

RÉSUMÉ DE THÈSE /
ACADEMIC THESIS ABSTRACT / RESUMEN DE TESIS ACADÉMICAContribution à l'étude de la variabilité
chez le cèdre de l'Atlas au Maroc

Nezha EL BAKKALI

RÉSUMÉ

Le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* (Endl.) G. Manetti ex Carrière) est une espèce endémique des montagnes du Maroc et de l'Algérie. Il constitue une ressource vitale pour les populations et d'intérêt bioécologique et socio-économique considérable. Cette ressource naturelle est malheureusement menacée par plusieurs facteurs de dépérissement et l'évolution rapide du climat vers la sécheresse, ce qui le pousse à modifier sa morphologie pour acquérir des caractères d'adaptation. Dans cette thèse, l'identification des traits morphologiques et anatomiques adaptatifs de *Cedrus atlantica* au Maroc est abordée via :

- L'évaluation de l'adaptabilité écologique et la microévolution des populations naturelles de *C. atlantica* basée sur l'analyse des caractères morphologiques et anatomiques des aiguilles.
- L'étude de certains caractères adaptatifs des aiguilles des populations du cèdre dans le Moyen Atlas central présentant des conditions environnementales et des niveaux de diversité génétiques différents.
- L'étude morphométrique effectuée sur des caractères morpho-anatomiques de l'aiguille dans des populations naturelles dans les montagnes du Moyen et du Haut Atlas au Maroc.

Les résultats de l'évaluation de l'influence de la géographie sur la morphologie et l'anatomie des aiguilles du *C. atlantica* montrent l'existence d'une adaptation de la structure des aiguilles à la position géographique et aux conditions climatiques des populations. De même, les populations du Moyen Atlas central présentant des conditions environnementales et des niveaux de diversité génétiques différents ont montré que les adaptations morpho-anatomiques des aiguilles sont en harmonie avec leur spécificité génétique révélée précédemment. Enfin, l'étude comparative de la variabilité morpho-anatomique des aiguilles des populations du Moyen et du Haut Atlas a confirmé l'existence de deux écotypes distincts génétiquement de *C. atlantica*, géographiquement distants dans les montagnes de l'Atlas. En conséquence, cela a permis de cerner l'écotype en conférant à cette espèce une place de choix dans les projets de revalorisation des populations méditerranéennes, en particulier sur les zones semi-arides. Ces résultats montrent que les traits morpho-anatomiques des aiguilles permettent l'évaluation de la diversité intra- et inter-population chez le cèdre de l'Atlas. De plus, ils ont une importance capitale dans les programmes de sélection ainsi que dans les études relatives à la microévolution du genre *Cedrus* au Maroc.

Mots-clés : aiguille, anatomie, cèdre de l'Atlas, morphologie, géographie, population, variabilité.

Contribution to studies of Atlas Cedar
variability in Morocco

ABSTRACT

The Atlas Cedar (*Cedrus atlantica* (Endl.) G. Manetti ex Carrière) is endemic to the mountainous regions of Morocco and Algeria. It is a vital natural resource for the local populations and of considerable bio-ecological and socio-economic interest, but it is unfortunately under threat from several factors causing dieback and from rapidly worsening drought conditions due to climate change, which are causing morphological changes as the trees acquire adaptive traits. This thesis addresses the identification of adaptive morphological and anatomical traits in *Cedrus atlantica* in Morocco through:

- Assessments of the ecological adaptability and micro-evolution of natural *C. atlantica* populations from analyses of the morphological and anatomical traits of the needles.
- Analysis of certain adaptive traits of the needles of cedar populations in the central area of the Middle Atlas with different environmental conditions and levels of genetic diversity.
- Morphological studies of the morpho-anatomical traits of needles in natural cedar stands in Morocco's Middle and High Atlas ranges.

The results of our assessment of the influence of geography on the morphology and anatomy of *C. atlantica* needles shows adaptation of the structure of the needles to the geographical position and climatic conditions of each stand. Similarly, in the stands in the central Middle Atlas with different environmental conditions and levels of genetic diversity, the morpho-anatomical adaptations of the needles differed according to the specific genetic traits identified previously. Finally, the comparative analysis of morpho-anatomical variability of the needles in *C. atlantica* stands in the Middle and High Atlas confirmed the existence of two genetically distinct and geographically distant ecotypes in the Atlas Mountains, making it possible to identify which ecotype is best suited to projects to rehabilitate Mediterranean populations of *C. atlantica*, especially in semi-arid zones. These results show that the morpho-anatomical traits of needles can be used to assess intra- and inter-species diversity in the Atlas Cedar, which is of crucial importance for breeding programmes and for studies on the micro-evolution of the genus *Cedrus* in Morocco.

