGA	IJAR	SEHE	TAZE	AKAH	IDIK	ASSA	TOUN
6B / 3	0	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1
6B1D / 3	2	8	5	7	2	8	0	1	5	3	5	3	4	7
6B2D / 3	11	13	12	22	10	16	2	11	18	14	13	8	12	19
6B3D / 3	10	17	13	12	7	7	10	11	9	13	9	9	14	5
6B4D / 3	2	2	4	3	2	2	3	2	4	5	2	3	1	7
6B5D / 3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8B / 4	18	22	25	21	22	28	21	32	23	18	24	30	25	12
8B1D / 4	27	26	28	21	21	22	31	22	25	34	23	28	27	33
8B2D / 4	23	7	7	7	19	9	25	14	6	8	6	10	6	10
8B3D / 4	2	1	0	0	3	1	2	1	0	3	1	2	3	4
8B4D / 4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
6B1C / 4	1	3	5	6	3	5	1	2	5	0	14	7	7	2
4B2C / 4	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
10 B / 5	2	0	0	0	4	0	3	1	1	0	0	0	0	0
10 B1D / 5	0	0	0	0	0	0	2	1	1	0	1	0	0	0
10 B2D / 5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
8 B1C / 5	2	0	0	0	5	0	0	1	0	0	1	0	0	0
6 B2C / 5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4 B3C / 5	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0

Tableau n°24 : Fréquences des formules cotylédonaire chez *Cedrus atlantica*

Analyse factorielle des correspondances

L'A.F.C. est réalisée sur les formules cotylédonaire complètes prises comme variables et les provenances comme individus.

Les formules présentant des fréquences inférieures à 5 % n'ont pas été prises en compte. Le graphique y gagne en clarté et la variance expliquée par les deux premiers axes est plus importante que lorsque toutes les formules sont représentées.

Le plan principal exprime 70,61% de l'inertie totale dont 48,06 % sont expliqués par l'axe 1 et 22,56 % par l'axe 2.

Le premier axe traduit, en allant dans le sens des valeurs positives, le passage des formules cotylédonaire à nombre de cotylédon réduit à celles ayant un grand nombre de cotylédons, notamment par une augmentation des cotylédons de type D dans les formules cotylédonaire de base.

Ainsi dans la partie négative de l'axe 1, s'individualise le groupe constitué des provenances rifaines Bab Chiker, Ikankaben et Tizi Ifri, des provenances moyen-atlasiques Ich N'timghilt et Seheb et enfin d'Assaka du Haut Atlas. Les réunit l'abondance en leur sein,

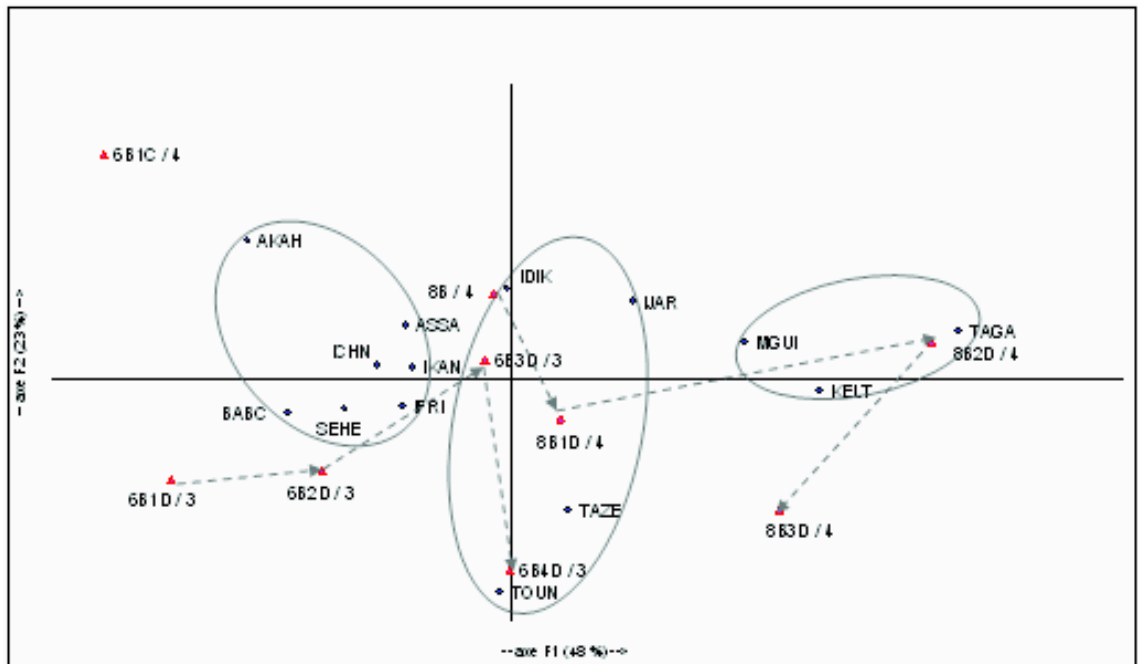


Figure n° 24 : A.F.C. sur les formules cotylédonaire des provenances de *Cedrus atlantica*

des formules cotylédonaire à nombre de cotylédons relativement faible. On peut y inclure Ain kahla qui doit sa position quelque peu isolée sur le graphique à la fréquence relativement élevée de plantules à 6B1C/4. La présence de cotylédons C dans une formule fait considérer celle-ci comme étant relativement évoluée.

A droite de l'axe 1 se détache le groupe formé par les provenances Sidi Mguid et Tatgaline, moyen-atlasiques, et Jbel Kelti, rifaine, caractérisées par une proportion plus grande de plantules à nombre de cotylédons et de convergents élevés par ajout de cotylédons D ou par augmentation des cotylédons de type B.

A la lecture de ces données, on peut émettre l'hypothèse que Tatgaline, Sidi Mguid et Jbel Kelti sont les plus évoluées de tout l'échantillon de par la structure de leur appareil vasculaire. Ces provenances présentent également les nombres moyens de cotylédons et de convergents les plus élevés, confirmant cette tendance évolutive ce qui n'est pas surprenant, ces trois caractères étant inévitablement liés. Seulement, comme pour les caractéristiques biométriques étudiés précédemment, cette évolution n'obéit manifestement pas à un quelconque gradient géographique.

3.3.2 Variation entre provenances de *Cedrus libani*

3.3.2.1 Le nombre de cotylédons

Les fréquences correspondant à chaque nombre, les moyennes, ainsi que les modes sont consignés dans le tableau n° 25.

Nombre de cotylédons Provenances	Fréquences (%)								Moyenne	Mode	Amplitude
	6	7	8	9	10	11	12	13			
BARD	0	1	22	32	35	9	1	0	9,22	9	7 - 12
ZHAL	0	1	20	45	25	8	1	0	9,32	10	7 - 12
KAMM	0	0	5	34	32	21	6	2	9,95	9	8 - 13
KARAC	2	15	37	33	11	2	0	0	8,42	8	6 - 11
ASLA	0	11	36	35	14	4	0	0	8,64	8 - 9	7 - 11
AVLA	5	25	45	18	7	0	0	0	7,97	8	6 - 10
DIRM	2	10	41	33	10	4	0	0	8,51	8	6 - 11
ARMU	4	29	34	25	7	1	0	0	8,05	8	6 - 11
Echantillon	1,62	12	30	32	18	6,1	1	0			

Tableau n° 25 : Fréquences du nombre de cotylédons chez les provenances de *Cedrus libani*

Les valeurs observées pour ce caractère sont comprises entre 6 et 13 cotylédons pour l'ensemble de l'échantillon.

Les fréquences les plus élevées, correspondent aux individus possédant 9 cotylédons avec 31,87 % de l'échantillon représenté. Ceux ayant 8 cotylédons atteignent un pourcentage voisin : 30 % des plantules observées.

Les valeurs les plus fréquentes, ou modes, nous permettent de distinguer les provenances libanaises de leurs homologues turques. Les premières présentent des modes à 9 cotylédons (Barouk et Kammouah) ou 10 (Ain Zhalta) alors que les secondes se caractérisent par un mode à 8 cotylédons, à l'exception d'Aslanköy qui présente une distribution bimodale à cause de fréquences à peu près égales pour les plantules à 8 et 9 cotylédons.

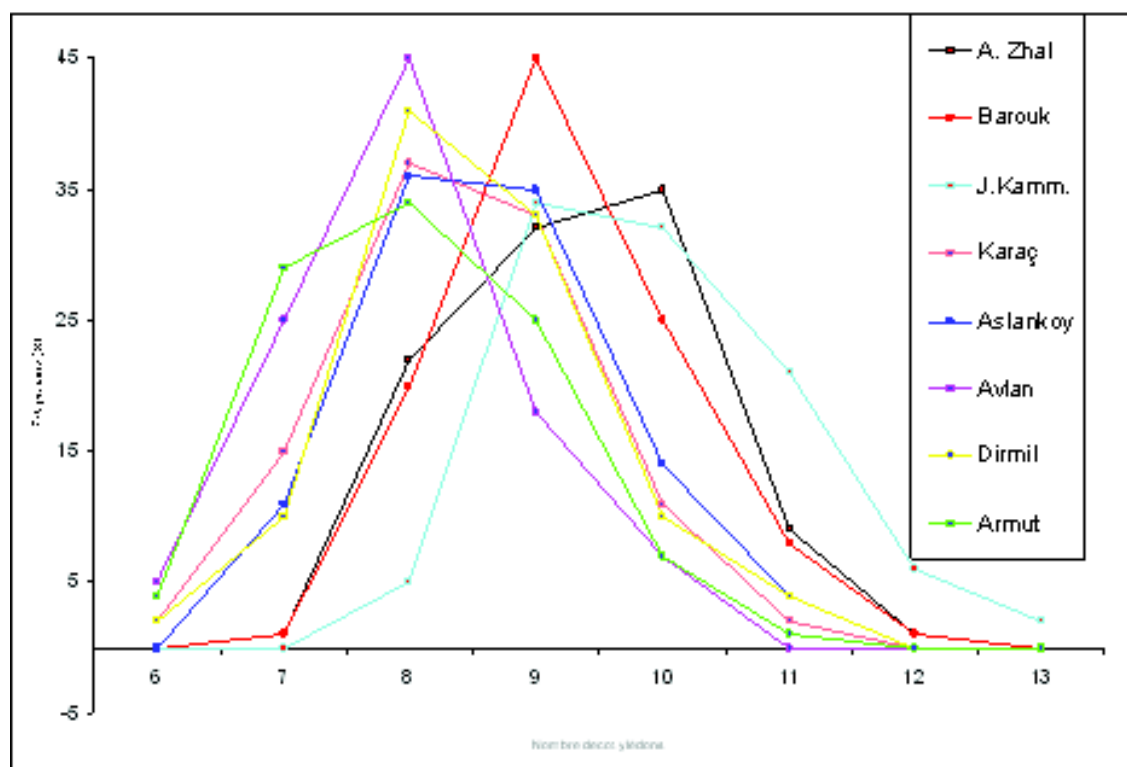


Figure n° 25 : Courbes des fréquences du nombre de cotylédons pour les provenances de *Cedrus libani*

Notons que les plantules à 6 cotylédons n'ont été rencontrées que dans les provenances turques et que celles à 12 et à 13 cotylédons n'ont été enregistrées que parmi les plantules des provenances libanaises.

