

Nom et prénom	Etablissement	Grade	Qualité
GUEMMOUH Raja	Faculté des Sciences Dhar EL Mahraz, Fès	PES	Présidente
NASSIRI Laila	Faculté des Sciences, Meknès	PES	Rapporteur & Examinateur
CHAHLAOUI Abdelkader	Faculté des Sciences, Meknès	PES	Rapporteur & Examinateur
LOUAHLIA Said	Faculté des Sciences Dhar EL Mahraz, Fès	PES	Rapporteur & Examinateur
KHABBACH Abdelmajid	Faculté des Sciences Dhar EL Mahraz, Fès	PES	Examinateur
BARI Amina	Faculté des Sciences Dhar EL Mahraz, Fès	PES	Directrice de thèse
BENDRISS AMRAOUI Mohammed	Faculté des Sciences Dhar EL Mahraz, Fès	PES	Invité



Résumé

Le cèdre de l'Atlas est endémique d'Afrique du Nord. C'est une essence emblématique de grand intérêt écologique, économique et social pour le Maroc. Pourtant, cette ressource naturelle très importante est malheureusement menacée par plusieurs facteurs dont l'activité anthropique mais surtout l'évolution rapide du climat vers la sécheresse. Peu de données sont disponibles sur la reproduction sexuée par celle liée au pollen chez *Cedrus atlantica*. L'objectif de cette thèse est la caractérisation morphologique et physiologique des types polliniques de sept populations de cèdre de l'Atlas situées dans le Moyen et le Haut Atlas marocain ; afin de déceler les niveaux de variabilité du pollen et voir aussi comment ce pollen réagit aux variations climatiques et locales chez cette espèce.

Ce travail a été réalisé en plusieurs étapes. La première étape consiste à étudier l'effet de la localité sur la variation des caractères physiologiques (contenu en amidon et l'activité amyliase du pollen, production, germination et l'allongement du tube pollinique) du pollen de *Cedrus atlantica*. Cette étude a été faite sur sept forêts naturelles du Moyen et du Haut Atlas. Les résultats des différentes analyses nous ont permis de montrer une variabilité en fonction de la localité et de dégager les traits physiologiques les plus discriminants. La deuxième étape est la réalisation d'une étude biométrique sur l'effet de l'interaction climat, site, morphologie et physiologie du pollen des mêmes populations de cèdre que celles sur lesquelles a porté la première étude. L'analyse de régression a montré que le climat, le site et la morphologie du pollen interagissent ensemble et expliquent fortement les variations physiologiques du pollen. La troisième étape est l'analyse de la variabilité des traits morpho-physiologiques intra et inter-populations du pollen dans les Atlas marocains et la recherche de relations entre la variation de ces traits, la géographie et les conditions environnementales. Elle a été réalisée au niveau de trois populations de cèdre de l'Atlas dont deux situées dans le Moyen Atlas central et une dans le Haut Atlas. Les résultats obtenus ont montré des variations intra et inter populations significatives pour l'épaisseur de la calotte, le volume du corps, le volume du ballonnet, le volume total du pollen, la longueur du tube pollinique, le nombre de pollen germé, le nombre de pollen total et la fréquence de germination du pollen. Cette étude a également révélé qu'au moins cinq caractères séparaient significativement les populations et a individualisé deux groupes principaux. La quatrième étape est la réalisation d'une étude de la variation de certains caractères morphologiques du pollen de quatre populations du Moyen Atlas central présentant des conditions environnementales et des niveaux de diversité



génétiques différents. Le test de Tukey a montré qu'au moins sept caractères morphologiques séparaient significativement nos populations. L'analyse en composante principale a révélé que tous les paramètres morphologiques étudiés sont hautement discriminants entre les populations d'Azrou et d'Ifrane et confirment leur isolement. Ces variations des traits morphologiques du pollen du cèdre de l'Atlas des régions d'Azrou et d'Ifrane se sont révélées en harmonie avec leur spécificité génétique révélée précédemment. La cinquième étape traite de la relation entre l'activité respiratoire du pollen, la germination et l'allongement du tube pollinique chez le cèdre de l'Atlas. Le test de Tukey a montré que toutes nos populations se différencient significativement au seuil de 5% pour les caractères étudiés. Une corrélation positive élevée a été décelée d'une part entre la respiration et le nombre de pollen germé ($r = 0,661$) ($p < 0,01$) et d'autre part entre la respiration et la fréquence de germination du pollen ($r = 0,664$) ($p < 0,01$). De même une corrélation moyenne négative ($r = -0,396$) ($p < 0,05$) a été trouvée entre la longueur du tube pollinique et la respiration.