Keywords: needle, anatomy, Atlas Cedar, morphology, geography, population, variability.

Contribución al estudio de la variabilidad
del cedro del Atlas en Marruecos

RESUMEN

El cedro del Atlas (*Cedrus atlantica* (Endl.) G. Manetti ex Carrière) es una especie endémica de las montañas de Marruecos y Argelia. Es una fuente vital para las poblaciones y proporciona un considerable valor bioecológico y socioeconómico. Este recurso natural está desgraciadamente amenazado por varios factores de debilitamiento y por la rápida evolución del clima hacia la sequía, que lo empuja a modificar su morfología para adquirir rasgos adaptativos. En esta tesis se aborda la identificación de los rasgos morfológicos y anatómicos adaptativos de *Cedrus atlantica* en Marruecos mediante:

- La evaluación de la adaptabilidad ecológica y la microevolución de las poblaciones naturales de *C. atlantica* a partir del análisis de los caracteres morfológicos y anatómicos de las acículas.
- El estudio de algunos rasgos adaptativos de las acículas de varias poblaciones de cedro del Atlas Medio central con diferentes condiciones ambientales y niveles de diversidad genética.
- El estudio morfométrico realizado en los caracteres morfoanatómicos de la acícula en poblaciones naturales de las montañas del Medio y Alto Atlas marroquí.

Los resultados de la evaluación de la influencia de la geografía en la morfología y anatomía de las acículas del *C. atlantica* muestran la existencia de una adaptación de la estructura de las acículas a la posición geográfica y a las condiciones climáticas de las poblaciones. Del mismo modo, las poblaciones del Atlas Medio central con diferentes condiciones ambientales y niveles de diversidad genética han demostrado que las adaptaciones morfoanatómicas de las acículas están en armonía con la especificidad genética revelada anteriormente. Por último, el estudio comparativo de la variabilidad morfoanatómica de las acículas de las poblaciones del Atlas Medio y del Alto Atlas confirmó la existencia de dos ecotipos genéticamente distintos de *C. atlantica* geográficamente distantes en las montañas del Atlas. Como resultado, se identificó el ecotipo que confiere a esta especie un lugar preferente en los proyectos de revalorización de poblaciones mediterráneas, especialmente en zonas semiáridas. Estos resultados muestran que los rasgos morfoanatómicos de las acículas permiten evaluar la diversidad intra e interpopulacional en el cedro del Atlas. Además, son de gran importancia en los programas de selección, así como en los estudios sobre la microevolución del género *Cedrus* en Marruecos.

Palabras clave: acícula, anatomía, cedro del Atlas, morfología, geografía, población, variabilidad.

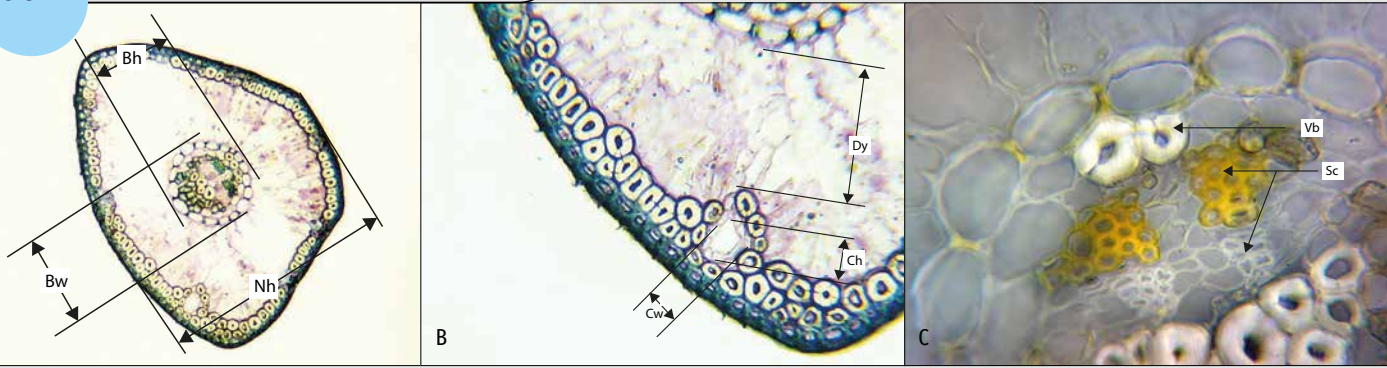


Doi : <https://doi.org/10.19182/bft2023.a37153>

Droit d'auteur © 2023, Bois et Forêts des Tropiques © Cirad
Date de publication : 1^{er} mars 2023



