

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Moulay Tahar– Saida –

Faculté des Sciences



*Thèse*

Présentée pour obtenir le diplôme de

**Doctorat 3<sup>ème</sup> Cycle**

**Spécialité : Environnement et Gestion Durable Des Ressources**

**Filière : Biologie**

Par :

**TAIB Nadjat**

*Thème*

**Etude de la variabilité biologique du Pistachier de l'Atlas  
(*Pistacia atlantica* Desf) en Algérie**

Thèse soutenue le 15/07/2021 devant le jury composé de :

**Jury :**

HASNAOUI Okkacha	Prof.	Université de Saida – Dr. Moulay Tahar	Président
SITAYEB Tayeb	Prof.	Université de Saida – Dr. Moulay Tahar	Rapporteur
BELHADI Abdelkader	Prof.	Université de Saida – Dr. Moulay Tahar	Examineur
ADLI Djalal eddine	MCA	Université de Saida – Dr. Moulay Tahar	Examineur
MILOUDI Ali	Prof.	Université de Mascara	Examineur
BENMAHIOUL Benamar	Prof.	Université de Tlemcen	Examineur

Année universitaire : 2020/2021

## Remerciements

- L'encadrement scientifique de cette thèse a été agréablement assuré par mon directeur de thèse Mr « **SITAYEB Tayeb** » professeur à l'université de Moulay Tahar –Saida- je tiens à lui exprimer mes remerciements et ma gratitude pour son suivi, sa disponibilité, sa compréhension et sa patience lors de la correction de mon manuscrit.

- Mes remerciements les plus sincères s'adressent au président de jury Mr « **HASNAOUI Okkacha** » professeur à l'université de Moulay Tahar –Saida- de m'avoir fait l'honneur de présider ce jury.

- Ma profonde gratitude à l'examineur externe Mr « **BENMAHIOUL Benamar** » professeur à l'université de Abou Bekr Belkaid –Tlemcen- qui m'a fait un grand honneur de bien vouloir examiner ce travail.

- Je tiens à remercier aussi Mr « **MILOUDI Ali** » professeur à l'université de Mustapha Stambouli –Mascara- d'avoir accepté d'être examineur externe de ce travail, je suis très heureuse de bénéficier de ses observations et de ses ajouts.

- Je remercie très sincèrement Mr « **BELHADI Abdelkader** » professeur à l'université de Moulay Tahar –Saida- d'avoir accepté d'être examineur de ce travail. Je tiens à lui exprimer ma sincère reconnaissance et mon profond respect.

- J'ai l'honneur que Mr « **ADLI Djalal Eddine** » maître de conférence A à l'université de Moulay Tahar –Saida-, d'avoir accepté d'être parmi les examinateurs de ce travail, je tiens à lui exprimer ma sincère reconnaissance.

- Je remercie également le chef de laboratoire des ressources hydriques et environnement, ainsi que le chef de laboratoire de la biotoxicologie, pharmacognosie et la valorisation des plantes.

- Je tiens aussi à remercier « Aissaoui Nadia, Salah Zohra, Necmi, Samra, kaya, Emra, Bourak, Ozlam » pour leur aide précieuse afin de pouvoir réaliser les analyses dans les laboratoires.

- Mes remerciements à tous les éléments des conservations des forêts et des parcs nationaux de Tlemcen, Batna, Saida, Laghouat et Tissemsilt. Je témoigne aussi ma gratitude à Zair Abderkader, Mehmai Mohamed Taher pour leurs conseils et au défunt Lâalmi Abdelmajid qu'Allah lui fasse miséricorde.

•





# Dédicaces

## A

*Mon cher père pour son amour, sa patience et ses sacrifices qu'il m'a consenti pour poursuivre mes études.*

*Ma chère mère pour ses encouragements incessants afin de finaliser ma thèse.*

*Mes adorables sœurs, Amîna, Karîma, Somîa, Wahîba et son mari.*

*Mon cher frère Abdelhammîd et sa femme pour leurs amours, enthousiasmes et encouragements sans limite.*

*Mes neveux Abdelhadî et Mohammed, mes nièces Fatîma Zohra et Meriem.*

*Mes amis et mes collègues qui m'ont aidé et soutenu que Dieu les protège.*

# Etude de la variabilité biologique du Pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf) en Algérie

## Résumé

Le pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica*) a beaucoup d'intérêts médicaux, pharmaceutiques et économiques. Sa variabilité représente son potentiel évolutif. Il possède une amplitude écologique et une plasticité remarquable. La présente étude s'inscrit dans le but de mieux connaître la variabilité morphologique, micro-morphologique, génétique et biochimique dans les meilleurs peuplements en Algérie dans les différentes régions écologiques (Mâafa, Ain Tellout, Tircine, Theniet El Had, Tadjmout) et de bien montrer sa valeur médicinale comme agent antimicrobien.

Ce travail regroupe une description générale des sites, une analyse de la variabilité morphologique de vingt (20) paramètres quantitatifs et qualitatifs, puis une analyse anatomique de la feuille et ses caractéristiques micro-morphologiques (cellules épidermiques, stomates, trichomes) en se basant sur l'impact de plusieurs conditions de milieu. Ainsi l'étude de la variabilité génétique inter et intra sites a été faite par l'analyse de l'ADN polymorphe amplifié de manière aléatoire (RAPD). Pour connaître la variabilité biochimique, une extraction des composés via des solvants de polarité différente suivie par une Chromatographie sur Couche Mince et une Chromatographie en phase Gazeuse couplée au Spectre de Masse-GCMS (analyse des terpénoïdes) a été réalisée. Finalement, la valorisation de cette espèce par *via* l'approche de docking moléculaire a été réalisée à l'aide du logiciel AutoDock Vina afin de déterminer le pouvoir antiviral, antibactérien et antifongique des composés terpénoïdes du *Pistacia atlantica*.

Les résultats obtenus montrent clairement que les peuplements étudiés comportent une forte variabilité dendrométrique de l'arbre intra et inter-peuplement, une hétérogénéité dans les paramètres de la feuille et une variabilité des paramètres du fruit par les facteurs de milieu (exposition, concurrence, altitude et sùrpaturage) et ainsi que les trois paramètres de la feuille (Largeur de foliole terminale, couleur de feuille, et la largeur de pétiole), la longueur de fruit basal varie aussi par le changement du sol, de la densité et du bioclimat. Les résultats du microscope électronique à balayage de l'anatomie de la feuille montrent l'existence d'une large variabilité micro-morphologique de cette dernière, où la variabilité des cellules épidermiques est due au changement de l'étage bioclimatique et la pente, ainsi que la variabilité de la largeur des stomates due à la variation altitudinale. Les résultats de la diversité génétique intra et inter sites était considérablement plus large à Theniet El Had et à Tadjmout, faible à Ain Tellout mais aucune diversité distinguée à Tircine. Les résultats de la variabilité biochimique des deux sites Tadjmout et Theniet El Had montrent qu'il existe une variabilité très remarquable. Ainsi les résultats de l'analyse GCMS montrent sa richesse en terpénoïdes ; 43 composants identifiés et 09 composants non identifiés. Concernant les résultats du docking moléculaire indiquent plusieurs composants terpénoïdes ont un potentiel antiviral (vis-à-vis du SARS-CoV-2), antibactérien (vis-à-vis *Staphylococcus aureus* MRSA, et *Pseudomonas aeruginosa*) et antifongique (vis-à-vis *Aspergillus niger*, et *Candida albicans*). Néanmoins, des investigations supplémentaires sont nécessaires pour développer et optimiser le processus médicamenteux.

**Mots clés:** pistachier de l'Atlas; morphologie; micromorphologie, variabilité génétique, variabilité biochimique, impact de milieu, docking.

# Study of the biological variability of the Atlas Pistachio (*Pistacia atlantica* Desf) in Algeria

## Abstract

*Pistacia atlantica* has many medicinal, pharmaceutical and economical interests. Its Variability represents its evolutionary potential. Has an ecological amplitude and a remarkable plasticity. This study is better to understand the morphological, micro-morphological, genetic and biochemical variability in the best population in Algeria in the different ecological regions (Mâafa, Ain Tellout, Tircine, Theniet El Had, and Tadjmout) and to show its medicinal value as an antimicrobial agent.

This work includes a general description of the sites, an analysis of the morphological variability of twenty (20) quantitative and qualitative parameters, then an anatomical analysis of the leaf and its micro-morphological characteristics (epidermal cells, stomata, and trichome) based on the impact of several environmental conditions. Thus, the study of inter- and intra-sites genetic variability was carried out by analyze of random amplified polymorphic DNA (RAPD). To determine the biochemical variability, extraction of the compounds via solvents of different polarity followed by Thin Layer Chromatography and Gas Chromatography coupled to Mass Spectrum-GCMS- (terpenoid analysis) was performed. Finally, the valuation of this species via the molecular docking approach was carried out using AutoDock Vina software in order to determine the antiviral, antibacterial and antifungal power of the terpenoids compounds of *Pistacia atlantica*.

The results obtained clearly show that the populations studied have a high dendrometric variability inter- and intra-population, a heterogeneity in the parameters of the leaf and a variability of the parameters of the nut by environmental factors (exposure, competition, altitude and grazing) and as well as the three leafs parameters (Terminal leaflet width, leaf color, and petiole width) and basal nut length also varies by change in soil, density and bioclimatic. The results of scanning electron microscope of the anatomy of the leaf show the existence of a wide micro-morphological variability, where the variability of epidermal cells is due to the change of the bioclimatic stage and the slope, and of the width of stomata due to the altitudinal variation. Thus the results of intra- and inter-site genetic diversity were considerably stronger at Theniet El Had and Tadjmout, weak at Ain Tellout and no distinguished diversity at Tircine. The results of the biochemical variability of the two sites Tadjmout and Theniet El Had show that there is a very remarkable variability. Also the results of the GCMS analysis show its richness in terpenoids; 43 identified components and 09 unidentified components. Regarding the results of molecular docking indicate that several terpenoids components have antiviral (against SARS-CoV-2), antibacterial (against *Staphylococcus aureus* MRSA, and *Pseudomonas aeruginosa*) and antifungal (against *Aspergillus niger*, and *Candida albicans*). However, further investigation is needed to develop and optimize the drug process.

**Keywords:** *Pistacia atlantica*; morphology; micro-morphology; genetic variability; biochemical variability; environmental impact; docking.

# دراسة التباين البيولوجي الفستق الأطلسي في الجزائر

## الملخص

لشجرة الفستق الأطلسي العديد من المنافع الطبية والصيدلانية والاقتصادية. يمثل تنوعها إمكانياتها التطورية. لها مكانة بيئية و قدرة ملحوظة على التكيف. هذه الدراسة تهدف الى فهم التنوع المورفولوجي ، المايكرومورفولوجي ، الوراثي و البيوكيميائي في أفضل مستوطنة للفستق الأطلسي في الجزائر في المناطق البيئية المختلفة (المعافة، عين تالوت ، ترسين ، ثنية الحد ، تاجموت) واطهار قيمتها الطبية كمضادة للميكروبات.

يتضمن هذا العمل وصفًا عامًا للمناطق التي تمت فيها الدراسة ، ودراسة التباين المورفولوجي لعشرين (20) بعد كمي ونوعي، ثم الدراسة التشريحية للورقة وخصائصها المايكرومورفولوجي الدقيقة (خلايا البشرة ، والثغور والتركيب) بناءً على تأثير العديد من الظروف البيئية. وكذا تم إجراء دراسة التباين الجيني داخل المنطقة وبين المناطق المدروسة عن طريق تحليل الحمض النووي متعدد الأشكال المضخم عشوائياً. و ايضا التحديد التباين الكيميائي الحيوي ، اين تم إجراء استخلاص المركبات عن طريق المذيبات ذات القطبية المختلفة متبوعة بالكروماتوغرافيا ذات الطبقة الرقيقة واللوني الغازي المقترن بالطيف الكتلي من اجل تحليل الترينويدات. أخيراً تم ابراز قيمة هذا النوع من الشجار بواسطة نهج الالتحام الجزئي باستخدام برنامج اوتودوكينغ فينا من أجل تحديد قوته المضادة للفيروسات ، للبكتيريا و للفطريات بالمركبات الترينويدات المتواجدة في الفستق الأطلسي .

أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن الاجزاء المدروسة للشجرة لها تنوع كبير في طول و محيط الشجرة داخل وبين المنطقة ، عدم تجانس في اجزاء الورقة وتنوع اجزاء الثمرة حسب اختلاف العوامل البيئية (التعرض لاشعة الشمس ، المنافسة ، الارتفاع ، والرعي ) بالإضافة إلى اجزاء الأوراق الثلاث (عرض الورقة الطرفية ، لون الورقة ، عرض السويقة) وطول الثمار القاعدية تختلف أيضاً باختلاف التربة والكثافة والمناخ. ايضا تظهر نتائج مسح المجهر الإلكتروني لتشريح الورقة وجود تباين المايكرومورفولوجي كبير و دقيق ، حيث يرجع التباين في خلايا الورقة إلى تغير المناخ الحيوي والانحدار ، حيث ان عرض الثغور سببه اختلاف الارتفاع. وكذا كانت نتائج التنوع الجيني داخل وبين المناطق التي تم الدراسة فيها كبير و بشكل ملحوظ في ثنية الحد و تاجموت ، وضعيفة في عين تالوت وانعدام التنوع في منطقة ترسين. تظهر نتائج ايضا التباين البيوكيميائي اين يوجد هناك في منطقتي تاجموت و ثنية الحد تبايناً ملحوظاً للغاية. كما تظهر نتائج تحليل الكروماتوغرافي ثرائها بالترينويدات ؛ 43 مكوناً محددًا و 09 مكونات غير محددة. فيما يتعلق بنتائج الالتحام الجزئي ، تشير إلى أن العديد من مكونات الترينويدات تحتوي على مضاد للفيروسات (ضد الكوفيد 19 )، ومضاد للبكتيريا (ضد ستافيلوكوكيس اوغيبوس ، وبسودوموناس ايروجينوز) ومضاد للفطريات ( ضد كانديدا البيكانس و اسبارجليس نيجار). لذا يجب المزيد من الدراسة المعمقة و التكثيف من الجهود للوصول الى غرض طبي.

**كلمات مفتاحية:** فستق أطلسي؛ المورفولوجيا؛ ماکرومورفولوجيا ، التباين الجيني ، التباين الكيميائي الحيوي ، التأثير البيئي ، الالتحام .