Les moyennes des nombres de cotylédons varient quant à elles, de 7,97 (Avlan Elmali) à 9,95 (Kammouah). Les moyennes correspondant aux provenances libanaises sont nettement supérieures à celles calculées pour les plantules d'origine turque.

Les dimensions des cotylédons

Le tableau n°26 donne les fréquences par classe de longueur et de diamètre des cotylédons ainsi que les valeurs moyennes par provenance.

La longueur moyenne des cotylédons pour l'ensemble des provenances est de 31,6 mm avec un coefficient de variation global de 17,1%.

A l'échelle de la provenance, les longueurs moyennes s'échelonnent entre 17,45 mm (Armutalani) et 35,65 mm (Barouk).

Dimensions Provenances	Longueur Moyenne (mm)	Diamètre Moyen (mm)	Fréquences des classes de longueur (en %)					Fréquence des classes de diamètre (en %)						
			L1	L2	L3	L4	L5	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
			10 à 20 mm	20 à 30 mm	30 à 40 mm	40 à 50 mm	50 à 60 mm	0,6 à 0,7 mm	0,7 à 0,8 mm	0,8 à 0,9 mm	0,9 à 1,0 mm	1,0 à 1,1 mm	1,1 à 1,2 mm	1,2 à 1,3 mm
ZHAL	34,46	1,02	0	13	25	11	1	0	0	7	16	78	7	2
BARO	35,65	1,01	0	5	36	9	0	0	0	13	9	20	7	1
KAMM	34,23	0,96	0	14	30	6	0	0	2	14	19	11	4	0
KARAC	32,75	0,9	1	16	28	5	0	0	7	17	20	6	0	0
ASLAN	28,28	0,88	0	32	18	0	0	2	9	19	15	5	0	0
DIRM	29,98	0,88	2	26	17	5	0	1	9	24	10	6	0	0
AVLA	29,95	0,86	1	23	25	1	0	1	8	28	11	2	0	0
ARMU	27,47	0,85	2	36	12	0	0	0	17	19	12	2	0	0
Moyenne	31,6	0,92	0,75	20,63	23,9	4,63	0,13	0,5	6,5	17,63	14	16,25	2,25	0,38

Tableau n°26 : Fréquences des dimensions des cotylédons pour *Cedrus libani*

Le diamètre moyen des cotylédons est de 0,92 mm pour tout l'échantillon et le coefficient de variation est de 10,1 %.

La valeur moyenne la plus faible observée par provenance est de 0,85 mm (Armutalani) et le diamètre moyen le plus élevé est de 1,02 mm (Ain Zhalta).

Les moyennes les plus élevées pour la longueur et le diamètre des cotylédons sont observées dans les trois provenances libanaises.

Analyse factorielle des correspondances

L'AFC réalisée sur les classes de longueur et de diamètre des cotylédons de *Cedrus libani* est représentée dans la figure n° 26.

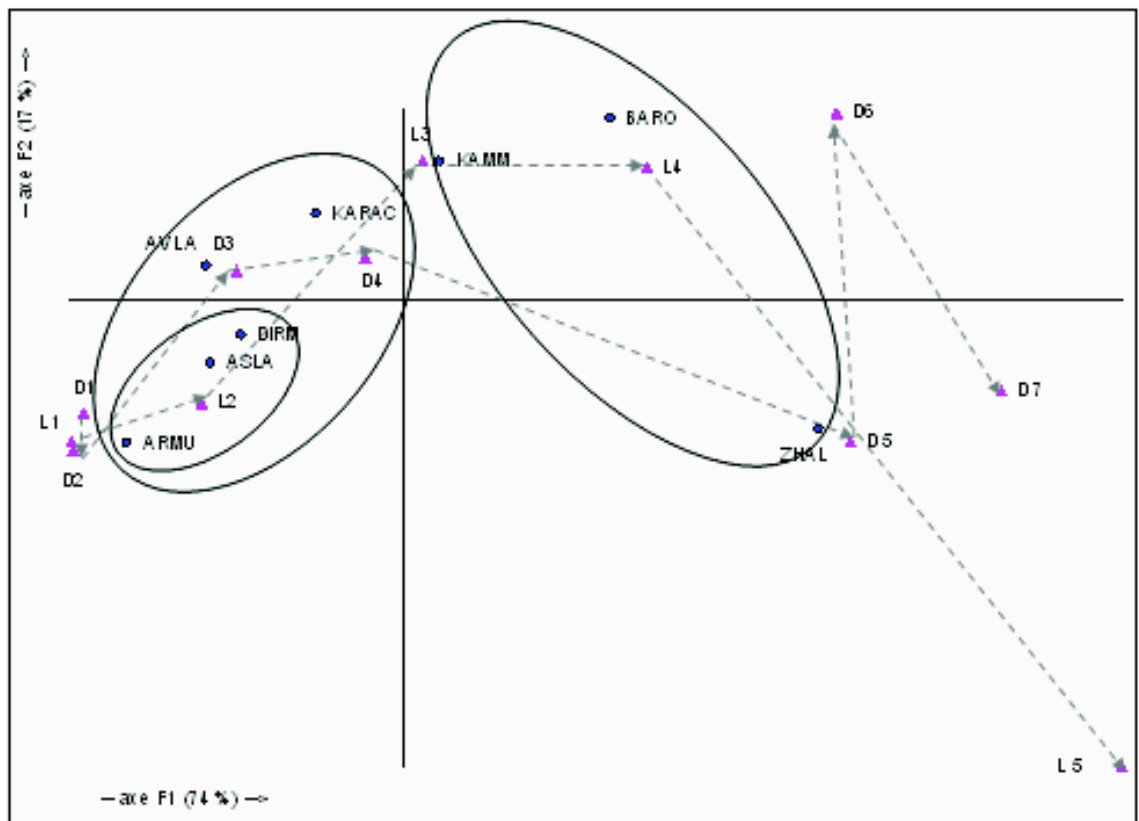


Figure n°26 : A.F.C. sur les dimensions des cotylédons des provenances de *Cedrus libani*

Le plan principal contribue pour 90,5 % de l'inertie totale. L'axe 1, à lui seul, en explique 73,83 %. Il traduit, en allant des valeurs négatives vers les valeurs positives, le passage des classes de dimensions (longueur et diamètre) les plus faibles vers celles de dimensions plus élevées. On peut y distinguer deux groupes : le premier situé dans la partie positive de cet axe rassemble les provenances libanaises lesquelles, nous l'avons vu, se caractérisent par les longueurs et les diamètres les plus importants. Le second, situé dans la partie négative, rassemble les provenances turques. Au sein de ce dernier groupe, on peut encore distinguer un sous-ensemble, situé dans les parties négatives de l'axe 1 et de l'axe 2 et comprenant les provenances Armutalani, Aslankoy et Dirmil qui possèdent les plantules aux cotylédons les plus courts et les plus minces de l'échantillon représentant *Cedrus libani*.

3.3.2.3 Le nombre de convergents

Le nombre des convergents varie de 3 à 5 dans toutes les plantules composant l'échantillon de *Cedrus Libani* (Cf tableau n° 27 et figure n°27)

Nombre de convergençs Provenance	Fréquences (%)			Moyenne	Mode	Amplitude
	3	4	5			
ZHAL	36	60	4	3,68	4	3 - 5
BARO	36	62	2	3,66	4	3 - 5
KAMM	18	78	4	3,86	4	3 - 5
KARAC	60	40	0	3,4	3	3 - 4
ASLA	61	39	0	3,39	3	3 - 4
AVLA	64	36	0	3,36	3	3 - 4
DIRM	68	32	0	3,32	3	3 - 4
ARMU	50	47	3	3,38	3 - 4	3 - 5
Echantillon	49,12	49,25	1,62			

Tableau n°27: Fréquences du nombre de convergençs chez les provenances de *Cedrus libani*

Les plantules à 3 et 4 convergençs ont cette fois-ci des fréquences pratiquement égales : 49,12 % et 49,25 %. Le nombre de 5 convergençs est beaucoup plus rare avec 1,62 % du total.

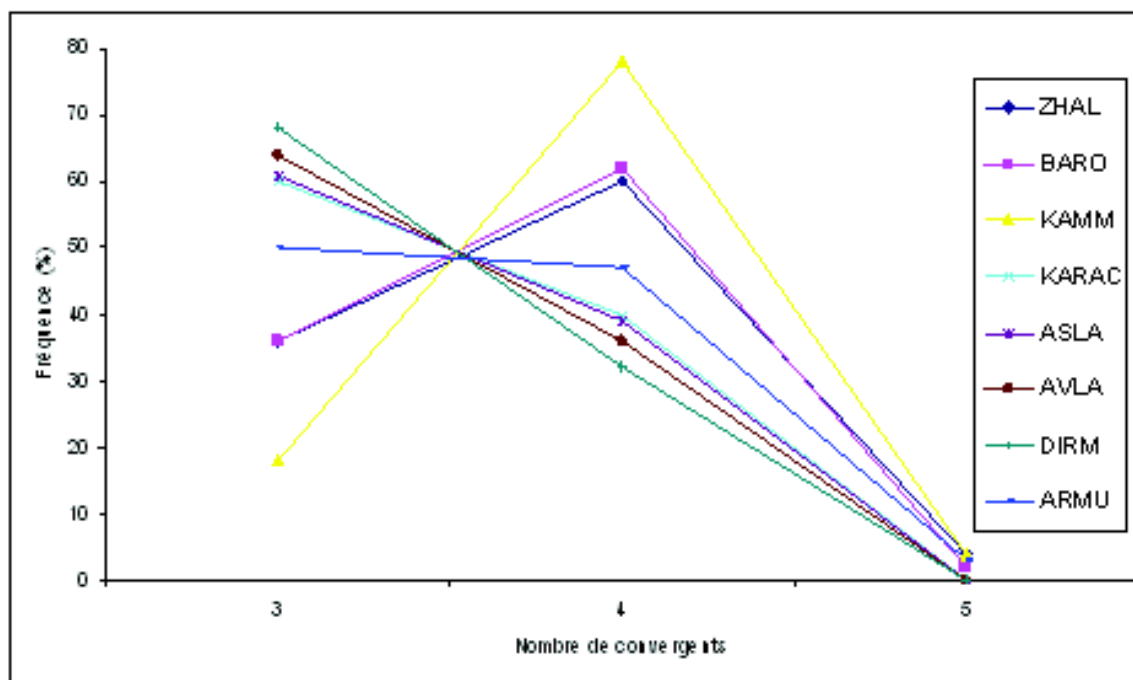


Figure n°27 : Courbes des fréquences du nombre de convergençs pour les provenances de *Cedrus libani*

La répartition est cependant différente si l'on considère séparément les provenances libanaises d'une part et les provenances turques d'autre part. Les plantules à 3 convergents semblent en effet être beaucoup plus fréquentes chez ces dernières :

Provenances libanaises : on y rencontre 30 % de plantules à 3 convergents, 66 % de plantules à 4 convergents et 3,33 % de plantules à 5 convergents.

Provenances turques : les plantules à 3 convergents représentent 60,6 % de l'ensemble, celles à 4 convergents 38,8 % et celles à 5 convergents 0,6 %. Les moyennes quant à elles vont de 3,32 (Dirmil) à 3,86 (Kammouah).