Licence Creative Commons :
Attribution - Pas de Modification 4.0 International.
Attribution-4.0 International (CC BY 4.0)

**Photos 1.**

Observations des coupes transversales d'une aiguille de *Cedrus atlantica* Manetti sous le microscope optique (Optika DM-15). Seuls les principaux caractères mesurés ont été représentés. A : image illustrant la hauteur de la section de l'aiguille (Nh), largeur du cylindre central (Bw) et hauteur du cylindre central (Bh) ; B : image illustrant la largeur du canal résinifère (Cw), hauteur du canal résinifère (Ch), distance entre le canal résinifère et la bande vasculaire (Dy). C : image illustrant les bandes vasculaires (xylème et phloème) (Vb), cellules sclérenchymateuses (Sc).

Photos 1.

Optical microscopy images of cross sections of a *Cedrus atlantica* Manetti needle (Optika DM-15). Only the main characteristics measured are represented. A: Image showing height of needle cross-section (Nh), width of vascular bundle including endodermis (Bw) and height of vascular bundle including endodermis (Bh); B: Image showing width of resin canal (Cw), height of resin canal (Ch) and distance between resin canal and vascular bundle (Dy); C: Image showing vascular bands (xylem and phloem) (Vb) and sclerenchymal cells (Sc).

Fotos 1.

Observaciones de secciones transversales de una acícula de *Cedrus atlantica* Manetti mediante microscopio óptico (Optika DM-15). Solo se han representado las principales características medidas. A: Imagen que indica la altura de la sección transversal de la aguja (Nh); y la anchura del haz vascular, incluida la endodermis (Bw) y la altura del haz vascular, incluida la endodermis (Bh). B: Imagen que indica el ancho del canal de resina (Cw), la altura del canal de resina (Ch) y la distancia entre el canal de resina y el haz vascular (Dy). C: Imagen que indica bandas vasculares (xilema y floema) (Vb) y células esclerenquimatosas (Sc).

Photos N. El Bakkali.

Figure 1.

Résultat de l'analyse discriminante montrant la dispersion des individus dans l'espace entre les deux premières valeurs de discrimination U_1 et U_2 (responsables de 98 % de la variation entre les populations). L'analyse a mis en évidence trois nuages dispersés des arbres, représentant les quatre populations comparées. La variable de la discrimination U_1 a été déterminée principalement par la longueur de l'aiguille (NI), tandis que la variable U_2 a été déterminée par la largeur du cylindre central (Bw) et la hauteur de la paroi de la cellule de l'hypoderme (Ht). Cette dispersion a montré que les populations du Moyen Atlas (M et T) sont dispersées sans chevauchement avec la population en bordure sud du Moyen Atlas (O) et la population du Haut Atlas (A). Les individus sont dispersés au long de ces deux dernières populations et les individus d'Aït Oufella (A) ont pénétré en partie dans la zone confidentielle des populations du Moyen Atlas. M : Moudemame ; T : Tamrabta ; O : Aït Oufella ; A : Aït Ayach.

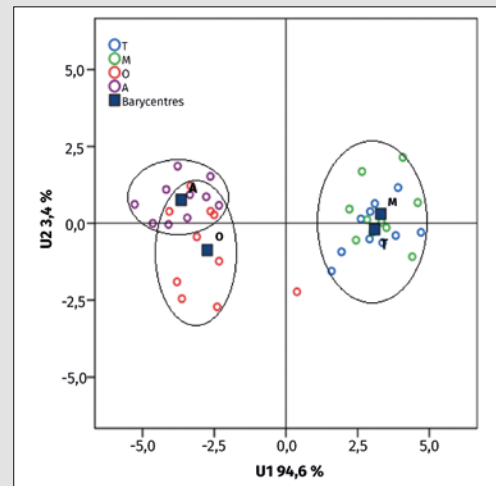
Figure 1.

Result of the discriminant analysis showing the spatial dispersion of individuals between the first two discrimination values U_1 and U_2 (responsible for 98% of the variation between populations). The analysis produced three scattered clouds of trees, representing the four populations being compared. The discrimination variable U_1 was determined mainly by the length of the needle (NI), while the variable U_2 was determined by the width of the vascular bundle including the endodermis (Bw) and the height of the cell wall of the hypodermis (Ht). This pattern shows that the dispersal of the populations of the Middle Atlas (M and T) does not overlap with the population on the southern edge of the Middle Atlas (O) or with the population of the High Atlas (A). The individuals are scattered alongside the latter two populations while the Aït Oufella individuals (A) have partly penetrated into the preferred zone of the Middle Atlas populations. M: Moudemame; T: Tamrabta; O: Aït Oufella; A: Aït Ayach.