Les analyses statistiques utilisées dans les cinq étapes de l'étude ont été faites par les logiciels Excel 2007, SPSS. V 20.0 et R-STUDIO version 1.3.1093.

L'ensemble des résultats obtenus montrent que les traits morphologiques et physiologiques du pollen permettent une distinction intra et inter-population et soulignent leurs importances dans les programmes de sélection et de reboisement ainsi que dans les études relatives à la microévolution de cette noble espèce au Maroc. Le trait physiologique, activité respiratoire du pollen s'est avéré être un bon indicateur pour évaluer la qualité du pollen.

Mots clés : Pollen, Morphologie, Physiologie, Cèdre de l'Atlas, Géographie, Population, Variabilité, Biométrie.



Ecological variation of morphological and physiological indices of *Cedrus atlantica* Manetti pollen in Morocco

Abstract

The Atlas cedar is endemic to North Africa. It is an emblematic species of great ecological, economic and social interest for Morocco. However, this very important natural resource is unfortunately threatened by several factors including human activity but especially the rapid evolution of the climate towards drought. Little data is available on sexual reproduction by that linked to pollen in *Cedrus atlantica*. The objective of this thesis is the morphological and physiological characterization of the pollen types of seven populations of Atlas cedar located in the Middle and High Atlas of Morocco; in order to detect the levels of pollen variability and also see how this pollen reacts to climatic and local variations in this species.

This work was carried out in several stages. The first stage consists of studying the effect of locality on the variation of physiological characteristics (starch content and amylase activity of pollen, production, germination and elongation of the pollen tube) of *Cedrus atlantica* pollen. This study was carried out on seven natural forests of the Middle and High Atlas. The results of the different analyses allowed us to show variability depending on the locality and to identify the most discriminating physiological traits. The second stage is the realization of a biometric study on the effect of the interaction of climate, site, morphology and physiology of cedar pollen from the same populations as those on which the first study was carried out. The regression analysis showed that climate, site and pollen morphology interact together and strongly explain the physiological variations of cedar pollen. The third step is the analysis of the variability of morpho-physiological traits within and between populations of *Cedrus atlantica* pollen in the Moroccan Atlas Mountains and the search for relationships between the variation of these traits, geography and environmental conditions. It was carried out at the level of three populations of Atlas cedar, two of which are located in the central Middle Atlas and one in the High Atlas Mountains. The results obtained showed significant intra- and inter-population variations for cap thickness, volume of the corpus, volume of the balloon, volume total of pollen, pollen tube length, number of germinated pollen, number total of pollen and germination frequency of pollen. This study also revealed that at least five characters significantly separated the populations and individualized two main groups. The fourth step is the realization of a study of the variation of certain morphological traits of pollen from four

populations of the central Middle Atlas Mountains with different environmental conditions and levels of genetic diversity. Tukey's test showed that at least seven morphological traits significantly separated our populations. Principal component analysis revealed that all the morphological parameters studied are highly discriminating between the Azrou and Ifrane populations and confirm their isolation. These variations in the morphological traits of Atlas cedar pollen from the Azrou and Ifrane regions were found to be consistent with their previously revealed genetic specificity. The fifth step deals with the relationship between pollen respiratory activity, germination, and pollen tube elongation in Atlas cedar. Tukey's test showed that all our populations differ significantly at the 5% threshold for the studied traits. A high positive correlation was found between respiration and the number of germinated pollen ($r = 0.661$) ($p < 0.01$) and between respiration and pollen germination frequency ($r = 0.664$) ($p < 0.01$). Similarly, a negative average correlation ($r = -0.396$) ($p < 0.05$) was found between pollen tube length and respiration.

The statistical analyses used in the five stages of the study were performed using Excel 2007, SPSS V 20.0, and R-STUDIO version 1.3.1093.

All the results obtained show that pollen morphological and physiological traits allow for intra- and inter-population distinctions and highlight their importance in breeding and reforestation programs, as well as in studies related to the microevolution of this noble species in Morocco. The physiological trait, pollen respiratory activity, has proven to be a good indicator for assessing pollen quality.

Keywords: Pollen, Morphology, Physiology, Atlas Cedar, Geography, Population, Variability, Biometrics.