## Liste des tableaux

<b>Tableau I.1.1:</b> Régime saisonnier des précipitations des cinq sites.....	13
<b>Tableau I.1.2 :</b> Indice de De Martonne pour les cinq sites.....	16
<b>Tableau I.1.3 :</b> Quotient pluviothermique pour les cinq sites.....	17
<b>Tableau I.2.1:</b> Matrice des composantes.....	20
<b>Tableau I.2.2 :</b> Caractéristiques des sites d'étude.....	22
<b>Tableau I.2.3 :</b> L'état sanitaire des arbres étudiés.....	23
<b>Tableau II.3.1 :</b> Dendrométrie de l'arbre.....	40
<b>Tableau II.3.2 :</b> Corrélation entre les paramètres dendrométriques de l'arbre et les axes factoriels.....	41
<b>Tableau II.3.3 :</b> Paramètres morphologiques de la feuille.....	41
<b>Tableau II.3.4 :</b> Corrélation entre les paramètres morphologiques de la feuille et les axes factoriels.....	42
<b>Tableau II.3.5 :</b> Paramètres morphologiques du fruit.....	49
<b>Tableau II.3.6 :</b> Corrélation entre les paramètres morphologiques du fruit et les axes factoriels.....	49
<b>Tableau II.3.7 :</b> Biométrie micromorphologique de la feuille.....	55
<b>Tableau II.3.8 :</b> Corrélation entre la micromorphologie et les facteurs de milieu.....	55
<b>Tableau II.3.9 :</b> Indice stomatique et indice de trichome.....	63
<b>Tableau III.2.1 :</b> Marqueurs RAPD utilisés dans l'étude (Université de Trakya-Turquie).....	77
<b>Tableau IV.3.1 :</b> Analyses qualitatives et les rapports frontaux des extraits issus des arbres.....	89
<b>Tableau IV.3.2 :</b> Les composés des terpénoïdes du pistachier de l'Atlas.....	91
<b>Tableau V.3.1 :</b> Interactions des molécules de terpénoïdes <i>Pistacia atlantica</i> avec la protéase principale SARS-CoV-2.....	103
<b>Tableau V.3.2 :</b> Interactions des molécules de terpénoïdes <i>Pistacia atlantica</i> avec <i>Aspergillus flavus</i> .....	107
<b>Tableau V.3.3 :</b> Interactions des molécules de terpénoïdes <i>Pistacia atlantica</i> avec <i>Candida albicans</i> .....	109
<b>Tableau V.3.4 :</b> Interactions des molécules de terpénoïdes <i>Pistacia atlantica</i> avec <i>Staphylococcus aureus</i> .....	111
<b>Tableau V.3.5 :</b> Interactions des molécules de terpénoïdes <i>Pistacia atlantica</i> avec <i>Pseudomonas aeruginosa</i> .....	113

## Liste des figures

<b>Figure I.1.1</b> : Répartition du pistachier de l'Atlas dans toutes les wilayas d'Algérie.....	3
<b>Figure I.1.2</b> : Localisation des sites d'étude.....	4
<b>Figure I.1.3</b> : Cartes topographiques de Mâafa.....	6
<b>Figure I.1.4</b> : Cartes topographiques de Tadjmout.....	7
<b>Figure I.1.5</b> : Cartes topographiques de Theniet El Had.....	8
<b>Figure I.1.6</b> : Cartes topographiques de Tircine.....	9
<b>Figure I.1.7</b> : Cartes topographiques d'Ain Tellout.....	10
<b>Figure I.1.8</b> : Répartition moyenne mensuelle des précipitations dans les cinq sites étudiés.....	12
<b>Figure I.1.9</b> : Température moyenne mensuelle dans les cinq sites étudiés.....	13
<b>Figure I.1.10</b> : Diagramme ombrothermique .....	15
<b>Figure I.1.11</b> : Climagramme pluviométrique d'Emberger des cinq sites d'étude.....	18
<b>Figure I.2.1</b> : Résultats d'une analyse en composantes principales.....	21
<b>Figure II.1.1</b> : Arbre du pistachier de l'Atlas.....	26
<b>Figure II.1.2</b> : Feuilles du pistachier de l'Atlas.....	27
<b>Figure II.1.3</b> : Fleurs du pistachier de l'Atlas (A : fleur male, B : fleur femelle).....	28
<b>Figure II.1.4</b> : Fruits du pistachier de l'Atlas.....	29
<b>Figure II.1.5</b> : Graines du Pistachier de l'Atlas.....	29
<b>Figure II.1.6</b> : Système racinaire du Pistachier de l'Atlas.....	30
<b>Figure II.1.7</b> : Tronc du pistachier de l'Atlas.....	30
<b>Figure II.1.8</b> : Aire naturelle du Pistachier de l'Atlas .....	33
<b>Figure II.2.1</b> : Schéma de la feuille du Pistacia atlantica.....	36
<b>Figure II.2.1</b> : Schéma de fruit du Pistacia atlantica.....	37
<b>Figure II.3.1</b> : La distribution de la moyenne des hauteurs des arbres.....	39
<b>Figure II.3.2</b> : La distribution de la moyenne des circonférences des arbres.....	40
<b>Figure II.3.3</b> : La distribution de la moyenne des longueurs des feuilles.....	42
<b>Figure II.3.4</b> : La distribution de la moyenne des largeurs des feuilles.....	43
<b>Figure II.3.5</b> : La distribution de la moyenne des longueurs des pétioles.....	44
<b>Figure II.3.6</b> : La distribution de la moyenne des largeurs des pétioles.....	44
<b>Figure II.3.7</b> : La distribution de la moyenne des longueurs des folioles basales.....	45
<b>Figure II.3.8</b> : La distribution de la moyenne des largeurs des folioles basales.....	46
<b>Figure II.3.9</b> : La distribution de la moyenne des longueurs des folioles terminales.....	46
<b>Figure II.3.10</b> : La distribution de la moyenne des largeurs des folioles terminales.....	47
<b>Figure II.3.11</b> : La moyenne des couleurs des feuilles.....	48
<b>Figure II.3.12</b> : La distribution de la moyenne du nombre de folioles.....	47
<b>Figure II.3.13</b> : La distribution de la moyenne des longueurs des grappes du fruit.....	50
<b>Figure II.3.14</b> : La distribution de la moyenne du nombre des fruits.....	51
<b>Figure II.3.15</b> : La distribution de la moyenne des longueurs des pédoncules.....	51
<b>Figure II.3.16</b> : La distribution de la moyenne des largeurs des pédoncules.....	52
<b>Figure II.3.17</b> : La distribution de la moyenne des longueurs des fruits terminaux.....	53
<b>Figure II.3.18</b> : La distribution de la moyenne des largeurs des fruits terminaux.....	53
<b>Figure II.3.19</b> : La distribution de la moyenne des longueurs des fruits basaux.....	54
<b>Figure II.3.20</b> : La distribution de la moyenne des largeurs des fruits basaux.....	55
<b>Figure II.3.21</b> : Photos de la feuille du pistachier de l'Atlas sous le microscope électronique à balayage montrant les cellules épidermiques, les stomates, les trichomes, appareils conducteurs :(A) Tircine, (B) Tadjmout, (C) Ain Tellout, (D) Theniet El Had. Gradissement X500.....	56
<b>Figure II.3.22</b> : Photos de la feuille du pistachier de l'Atlas sous le microscope électronique à balayage montrant les cellules épidermiques, les stomates, les trichomes, appareils conducteurs :(A) Tircine, (B) Tadjmout, (C) Ain Tellout, (D) Theniet El Had. Gradissement X1000.....	57

<b>Figure II.3.23</b> : Moyenne des longueurs des cellules épidermiques.....	58
<b>Figure II.3.24</b> : Moyenne des largeurs des cellules épidermiques.....	59
<b>Figure II.3.25</b> : Moyenne des longueurs des stomates.....	60
<b>Figure II.3.26</b> : Moyenne des largeurs des stomates.....	62
<b>Figure II.3.27</b> : Moyenne des longueurs des trichomes.....	62
<b>Figure II.3.28</b> : Moyenne des largeurs des trichomes.....	61
<b>Figure III.1.1</b> : Différents niveaux de la diversité biologique, les gènes aux communautés (ONF, 2004).....	70
<b>Figure III.3.1</b> : RAPD de génotype <i>Pistacia atlantica</i> utilisant le primer : ADN Sentromer. La taille des fragments de la paire de bases sont 1000 pb. (Tircine « TI », Ain Tellout « AT », Theniet El Had « TH », Tadjmout « TD », Arbre « A »).....	79
<b>Figure III.3.2</b> : Classes des arbres (Tircine « TI », Ain Tellout « AT », Theniet El Had « TH », Tadjmout « TD », Arbre « A »).....	80
<b>Figure IV.3.1</b> : Résultats de la CCM. <b>A</b> :TD.A2 eau , TH.A3 eau,TH.A2 eau (système : hexane, diether ethyle) ; <b>B</b> : TH.A3 butanol, TD.A3 eau, TD.A3 butanol, TH.A2 (système : hexane, acétate d'éthyle) ; <b>C</b> : TH.A1methanol, TH.A2 methanol, TH.A3 methanol (système: chloroforme, diethyle d'éther) ; <b>D</b> : TD.A3 methanol, TD.A1 methanol (système : hexane, diether ethyl, acide acétique) .....	90
<b>Figure IV.3.2</b> : Spectre de l'analyse GCMS.....	93
<b>Figure V.1.1</b> : Conception d'un logiciel de Docking .....	97
<b>Figure V.1.2</b> : Intéraction ligand-protéine .....	97
<b>Figure V.1.3</b> : Intéraction protéine-protéine .....	98
<b>Figure V.3.1</b> : 3D structure de 2019-nCoV .....	103
<b>Figure V.3.2</b> : Liaison avec les ligands principaux (Cubebol, Sapathuléol: vert, Camphène: Bleu, Cedr: Jaune, $\alpha$ -Eudesmol : Magenta, $\alpha$ -Muurolol : Cyan, Salvial : Orange, Germacrene D : Blanc.....	104
<b>Figure V.3.3</b> : Liaison avec les ligands. (Elemol : Rouge, Verbenol : Vert, Myrtenal : Bleu, Myrtenol : Jaune).....	104
<b>Figure V.3.4</b> : Vue 2 D de la conformation de liaison de l'interaction des ligands avec la protéase principale SARS-CoV-2.....	105
<b>Figure V.3.5</b> : Vue 2 D de la conformation de liaison de l'interaction des ligands avec la protéase principale SARS-CoV-2 (suite).....	106
<b>Figure V.3.6</b> : Structure 3D d' <i>Aspergillus flavus</i> .....	107
<b>Figure V.3.7</b> : Vue 2 D de la conformation de liaison de l'interaction des ligands avec <i>Aspergillus flavus</i> .....	108
<b>Figure V.3.8</b> : Structure 3D du <i>Candida albicans</i> .....	109
<b>Figure V.3.9</b> : Vue 2 D de la conformation de liaison de l'interaction des ligands avec <i>Candida albicans</i> .....	110
<b>Figure V.3.10</b> : Structure 3D du <i>Staphylococcus aureus</i> .....	111
<b>Figure V.3.11</b> : Vue 2 D de la conformation de liaison de l'interaction des ligands avec <i>Staphylococcus aureus</i> .....	112
<b>Figure V.3.12</b> : Structure 3 D <i>Pseudomonas aeruginosa</i> .....	113
<b>Figure V.3.13</b> : Vue 2 D de la conformation de liaison de l'interaction des ligands avec <i>Pseudomonas aeruginosa</i> .....	113

## Liste des abréviations

USA	United states of america
J.C	Jésus-christ
N	Chromosome
M	Mètre
Cm	Centimètre
Mg	Microgramme
G	Gramme
%	Pourcentage
Mm	Millimètre
°C	Degré celsius
FAO	Organisation Des Nations Unies Pour l'alimentation Et l'agriculture
ONF	Office national des forets
√	Racine
=	Egale
/	Sur
PCR	Polymerase chain reaction (réaction de polymérisation en chaîne)
ADN	Acide d' désoxyribonucléique
ARN <sub>m</sub>	Acide ribonucléique messenger
Km <sup>2</sup>	Kilomètre carré
Km	Kilomètre
Ha	Hectare
D.P .A .T	Direction De Planification Et d'amenagement Du Territoire
SATEC	Societe d'assistance Technique, d'etudes De La Construction Et d'ingenierie
G	Surface terrière
Cl	Classe
Mg	Milligramme
MI	Microlitre
(Tris-Hcl)	Tris, hydrochloride
mM	Milimolaire
EDTA	Éthylène diamine tétra acétique
Nacl	Clorure de sodium
CTAB	Cetyl tri methylammonium bromide
PVP	La poly vinyl pyrrolidone
Rpm	Revolutions per minute
NH <sub>4</sub>	Ammonium
SO <sub>4</sub>	Sulfate
PH	Potentiel hydrogène
Mgcl <sub>2</sub>	Le chlorure de magnésium
DNTP	Désoxyribo nucléoside triphosphate
Ng	Nanogramme
H <sub>2</sub> O	Eau
S	Seconde
BET	Bromure ethidium
UV	Ultra viloet
G	Groupe
Ø	Diamètre

µm	Micromètre
L.F	Longueur de feuille
LA.F	Largeur de feuille
L.P	Longueur de pétiole
LA.P	Largeur de pétiole
L.FO.B	Longueur de foliole basale
LA.FO.B	Largeur de foliole basale
L.FO.T	Longueur de foliole terminale
LA.FO.T	Largeur de foliole terminale
L.G	Longueur de grappe
N.Fr	Nombre de fruit
L.Pe	Longueur de pédoncule
LA.Pe	Largeur de pédoncule
L.Fr.T	Longueur de fruit terminal
LA.Fr.T	Largeur de fruit terminal
L.Fr.B	Longueur de fruit basal
LA.Fr.B	Largeur de fruit basal
A	Arbre
TD	Tadjmout
TH	Theniet El Had
TI	Tircine
AT	Ain Tellout
Cas N	Case du numéro
Pb	Paire de bases

## Table des matières

Résumé	
Abstract	
المخلص	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des abréviations	
Préambule	
Article	
Introduction générale.....	1
<b>Partie I : Présentation des sites d'étude</b>	
<b>Chapitre 1 : Etude de milieu.....</b>	<b>3</b>
1- Identification des sites d'étude .....	3
2- Répartition du pistachier de l'Atlas en Algérie .....	3
3- Situation géographique .....	4
4- Géologie.....	4
5- Topographie.....	5
6- Pédologie .....	10
7- Etude bioclimatique.....	11
7-1- Précipitation.....	11
➤ Régime saisonnier.....	12
7-2- Température .....	13
7-3- Synthèse bioclimatique.....	14
7-3-1- Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gaussen (1953).....	14
7-3-2- Indice d'aridité de De Martonne.....	16
7-3-3- Quotient pluviothermique et climagramme d'Emberger.....	16
<b>Chapitre 2 : Prospection de terrain.....</b>	<b>19</b>
1- Techniques de témoignage de la variabilité.....	19
1-1- Variabilité interpeuplement.....	19
1-2- Variabilité intrapeuplement .....	19
2- Echantillonnage .....	19
3- Description des sites, des peuplements et des arbres étudiés.....	20
3-1- Méthodologie.....	20
3-2- Résultats.....	21
3-2-1- Description des sites par Analyse en Composante Principale « ACP ».....	21
3-2-2- Description des peuplements étudiés.....	22
3-2-3- Description générale des arbres sélectionnés.....	24
<b>Partie II : Etude de la variabilité morphologique et la variabilité micro-morphologique de la feuille</b>	
<b>Chapitre 1 : Description de l'espèce.....</b>	<b>25</b>
Introduction.....	25
1- Morphologie.....	26
1-1- Présentation du pistachier de l'Atlas .....	26
1-2- Description de l'espèce.....	26