3.3.2.4 Les types cotylédonaire

A l'instar des plantules de *Cedrus atlantica*, l'analyse de celles appartenant à l'échantillon de *Cedrus libani* révèle la présence des types cotylédonaire B, C et D. Les formules cotylédonaire et leurs fréquences respectives pour chaque provenance, sont consignées dans le tableau n°28.

Provenance Formules	ZHAL	BARO	KAMM	KARAC	ASLA	AVLA	DIRM	ARMU
6B / 3	0	0	0	2	0	5	2	4
6B1D / 3	4	1	0	12	7	15	8	16
6B2D / 3	8	6	1	18	28	32	34	22
6B3D / 3	10	18	12	22	24	8	16	6
6B4D / 3	16	10	5	6	2	4	8	2
6B5D / 3	2	1	0	0	0	0	0	0
8B / 4	14	14	4	19	8	13	7	12
8B1D / 4	22	27	22	11	11	10	17	19
8B2D / 4	17	14	27	5	12	3	2	3
8B3D / 4	7	7	21	2	4	0	4	0
8B4D / 4	0	0	4	0	0	0	0	0
6B1C / 4	0	0	0	3	4	10	2	13
4B2C / 4	0	0	0	0	0	0	0	0
10 B / 5	2	1	0	0	0	0	0	2
10 B1D / 5	0	0	0	0	0	0	0	1
10 B2D / 5	1	1	2	0	0	0	0	0
8 B1C / 5	0	0	0	0	0	0	0	0
6 B2C / 5	0	0	0	0	0	0	0	0
4 B3C / 5	0	0	0	0	0	0	0	0
10B3D / 5	0	0	2	0	0	0	0	0

Tableau n°28 : Fréquences des formules cotylédonaire chez *Cedrus libani*

La formule cotylédonaire principale semble aussi être 8 B/4. Toutefois, en examinant les résultats de plus près, on se rend compte que les répartitions sont inégales et qu'en estimant ce pourcentage pour l'ensemble formé par les provenances libanaises et celui que forment les provenances turques, pris chacun à part, on retrouve 30 % de plantules à 6 B/3 et 66,64 % de plantules à 8 B/4 pour *Cedrus libani* du Liban, alors que 60 % des plantules issues des graines de Turquie présentent des formules cotylédonaire à 6 B/3.

Analyse factorielle des correspondances

L'A.F.C. est effectuée sur les formules cotylédonaire complètes prises comme variables, et les provenances de *Cedrus libani* prises comme individus. Le nombre de provenances étant moins élevé que dans le cas de *Cedrus atlantica*, et la variance expliquée par le plan principal jugée satisfaisante, nous avons gardé toutes les formules cotylédonaire en variables.

L'inertie exprimée par le plan principal est de 78,22 % dont 61,42 % pour le seul premier axe. Celui-ci traduit, en allant des valeurs négatives vers les valeurs positives l'augmentation du nombre de cotylédons dans les formules.

On distingue aisément le groupe formé par les provenances turques, du côté négatif de l'axe 1. Celui-ci est caractérisé par sa proximité avec les formules à nombre cotylédonaire faible : 6 B/3, 6 B1D/3. On y trouve également la formule 6 B1C/4, bien représentée sur le plan principal, alors que 10 B1D/5, voisine sur le graphique, n'a pas de représentation réelle compte tenu de la valeur faible du cosinus carré qui lui est associé.

A l'opposé, on retrouve les populations libanaises, réunies par leur proximité avec les formules à nombre de cotylédons plus important : 8 B2D/4, 8 B3D/4 et 10 B2D/4.

Si l'on admet que le sens de l'évolution est l'augmentation du nombre de cotylédons et convergents (De Ferré, 1951 in Derridj, 1990) on peut émettre l'hypothèse que les populations libanaises seraient plus évoluées que les populations turques, de même qu'au sein des provenances libanaises, Kammouah serait plus évoluée que Ain Zhalta et Barouk.

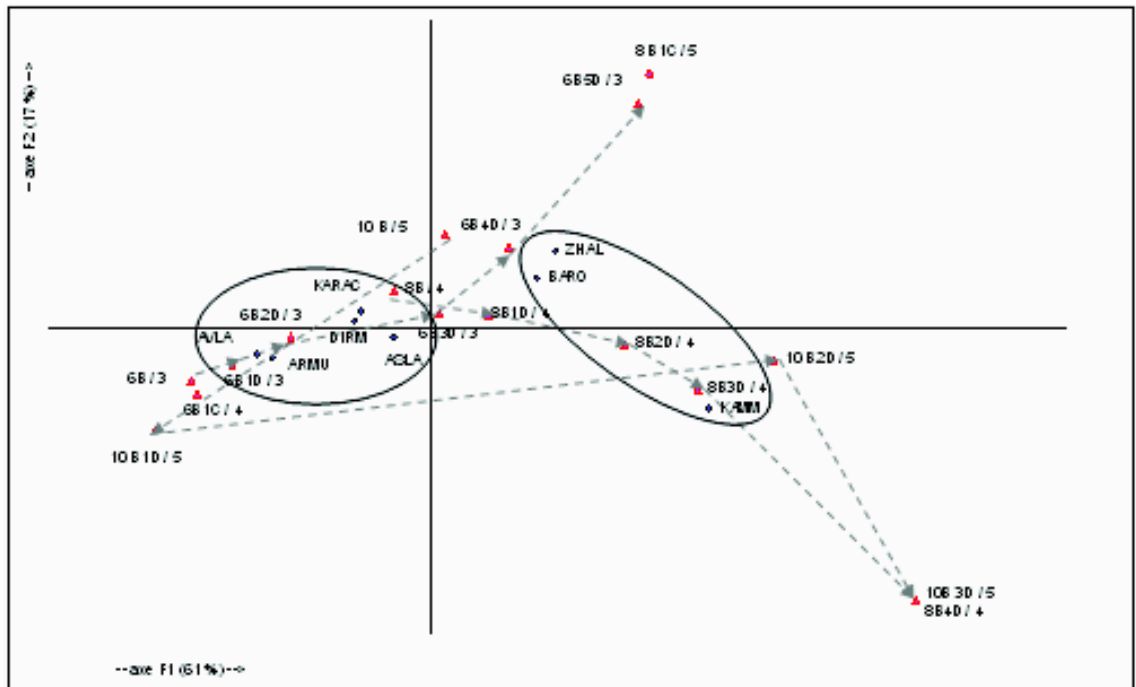


Figure n°28 : A.F.C. sur les formules cotylédonaires des provenances de *Cedrus libani*

3.3.3 Variation interspécifique

3.3.3.1 Nombre de cotylédons et de convergents

Nous avons vu que les provenances turques de *Cedrus libani* se détachent de leurs homologues libanaises par leurs nombres de cotylédons et de convergents nettement inférieurs, aboutissant ainsi à la constitution de deux sous-ensembles bien distincts au sein de l'espèce : *Cedrus atlantica* pris en tant qu'entité, avec l'ensemble des provenances qui le représentent dans le présent travail, semble occuper une place intermédiaire, ce qu'illustre bien le diagramme de dispersion de la figure n°29.

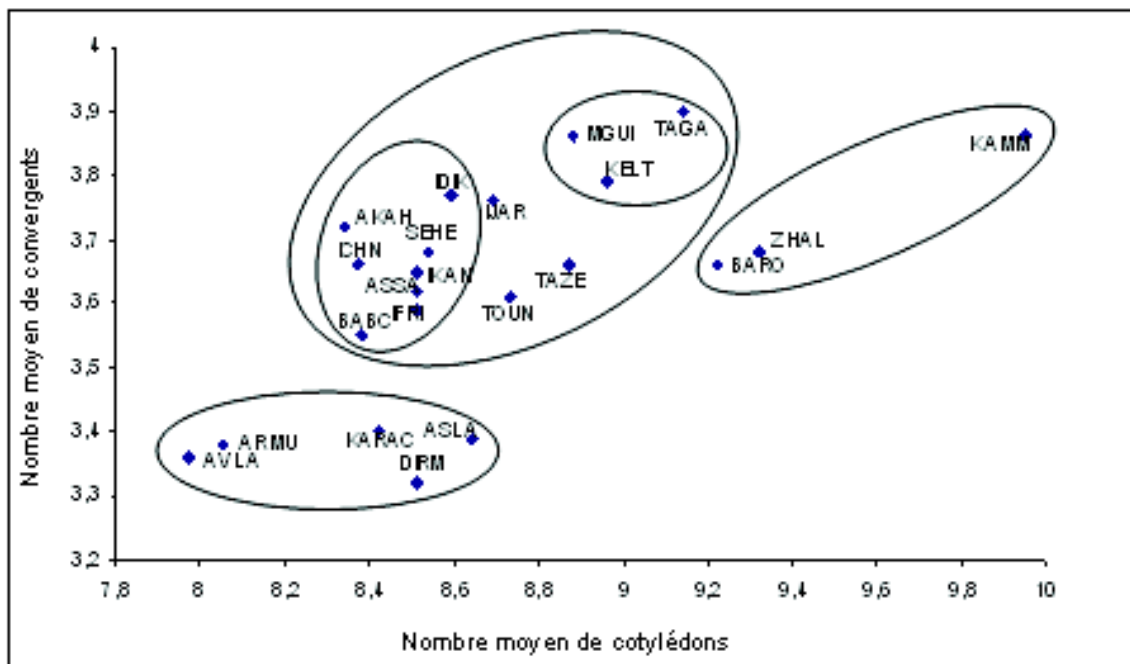


Figure n°29 : Diagramme de dispersion sur les nombres moyens de cotylédons et de convergents chez *Cedrus atlantica* et *Cedrus libani*

En effet, à l'intérieur de l'ensemble formé par les stations appartenant à cette dernière espèce, on peut distinguer d'abord en haut et à gauche du graphique, le sous-groupe formé par Ain kahla, Ich N'timghilt, Assaka, Ifri, Bab Chiker, ... Leurs projections sur l'axe des abscisses montre bien que ces provenances s'intègrent dans l'intervalle de variation du groupe turc pour le caractère nombre de cotylédons. D'autre part, leurs projections sur l'axe des ordonnées (représentant le nombre moyen de convergents) les rapprochent plutôt du groupe libanais.

Le sous-ensemble formé des provenances Sidi Mguild, Jbel kelti et Tatgaline, par un nombre moyen de cotylédons plus élevé tend, lui, à se rapprocher du groupe libanais, mais en diffère par un nombre moyen de convergents supérieur.

3.3.3.2 Les dimensions des cotylédons

L'A.F.C. est effectuée sur les classes de longueur (L1, L2, ...) et de diamètre (D1, D2, ...) des cotylédons prises comme variables et les provenances réunies de *Cedrus atlantica* et de *Cedrus libani* prises comme individus (Cf. figure n°30).

Le plan principal contribue pour 78,73 % de l'inertie totale. L'axe 1 en explique 60,33 %. Il traduit, en allant dans le sens positif, le passage des classes de longueur et de diamètre les plus faibles aux plus élevés.