Resultado del análisis discriminante que muestra la dispersión espacial de los individuos entre los dos primeros valores de discriminación U_1 y U_2 (responsables del 98 % de la variación entre poblaciones). Destacan tres nubes dispersas de árboles, que representan las cuatro poblaciones que se comparan. La variable de discriminación U_1 está determinada principalmente por la longitud de la acícula (NI), mientras que la variable U_2 está determinada por el ancho del haz vascular incluyendo la endodermis (Bw) y la altura de la pared celular de la hipodermis (Ht). Esta dispersión muestra que las poblaciones del Medio Atlas (M y T) están dispersas sin superponerse con la población del borde sur del Medio Atlas (O) y la población del Alto Atlas (A). Los individuos se encuentran dispersos a lo largo de estas dos últimas poblaciones y los individuos de Aït Oufella (A) han penetrado parcialmente en la zona confidencial de las poblaciones del Medio Atlas. M: Moudemame; T: Tamrabta; O: Aït Oufella; A: Aït Ayach.

Figura 1.

Resultado del análisis discriminante que muestra la dispersión espacial de los individuos entre los dos primeros valores de discriminación U_1 y U_2 (responsables del 98 % de la variación entre poblaciones). Destacan tres nubes dispersas de árboles, que representan las cuatro poblaciones que se comparan. La variable de discriminación U_1 está determinada principalmente por la longitud de la acícula (NI), mientras que la variable U_2 está determinada por el ancho del haz vascular incluyendo la endodermis (Bw) y la altura de la pared celular de la hipodermis (Ht). Esta dispersión muestra que las poblaciones del Medio Atlas (M y T) están dispersas sin superponerse con la población del borde sur del Medio Atlas (O) y la población del Alto Atlas (A). Los individuos se encuentran dispersos a lo largo de estas dos últimas poblaciones y los individuos de Aït Oufella (A) han penetrado parcialmente en la zona confidencial de las poblaciones del Medio Atlas. M: Moudemame; T: Tamrabta; O: Aït Oufella; A: Aït Ayach.



Grade et diplôme : Doctorat.

Université : Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Maroc.

Date de soutenance : 27 Février 2020.

Composition du jury

Direction : Mohammed Bendriss Amraoui (Professeur, Faculté des Sciences Dhar El Mahraz, Laboratoire de Biotechnologie, Environnement, Agroalimentaire et Santé).

Membres :

Yamina Msatef (Présidente, Faculté des Sciences Dhar El Mahraz, Fès, Maroc).

Hamid Mazouz (Rapporteur, Faculté des Sciences, Meknès, Maroc).

Laïla Nassiri (Rapporteuse, Faculté des Sciences, Meknès, Maroc).

Amina Bari (Rapporteuse, Faculté des Sciences Dhar El Mahraz, Fès, Maroc).

Meryem Benjelloun (Examinatrice, Faculté des Sciences et Techniques, Fès, Maroc).

Langue de rédaction : Français.

Financement : Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Maroc.

Accès au manuscrit : <https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-03773145>

Contact :

Département de Biologie, Faculté des Sciences Dhar el Mahraz,
Université Sidi Mohammed Ben Abdellah, P.O. Box 1796, Atlas, Fez, Maroc

elbakkalineza9@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-0678-0912>

Liste des articles publiés

El Bakkali N., Bendriss Amraoui M., 2022. Structure of needle highlights ecological adaptability and micro-evolution of natural populations of *Cedrus atlantica* in Morocco. International Journal of Forestry Research, Volume 2022, Article ID 5415807, 9 p. <https://doi.org/10.1155/2022/5415807>

El Bakkali N., Bendriss Amraoui M., 2022. Morphological and anatomical characterization of ecotype needles of *Cedrus atlantica* in Morocco. International Journal of Forestry Research, Volume 2022, Article ID 5836589, 11 p. <https://doi.org/10.1155/2022/5836589>

El Bakkali N., Bendriss Amraoui M., 2018. The length, number, and endodermis area of needles discriminate two genetically distinct populations of *Cedrus atlantica* Manetti in the Moroccan Middle Atlas. Acta Societatis Botanicorum Poloniae, 87 (3): 3591. <https://doi.org/10.5586/asbp.3591>