1-3- Systématique du pistachier de l'Atlas .....	26
2- Caractères botaniques.....	27
2-1- Feuilles.....	27
2-2- Fleurs.....	27
2-3- Fruits.....	28
2-4- Graines.....	29
2-5- Système racinaire .....	30
2-6- Bois.....	30
2-7- Ecorce.....	31
2-8- Résine.....	31
2-9- Samaq.....	31
3- Caractéristiques écologiques .....	31
3-1- Exigences climatiques .....	31
3-1-1- Pluviométrie.....	31
3-1-2- Température.....	31
3-1-3- Exigences édaphiques.....	32
3-1-4- Altitude.....	32
4- Répartition géographique.....	32
5- Association du Pistachier de l'Atlas .....	33
6- La reproduction du Pistachier de l'Atlas.....	34
7- Intérêt du Pistachier de l'Atlas.....	34
<b>Chapitre 2 : Matériels et méthodes.....</b>	<b>36</b>
1- Mesures dendrométriques .....	36
2- Biométrie des feuilles .....	36
3- Biométrie des fruits .....	36
4- Biométrie de la micromorphologie de la feuille .....	36
5- Analyse statistique .....	37
<b>Chapitre 3 : Résultats et discussion.....</b>	<b>38</b>
❖ Résultats et interprétations .....	38
1- Paramètres dendrométriques de l'arbre .....	38
1-1- Hauteur de l'arbre.....	38
1-2- Circonférence.....	39
2- Paramètres morphologiques de la feuille .....	40
2-1- Longueur de feuille.....	41
2-2- Largeur de feuille.....	42
2-3- Longueur de pétiole.....	42
2-4- Largeur de pétiole .....	43
2-5- Longueur de foliole basale.....	44
2-6- Largeur de foliole basale .....	44
2-7- Longueur de foliole terminale .....	45
2-8- Largeur de la foliole terminale .....	46
2-9- Couleur de la feuille.....	46
2-10- Nombre de foliole .....	47
3- Paramètres morphologiques du fruit .....	48
3-1- Longueur des grappes .....	48
3-2- Nombre de fruits .....	49
3-3- Longueur de pédoncule .....	50

3-4- Largeur de pédoncule .....	51
3-5- Longueur du fruit terminal .....	51
3-6- Largeur du fruit terminal .....	52
3-7- Longueur du fruit basal .....	53
3-8- Largeur du fruit basal .....	53
4- Paramètres micromorphologiques de la feuille.....	54
4-1- Cellule Epidermique.....	57
4-1-1- <i>Longueur de la cellule épidermique</i> .....	57
4-1-2- <i>Largeur de la cellule épidermique</i> .....	58
4-2- Stomate.....	58
4-2-1- <i>Longueur de stomate</i> .....	59
4-2-2- <i>Largeur de stomate</i> .....	59
4-3- Trichome.....	60
4-3-1- <i>Longueur de trichome</i> .....	60
4-3-2- <i>Largeur de trichome</i> .....	61
4-4- Indice stomatique et indice de trichome.....	62
4-5- Cire .....	62
4-6- Appareil conducteur.....	62
❖ Discussion .....	62

### **Partie III : Etude de la variabilité génétique**

<b>Chapitre 1 : Notion de la génétique.....</b>	<b>67</b>
1- Origine et intérêt de l'étude de la diversité génétique.....	67
2- Notion de l'espèce.....	67
3- Notion de caractère.....	68
4- Notion de la biodiversité .....	69
5- Perte de la biodiversité.....	69
6- Estimation de la biodiversité.....	69
7- Déterminisme des variations : Notion de polymorphisme .....	71
7-1- Déterminisme génétique.....	71
7-2- Déterminisme épigénétique.....	71
8- Diversité génétique et adaptation des espèces .....	72
9- Différentes sources de variabilité génétique.....	72
9-1- Mutation.....	72
9-2- Sélection.....	72
9-3- Dérivé génétique.....	73
10- Méthodes d'étude de la diversité moléculaire.....	73
10-1- Marqueur Restriction Fragment length polymorphism (RFLP) .....	73
10-2- Random Amplified Polymorphism DNA (RAPD).....	74
10-3- Amplified Fragment Length Polymorphism (AFLP).....	74
10-4- Inter Simple Sequence Repeat (ISSR).....	74
10-5- Inter Simple Sequence Repeat (SSR –Microsatellites).....	75
10-6- Single Nucleotide polymorphisme (SNP).....	75
11- Etudes antérieures de la génétique du pistachier de l'Atlas.....	75
<b>Chapitre 2 : Matériels et méthodes.....</b>	<b>76</b>
1- Extraction d'ADN.....	76
2- Analyse RAPD.....	76
<b>Chapitre 3 : Résultats et discussion.....</b>	<b>78</b>

❖ Résultats et interprétations.....	78
1- Analyse génétique (RAPD).....	78
❖ Discussion .....	81

## **Partie IV : Etude de la variabilité biochimique**

<b>Chapitre 1 : Notion de la biochimie.....</b>	<b>82</b>
Introduction.....	82
1- Métabolismes des végétaux .....	82
2- Analyses biochimiques .....	82
2-1-Extraction .....	83
2-1-1- <i>Enfleurage</i> .....	83
2-1-2- <i>Extraction par solvant</i> .....	83
2-1-3- <i>Extraction par hydro-distillation</i> .....	83
2-1-4- <i>Extraction des protéines</i> .....	83
2-1-5- <i>Extraction des acides nucléiques (Extraction d'ADN)</i> .....	83
2-2- Purification.....	83
2-2-1- <i>Filtration</i> .....	84
2-2-2- <i>Centrifugation</i> .....	84
2-2-3- <i>Chromatographie</i> .....	84
2-2-4- <i>Electrophorèse</i> .....	84
3- Etudes antérieures de la biochimie du pistachier de l'Atlas.....	85
<b>Chapitre 2 : Matériels et méthodes.....</b>	<b>86</b>
1- Extraction .....	86
2- Chromatographie sur couche mince (CCM) .....	86
3- Chromatographie en phase gazeuse couplée au spectre de masse (GCMS) .....	87
<b>Chapitre 3 : Résultats et discussion.....</b>	<b>88</b>
❖ Résultats et interprétations.....	88
1- Chromatographie sur couche mince (CCM) .....	88
2- Chromatographie en phase gazeuse couplée au spectre de masse (GCMS).....	91
❖ Discussion.....	94

## **Partie V : Valorisation du pistachier de l'Atlas via un outil bioinformatique**

<b>Chapitre 1 : Les vertus thérapeutiques du pistachier de l'Atlas et l'application des outils bioinformatiques « docking » .....</b>	<b>95</b>
1- Usage thérapeutique de <i>Pistacia atlantica</i> .....	95
1-1- Effets médicaux .....	95
1-2- Activités antimicrobiennes.....	96
2- Le processus de docking .....	96
2-1- Le docking ligand- protéine .....	97
2-2- Le docking protéine- protéine.....	98
<b>Chapitre 2 : Matériels et méthodes.....</b>	<b>99</b>
1- Choix des souches .....	99
1-1- Virus .....	99
1-2- Fongiques .....	99
1-2-1- <i>Une levure</i> .....	99

1-2-2- <i>Une moisissure</i> .....	100
<b>1-3- Bactéries</b> .....	100
1-3-1- <i>Bactérie à Gram positif</i> .....	100
1-3-2- <i>Bactérie à Gram négatif</i> .....	100
2- Docking moléculaire.....	100
<b>Chapitre 3 : Résultats et discussion</b> .....	102
❖ Résultats et interprétations.....	102
1- Terpénoïdes de <i>pistacia atlantica</i> Desf désignés comme antivirus « Anti SARS-CoV-2 »	102
2- Terpénoïdes de <i>Pistacia atlantica</i> Desf désignés comme antifongique « Anti <i>spergillus flavus</i> , anti <i>Candica albicans</i> ».....	107
2-1- Anti <i>Aspergillus flavus</i> .....	107
2-2- Anti <i>Candica albicans</i> .....	109
3- Terpénoïdes de <i>Pistacia atlantica</i> Desf désignés comme antibactérien « Anti <i>Staphylococcus aureus</i> , Anti <i>Pseudomonas aeruginosa</i> ».....	111
3-1- Anti <i>Staphylococcus aureus</i> .....	111
3-2- Anti <i>Pseudomonas aeruginosa</i> .....	113
❖ Discussion .....	114
<b>Conclusion générale</b> .....	115
<b>Références bibliographiques</b> .....	117

## Préambule

- Les échantillons ont été récoltés dans cinq wilayas, les sorties accomplies sous l'autorisation des conservations des forêts de (Batna, Tlemcen, Saida, Laghouat, Tissemsilt).
- Les travaux présentés dans cette thèse ont été réalisés au sein du laboratoire des ressources hydriques et environnement.
- Les analyses génétiques ont été faites au laboratoire de génétique et bioingénierie à Edirne- Turquie-.
- Les analyses biochimiques ont été faites à l'université de Tlemcen dans le laboratoire des antibiotiques antifongiques : physicochimie synthèse et activités biologiques (LABSAT) et dans le laboratoire de microbiologie appliquée à l'agro-alimentaire, au biomédical et à l'environnement.

### Communication orale

- Taib N, Si Tayeb T, Berber N, Bouchaour-Djabeur S, (2017) "La biodiversité physiologique du pistachier de l'Atlas face au changement du milieu" Septième colloque international sciences et environnement- Faculté des sciences de Bizerte Tunisie.

### Communications affichées

- Taib N, Si Tayeb (2019) « Effet des facteurs de milieu sur l'état sanitaire du pistachier de l'Atlas dans la région de Saida ». Journées d'étude sur la réhabilitation et valorisation des zones arides et semi arides et adaptation des techniques aux PNR pour son intégration à l'économie nationale- université Moulay Tahar- Saida-
- Taib N, Si Tayeb (2018) « Effet de l'environnement sur la morphologie de l'arbre cas du Pistachier de l'Atlas » 1<sup>er</sup> séminaire international de la sécurité alimentaire et le développement dans l'environnement semi aride, université Farhat Abbas – Sétif-
- Taib N, Si Tayeb (2018) « Effet des facteurs du milieu sur l'état sanitaire du Pistachier de l'Atlas dans la région de Laghouat », troisième colloque national sur la biodiversité en Algérie » Université Ben M'Hidi d'Oum El Bouaghi.
- Taib N, Berber N, Si Tayeb (2018) « Molecular Diversity of *pistacia atlantica* in Algeria using polymorphic microsatellite markers », troisième colloque national sur la biodiversité en Algérie » Université Ben M'Hidi d'Oum El Bouaghi.

- Taïb N, Si Tayeb (2018) « Etude biotechnologique du Pistachier de l'Atlas dans deux régions de bioclimat différent » congrès international : les rencontres de l'Agriculture et de la biologie (RAB). Université des frères Mentouri- Constantine-.
- Taïb N, Si Tayeb, Berber N (2018) « L'impact de milieu sur le développement et la production du pistachier de l'Atlas dans deux wilayas (Tissemsilt et Tlemcen). Séminaire national sur l'avenir de l'agriculture et la transformation des produits agricoles en Algérie- université Abou Bekr Belkaid- Tlemcen-.
- Taïb N, Berber N, Bouchaour-Djabeur S, Si Tayeb T (2018) “ Molecular characterization and differentiation of *pistachier atlantica* in Algéria using polymorphic microsatellite markers” Septième colloque international sciences et environnement- Faculté des sciences de Bizerte –Tunisie-.
- Taïb N, Si Tayeb T, Berber N, Bouchaour-Djabeur S, (2018) “Contribution à l'étude physiologique du pistachier de l'Atlas face au changement du milieu” VI<sup>ème</sup> congrès international de biotechnologie et valorisation des bio-ressources - ATBVBR- Tunisie-.
- Taïb N, Berber N, Bouchaour djabeur S, Si Tayeb T (2017) "Etude comparative de *pistacia atlantica* Desf en Algérie" dans le deuxième atelier international de gestion et d'amélioration génétique des ressources végétales et microbiennes (GRPM2017). Université Abou Bekr Belkaid- Tlemcen-.

## **Publications**

- Taïb Nadjat and Sitayeb Tayeb. 2020. Effect of environmental conditions on morphological variability of leaves and fruits of five populations of *Pistacia atlantica* Desf in North Algeria. Biodiv. Res. Conserv. 58: 1-12, 2020.
- Nadjat Taïb, Tayeb Sitayeb, Necmi Beşer and Nadia Aïssaoui. Micro-morphological leaf and molécular diversity of *Pistacia atlantica* in differentes écologique regions in algéria using Radam amplifié polymorphisme (RAPD) (en cours).
- Nadjat Taïb, Tayeb Sitayeb and Nadia Aïssaoui. Terpenoids of *Pistacia atlantica* Desf designated with molecular docking as inhibitors against the main protease SARS-CoV-2.

---

## Introduction générale

La position géographique et la variation bioclimatique en Algérie servent à créer une biodiversité perceptible de la flore et la faune. Le pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf) montre une rare plasticité pouvant attirer l'attention des spécialistes sur sa connaissance actuelle et son interaction avec différents milieux. Le pistachier de l'Atlas ou (Betoum) (*Pistacia atlantica* Desf., Anacardiaceae, Sapindales, Magnoliopsida) est décrit comme espèce puissante possédant une amplitude écologique, puisqu'on le rencontre à partir du Nord du Sahara jusqu'aux marges du bioclimat humide (**Quezel et Médail, 2003**). Indifférent à la nature du sol, le pistachier de l'Atlas tolère les vents forts et les longues périodes de sécheresse (**Boudy, 1950**).

En Algérie, les valeurs économiques, écologiques et même médicinales du pistachier de l'Atlas restent encore peu connues, bien que des études antérieures qualifient *Pistacia atlantica* Desf. comme une espèce précieuse, en raison des utilisations diverses de ses différentes parties (feuilles, écorce, fruits et galls), qui ont été traditionnellement utilisées pour plusieurs propriétés thérapeutiques (**Daget et Godron, 1974 ; Monjauze, 1980 ; Benhassaini et al., 2003 ; El Oualidi et al., 2004**). Cette espèce est aussi considérée comme une essence à la fois protectrice et productive (**Monjauze, 1967**). Les populations de la steppe l'utilisent notamment, à titre empirique, pour eux et leurs cheptels. Dans la partie orientale de la méditerranée, son utilisation est déjà considérable dans la production à usage médical, comme porte greffe dans la culture du pistachier vera et à la préservation des écosystèmes steppiques et arides.

Le pistachier de l'Atlas, comme tous les arbres, développe des changements morphologiques et des mécanismes physiologiques. Ces changements morphologiques permettent à l'espèce de s'adapter et survivre (**Trubat et al., 2006**). Les modifications micro-morphologiques au niveau des feuilles peuvent aussi survenir, en particulier la morphologie de l'épiderme et la densité des trichomes, sont des caractères de distinction entre les populations ainsi comme un moyen de discrimination et d'identification des espèces (**Agbagwa et Ndukwu, 2004 ; Kharazian, 2007**).

La variabilité génétique et biochimique de cette espèce constitue une étape essentielle pour assurer une bonne gestion durable de cette ressource biologique et préserver la biodiversité du pistachier de l'Atlas en Algérie qui est sous menace.

Afin de mieux valoriser ce patrimoine, notre étude s'est basée sur la variabilité morphologique, micromorphologie de la feuille, génétique et biochimique, dans les zones écologiques différentes qui présentent les meilleurs peuplements en Algérie (Batna « Mâafa » au bioclimat aride, Tlemcen « Ain Tellout » et Saida « Tircine » dans le bioclimat semi aride,

Tissemsilt « Theniet El Had » dans le bioclimat sub humide et Laghouat « Tadjmout ») localisé dans le bioclimat saharien, visant les facteurs de milieu qui contribuent cette variabilité. Comme on s'est basé aussi sur son intérêt antimicrobien. Cette thèse est présentée en cinq parties composées en chapitres.

Partie I (Présentation des sites d'étude) : Le premier chapitre « Etude de milieu » et le deuxième « Enquête sur terrain ».