On peut distinguer, dans la partie positive de l'axe 1, le groupe formé par les provenances libanaises proches des grandes classes de longueur et de diamètre et bien représentées dans le plan principal. Ain Zhalta s'en démarque par les diamètres nettement plus importants de ses cotylédons et Tatgaline, provenance moyen-atlasique de *Cedrus atlantica* se joint à ce groupe, alors que Sidi Mguild, du Moyen-Atlas également, et caractérisée par des cotylédons à grandes dimensions, se retrouve dans le groupe plus compact formé du côté gauche du graphique et au sein duquel on peut déceler un gradient d'augmentation des dimensions des cotylédons le long de l'axe 2. Dans la partie négative de

celui-ci, en effet, on peut retrouver les populations possédant les plantules aux cotylédons les plus courts et les moins gros : Ikankaben et Bab Chiker (Rif marocain), Ich N'timghilt (Moyen-Atlas), Armutalani, Aslankoy et Dirmil (Turquie). En allant vers les valeurs positives, les provenances se regroupent grâce aux valeurs moyennes de leurs cotylédons. En atteste la proximité de la classe L3, bien représentée sur l'axe 2. Enfin, Sidi Mguild qui se retrouve au dessus des autres provenances et dont les cotylédons sont caractérisés par des dimensions importantes aurait dû peut être ainsi se retrouver au sein du premier groupe. Cette analyse confirme la tendance des provenances turques à être incluses dans les grands groupes formés par *Cedrus atlantica*, comme nous l'avons vu avec les caractéristiques biométriques de la graine.

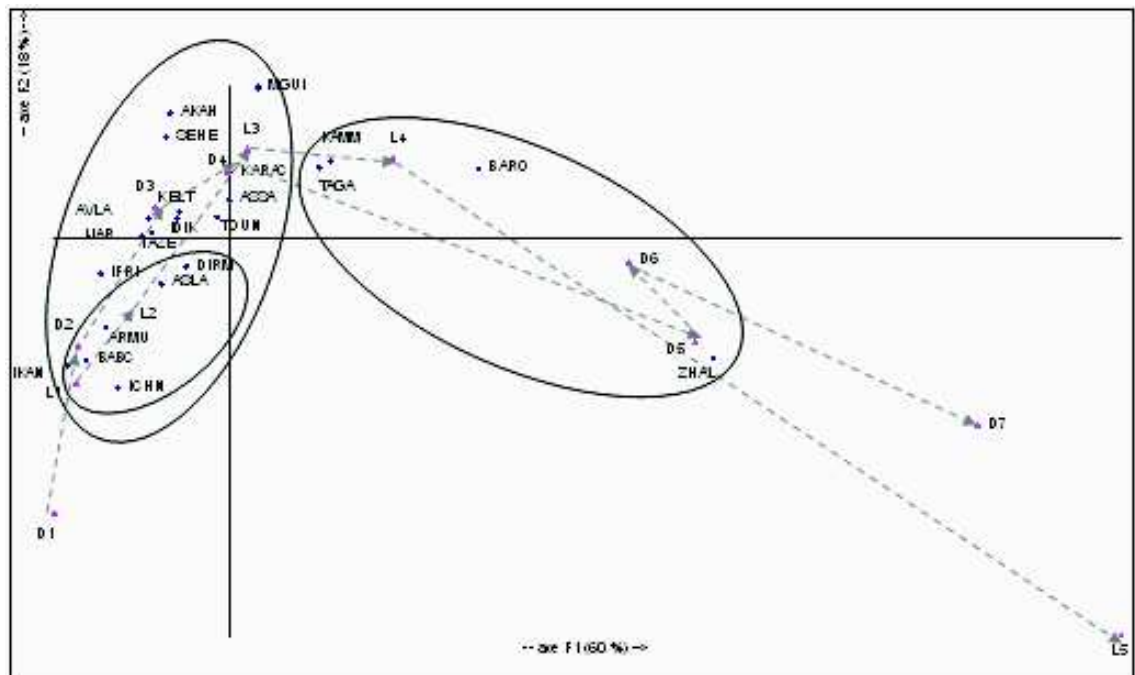


Figure n°30 : A.F.C sur les dimensions des cotylédons chez *Cedrus atlantica* et *Cedrus libani*

3.3.3.3 Les formules cotylédonaires

L'A.F.C. est réalisée sur les variables que sont les formules cotylédonaires et les individus que composent les provenances réunies de *Cedrus atlantica* et de *Cedrus libani*. Comme dans le cas de l'A.F.C. réalisée sur *Cedrus atlantica*, et pour les mêmes raisons, les variables intervenant avec des fréquences inférieures à 0,5% ne sont pas prises en considération.

Le plan principal contribue pour 63,78 % de l'inertie totale, dont 43,03 % pour l'axe 1 et 20,75 % pour l'axe 2.

Au long de l'axe 1 et en allant des valeurs négatives vers les valeurs positives, se positionnent progressivement les provenances caractérisées par des formules cotylédonaires à nombre de cotylédons réduit, puis celles présentant des formules à nombre de cotylédons moyen pour arriver enfin à celles à nombre de cotylédons élevé. La provenance libanaise Kammouah, qui s'est distinguée par ses plantules dont les cotylédons sont les plus nombreux de tout l'échantillonnage, se distancie même de ses compatriotes méridionales (Barouk et Ain Zhalta) lesquelles partagent avec les provenances marocaines

Tatgaline, Jbel kelti et Sidi Mguild leur proximité avec les formules 6 B4D/3, 8 B2D/4 et 10 B/5. Ces deux dernières sont également liées à la formule 8 B1C/5.

Le reste des provenances représentant *Cedrus atlantica* se répartit entre formules cotylédonaire à nombre de cotylédons moyen occupant le centre du graphique, pour aller progressivement rejoindre les provenances d'origine turque caractérisées par leur petit nombre cotylédonaire.

Nous pouvons donc supposer que les provenances turques sont les moins évoluées pour ce caractère, que les provenances libanaises semblent quant à elles placées plus haut dans l'échelle de l'évolution si l'on considère que l'augmentation du nombre de cotylédons, notamment par ajout de cotylédons D est le sens de l'évolution, et enfin que *Cedrus atlantica* embrasse une grande part de la variation pour ces caractéristiques vu que les provenances qui lui sont subordonnées sont caractérisées, les unes par l'abondance de formules considérées comme relativement primitives, les autres comme étant évoluées. Un gradient évolutif est manifestement présent au sein des populations de *Cedrus atlantica* bien que le sens de cette évolution soit encore confus.

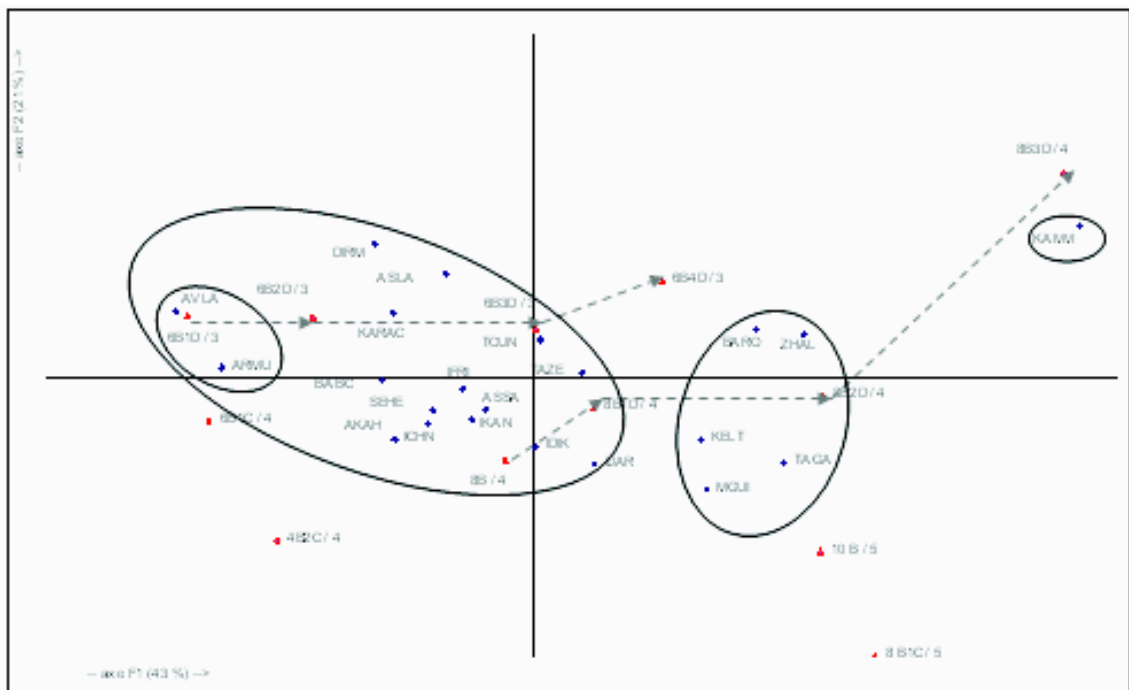


Figure n°31: A.F.C sur les formules cotylédonaire chez *Cedrus atlantica* et *Cedrus libani*

Notons que la présence de cotylédons C que De Ferré (1951) in Derridj (1990) signale exclusivement chez le cèdre de Turquie, ne se limite pas à celui-ci. Derridj (1990) en a trouvé dans les provenances algériennes de *Cedrus atlantica*, Bekhouche (1995) et nous-mêmes dans les provenances marocaines de cette même espèce. Au sein des populations de *Cedrus libani*, il ne se cantonne pas seulement au cèdre de Turquie mais se retrouve aussi dans les populations libanaises, dans une proportion relativement plus faible. Il est vrai que les pourcentages des plantules à cotylédons C sont très faibles ce qui justifie la grande probabilité de ne pas les rencontrer dans un échantillon donné, à fortiori lorsqu'il est de taille insuffisante.

3.3.4 Discussion - Conclusion

L'étude des caractéristiques des plantules au stade cotylédonaire de *Cedrus atlantica* et de *Cedrus libani* a permis de dégager quelques conclusions :

- Le nombre de cotylédons est très variable (5 à 13 cotylédons pour tous les individus concernés par notre étude). Le nombre de convergents manifeste une amplitude de moindre étendue (3 à 5). Ces deux caractères pris ensemble ont permis la discrimination de groupes correspondant à des entités taxonomiques reconnues : un groupe correspondant à *Cedrus atlantica*, un autre à *Cedrus libani* du Liban et un dernier groupe à *Cedrus libani* de Turquie. De Ferré et Meric (1963) ont ainsi séparé des groupes correspondant aux différents écotypes de *Pinus sylvestris*. De nombreuses études ont notamment utilisé le nombre de cotylédons dans des contextes similaires. Debazac et Tomassone (1965) ont décelé un gradient géographique longitudinal dans la variation de ce caractère et ont, en outre, mis en évidence une corrélation entre ce dernier et le poids ainsi que les dimensions des graines de pins de la section *Halepensis*. Les travaux de Sorensen et Franklin (1977) vont dans le même sens. Toutefois ces derniers expliquent la liaison observée entre le poids des graines et le nombre de cotylédons, non par une dépendance de ces caractères l'un de l'autre, mais par la similarité des pressions de sélection qui s'exercent sur eux et concluent à une plus grande fiabilité du nombre de cotylédons pour identifier les origines d'*Abies procera*. Ceci concorde également avec les résultats de Fins et Libby (1982) qui ont pu mettre en évidence grâce à ce caractère, des différences significatives entre populations de *Sequoiadendron giganteum* aux Etats Unis, différences qui se sont en outre révélées être compatibles avec les données fournies par les isozymes.

- Les dimensions des cotylédons ont également révélé une variabilité conséquente, permettant de séparer les provenances en plusieurs groupes. Si les populations de *Cedrus atlantica* ne nous ont pas livré le secret de leur diversité, vu le manque de structuration géographique dans leur variation, les populations de *Cedrus libani* exhibent quant à elles une nette scission entre origines libanaises et origines turques. Ces dernières possédant les dimensions des cotylédons les plus faibles.
- L'étude anatomique sur l'organisation vasculaire des plantules a apporté une autre perspective à ce chapitre. L'intérêt avéré de ces caractéristiques des plantules en phylogénie leur confère un poids non négligeable dans la signification des différences constatées. Pour Boureau, cité par Gaussen (1967), la formule cotylédonaire principale pour *Cedrus atlantica* et *Cedrus libani* est $8 B/4$, ce qui concorde avec nos résultats. En effet, les provenances marocaines de *Cedrus atlantica*, comme les provenances algériennes étudiées par Derridj (1990) montrent des fréquences très élevées pour cette formule. C'est également le cas des provenances libanaises de *Cedrus libani*. Au sein des provenances turques en revanche, nous avons relevé une proportion nettement supérieure de la formule $6 B/3$. Deux explications peuvent être envisagées :
- Soit $6 B/3$ est effectivement la formule cotylédonaire principale du cèdre de Turquie, ce qui contredit les résultats de Boureau et le rapprocherait de *Cedrus brevifolia* dont c'est une caractéristique, selon ce dernier auteur.
- Soit, un ou plusieurs individus à fructification abondante et qui auraient tendance à produire des plantules à $6 B/3$ en quantité, seraient surreprésentés au sein de notre échantillon, auquel cas, la taille de ce dernier serait insuffisante pour « capter » la variabilité de ce caractère au sein des populations concernées. Les recherches de Illoul (1998) ont en effet mis en évidence des différences interindividuelles pour les formules cotylédonaires dans les populations d'*Abies alba*. Si le sens de

l'évolution est l'augmentation de cotylédons de type D (De Ferré, 1951 in Derridj, 1990), les plantules à nombre de cotylédons élevé sont donc les plus évoluées, ce dernier auteur postulant également que l'augmentation du nombre de cotylédons et du nombre de convergents est le sens de l'évolution. Les populations libanaises seraient alors plus évoluées que les populations turques. L'abondance dans les échantillons issus de ces populations de formules cotylédonaires en B+D/4 ou B+D/5 en témoigne. D'autre part, De Ferré (1951) cette fois citée par Gausson (1967), donne le cèdre de Turquie plus évolué grâce à la présence de cotylédons C. Cette affirmation va à contre-courant de la précédente étant donné que les plantules porteuses du type cotylédonaire C possèdent moins de cotylédons. On peut supposer, à la suite de Derridj (1990) que pour *Cedrus libani*, comme pour *Cedrus atlantica*, il existerait deux paliers évolutifs différents.

3.4. Composition terpénique des huiles essentielles contenues dans les poches résinifères des graines

Les essences obtenues sont d'aspect liquide, de couleur jaune pâle et dégagent une odeur boisée. Les rendements obtenus sont rapportés dans le tableau n°29.

Espèce	Provenance	Rendement (%)
<i>Cedrus atlantica</i>	Ouled Yacoub	1.22
<i>Cedrus atlantica</i>	Tala-Guilef	1.67
<i>Cedrus atlantica</i>	Ain Kahla	1.66
<i>Cedrus atlantica</i>	Bab Chiker	1.54
<i>Cedrus libani</i>	Ain Zhalta	1.33
<i>Cedrus brevifolia</i>	Chypre	1.14

Tableau n° 29 : Rendement en essences des graines de *Cedrus*

Le rendement en essences des graines est supérieur à celui rapporté par Aimène et Kaced (1998) sur les aiguilles et le bois de *Cedrus atlantica* de Tala-Guilef (respectivement 0.041% et 0.034%).

Les composés constituant les huiles essentielles extraites de chaque échantillon et leurs taux relatifs sont listés dans le tableau n° 30, par indice de rétention croissant.

I.R.	Composé	<i>Cedrus atlantica</i>				<i>C. libani</i>	<i>C. brevifolia</i>
		T.G.	Babc	Akah	O.Y.	A. Zhalta	Chypre
996	tricyclène	0.06	0.51	0.11	0.11	-	-
1016	α-pinène	5.50	27.52	4.75	37.1	0.72	1.89
1052	camphène	0.11	1.13	-	1.50	-	-
1089	β-pinène	1.92	16.02	1.97	8.60	0.40	0.84
1146	myrcène	0.59	5.03	0.47	3.56	-	0.37
1178	limonène	0.60	3.98	0.46	2.53	0.41	0.25
1190	β-phellandrine	0.13	1.20	0.11	2.38	0.46	0.19
1195	verbenone	0.23	0.24	0.18	0.16	-	-
1349	4-methyl-2-pentanon-4-ol	0.17	0.04	0.84	0.04	-	-
1355	α-pinène oxyde	-	1.87	-	0.05	0.71	-
1407	perillène	0.13	0.35	-	0.02	-	-
1412	6-camphénol	-	0.08	-	0.15	-	0.22
1424	p-cymène	-	0.06	-	0.15	-	-
1457	linalool	0.68	0.55	0.10	0.16	-	0.17
1477	α-campholéol	0.30	0.43	-	0.56	0.31	1.36
1541	cis-β-terpéol	0.25	0.80	0.13	0.37	-	0.25
1554	pinocarvone	0.64	1.51	0.09	0.52	0.42	0.85
1568	bornyl acétate	4.00	7.06	2.68	5.38	1.48	2.99
1591	terpéol-4	0.58	0.85	0.25	1.24	0.33	0.77
1613	myrténol	0.57	1.15	-	0.64	0.38	1.11
1644	trans pinocarvool	1.38	1.93	0.10	1.59	1.23	5.13
1654	X1	-	0.12	2.54	-	0.31	1.08
1658	Trans-β-farnésène	1.85	4.10	-	6.78	-	-
1669	trans verbenol	2.90	2.23	0.25	1.19	1.64	4.97
1686	α-terpéol	0.82	1.37	0.31	1.37	1.08	1.91
1691	verbenone	1.57	1.07	0.15	0.74	1.47	4.55
1717	neryl acétate	-	0.50	-	0.06	-	0.24
1735	trans pipérol	-	0.20	-	0.16	-	0.24
1746	geranyl acétate	1.20	1.17	0.20	0.83	-	0.43
1767	cuminal	0.48	0.28	0.10	0.04	-	0.28
1781	myrténol	0.71	1.29	-	0.46	0.60	2.29
1823	trans carvool	-	0.27	-	0.35	0.16	1.00
1836	p-cymène-8-ol	0.64	0.35	0.18	0.30	0.47	0.99
1856	X2	1.24	-	1.21	0.04	0.16	0.53
1884	X3	-	0.06	-	0.02	-	0.28
1908	z-β-damascénone	0.09	0.21	-	0.02	-	-
1924	dendrolasin	0.15	0.32	-	0.04	-	-
1969	dihydro linalool	0.20	0.13	-	0.05	-	0.48
1997	X4	-	0.14	-	0.04	-	0.36
2027	X5	-	0.09	-	0.06	-	0.20
2087	Thymol	0.36	-	0.81	0.06	0.40	0.35
2133	Carvacrol	0.47	-	0.15	-	-	0.17
2184	X6	-	-	0.27	-	1.86	0.96
2237	X7	-	-	0.34	0.05	-	0.61
2241	X8	1.70	-	-	0.07	-	0.58
2254	diméthyl thiophène	1.12	-	-	0.03	0.77	0.43
2306	X9	10.26	-	8.72	-	4.99	6.63
2335	Epi-13-manool oxyde	0.39	-	0.16	0.16	4.65	1.97
2360	sclarene	-	-	0.24	0.16	-	0.70
2436	abietatriène	0.31	-	-	0.24	2.83	1.12
2500	X10	1.71	-	11.68	-	1.97	1.23
2509	Epi-13-manool	0.93	-	0.53	0.19	0.99	1.09
2540	Abieta-8(11), 13(15) diène	0.52	-	-	0.39	0.09	-
2582	X11	1.91	-	9.42	-	1.06	1.00
2603	X12	2.52	-	1.14	0.02	0.97	2.38
2663	manool	20.67	-	22.11	8.32	38.46	6.93
2719	X13	4.65	-	1.10	0.05	3.01	10.78
2751	X14	3.66	-	19.62	0.03	1.16	10.42
Nombre de composés		45	39	36	52	33	47

Tableau n° 30: Composition chimique de l'oléorésine extraite des graines de Cèdre.

- I.R. : indice de rétention
- T.G. : Tala Guilef
- Babc : Bab Chiker
- Akah : Ain Kahla
- O.Y. : Ouled Yacoub
- A. Zhalta : Ain Zhalta

L'huile la plus complexe caractérise la provenance aurésienne de Ouled Yacoub avec 52 composés enregistrés, alors que l'essence extraite des graines de Ain Zhalta (*Cedrus libani*) est la plus pauvre en composés (33).

Parmi les produits majoritaires retrouvés dans les huiles des différentes provenances, on note la présence de monoterpènes : l'α-pinène avec des taux allant de 0.72 à 37.1 %, le β-pinène (0.4 à 16.02 %), le myrcène (0.47 à 5.03 %), le limonène (0.25 à 3.98 %), le β-phellandrène (0.11 à 2.38 %), le bornyl acétate (1.48 à 7.06 %). Cette distribution est représentée graphiquement dans la figure n° 32.

On note également l'importance des alcools (trans pinocarveol, trans verbenol, α -terpineol) ainsi que des composés lourds (manool, épi-13-manoloxide...).

Le camphène, quoique présent à des taux modérés (0.11 à 1.50 %) semble caractériser les provenances de Cedrus atlantica (Ain Kahla exceptée), ainsi que le tricyclène et le verbenène présents dans les 4 provenances de Cedrus atlantica et absents des essences de Cedrus libaniet Cedrus brevifolia.

Il en est sensiblement de même pour le trans- α -farnesene (sesquiterpène), présent à Tala-Guilef, Bab Chiker et Ouled Yacoub alors qu'on ne le retrouve pas dans le reste des provenances.

La présence du fenchyl acétate, caractérise les provenances algériennes Tala-Guilef et Ouled Yacoub. Il faut remarquer également l'absence des composés les plus lourds dans l'essence de Bab Chiker.