Partie II (Etude de la variabilité morphologique et micro-morphologique de la feuille) : le premier chapitre « Description de l'espèce », le deuxième « Matériels et méthodes » et le troisième « Résultats et discussion ».

Partie III (Etude de la variabilité génétique) : le premier chapitre « Notion de la génétique », le deuxième « Matériels et méthodes » et le troisième « Résultats et discussion ».

Partie IV (Etude de la variabilité biochimique) : le premier chapitre « Notion de la biochimie », le deuxième « Matériels et méthodes » et le troisième « Résultats et discussion ».

Partie V (Valorisation du pistachier de l'Atlas *via* un outil bioinformatique) : le premier chapitre « Les vertus thérapeutiques du pistachier de l'atlas et application des outils bioinformatiques « docking », le deuxième « Matériels et méthodes » et le troisième « Résultats et discussion ».

# Partie I

## Présentation des sites d'étude

- **Chapitre 1 : Etude de milieu**
- **Chapitre 2 : Enquête sur terrain**

# Chapitre 1 : Etude de milieu

## 1- Identification des sites d'étude

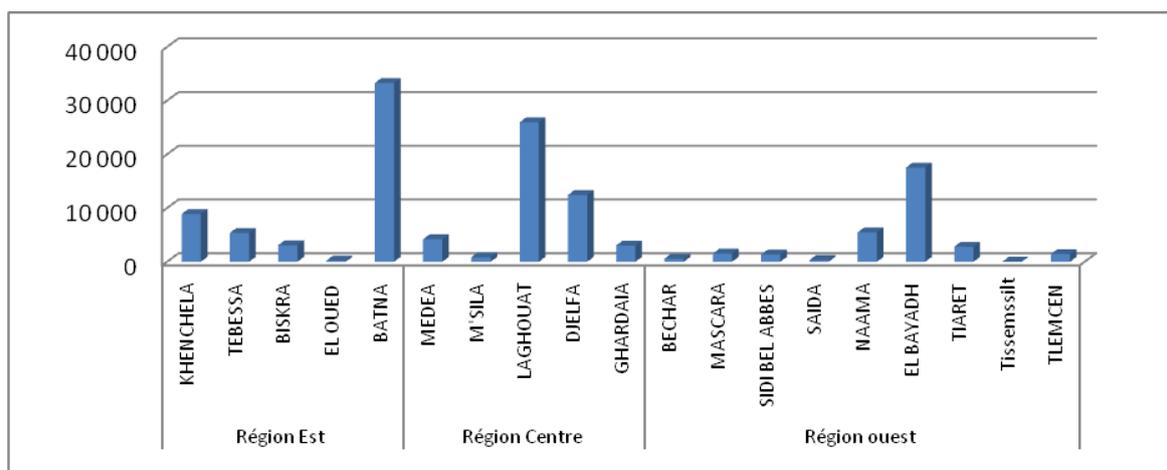
Le choix des sites étudiés s'est porté sur un espace géographique vaste, qui contient les meilleurs peuplements du pistachier de l'Atlas en Algérie indiqués à travers les études antérieures du pistachier de l'Atlas selon la direction générale des forêts (2016), et sur les milieux écologiques différents, suivant la zoning naturelle (Batna « Mâafa », Tlemcen « Ain Tellout », Saida « Tircine », Tissemsilt « Theniet El Had », Laghouat « Tadjmout »).

## 2- Répartition du pistachier de l'Atlas en Algérie

D'après la répartition du pistachier de l'Atlas en Algérie qui a été faite par la direction générale des forêts, 18 wilayas étaient identifiées et réparties en trois régions selon le découpage consacré :

- Région Ouest : Tlemcen, Sidi Bel Abbas, Mascara, Tiaret, Saida, Naâma, El Bayed, Bechar;
- Région centre : Médéa, M'sila, Djelfa, Laghouat, Ghardaia ;
- Région Est : Batna, Khenchela, Tebessa, Biskra, El Oued.

Après une actualisation de ces informations et des prospections de terrain, avec les conservations des forêts ; on a constaté l'existence du pistachier de l'Atlas à Tissemsilt (fig I.1.1).



**Figure I.1.1 :** Répartition du pistachier de l'Atlas dans toutes les wilayas d'Algérie.

### 3- Situation géographique

**Mâafa** est situé dans la limite sud de la wilaya de Batna, à environ 45 km au sud-ouest d'une superficie de 15 428 ha et de 2795 d'habitants.

**Tadjmout** est localisé à l'est de la wilaya de Laghouat d'une superficie de 620 km<sup>2</sup>, la population totale est estimée à 24 320 habitants.

**Theniet El Had** est situé sur le versant sud de l'Atlas tellien dans le prolongement du massif de l'Ouarchenis, il se trouve à 147 Km de la capitale « Alger » et une cinquantaine de kilomètres à l'est du chef-lieu de Tissemsilt, sa superficie est 3423.7 ha (**Loukkas, 2006**).

**Tircine** est situé dans la commune de Tircine loin du chef-lieu de la wilaya de saida, environ 40 Km.

**Ain Tellout** est localisé à 43 km du chef lieu de la wilaya de Tlemcen.



Figure I.1.2 : Localisation des sites d'étude (google Earth, 2020).

### 4- Géologie

**Mâafa** est caractérisée par des marnes bariolées rouges, quartz bipyramides, des bancs de gypse et des dolomites noires qui lui donnent un aspect particulier.

**Tadjmout** composée par deux formations : La formation de calcaires lumachelliques à la base constituée par une alternance de marnes grises et de calcaires bioclastiques à lamellibranches, surmontée par la formation des marnes à gypse inférieure au sommet constituée par des marnes à intercalations de bancs massifs de gypse.

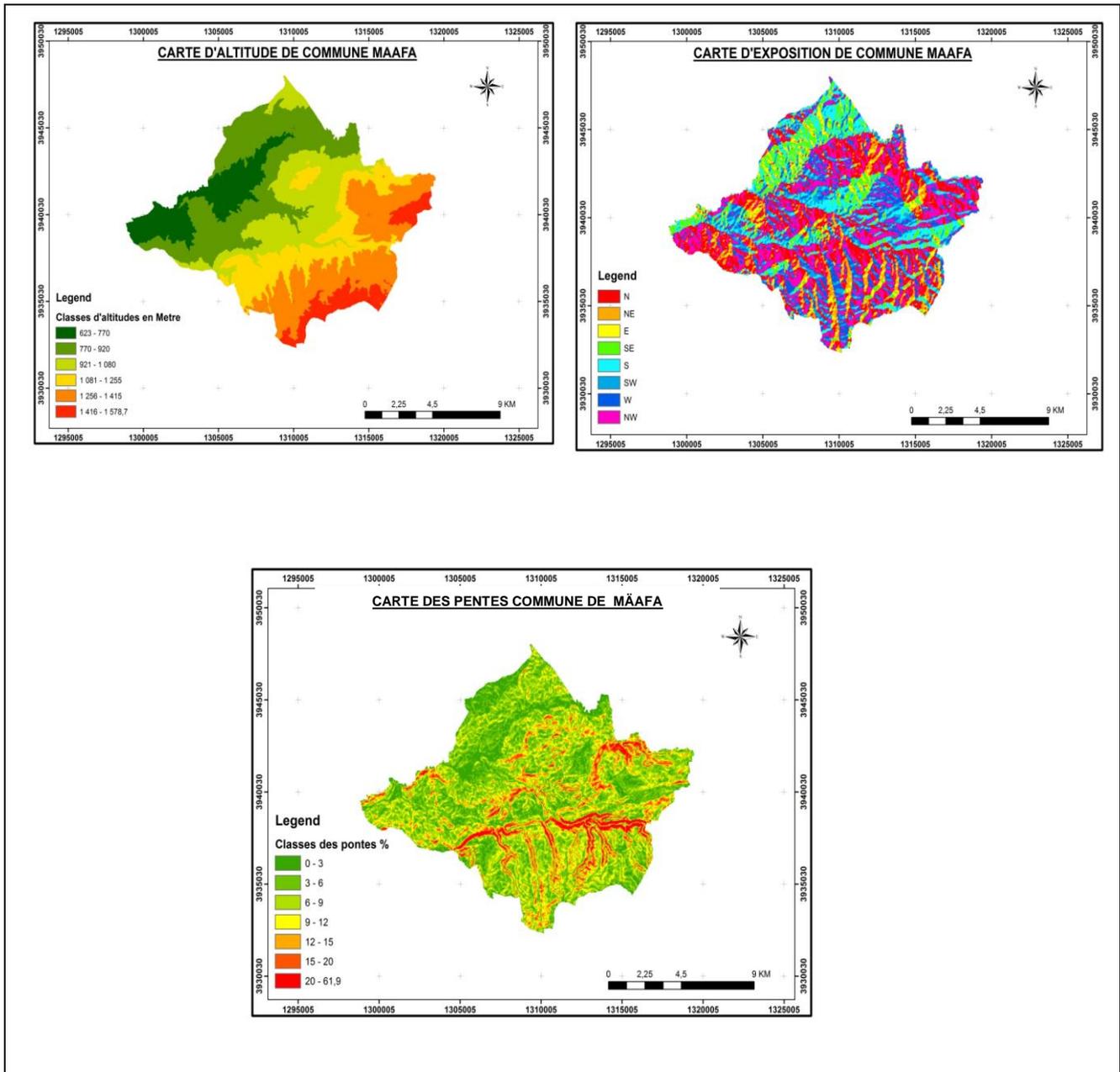
**Theniet El Had** possède des massifs rocheux situés surtout sur des crêtes, que ce soit sur le versant nord ou le versant sud.

**Tircine** les formations géologiques prédominantes sont les argiles, les calcaires et la formation argileux-sableuses. Ces formations sont diversifiées, chaque unité topographique est caractérisée par des formations d'âges et de structures différentes. La formation géologique de notre site d'étude est composée de terrains d'âges différents, les plus répandus sont des terrains jurassiques. Les dolomies du jurassique moyen et inférieur reposent sur le trias volcano détritique imperméable. Ces dolomies sont aquifères et surmontées de dépôts détritiques du callovo-oxfordien et miopliocene peu perméable. La tectonique cassante des dolomies a déterminé une Karstification intense, l'érosion a provoqué avant la Karstification la mise à nu de la dolomie pour décapage des terrains détritiques.

**Ain Tellout** a deux types de formations géographiques : Les marno-calcaires, formation développée au sommet de série carbonatée du jurassique supérieur, et marquant un passage du jurassique au crétacé, sa limite inférieure se place au mur des grés de Merchich, sa limite supérieure matérialisée par un toit d'une corniche de calcaire. Les argiles, correspondent au mésocrétacé à dominance argilo-gréseuse, nettement calcaire à son sommet. La limite inférieure se situe au toit de la dernière assise calcaire de maroncalcaire, quand à sa limite supérieure moins évidente que la dernière, se place à l'apparition du premier banc gréseux ou dolomitique de la formation de grés « Berthlot » (**Doumergue, 1969**).

## **5- Topographie**

**Mâafa** est composée d'une chaîne montagneuse accidentée répartie le long de la zone d'étude, la zone montagneuse est en générale d'une altitude de 1040 m, on note aussi la présence d'une zone plaines située entre les chaînes montagneuses. Ce site appartient au bassin versant du Chott Malghir, il comporte un oued nommé oued de Mâafa et six sources coulent le long de toute l'année.



**Figure I.1.3 :** Cartes topographiques de Maafa

**Tadjmout** présente une largeur réduite, elle correspond aux piémonts bas de l'Atlas saharien à la vallée de l'oued Djedi et Oued Atar. Des millions de mètres cubes alimentent les écoulements de surfaces mais aussi les inféoflux. Ces écoulements sont parfois exploités au niveau des barrages superficiels (Brézina) ou souterrains (Tadjmout) ou bien s'enfoncent vers le sud où ils pourront rejoindre en bordure du Grand Erg Occidental des zones d'épandage associées à des dômes piézométriques qui traduisent la réalimentation de la nappe par les eaux d'infiltration.

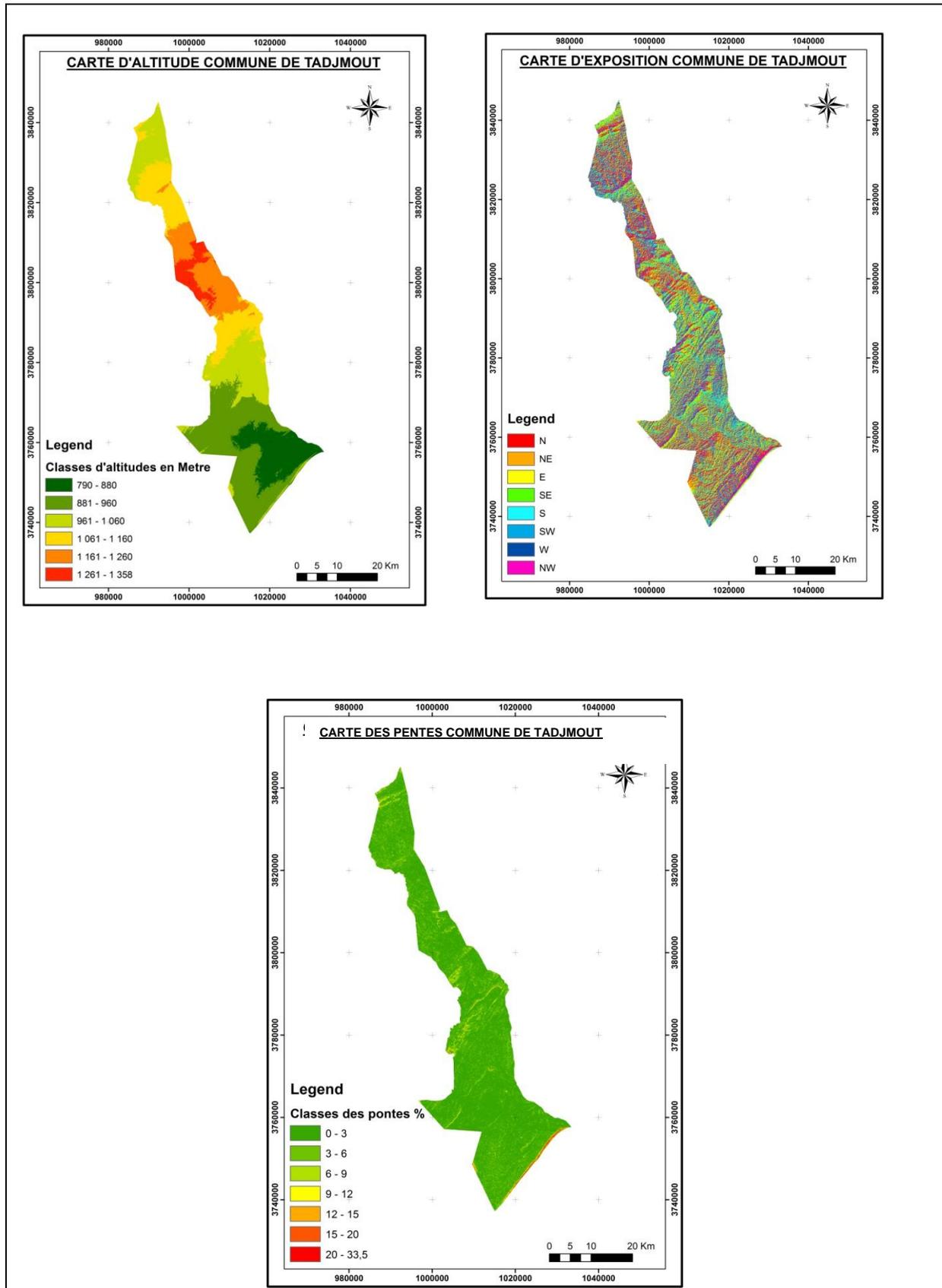
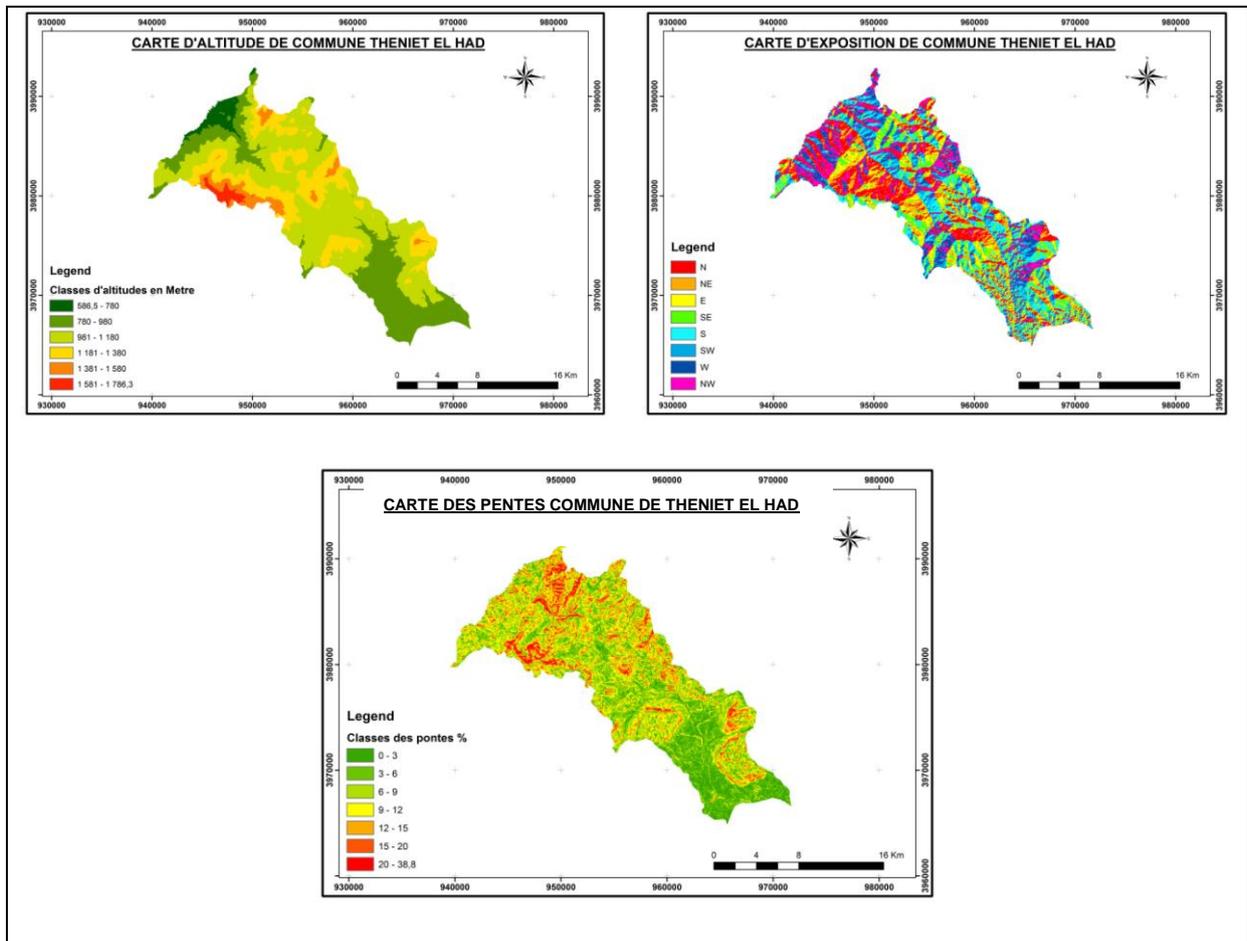


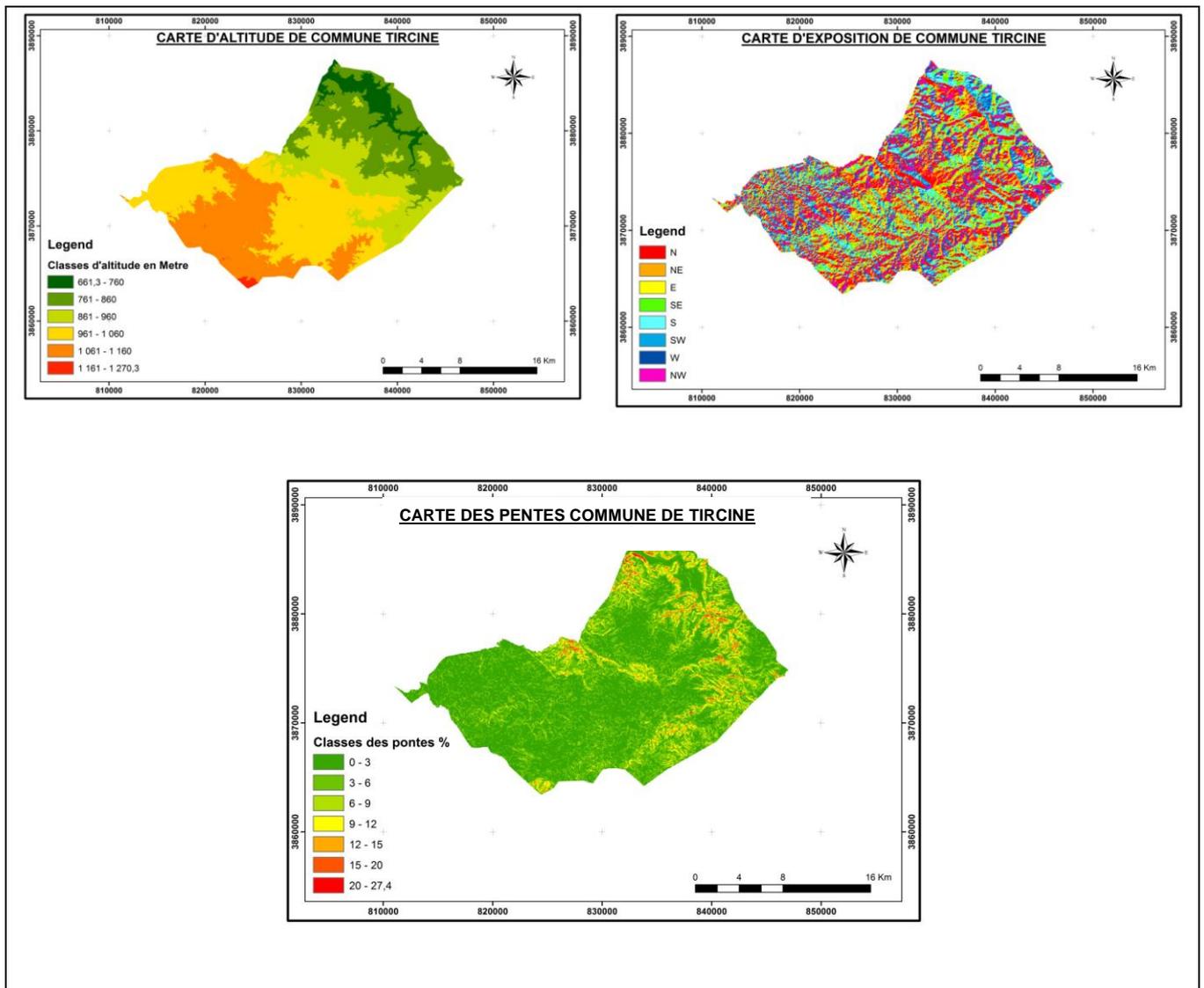
Figure I.1.4 : Cartes topographiques de Tadjmout.

**Theniet el had** est caractérisée par la présence de deux principaux versants: un versant nord très abrupt avec des pentes fortes et un versant sud où le relief est moins accidenté. **Loukkas (2006)**, ajoute un troisième versant, celui de l'ouest. Mais la superficie de ce dernier est moins importante. La crête principale culmine à 1787 m au lieu-dit "Ras-el-Braret", elle présente la ligne de partage des cantons. L'altitude du point le moins élevé est de 862 m et environ 56% de la superficie totale, elle est d'une pente comprise entre 2% et 35%.



**Figure I.1.5** : Cartes topographiques de Theniet El Had.

**Tircine** la majorité de l'espace est constituée de collines, elles occupent plus de 50% de la superficie totale, caractérisée par des pentes douces dénudées en amont et plus épaisses en aval. L'érosion hydrique et éolienne, sont très importantes. Tircine se trouve bordée dans ses parties nord-est et sud par des petites chaînes montagneuses marquées par Djebel oued et Djebel Dekermous (d'une altitude de 1000 m environ) au nord- est, et par Djebel Benallouche (d'une altitude de 1100 m environ) au sud.



**Figure I.1.6 :** Cartes topographiques de Tircine.

**Ain Tellout** c'est la continuité des monts de Tlemcen, cette chaîne montagneuse qui culmine à 1559 m à Djebel Nador (Tel-Terni) et à 1843 m à Djebel Tenouchfi (région de Sidi El Djilali), prolongeant le moyen Atlas par les monts de Zekkara au Maroc Oriental (**Kaid Slimane, 2000**).

Néanmoins l'orographie de cette région est connue par de moyennes altitudes comprises entre 700 m au niveau du chef-lieu de la Daïra de Ouled Mimoun et quelques points culminant tels que Djebel Tafrent (1071 m), Dhar El Mendjel (1117 m) et Djebel Tirbirhit (1329 m) (**Bouhafs, 2007**).

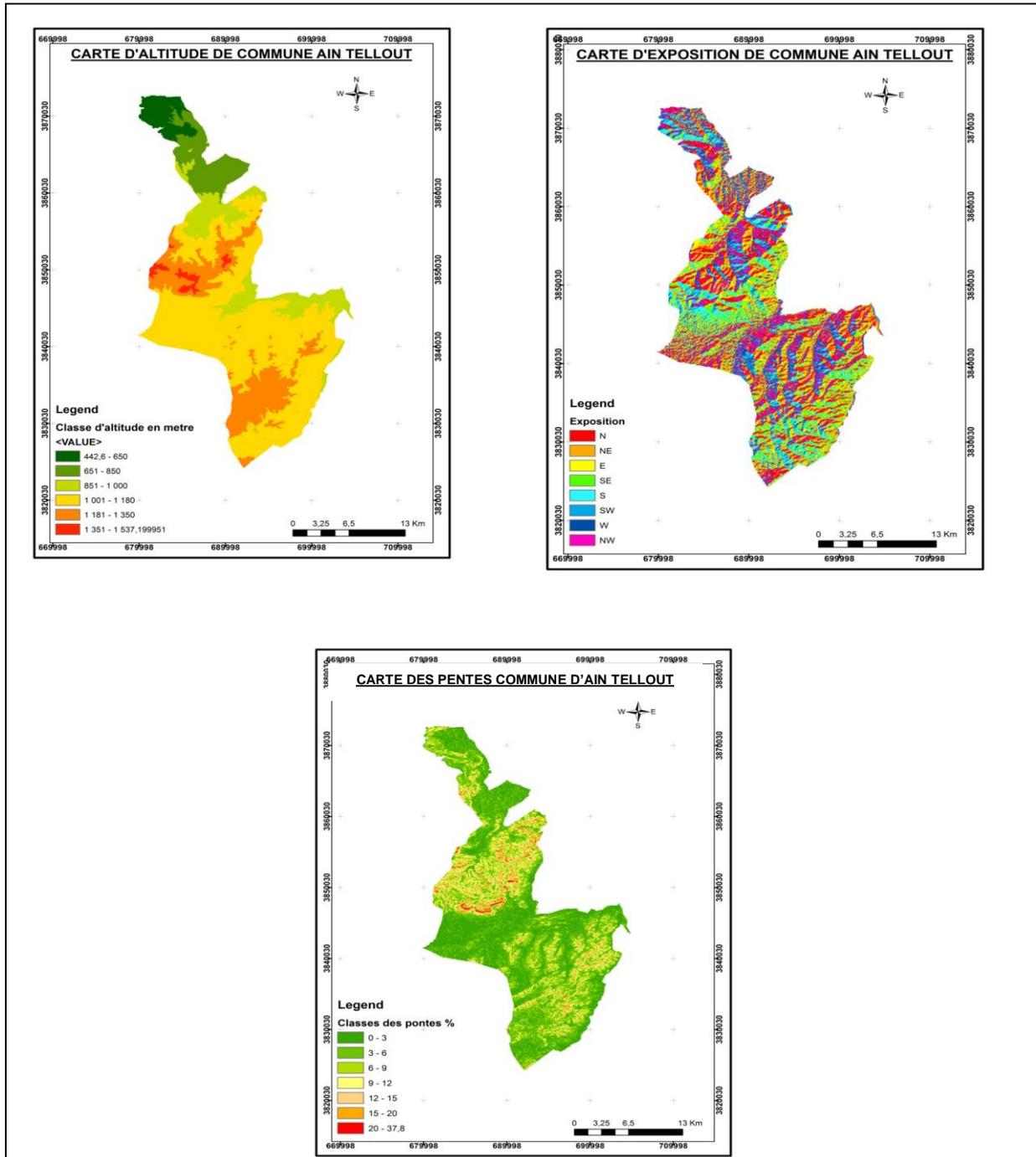


Figure I.1.7 : Cartes topographiques d'Ain Tellout.

## 6- Pédologie

**Mâafa** est caractérisée par un sol calcimagnésique et un sol carbonaté excessivement calcaire et avec un PH moyennement alcalin, ces sols présentent une fertilité chimique médiocre avec une très faible teneur en matière organique.

**Tadjmout** son sol a une texture légère, il est souvent sableux et dunaire. Au nord dans les bas-fonds, il est plus structuré et plus lourd avec la proportion d'argile qui le constitue.

**Theniet El Had** son sol est peu profond, assez maigre, non carbonaté et il est souvent jalonné par la roche mère et entrecoupé d'escarpements rocheux avec des hauteurs considérables (**Loukkas, 2006**). Dans ce site existe une série gréseuse formée par de grands bancs gréseux, métriques et intercalés avec de petits lits argileux. Cette série gréseuse succède à une série d'argile sous-numidien (**Naimi, 2017**).

**Tircine** est connue par la présence de la vallée d'Oued El Abed dans la partie nord-est de la commune où sont développés des sols profonds alluvionnaires à texture équilibrée. Ce site est de point de vue pédologique très riche, il représente la zone irriguée de la commune (**SATEC, 1976**).

**Ain Tellout** ce site est fersiallitique sous calcaire, exclusivement les sols bruns fersiallitiques ; sur les zones de plaines et de moyennes montagnes où le phénomène de lessivage est souvent très limité à cause de la nature calcaire de la roche mère. Ils sont généralement localisés dans les zones de piémont, fortement érodées sous végétation de type « maquis et garrigue » (**Gaouar, 1980 ; Kaid Slimane, 2000 ; Dahmani, 1984**).

## **7- Etude bioclimatique**

En région méditerranéenne, le climat est un facteur déterminant ; en raison de son importance dans l'établissement, l'organisation et le maintien des communautés animales et végétales (**Meziane, 2016**).