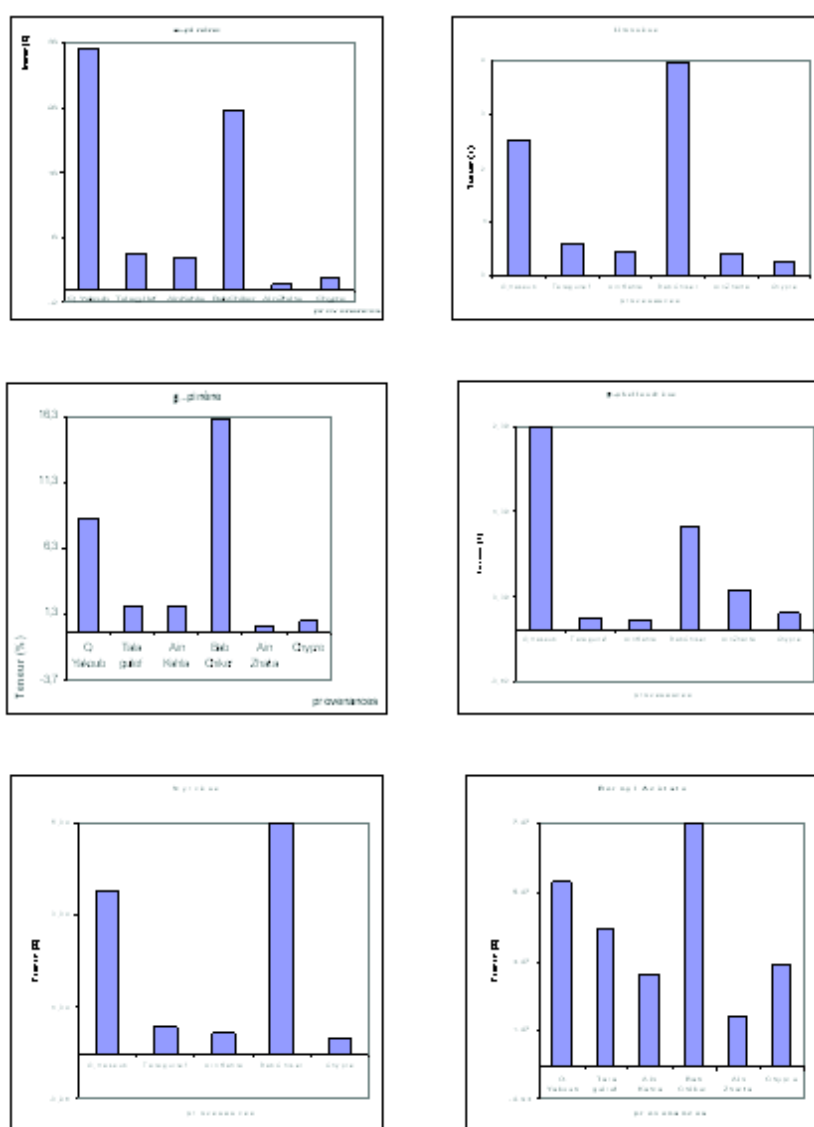


Figure n°32 : distribution des principaux monoterpènes selon les provenances

* Classification hiérarchique

Le dendrogramme présenté en figure n° 33 nous permet de distinguer plusieurs groupes :

- Le premier comprend deux provenances de *Cedrus atlantica* (Ouled Yacoub, aurésienne et Bab Chiker, rifaine). Elles sont surtout caractérisées par des teneurs élevées en α -pinène ;
- Le second groupe est constitué du reste des provenances, dont les taux en α -pinène sont nettement moins importants. Celui-ci se scinde à son tour en deux sous-groupes réunissant Tala-Guilef (Atlas tellien algérien) et Ain Kahla (Moyen-Atlas marocain) pour le premier dont les teneurs sont très voisines pour l'ensemble des monoterpènes.

Dans le dernier sous-groupe, on retrouve Ain Zhalta (*Cedrus libani*, Liban) et le cèdre chypriote, les deux végétant en Méditerranée orientale. Les essences extraites de ces deux provenances présentent les compositions les moins riches en monoterpènes de tout l'échantillonnage.

3.4.1. Discussion - Conclusion

Pour Canard et al(1997), le myrcène serait un marqueur caractéristique de *Cedrus* et aurait un grand pouvoir discriminant autant à l'échelle intraspécifique qu'interspécifique. Outre des teneurs élevées en myrcène, *Cedrus atlantica* est caractérisée également, selon ces auteurs, par de faibles taux d' α -pinène et β -pinène, alors que *Cedrus libani* possède davantage de α -pinène et des taux moindres de camphène.

Cochu (1994) arrive à distinguer des provenances de *Cedrus atlantica* grâce à des taux différentiels d' α -pinène, qui serait alors un marqueur intraspécifique de *Cedrus atlantica*, alors que le longifolène (sesquiterpène) semble être un marqueur intraspécifique de *Cedrus libani* d'une part, alors qu'il permet, d'autre part, de faire la distinction entre les espèces de *Cedrus atlantica*, *Cedrus brevifolia* et *Cedrus deodara*.

Notre analyse n'a pas fait état de la présence de longifolène au sein des échantillons étudiés. Il faut noter toutefois que les auteurs sus-cités ont travaillé sur des tissus corticaux. Nous n'avons trouvé, dans la littérature consultée, aucun travail sur la composition des oléorésines

Composé Provenance	Tricyclène	α -pinène	camphène	β -pinène	myrcène	limonène	β -phellandrène	Verbenène	Bomyl Acétate
Ouled Yacoub	0.11	37.1	1.50	8.60	3.56	2.53	2.38	0.16	5.38
Tala-Guilef	0.06	5.50	0.11	1.92	0.59	0.60	0.13	0.23	4
Ain Kahla	0.11	4.75	-	1.97	0.47	0.46	0.11	0.18	2.68
Bab Chiker	0.51	27.52	1.13	16.02	5.03	3.98	1.20	0.24	7.06
Ain Zhalta	-	0.72	-	0.40	-	0.41	0.46	-	1.48
Chypre	-	1.89	-	0.84	0.37	0.25	0.19	-	2.99

Tableau n° 31 : Composition monoterpénique de l'oléorésine extraite des graines de *Cedrus*

Par ailleurs, la similitude dans la composition terpénique semble curieuse pour deux populations aussi éloignées géographiquement et écologiquement. Ouled Yacoub, située

dans l'Atlas saharien algérien est représentative d'un faciès aride de la cédraie, alors que Bab Chiker est issue des cédraies humides et florissantes du Rif marocain.

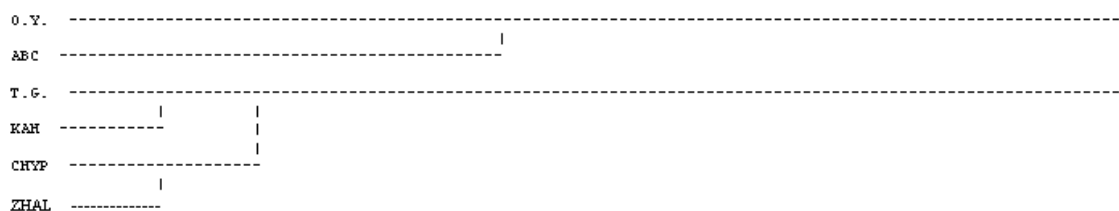


Figure n°33 : Classification automatique sur la composition monoterpénique de l'oléorésine des graines de *Cedrus*

de graines de cèdre. Zavarin et al (1979) et Cermak (1987) ont axé leurs recherches sur la résine des téguments séminaux chez plusieurs espèces d'*Abies* et chez *Pseudotsuga menziesii* pour les premiers et sur *Abies alba* pour le dernier. Zavarin et al (1979) précisent, en outre, que la comparaison de leurs résultats avec les données des terpènes corticaux des mêmes espèces et provenances indiquait des différences substantielles.

Quant aux monoterpènes, les teneurs les plus importantes semblent ici être l'apanage de deux provenances de *Cedrus atlantica* : Ouled Yacoub (Aurès) et Bab Chiker (Rif). Celles-ci sont notamment riches en pinènes. Toutefois, la teneur en α -pinène est plus importante et celle en β -pinène plus faible à Ouled Yacoub qu'à Bab Chiker, ce qui laisserait entrevoir la possibilité de l'existence de corrélations négatives entre ces deux composés.

D'autre part, de nombreux travaux s'intéressant à la variabilité géographique chez les cèdres font état de la discrimination entre populations libanaises et turques de *Cedrus libani*, que ce soit sur la base d'attributs morphologiques (Arbez et al, 1978), de caractères écophysiologicals liés à l'adaptation à la sécheresse (Ladjal, 2001) ou de marqueurs enzymatiques (Scaltsoyiannes, 1999 et Fady et al, 2000) et moléculaires (Bou Dagher-Kharrat et al, 2006 et Fady et al, 2006).

Les échantillons de *Cedrus brevifolia* et de *Cedrus libani* se distinguent par la grande pauvreté de leurs essences en monoterpènes. Si on s'attendait, dans une certaine mesure, à trouver des compositions distinctives pour chacune de ces populations, la première en raison de son statut d'espèce endémique et insulaire, et la seconde en raison des fortes présomptions

de dérive génétique qui pèsent sur les cédraies libanaises (Fady et al, 2006), on n'arrive toutefois pas à expliquer la faiblesse des taux de tous les composés considérés, à moins que, comme on le craignait au départ, la période de conservation n'ait été préjudiciable à la composition terpénique en causant une importante déperdition des composés les plus volatiles.

Il est donc préférable de rester prudent quant à la valeur de ces résultats et de les considérer comme le fruit d'une première tentative de caractérisation de l'oléorésine des graines de cèdre appelée à être affinée dans le futur. Il serait intéressant de reprendre cet aspect dans une recherche ultérieure, avec un échantillonnage plus substantiel, et sur d'autres tissus, en prenant le maximum de précautions à toutes les étapes du travail afin d'éviter les biais inhérents à chacune d'elles.

Conclusion générale

Les résultats de la présente étude nous ont permis de tirer quelques conclusions intéressantes quant à la variabilité existant dans les populations naturelles de *Cedrus atlantica* et de *Cedrus libani*.

L'étude biométrique de la graine a permis de mettre en évidence la large amplitude de variation de ces caractères au sein de chaque espèce.

Chez *Cedrus atlantica*, les regroupements de provenances effectués sur la base de ces caractères sont indépendants de la distribution de celles-ci à travers les chaînes montagneuses du Maroc.

Au sein des populations de *Cedrus libani*, si notre étude n'a pu mettre en évidence aucune loi de variation pour ces caractères à l'intérieur des zones géographiques concernées, en l'occurrence le Mont Liban d'une part, et les massifs montagneux turcs d'autre part, nos résultats ont permis de distinguer les provenances libanaises des provenances turques à travers les caractères mesurés.

Les tests de germination réalisés ont également montré une hétérogénéité dans les réponses germinatives des différents lots testés au sein des deux espèces, en raison notamment de degrés de dormance variables entre les provenances.

Certains lots de *Cedrus atlantica* ont exhibé des taux de germination nuls ou très faibles et un prétraitement au froid humide appliqué sur une durée plus importante aurait peut-être abouti à une levée plus efficace de la dormance.

D'autre part, le contrôle génotypique établi par de nombreux auteurs sur les paramètres liés à la germination, aurait peut-être été décelé dans nos échantillons, s'il avait été possible d'estimer la variabilité inter-individus. Il est en effet important, au niveau intrapopulationnel, d'apprécier la contribution des semenciers à l'effort régénératif des peuplements, car celle-ci conditionne la structuration spatiale des populations forestières et par-là même celle de leur variabilité.

La variation des caractéristiques des plantules au stade cotylédonaire confirme les tendances observées lors de l'étude des caractéristiques de la graine :

Importante variabilité au sein de *Cedrus atlantica* pour le nombre de cotylédons, et leurs dimensions ainsi que dans la structure anatomique du système vasculaire, variabilité se manifestant encore une fois en mosaïque.