Pour apprécier le climat qui règne dans nos sites, deux paramètres climatiques sont pris en considération (la précipitation et la température).

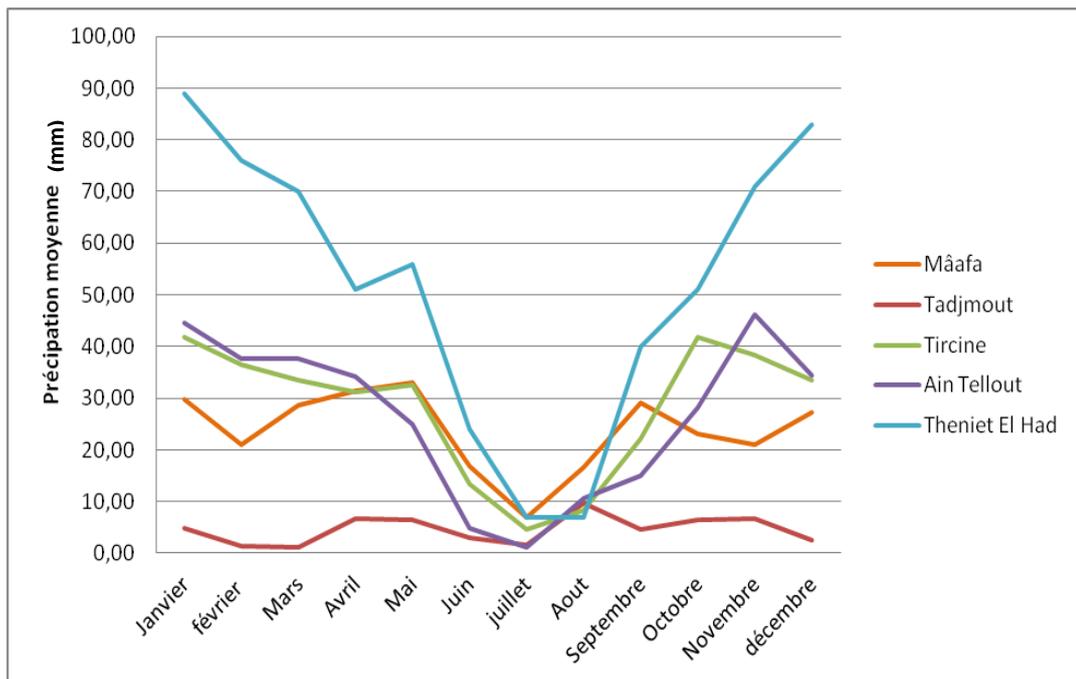
Cette étude a été réalisée à partir des données météorologiques fournies par les sites météorologiques des Offices Nationaux de la Météorologie (ONM) des sites les plus proches et les plus représentatifs de nos quatre sites d'étude (Mâafa, Ain Tellout, Tircine, Tadjmout), la période étudiée est de (1983-2019), mais la période étudiée concernant le site de Theniet El Had est de (1983-2015) à cause de la panne de la station météorologique.

### **7-1- Précipitation**

Les précipitations représentent un élément écologique important, elles jouent un rôle essentiel dans le fonctionnement des écosystèmes, elles sont connues comme un facteur discriminant majeur (**Benfekih, 1993**).

La figure (I.1.8) présente la répartition moyenne mensuelle des précipitations de chaque site.

La figure (I.1.8), montre que la répartition moyenne mensuelle de la précipitation des sites d'étude est caractérisée par une grande variabilité durant les douze mois de l'année. La période marquée de sécheresse reste bien définie, elle fluctue entre juin, juillet et août qui sont les mois les plus secs pour les sites de Mâafa, Ain Tellout, Tircine. Pour Tadjmout, les mois les plus secs se sont juin et juillet, par contre Theniet El Had deux mois plus secs qui sont juillet et Août.



**Figure I.1.8:** Répartition moyenne mensuelle des précipitations dans les cinq sites étudiés.

### ➤ Régime saisonnier

**Dajet (1976)**, a défini la notion de régime saisonnier, il a calculé la somme des précipitations par saison et a effectué le classement des saisons par ordre de pluviosité décroissante en désignant chaque saison par son initiale : P : printemps ; E : été ; A : Automne ; H : hiver, afin de mettre en évidence les saisons les plus pluvieuses et les plus sèches et ceci permettra par la suite d'expliquer la croissance de la végétation au cours de l'année au moment où les pluies sont irrégulières.

Les régimes pluviométriques sont régis par la topographie, la disposition des principales chaînes montagneuses et l'exposition des reliefs, car nos sites présentent un régime saisonnier irrégulier durant l'année et varie aussi selon les sites.

Le tableau (I.1.1), montre l'abondance pluviale à Theniet El Had, Ain Tellout et Tircine en hiver par contre à Mâafa en printemps et à Tadjmout en automne. On observe que le site de Tadjmout a une très faible précipitation en hiver.

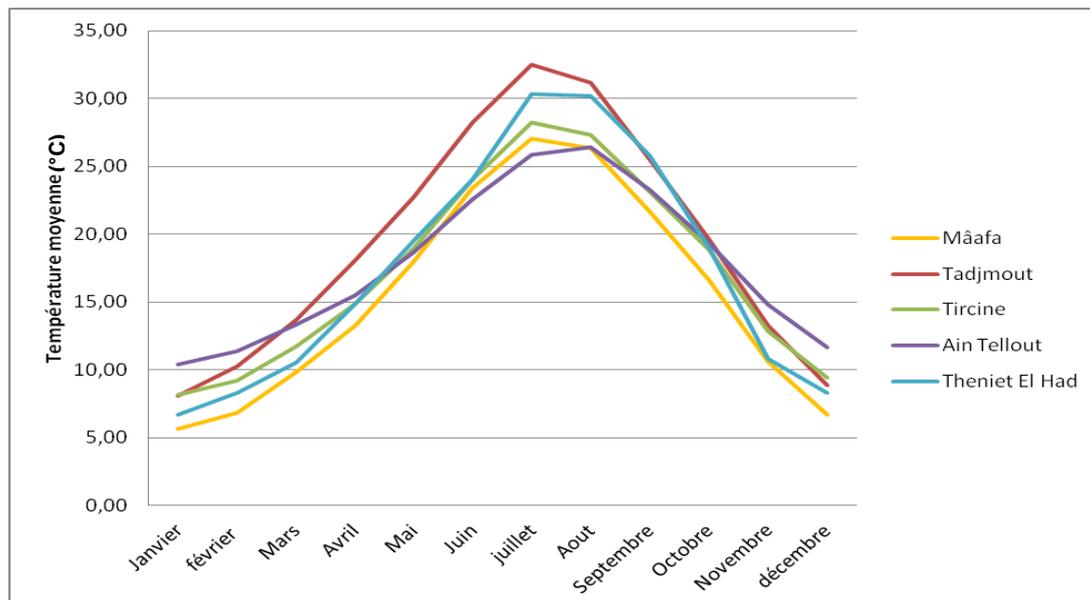
**Tableau I.1.1:** Régime saisonnier des précipitations des cinq sites.

Sites	Répartition saisonnières des pluies				Total pluviométrique	Régime saisonnier
	Hiver	Printemps	Eté	Automne		
Mâafa	78.15	93.09	40.29	73.01	284.54	<b>PHAE</b>
Tadjmout	8.67	14.22	14.45	17.76	55.1	<b>AEPH</b>
Tircine	111.73	97.23	26.43	102.21	337.6	<b>HAPE</b>
Ain Tellout	116.79	96.91	16.74	89.32	319.76	<b>HPAE</b>
Theniet El Had	248	177	38	162	625	<b>HPAE</b>

## 7-2- Température

La température étant le second facteur distinctif du climat, constitue un facteur déterminant dans la vie des êtres vivants, elle conditionne en effet le cycle de développement et de croissance des espèces, ainsi que leur répartition géographique. **Peguy (1970)**, a défini la température comme étant une qualité de l'atmosphère. Les températures moyennes annuelles et mensuelles réagissent directement en interaction avec les autres facteurs météorologiques d'insolation, le déficit hygrométrique, les précipitations, le phénomène d'évapotranspiration.

Les températures moyennes mensuelles, interannuelles, sont calculées et sont présentées comme suit (fig I.1.9).



**Figure I.1.9 :** Température moyenne mensuelle dans les cinq sites étudiés.

### 7-3- Synthèse bioclimatique

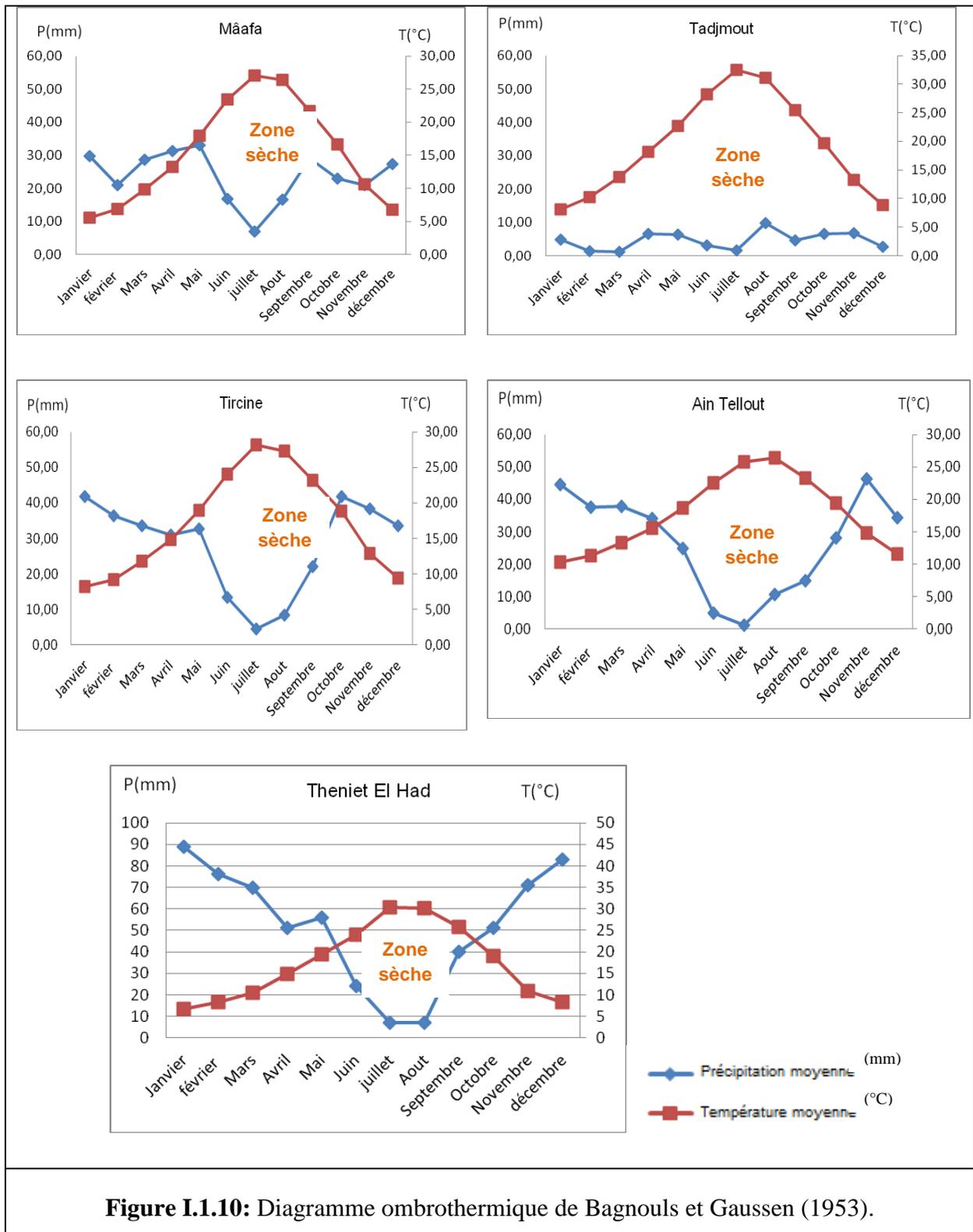
D'après la figure (I.1.10), aux cinq sites les mois les plus froids étaient janvier et décembre. Aux sites de Mâafa, Tircine et Tadjmout le mois le plus chaud était juillet. Alors qu'à Ain Tellout et à Theniet El Had les deux mois juillet et août étaient les plus chauds.

Les données météorologiques peuvent être combinées entre elles de façon à faire apparaître les périodes ayant une influence (favorable ou défavorable) sur les êtres vivants : les périodes chaudes, les périodes froides, les périodes sèches et les périodes humides.

#### 7-3-1- Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gaussen (1953)

Le type de climagramme le plus répandu est celui conçu par **Bagnouls et Gaussen (1953)**. La représentation sur un même graphique des précipitations moyennes mensuelles exprimées en mm, et des températures moyennes mensuelles exprimées en °C avec une abscisse qui représente les mois, permet d'obtenir le diagramme ombrothermique, amélioré et systématisé par **Lieth et al. (1999)**, à l'échelle mondiale. Ce dernier permet une visualisation immédiate de la durée et de l'intensité de la saison sèche (NMS), à condition que les échelles prises soient ordonnées, de telle sorte que 1°C correspond à 2 mm (**Charre, 1997 ; Richard, 1997 ; Guyot, 1999**). Ce diagramme ombrothermique, qui montre la marge mensuelle des précipitations et des températures, permet aussi d'évaluer la longueur de la saison pluvieuse (**Ozenda, 1997 ; le Houérou, 2007 ; Bouma, 2005**). La surface de polygone est utilisée comme « indice d'intensité de sécheresse » (**Panini et Amandier, 2005**). Ce diagramme climatique montre ainsi la durée de la période défavorable à la croissance des végétaux et présente une signification écologique précise (**Labat, 1985**).

D'après **Bagnouls et Gaussen (1953)**, la sécheresse n'est pas nécessairement l'absence totale des pluies, mais elle se manifeste quand les faibles précipitations se conjuguent avec des fortes chaleurs.



**Figure I.1.10:** Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson (1953).

L'analyse du diagramme Ombrothermique, montre que la période sèche est bien définie et l'air ombrothermique est nettement apparent. D'après la figure (I.1.10), les cinq sites sont caractérisés par une saison sèche qui s'étend sur 5 mois au site de Theniet El Had, jusqu'à 12 mois de sécheresse pour le cas de Tadjmout. La durée de la période sèche augmente avec la rareté de la précipitation et l'augmentation des températures.

### 7-3-2- Indice d'aridité de De Martonne

L'indice de De Martonne permet d'étudier le rapport du climat avec la végétation forestière et de positionner les stations météorologiques dans le climat précis, ceci grâce à un abaque préétabli.

De Martonne a essayé de définir d'aridité du climat par un indice qui associe les précipitations moyennes annuelles aux températures moyennes annuelles. Cet indice est autant plus grand lorsque le climat est plus humide. Ainsi, **De Martonne (1926)**, a défini cet indice d'aridité utile pour évaluer l'intensité de la sécheresse exprimée par la relation suivante :

$$I = P \text{ (mm)} / T \text{ (}^{\circ}\text{C)} + 10$$

- I : Indice de De Martonne
- P : Pluviométrie moyenne annuelle en (mm)
- T : Température moyenne annuelle en ( $^{\circ}\text{C}$ )

**De Martonne (1926)** proposa la classification suivante :

- $I < 5$  (climat hyperaride)
- $5 < I < 10$  (climat désertique)
- $10 < I < 20$  (climat semi-aride)
- $I > 20$  (climat humide)

L'indice de De Martonne calculé (tab I.1.2) montre que les sites apparaissent ordonnés selon leurs caractères thermiques et pluviométriques.