Séparation des populations libanaises et des populations turques par un nombre de cotylédons plus élevé et des dimensions plus importantes chez les premières citées, ainsi qu'un nombre moyen de convergents plus important et des fréquences différentielles dans les formules cotylédonaires.

Il est quelque peu surprenant de constater la discrimination apparente entre ces deux ensembles de provenances de *Cedrus libani* alors qu'au niveau interspécifique, il n'est pas aisé de situer les limites permettant de distinguer *Cedrus atlantica* de *Cedrus libani* sur la base des caractères pris en compte dans le présent travail.

Les distances génétiques estimées lors de recherches basées sur des marqueurs moléculaires, ont permis de séparer *Cedrus atlantica* des cèdres orientaux (Bou Dagher-Kharrat et al, 2006). L'isolement géographique n'est cependant pas accompagné d'isolement reproductif, ces taxa s'hybrident aisément et donnant même naissance à des hybrides fertiles. Cette vicariance Est / Ouest avec isolement reproductif incomplet est commune en Méditerranée et pourrait résulter d'un isolement géographique au cours du Quaternaire (Fady, 2005 in Bou Dagher-Kharrat et al, 2006).

Pour ce qui est de *Cedrus atlantica*, des études récentes sur la variabilité génétique dans quelques populations marocaines sur la base de marqueurs moléculaires (Renau-Morata et al, 2005 et Terrab et al, 2006), ont conclu à l'absence de structuration géographique dans cette variabilité. Pour l'expliquer, les auteurs ont invoqué un éventuel échange de gènes entre les populations à travers les flux polliniques, échange peu probable selon ces auteurs-mêmes, en raison de la configuration orographique des massifs marocains.

Par ailleurs, il n'est pas étonnant que les caractères étudiés ici obéissent au même modèle de variation, car ils sont étroitement liés. Les graines mesurées au premier chapitre ont donné naissance aux plantules après leur mise en germination, et les convergents étudiés à travers leur nombre et à travers les formules cotylédonaire dont ils constituent le dénominateur, assurent la conduction de la sève jusqu'aux cotylédons.

Il serait donc intéressant d'étendre l'étude de la variabilité au sein de ces mêmes populations à d'autres caractères tels que les dimensions du cône et des écailles et les dimensions des grains de pollen. Ceux-ci seraient écologiquement plus stables que les caractères séminaux (masse et fertilité de la graine) qui portent l'empreinte d'effets maternels et environnementaux (Cantegrel, 1983).

L'utilisation de marqueurs enzymatiques ou moléculaires est également souhaitable. Ceux-ci constituant une expression directe du génome, ils sont exempts des incertitudes liées à l'influence du milieu et de son interaction avec le génotype, indissociables de celui-ci et incontournables lorsque l'on étudie des caractères morphologiques dans les populations naturelles.

Se basant sur ces résultats, Fady et al, (2006) émettent l'hypothèse de l'existence de refuges glaciaires distincts pour ces populations : un refuge unique pour les populations libanaises et probablement plusieurs pour les populations turques.

Toutes ces données plaident en faveur de la séparation de *Cedrus libani* en deux sous-espèces : sous-espèce *libani* pour le Liban et sous-espèce *stenocoma* pour la Turquie (Scaltssoyianes, 1999 et Fady et al, 2000).

Bibliographie

- adams r.p. (1998).** The leaf essential oils and chemotaxonomy of *Juniperus* sect. *Juniperus*. *Biochem. Syst. Ecol.* 26 : 637 – 647
- aimene f. et kaced z. (1998).** Etude de la variabilité morphologique (Aiguilles et rameaux), phénologique et biochimique du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) à Tala-Guilef (Djurdjura Nord-occidental). *Mém. Ing. U.M.M. Tizi-Ouzou* : 90 p.
- AL HALLANI F., ANDREONI R., BASSIL M., COMBE C., magaud p. et SEYTRE L. (1995).** La cédraie de Barouk (Liban) : compte rendu de voyage d'un groupe d'étude de l'E.N.G.R.E.F. *For. Med. t. XVI, n°2* : 171 – 183
- Alptekin C.U., BARITEAU M. et FABRE J.P. (1997).** Le cèdre de Turquie : aire naturelle, insectes ravageurs, perspectives d'utilisation pour les reboisement en France. *Rev. For. Fr.* XLIX – 1 : 19 – 31
- Arbez m., bernard-dagan c. et FILLON C. (1974).** Variabilité intraspécifique des monoterpènes de *Pinus nigra* Arn. Bilan des premiers résultats. *Ann. Sci. Forest.*, 31 (1) : 57 - 70
- A rbez m., ferrandes p., UYAR N. (1978).** Contribution à l'étude de la variabilité géographique des cèdres. *Ann. Sci. Forest.* 35 (4) : 265-284
- A slan S. et K izmaz M. (1990).** Provenance study of *Cedrus libani* A. Richard. Cone and seed characters. *International Cedar Symposium. Antalya, Turkey.*
- A smar F. (1990).** Ecology, genetic variability and conservation of Lebanese Cedar. *International Cedar Symposium. Antalya, Turkey:* 143 - 165
- Baker h.g. (1972).** Seed weight in relation to environmental conditions in California. *Ecology, Vol. 53, N°6* : 997 - 1010
- Baradat p., Bernard-Dagan c., fillon c., marpeau a. et pauly g. (1972).** Les terpènes du Pin maritime : aspects biologiques et génétiques. 2 : hérédité de la teneur en monoterpènes. *Ann. Sci. Forest.*, 29 (3) : 307 – 334
- Baradat p., Bernard-Dagan c., pauly g. et zimmermann- fillon c. (1975).** Les terpènes du Pin maritime : aspects biologiques et génétiques. 3 : hérédité de la teneur en myrcène. *Ann. Sci. Forest.*, 32 (1) : 29 - 54
- Bariteau m. et Ferrandes p. (1992).** Les cèdres. In *L'amélioration des plantes. Gallais A., Bannerot H., INRA. Paris* : 732 - 743
- Bariteau m., panetsos k.p., m'hirit o. et SCALTSOYIANNES A. (1999).** Variabilité génétique du cèdre de l'Atlas en comparaison avec les autres cèdres méditerranéens. *For. Med. t. XX, n°4* : 175 - 190
- Bekhouche H.B. (1995).** Exploration de la variabilité intraspécifique chez *Cedrus atlantica* Manetti au Maroc par l'étude des caractéristiques des plantules. *Mem. Ing. INA El Harrach* : 79 p.

- Bernard-Dagan c., fillon c., pauly g., baradat p. et illy g. (1971).** Les terpènes du Pin maritime : aspects biologiques et génétiques. 1 : variabilité de la composition monoterpénique dans un individu, entre individus et entre provenances. *Ann. Sci. Forest.*, 28 (3) : 223 – 258
- Birot y. (1972).** Variabilité intraspécifique du poids de la graine chez le Douglas. *Silvae. Genet.* 21 (6) : 230 – 242.
- Bou Dagher-Kharrat m., mariette s., lefevre f., fady b., grenier-demarch g., plomion c. et savoure a. (2006).** Geographical diversity and genetic relationships among *Cedrus* species estimated by AFLP. *The Genetics Genomes D 01 10. 1007/s 11295-006-0065*
- Boudarène I. (1991).** Analyse des huiles essentielles essentielles d'aiguilles du cèdre de l'Atlas poussant en Algérie. Thèse. Mag. U.S.T.H.B. (Algérie) : 127 p.
- Boudy P. (1950).** Economie forestière Nord-Africaine. Monographie et Traitement des essences forestières. Ed. Larose, T.2 :
- Boureau E. (1938).** Recherches anatomiques et expérimentales sur l'ontogénie des plantules de Pinacées et ses rapports avec la phylogénie. Thèse Fac. Sci. Poitiers : 219 p.
- Boureau e (1948).** L'ontogénie vasculaire des plantules et la phylogénie des phanérogames. Fasc. 11, 86^{ème} année, *Rev. Sci.* : 653 – 666.
- Boydak m. (1990).** Monumental forests and trees of *Cedrus libani* in Turkey. *Symp. Inter. sur le cèdre. Antalya. Turquie* : 847 – 853.
- BOYDAK M. (1996).** Ecology and silviculture of cedar of Lebanon (*Cedrus libani* A. Rich.) and conservation of its natural forests. *Laser Ofset Matbaa. Ankara (Turkey)*: 57 p.
- Briand h., posluszny u. and larsen d.w. (1992).** Comparative seed morphology of *Thuja occidentalis* (eastern white cedar) from upland and lowland sites. *Can. J. Bot.* Vol. 70: 434 - 438
- Brun a. (1989).** Microflores et paléovégétations en Afrique du Nord depuis 30 000 ans. *Bull. Soc. Geol. Fr.*(8) n°1: 25 - 33
- canard d., perru o., tauzin v. et devillard c. (1997).** Terpene composition in diverse provenances of *Cedrus libani* (A.) Rich. And *Cedrus atlantica* Manet. *Trees*, 11 : 504 – 510.
- Cantegrel r. (1983).** Le pin à crochets Pyrénéen : biologie, biochimie, sylviculture. Les biocénoses d'altitude 1 ; Les forêts subalpines : Pyrénées. *Acta. Biologica montana.* 2-3 : 87 - 330
- CERMAK J. (1987).** Monoterpene hydrocarbon contents of the resin from seeds of Silver fir (*Abies alba*). *Trees* (1): 94 – 101
- Chouchani b., khouzami a. et quezel p. (1975).** A propos de quelques groupements forestiers du Liban. *Biol. Ecol. Med. Marseille*, 1 : 63-77.
- Chowdhury c. (1961).** The morphology and embryology of *Cedrus deodora* (Roxb) Loud. *Phytomorphology* 11: 283-304.