**Tableau I.1.2** : Indice de De Martonne pour les cinq sites.

Sites	I	Classification
Mâafa	11.16	Climat semi-aride
Tadjmout	1.87	climat hyperaride
Tircine	12.39	Climat semi-aride
Ain Tellout	11.51	Climat semi-aride
Theniet El Had	22.84	climat humide

### 7-3-3- Quotient pluviothermique et climagramme d'Emberger

**Emberger (1952)**, a établi un quotient pluviothermique « Q2 » spécifique au climat méditerranéen. Il est plus fréquemment utilisé en Afrique du nord et en France méditerranéenne. A partir du Q2, **Emberger (1930)**, a classé la région méditerranéenne en cinq étages bioclimatiques (saharien, aride, semi aride, subhumide et humide). Ce quotient nous permet de situer et voir schématiquement l'évolution du climat au niveau de nos sites météorologiques (sites d'étude et sites de référence) en fonction des étages de végétation et

permet aussi d'apprécier l'aridité des régions méditerranéennes sur le climagramme pluviothermique d'Emberger. Les valeurs du Q2 étant autant plus basses quand le climat est plus sec. Le quotient Q2 a été formulé de la façon suivante.

$$Q2 = 2000P / (M^2 - m^2)$$

- P : Précipitations moyennes annuelles en mm
- M : Moyenne des maxima du mois le plus chaud (K°)
- m : Moyenne des minima du mois le plus froid (K°)
- 1K = T°C + 273

En utilisant les deux valeurs « Q2 » en ordonnées et « m » en abscisses, l'interaction de ces deux données permet de définir l'étage bioclimatique (fig I.1.11).

Après avoir calculé le quotient d'Emberger, on déduit que nos sites d'étude correspondent aux bioclimats suivants :

- **Mâafa**: Aride à hiver frais
- **Tadjmout**: Saharien à hiver frais
- **Tircine** : Semi aride inférieur à hiver tempéré
- **Ain Tellout** : Semi aride à hiver tempéré
- **Theniet El Had** : Sub humide à hiver froid

**Tableau I.1.3** : Quotient pluviothermique pour les cinq sites.

Sites	Q
<b>Mâafa</b>	27.90
<b>Tadjmout</b>	5.05
<b>Tircine</b>	35.12
<b>Ain Tellout</b>	38.75
<b>Theniet El Had</b>	71.43

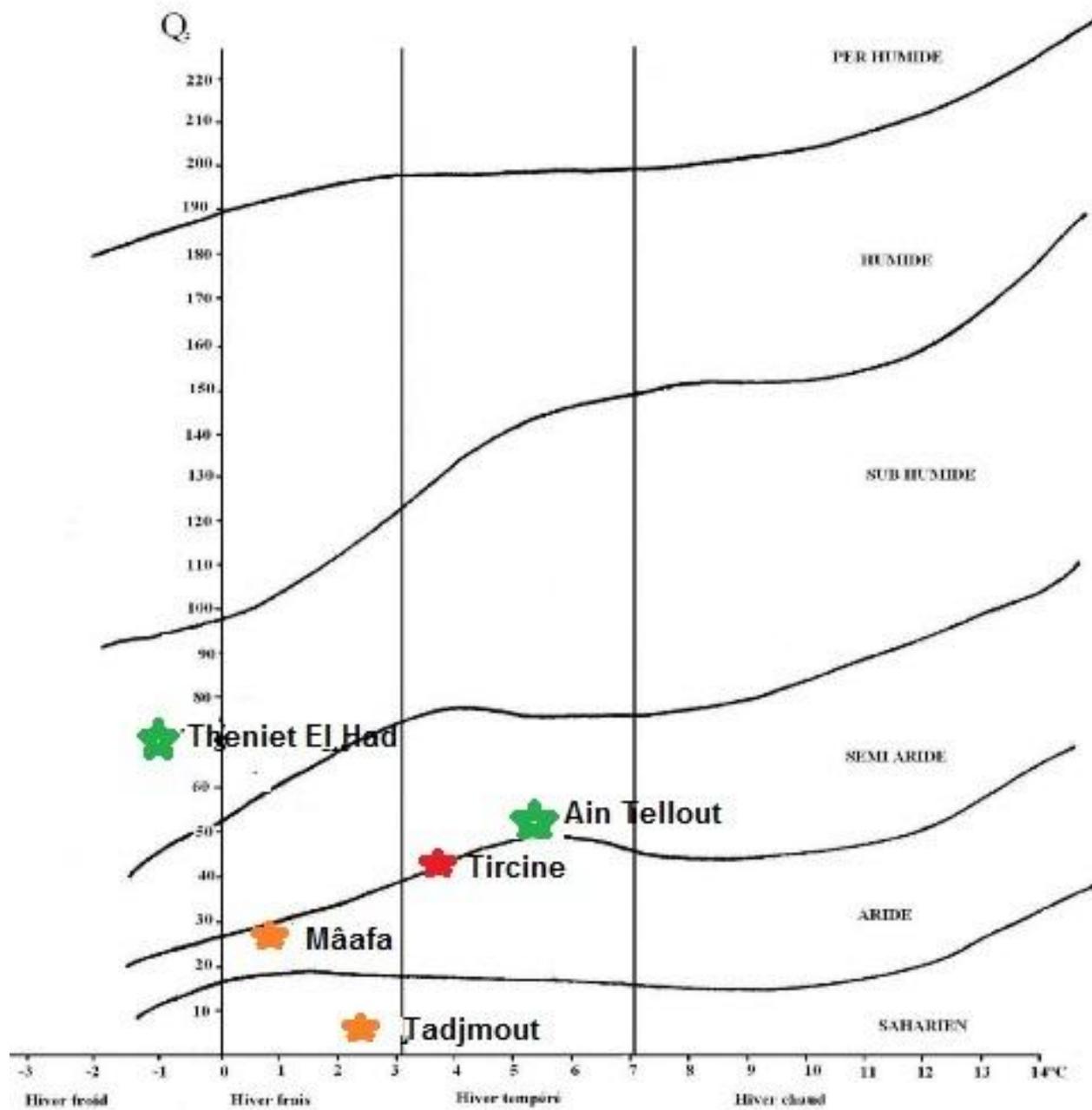


Figure I.1.11 : Climagramme pluviométrique d'Emberger des cinq sites d'étude.

## Chapitre 2 : Prospection de terrain

### 1- Techniques de témoignage de la variabilité

La variabilité est la propriété d'un ensemble qui comporte de nombreux individus ou groupes d'individus, différents les uns des autres, en prenant en considération un ou plusieurs critères (**Metro, 1975**). Chez les végétaux, la variabilité dépend de deux facteurs tels que : les facteurs génétiques et les facteurs environnementaux. D'après **Stebbins (1950)**, certains caractères phénotypiques des plantes (forme et dimension) ne varient pratiquement pas par les conditions du milieu, cette variabilité dans le phénotype est presque l'expression du génotype.

Dans notre étude, nous avons mesuré la variabilité à différents niveaux, interpeuplement et intrapeuplement.

**1-1- Variabilité interpeuplement:** dans le but de connaître la variabilité qui existe entre plusieurs peuplements (Mâafa, Ain Tellout, Tircine, Tadjmout, Theniet El Had) se trouvant dans différentes conditions écologiques.

**1-2- Variabilité intrapeuplement :** afin de mesurer la variabilité à l'intérieur de chaque peuplement, dans ce cas la variabilité est plus liée au génotype des individus qu'aux conditions du milieu (**Guira, 1997**).

En parallèle, nous avons étudié la variabilité de l'espèce des différents cotés : morphologique, micromorphologique, génétique, et biochimique afin de confirmer sa biodiversité.

### 2- Echantillonnage

Après une prospection de terrain dans le but d'avoir une hétérogénéité d'un site à l'autre on a pris dans l'ensemble cinq sites d'études qui ont constitué notre échantillonnage. Après avoir ciblé les meilleurs peuplements du pistachier de l'Atlas dans les cinq sites (Maafa, Ain Tellout, Tircine, Theniet El Had, Tadjmout), nous avons opté pour l'installation d'une placette circulaire de 25 m de rayon selon la donnée d'intérêt pour chaque peuplement. Dans laquelle on a effectué la description topographique, pédologique, la description des peuplements et la mesure dendrométrique.

30 arbres au niveau de chaque site ont été choisis et numérotés par la méthode du plus proche voisin (**Mueller-Dembois et Ellenberg, 1974**). Toutefois, les jeunes sujets issus de souche ou de régénération, qui n'avaient pas encore été enlevés, n'ont pas été pris en considération. Quand la tige était composée de plusieurs brins de taillis, nous avons retenu que le plus gros brin, et s'ils étaient de même grosseur, un brin était pris au hasard.

Les positions des sites ont été repérées au GPS (Géographic Positioning System). Pour mieux les caractériser et les étudier, nous avons effectué la description ou l'observation de plusieurs paramètres, la mesure et l'analyse, certains sont liés aux cinq sites et d'autres aux 150 arbres. Dans les quatre expositions de chaque arbre, on a prélevé 50 feuilles et 50 fruits : au total : 1500 feuilles et 1500 fruits de chaque site qui ont été conservés au laboratoire. La phase de terrain abordée ci après s'est déroulée au cours des années 2017-2018.

### 3- Description des sites, des peuplements et des arbres étudiés

#### 3-1- Méthodologie

Une description détaillée a été faite à fin de définir les sites, le peuplement, et les arbres. Elle précise les caractéristiques géographiques (coordonnées géographiques), caractéristiques topographiques (altitude, pente, exposition, etc...), caractéristiques pédologiques (roche, type de sol, profondeur du sol, etc...), caractéristiques de peuplement (densité, régénération, concurrence, pâturage, etc...) et caractéristiques des arbres étudiés (arbre mort, branche morte, déficit foliaire, etc...).

#### 3-2- Résultats

##### 3-2-1- Description des sites par Analyse en Composante Principale « ACP »

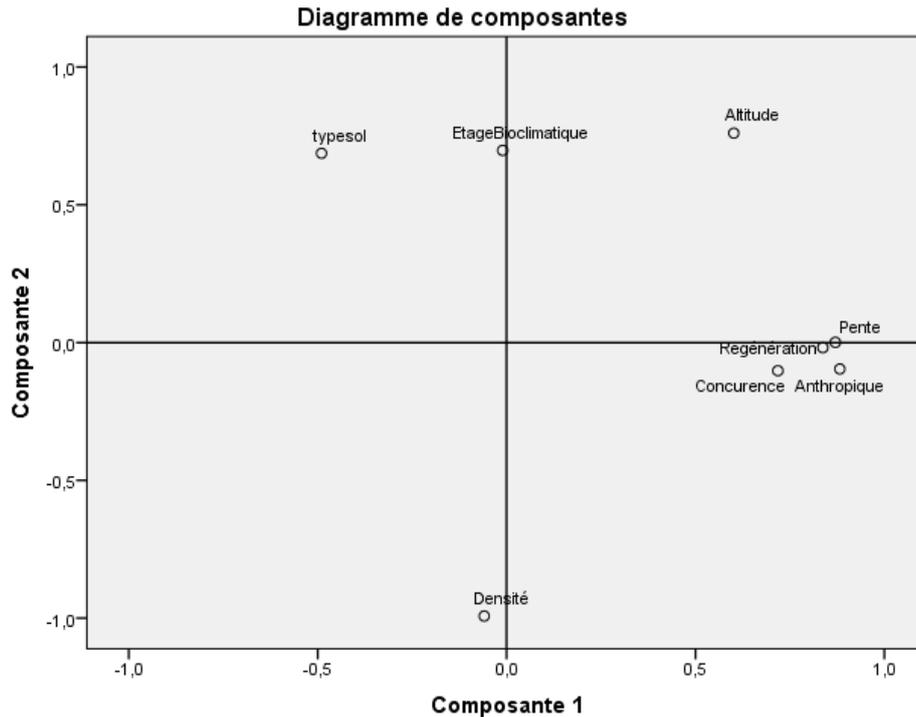
L'Analyse en Composante Principale (ACP) a été réalisée sur deux axes qui représentent 73% de l'information totale.

Nous avons un premier axe factoriel représentant 44,14%, le deuxième 28,74%. Le premier axe a été formé par les variables (exposition, concurrence, altitude, surpâturage) et le deuxième (type de sol, densité, étage bioclimatique) (tab I.2.1).

L'ACP est plus particulièrement l'étude de plan 1-2 (tab I.2.1) qui permet la distribution des paramètres écologiques (fig I.2.1).

**Tableau I.2.1:** Matrice des composantes.

Facteurs	Composantes	
	1	2
Exposition	<b>,955</b>	,046
Type de sol	-,055	<b>,734</b>
Concurrence	<b>,919</b>	-,270
Densité	-,273	<b>-,959</b>
Altitude	<b>,749</b>	,622
Pente	,582	-,144
Bioclimatique	-,184	<b>,726</b>
Surpâturage	<b>,948</b>	-,281



**Figure I.2.1 :** Résultats d'une analyse en composantes principales.

### 3-2-2- Description des peuplements étudiés

Le peuplement de **Mâafa** est présenté sur les coordonnées géographiques ( $x=258.55m$ ,  $y=382.18 m$ ) sur une altitude allant jusqu'à 1052 m et une pente abrupte de 42 %, avec une densité et une concurrence moyenne, mais un surpâturage abondant et une forte fréquence anthropique. Ce peuplement est associé avec le pin d'Alep, le lentisque, le genévrier et le frêne. Des cas de régénération du pistachier de l'Atlas ont été observés dans ce peuplement au niveau des falaises de montagnes difficilement accessibles qui retiennent l'eau des précipitations qui favorise la germination des graines. La même constatation a été déjà faite par (Yaaquobi, 2009).

Le peuplement de **Tadjmout** est en coordonnées géographiques ( $x=411.72 m$  et  $y=3703.79 m$ ) sur une altitude de 1478 m et une pente de 15 %, ce peuplement se caractérise par une faible densité et une fréquentation humaine moyenne, il est l'unique espèce arborescente constituant un peuplement pur associé avec une composition floristique de genévrier de Phénicie.

Le peuplement du pistachier de l'Atlas de **Tircine** est situé sur des coordonnées géographiques ( $x=290.10 m$   $y=185.62 m$ ), sur une altitude de 864 m et une pente de 7%, avec une densité et une concurrence moyenne. Les espèces accompagnatrices de ce peuplement sont (chêne vert, eucalyptus, thuya, calycotome).

Le peuplement de **Ain Tellout** se localise sur les coordonnées géographiques (x=159.68 m y=184.30 m) plus au moins dense sur une altitude de 730 m et une pente de 14 %. Ce peuplement occupe essentiellement un lit d'Oueds dont les espèces accompagnatrices sont l'olivier sauvage et le frêne.

Le peuplement de **Theniet El Had** est sur les coordonnées géographiques (x=408.78 m et y=3966.7 m) à une altitude de 1250 m et une pente de 20%. Ce peuplement a une densité moyenne et une forte concurrence avec plusieurs espèces accompagnatrices : le chêne liège, le chêne vert, le chêne zen et le genévrier oxycèdre). Le surpâturage est abondant avec une faible fréquentation humaine (tab I.2.2).