- C ochu A. (1994).** Recherche de marqueurs terpéniques chez le genre *Cedrus* et contribution à la mise au point d'une technique de culture *in vitro* et *in vivo* du cèdre (*Cedrus atlantica* et *Cedrus libani*). DEA. Univ. Tech. Compiègne (France) : 32 p .
- Davidson r.h., edwards d.g.w., sziklai o. et El-kassaby y.a. (1996).** Genetic variation in germination parameters among populations of Pacific Silver Fir. *Silvae Gen.* 45, 2-3: 165 - 171
- Debazac e.f. , et Tomassone e.r. (1965).** Contribution à une étude comparée des pins méditerranéens de la section *Halepensis*. *Ann. Sci. Forest.* 22 (2) : 213-256.
- Debazac e.f. (1977).** Manuel des conifères. Ed. Louis Jean Cap, 2^{ème} édition : 172 p.
- de Ferré y. (1965).** Structure des plantules et systématique du genre *Pinus*. *Trav. Lab. Forest. Toulouse*, Tome II, Vol. III. Art .2: 1 - 50
- de Ferré y. et Meric j. (1963).** Distinction des écotypes de *Pinus sylvestris* L. par l'analyse des plantules. *C. R. Soc. Biogéo.* 349: 15 - 29
- De lillo m. et Fusaro e. (1990).** Field comparison of different *Cedrus atlantica* provenances from Morocco and relative morpho-physiological characteristics. *Symposium International sur le cèdre de l'Atlas*, Rabat, Royaume du Maroc -7 – 11: 15 p.
- Derridj A. (1990).** Etude des populations de *Cedrus atlantica* M. en Algérie. Thèse Doc. U.P.S Toulouse : 288 p.
- Destremeau d. x. (1974).** Précisions sur les aires naturelles des principaux conifères marocains en vue de l'individualisation de provenances. *Ann. Rech. Forest. Maroc*, Tome 14 : 77 - 91
- Devillez f. (1971).** Propriétés germinatives et divers critères quantitatifs de la graine du Douglas. *Ext. Bull. Soc. Roy. Forest. (Belgique)* : 414 - 429
- Emberger I. (1938).** Les arbres du Maroc et comment les reconnaître. Edit. Larose. Paris: 38 – 40
- Emberger I. (1971).** Travaux de botanique et d'écologie choisis et présentés par les soins d'un groupe de ses amis et élèves à l'occasion de son jubilé scientifique. Ed. Masson et Cie : 520 p.
- Fady b. (1990).** Variabilité génétique du Sapin de Grèce. Thèse. Doc. Univ. Dro. Eco. Sci. Aix-Marseille: 116 p.
- fady b., bariteau m., fallour d., giroud e. and LEFEVRE F. (2000).** Isozyme gene markers and taxonomy of Mediterranean *Cedrus* species. In *Proceedings of the final conference of the European union joint Research project fair CT 95 – 0097 Mytilene*: 21 -26
- Fady b., lefevre f., vendramin g.g., ambert a. regnier c. et bariteau m. (2006).** Genetic consequences of past climate and human impact on eastern Mediterranean *Cedrus libani* forests. Implications for their conservation.
- Fins a. et Libby d. (1982).** Population variation in *Sequoiadendron*: Seed and seedling studies, vegetative propagation and isozyme variation. *Silva. Gen.* 31,4 : 102 – 109

- Fober h. et Giertych m. (1971).** Variability of *Picea abies* (L.) Karst. Seed size, weight and mineral content in Poland. Arboretum Kornickie, Roelnik XVI: 121 - 130
- Forrest g.i. (1978).** Monoterpene variation in lodgepole pine (*Pinus contorta*) and scots pine (*Pinus sylvestris*). Proc. Conf. Biochem. Genet. Umea, Sweden: 136 - 150
- Forrest g.i. (1980).** Genotypic variation among native scots pine populations in Scotland based on monoterpene analysis. Forestry, Vol. 53, N° 2: 101 - 128
- Forrest g.i. (1992).** Conservation of the native pine woods of Scotland : The role of gene pool analysis . Scottish Forestry, 46 (3): 194 - 201
- Forrest g.i. (1994).** Biochemical markers in tree improvement programmes. Forestry Abstracts, Vol. 55. N° 2 : 124 - 153
- Gausson h. (1955).** Les gymnospermes actuelles et fossiles : étude dendrologique des gymnospermes. Trav. Lab. Forest. Toulouse, II (5).
- Gausson H. (1964).** Les gymnospermes actuelles et fossiles. Trav. Lab. Forest. Toulouse, T. 2 (1), fasc. VII.
- Gausson H. (1967).** Les gymnospermes actuelles et fossiles. Trav. Lab. Forest. Toulouse, Vol. 1, Fasc.VI.
- Gerber s., baradat p., marpeau a. et arbez m. (1995).** Geographic variation terpene composition of *Pinus nigra* Arn. Forest. Genetics 2 (1): 1 - 10
- Illoul m. (1998).** Etude de la variabilité morphologique et génétique du Sapin pectiné *Abies alba* Mill. Mém. Mag. U.M.M.T.O. (Algérie) : 155 p.
- harfouche a. (1996).** La gestion des ressources génétiques forestières en Algérie. La Forêt algérienne, Ed. INRF, N° 2 : 5 - 12
- Heller r. (1978).** Physiologie végétale, T2 développement. Ed. Masson : 149 p.
- Houle g. and Babeux p. (1994).** Variations in rooting ability of cuttings and in seed characteristics of five populations of *Juniperus communis* var. *depressa* from subarctic Quebec. Can. J. Bot. Vol. 72: 493 - 498
- Kinloch b.b. , westfall r.d. et forrest g.i. (1986).** Caledonian scots pine : Origins and genetic structure. New Phytol. 104 : 703 - 729
- Krouchi F. (1995).** Contribution à l'étude de l'organisation reproductive du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Man.) à Tala-Guilef (Djurdjura Nord-occidental). Mém. Mag. I.N.A. El Harrach (Algérie) : 105 p.
- Ladjal m. (2001).** Variabilité de l'adaptation à la sécheresse des cèdres méditerranéens (*Cedrus atlantica*, *C. brevifolia* et *C. libani*), aspects écophysologiques. Thèse. Doc. Univ. Nancy I, (France) : 212 p.
- Lecompte m. (1986).** Biogéographie de la montagne marocaine : le Moyen-Atlas central. Ed. CNRS, Paris (France) : 202 p.
- Li f. et Adams w.i. (1989).** Range wide patterns of allozyme variation in Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii*). Can. J. For. Res. 19: 149 - 161
- Marpeau a. , WALTER J., launay j., charon j., baradat p. et gleizes m. (1989).** Effects of wounds on the terpene content of twigs of maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.). Trees, 4: 220 - 226

- Mazliak p. (1982).** Physiologie végétale II, croissance et développement. Collection Méthodes Hermann, Paris : 465 p.
- M'hirit o. (1982).** Etude écologique et forestière du Rif marocain. Essai sur une approche multidimensionnelle de la phytoécologie et de la productivité du cèdre. Ann. Rech. Forest. Maroc. Tome 22 : 502 p.
- Muller c., Iaroppe e. et Bonnet-masimbert m. (1984).** Pour une amélioration du traitement des graines de cèdre (*Cedrus atlantica*). I.N.R.A, station d'amélioration des arbres forestiers, Champenoux : 23 p.
- Pons a. (1998).** L'histoire du genre *Cedrus* d'après les données paléobotaniques disponibles. For. Med. t. XIX, n°3 : 236 - 242
- Pradal f. (1979).** Variabilité génétique et écophysologique du Cèdre. Mem. ENITEF, Nogent sur Vernisson (France) : 87 p.
- Pujos a. (1964).** Les milieux de la cédraie marocaine. Etude d'une classification des cédraies du Moyen-Atlas et du Rif en fonction du sol et du climat et de la régénération naturelle actuelle dans ces peuplements. Ann. Rech. Forest. du Maroc, 8 : 1 - 283
- Quézel p. et Barbero m (1985).** Carte de la végétation potentielle de la région méditerranéenne. Feuille 1, Méditerranée orientale. Ed. CNRS : 69 p.
- Quézel p. (1998).** Cèdres et cédraies du pourtour méditerranéen : signification bioclimatique et phytogéographique. For. Med. T. XIX, n°3 : 243 - 260
- Quézel p. et Médail f. (2003).** Ecologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen. Ed. Elsevier, Paris: 571 p.
- Rafii z. a., Dodd r. s. et Zavarin e. (1996).** Genetic diversity in foliar terpenoids among natural populations of European black pine. Biochem. Syst. and Ecol. Vol. 24, N° 4: 325 - 339
- Rehfeldt g.e. (1994).** Adaptation of *Picea engelmannii* populations to the heterogeneous environments of the intermountain West. Can. J. Bot. Vol. 72: 1197 - 1208
- Reille m. (1976).** Analyse pollinique de sédiments postglaciaires dans le Moyen-Atlas et le Haut-Atlas marocains : premiers résultats. Ecologia Mediterranea. (2) : 153 -170
- Reille m. (1977).** Contribution pollenalytique à l'histoire Holocène de la végétation des montagnes du Rif (Maroc septentrional). Supp. Ann. Bull. AFEQ, 1 (50) : 53 – 76
- renau-morata b., nebauer s.g., sales e., allainguillaume j., caligari p. et segura j. (2005).** Genetic diversity and structure of natural and managed populations of *Cedrus atlantica* (Pinaceae) assessed using random amplified polymorphic DNA. American journal of Botany 92 (5): 875 - 884
- REYNAUD M. (1999).** Mise au point d'un protocole d'études d'hybrides de cèdres grâce à la méthode rapd. Maîtrise Univer. Sci et Tch. Lyon 1 : 23 p.
- Roland j.c. et Roland f. (1983).** Atlas de biologie végétale, T2. Organisation des plantes à fleurs. Ed. Masson : 116 p.
- Salamani m. (1993).** Premières données paléophytogéographiques du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica*) dans la région de grande Kabylie (NE Algérie). Palynosciences, 2 : 147 - 155

-
- Scaltsoyiannes a. (1999).** Allozyme differentiation and phylogeny of cedar species. *Silvae genetica*, 48, 2 : 61 - 68
- Schaeffer p.r. et Hanover j.w. (1986).** Taxinomic implications of monoterpene compounds of blue and Engelmann spruces. *Forest Sci.*, 32 (3): 725 - 734
- Schütte h. r. (1998).** Secondary plant substances : Monoterpenes. *Progress in Botany*, Vol. 59 : 571 - 596
- Seigue a. (1985).** La forêt circumméditerranéenne et ses problèmes. Ed. Maisonneuve et Larose, Paris V : 502 p.
- singh v., bhagat s. et singh o.b. (1990).** Effect of seed weight on germination and initial seedling growth in spruce (*Picea smithiana* wall. Bioss). *The Indian Forester*, Vol. 116: 403 - 406
- Smith r.h. (1983).** Monoterpenes of lodgepole pine xylem resin : A regional study in western United States. *Forest. Sci.* Vol. 29, N° 2: 333 – 340
- Sorensen f.c. and Franklin j.f. (1977).** Influence of year of cone collection on seed weight and cotyledon number in *Abies procera*. *Silvae Genetica* 26, 1: 41 - 43
- Sorensen f.c. and Campbell r.k. (1985).** Effect of seed weight on height growth of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco var. *menziesii*) seedlings in a nursery. *Can. J. For. Res.* Vol. 15: 1109 - 1115
- Taylor r.g. et Patterson t.f. (1980).** Biosystematics of Mexican spruce species and populations. *Taxon* 29 (4) : 421 – 440
- terrab a., paun o., talavera s., tremetsberger k., arista m. et stuessy t.f. (2006).** Genetic diversity and populationstructure in natural populations of Moroccan cedar (*Cedrus atlantica*; Pinaceae) determined with cpSSR markers. *American journal of Botany* 93 (9).
- Toth p. (1984).** Contribution à l'étude de la fructification et de la régénération naturelle du Cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* M.) dans le sud de la France. Thèse Doc. Ing. Fac. Sci et Tch. Marseille St Jérôme : 136 p.
- Von Rudloff e. et Lapp (1992).** Chemosystematics studies in the genus *Pinus*. VII. The leaf oil terpene composition of ponderosa pine *Pinus ponderosa*. *Can. J. Bot.* 70: 374 - 378
- West m.m. et Lott j.n.a. (1993).** Studies of mature seeds of eleven *Pinus* species differing in seed weight . I. Element concentrations in embryos and female gametophytes. *Can. J. Bot.* Vol. 71: 570 - 576
- Zavarin e., snajberk k. et senter p. (1979).** Analysis of terpenoids from seedcoats of identifying seed origin. *Forest. Sci.* Vol. 25, N° 1: 20 – 24.
-