**Tableau I.2.2** : Caractéristiques des sites d'étude.

Site		Mâafa	Theniet El Had	Ain Tellout	Tircine	Tadjmout
Etage bioclimatique		Aride	subhumide à hivers froid	semi-aride supérieur	semi aride inférieur	saharien
Coordonnée géographique	X	258.55	408.78	159.68	185.62	411.72
	Y	382.18	3966.7	184.30	290.10	3703.79
Description topographique et pédologique	Altitude	1052	1250	730	864	1478
	Pente	42	20	14	7	15
	Exposition	Nord-est	Sud-est	Nord	Nord-est	Est
	Type de sol	Faible profondeur riche en calcaire	Argileux	Fertiallitique calcaire	Alluviaux	Texture légère argileux
Description de peuplement	Densité	moyenne	Moyenne	Plus au moins dense	Moyenne	Faible
	Régénération	Rare	Aucune	aucune	Aucune	Aucune
	Anthropique	Forte	Faible	Forte	Forte	Moyenne
	surpâturage	Abondant	Abondant	Nul	Nul	Faible

	concurrence	Moyenne	Forte	nulle	Moyenne	nulle
	Espèce accompagnatrice	pin d'alep, lentisque, frêne, genévrier	chêne liège, chêne vert, chêne zen, genévrier	Oléastre, frêne, genévrier, calycotome	chêne vert, eucalyptuse, thuya, calycotome	genévrier

### 3-2-3- Description générale des arbres sélectionnés

**Tableau I.2.3** : L'état sanitaire des arbres étudiés.

Paramètres	Mâafa	Ain Tellout	Tircine	Theniet El Had	Tadjmout
Arbre mort	aucun	aucun	important	aucun	moyen
Branche morte	3	Plus de 3	aucun	aucun	3
Déficit foliaire	Arbres sains	Arbres sains	Arbres sains	Arbres sains	Arbres sains
Gourmand	aucun	faible	moyen	faible	faible
Ecoulement divers	faible	faible	faible	faible	moyen

Les résultats du diagnostic d'état sanitaire des arbres étudiés révèlent une présence sérieuse des arbres morts à Tircine, les branches mortes sont présentes aux sites de Mâafa, Ain Tellout et Tadjmout, Ainsi la présence des gourmands et les écoulements divers sont plus importants à Tircine et plus faibles à Mâafa et concernant le déficit foliaire, il est identique dans tous les sites d'étude (tab I.2.3).

## **Partie II**

# **Etude de la variabilité morphologique et la variabilité micro-morphologique de la feuille**

- **Chapitre 1 : Description de l'espèce**
- **Chapitre 2 : Matériels et méthodes**
- **Chapitre 3 : Résultats et discussion**

# Chapitre 1 : Description de l'espèce

## Introduction

La famille des anacardiées comporte 60 genres et 600 espèces (**Kokwaro, 1986 et Guyot, 1992**) et selon **Mabberley (1987)**, cette famille renferme 73 genres et 850 espèces. En revanche, **Pell (2004)** a indiqué qu'elle renferme 82 genres et plus de 700 espèces.

Le genre *Pistacia* appartenant à l'ordre des sapindales et à la famille des anacardiées qui regroupe onze (11) espèces de pistachier, pour d'autres auteurs elle comporte treize (13) espèces de pistachier (**Manjauze, 1980**).

Le botaniste français René Louiche Desfontaines décrivit et présenta *Pistacia atlantica*, pour la première fois au monde scientifique. Il fut souvent confondu avec le *P. térébinthus*; en 1909, LAPIE l'appelait «Térébinthe » (**Monjauze, 1980**).

Le mot de pistache apparut dans la langue française au XIII<sup>e</sup> siècle, en Italien Pistachio, en latin pistacium et en Grec pistakion. L'ancien nom persan pista est la nomination originale du fruit (**Brosse, 2010**). Le genre *Pistacia* qui dérive du persan (posta), par les Grecs (pistake) qui se rapproche du nom syrien (Foustok) (**Michell, 1992**).

Le pistachier est originaire d'Asie centrale, présent en Turquie depuis 7000 ans avant J-C, la première fois qu'il fut introduit aux USA, c'était en 1890 et son essai fut dans la station pilote en Californie en 1904 (**Debbache, 1998**).

En Algérie, le genre *Pistacia* est représenté par quatre espèces, en l'occurrence *Pistacia lentiscus*, *Pistacia terbinthus*, *Pistacia vera* et *Pistacia atlantica*, qui ont le même nombre de bases  $x=15$  fondé sur toutes les recherches morphologiques et moléculaires antérieures qui singeraient clairement une relation génétique très étroite entre les espèces *Pistacia* et le nombre des chromosomes rapportés par des études cytogénétiques (**Al.Sghir, 2010**) et selon **Ghaffari et Harandi (2001)**, *Pistacia atlantica* présente la formule chromosomique  $2n=28$ . D'après **Benhassaini et Belkhodja (2004)**, le Pistachier de l'Atlas peut être classé en quatre sous espèces à savoir : Calubila, mutica, kurdica et atlantica par contre **Kafkas (2006)**, considère *Pistacia atlantica* et *Pistacia mutica* comme une seule espèce.

## 1- Morphologie

### 1-1- Présentation du pistachier de l'Atlas

Le pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf), appelé communément El Bétoum, Botma, Betouma ou Btoma en langue arabe et Iggh en Berber (**Monjauze, 1980**) et Iggh, Idj, Iqq et Tecemlait (Goundafa) (**Trabut, 1935**).

### 1-2- Description de l'espèce

C'est un arbre de climax naturel (**Chaba et al., 1991**) présentant une silhouette impressionnante à l'âge adulte. Il atteint 20 m de hauteur à tronc bien individualisé (**Quezel et Santa, 1963**), qui peut arriver jusqu'à 25 m (**Belhadj, 1999**). Il ressemble de loin au freine (**Boudy, 1952**). Ce dernier a une longévité plus de 1000 ans (**Maamri, 2008**).



**Figure II.1.1** : Arbre du pistachier de l'Atlas  
(photo prise par moi même le mois mai 2019 à Saida) .

### 1-3- Systématique du pistachier de l'Atlas

*Pistacia atlantica* Desf est classé taxonomiquement de la façon suivante (**Emberger et Chadeffaud, 1960**):

Règne : Végétal

Embranchement : Spermaphytes

Sous-embranchement : Angiosperme

Classe : Dicotylédones

Ordre : Térébinthales

Famille : *Anacardiaceae*

Sous-famille : *Rhoiadeae*

Genre : *Pistacia*

Espèce : *Pistacia atlantica* Desf.

## 2- Caractères botaniques

### 2-1- Feuilles

Les feuilles du Pistachier de l'Atlas sont caduques, composées de rachis finement ailés à folioles lancéolées, obustes au sommet (**Quezel et Santa, 1963** et **Yaaqobi et al., 2009**), constituées de 7 à 11 folioles par feuille (**Larouci, 1987**) ou de 3 à 15 folioles par feuille (**Belhadj, 1999**). Ces feuilles mesurent plus de 12 cm de longueur (**Monjauze, 1980**), elles sont imparipennées et glabres (**Somon, 1987**).

Les folioles sont obscurément rhomboïdales avec leur plus grande largeur au tiers inférieur du limbe, elles sont opposées avec une bordure dépourvue de toute dentelure (**Monjauze, 1980**). La marge des folioles présente une ligne de poils presque microscopiques, mais certains pistachiers de l'Algérie ne présentent pas cette pubescence sur les folioles (**Monjauze, 1980**). L'axe du pétiole est étroitement ailé.

Les feuilles de cet arbre sont riches en huiles essentielles et différentes selon les individus mâles et femelles (**Tzakou et al., 2007** ; **Gourine et al., 2009**), comme elles ont une concentration très élevée en produits phénoliques (**Takhi et al., 2011**).



**Figure II.1.2** : Feuilles du pistachier de l'Atlas  
(photo prise par moi même le mois de mai 2019 à Saida).

### 2-2- Fleurs

Les fleurs du *Pistacia atlantica* en panicules axillaires pyramidales de 5 à 10 cm, purpurines, de petites apétales, elles sont unisexuées dioïques (**Debbache, 1998**), mais quelques pieds monoïques ont été observés dans la plaine de Tafrata (Maroc) dont les fleurs mâles et femelles

sont portées par des rameaux différents (**Yaaqobi et al., 2009**). Ces arbres monoïques existent aussi à Izmir en Turquie (**Isfendiyaroglu, 2009**).

Chaque anthère possède deux fentes de déhiscence longitudinales. Lors de la libération des grains de pollen au mois de mars, après l'ouverture des fentes de déhiscence des anthères, les fleurs mâles s'épanouissent et les étamines prennent une structure pétaoloïde (**Yaaqobi et al., 2009**), où les fleurs mâles contiennent cinq à sept étamines.

Les fleurs femelles constituées de calices à neuf sépales enchevêtrés entre eux et soudés à la base, le gynécée présente trois carpelles concrescents avec une seule loge ovarienne fertile et un seul ovule apotrope pendante. Le style porte trois stigmates rugueux facilitant la fixation des grains de pollen (**Yaaqobi et al., 2009**).



**Figure II.1.3** : Fleurs du pistachier de l'Atlas (A : fleur male, B : fleur femelle)  
(photo prise par moi même le mois d'Avril 2019 à Batna).

### 2-3- Fruits

L'apparition des fruits débute en mois d'Avril, de couleur rougeâtre (**Maamri, 2008**), ils atteignent leur maturité le mois de septembre tout en ayant une couleur verte foncée (**Yaaqobi et al., 2009**). Le fruit de Bétoum est appelé en arabe Khatiri, Haoudja, Gatouf et Gueddain (**Trabut, 1935**).

Les fruits qui forment des drupes (**Ozenda, 1983**) sont légèrement ovales plus au moins allongés et contiennent des petites graines de 8 mm de taille (**Yousfi et al., 2003**). Ces petites graines monospermes à endocarpe osseux, pourpres à maturité (**Chaba et al., 1991**), plus au moins succulents ou secs contiennent un noyau (**Quezel et Santa, 1963**). L'épiderme de ces fruits se ride en séchant sur l'endocarpe induré abritant deux cotylédons exalbuminés, riches en huile comestible (**Monjauze, 1980**).



**Figure II.1.4 :** Fruits du pistachier de l'Atlas  
(photo prise par moi même le mois de juillet 2019 à Tissemsilt).

#### 2-4- Graines

D'après **Monjauze (1980)**, La semence du Bétoum est trop huileuse pour pouvoir se conserver longtemps dans la nature. La composition des minéraux des graines en maturité est estimée à 138 ug/g de lipides, 178 ug/g de protéines et 183 ug/g de sucres (**Larouci, 1987**).

Le pourcentage de la germination des graines atteint, dans quelques essais, 20% du fait que la plus part des graines sont vides (**Ait Radi, 1979**). Dans la réserve naturelle de Mergueb à M'sila, le taux de germination arrive à 87% (**SBAA, 2000**).



**Figure II.1.5 :** Graines du Pistachier de l'Atlas  
<https://ecologie.ma/pistachier-de-latlas/>.

## 2-5- Système racinaire

D'après **Chaba et al. (1991)**, le pistachier de l'Atlas présente un système racinaire dur, pivotant avec des racines non traumatisées, il est caractérisé par un pivot orthogéotrope et des racines latérales obliques à croissance faible.

Lors d'un traumatisme, quatre à cinq racines acquièrent une direction orthogéotrope. La vitesse d'allongement du système racinaire s'accroît avec une moyenne de 2 cm par semaine au mois de Janvier et elle atteint 50 cm par semaine au mois de Mai. Ces racines jouent le rôle de pivot, peuvent s'étendre jusqu'à 6 m à fin d'absorber l'eau (**Gadiri et Righi, 1993**).



**Figure II.1.6** : Système racinaire du Pistachier de l'Atlas  
(photo prise par moi même le mois de mai 2019 à Saida).

## 2-6- Bois

Le bois de Betoum est lourd, arrondi à ramification étalée. Les jeunes rameaux sont rougeâtres (**Maamri, 2008**). Il est connu comme un bois d'artisanat.



**Figure II.1.7** : Tronc du pistachier de l'Atlas  
(photo prise par moi même le mois de mai 2019 à Saida).

## **2-7- Ecorce**

Elle est d'abord rouge, puis grisâtre assez claire avant de devenir rhytidome dure et crevassée, disposée en damiers et noirâtres comme ceux du frêne oxyphyle (**Monjauze, 1980**).

## **2-8- Résine**

La résine est appelée en arabe « Alk el Anebatt ». Au printemps, les rameaux laissent exsuder des larmes de résine qui tombent au pied de l'arbre, elle est utilisée par les indigènes comme masticatoire ou médicament (**Trabut, 1935**).

## **2-9- Samaq**

Samaq est une sécrétion noire qui se rencontre dans les fentes des troncs ou des vieilles branches, il est soluble dans l'eau.

## **3- Caractéristiques écologiques**

Le Pistachier de l'Atlas est présent dans l'étage aride et accessoirement dans l'étage semi aride à hiver frais et chaud, il peut vivre dans le subhumide à hiver froid et doux (**Boudy, 1958**), il s'adapte dans les conditions écologiques les plus sévères (**Boudy, 1952**). Cette plasticité exceptionnelle vis-à-vis à la sécheresse atmosphérique pourrait être son caractère principal, mais il n'est pas moins indifférent à la nature du sol et il peut occuper dans son aire botanique les situations les plus extrêmes (**Monjauze, 1980**).

### **3-1- Exigences climatiques**

Cette essence forestière résiste à la violence des vents et à la variabilité de la température (**Cosson, 1879**), en Algérie, elle est assez commune sauf dans les zones très arrosées (**Quezel et Santa, 1963**).

#### **3-1-1- Pluviométrie**

Cette espèce ne présente pas une exigence envers la pluviométrie, elle se contente d'une tranche pluviométrique très faible. L'isohyète 200 à 250 mm lui convient le mieux (**Boudy, 1952**), elle peut se développer dans une tranche pluviométrique allant de 250 à 600 mm (**Alyafi, 1979**) et selon **Khaldi et Khouja (1996)**, le pistachier de l'Atlas grandit dans l'isohyète de 200 à 400 mm.

#### **3-1-2- Température**

Le Pistachier de l'Atlas est une espèce héliophile (**Larouci, 1987**), il se trouve là où la température moyenne est environ 7 à 7.5°C. Il se caractérise par son adaptation à la variation de la chaleur dont il supporte un minimum de température de -2,5°C, et un maximum de

température égale à 42,5°C (**Monjauze, 1968**). Mais cette espèce reste très sensible aux gelées printanières qui détruisent les fleurs (**Spina et Pennisi, 1957**).

Selon **Crane et Takeda (1979)**, plusieurs symptômes résultent d'une insuffisance en froid chez le Pistachier. En cas d'hiver doux, le symptôme prédominant consiste en un développement incomplet des feuilles et des folioles.

### **3-1-3- Exigences édaphiques**

Le Betoum est très peu exigeant du point de vue édaphique, il est indifférent du type de sol (**Zohary, 1996**). *Pistacia atlantica* croît sur les sols alluviaux des dayas, sur les sols du types Ranker ou Rendzine dans les régions montagneuses (**Alyafi, 1979**), il s'accommode d'une large gamme de sols : terrains acides en silice, sols calcaires, et des sols sablonneux (**Boudy, 1950**). Cette espèce grandit bien dans l'argile ou les sols limoneux (**Khaldi et khouja, 1996**), elle tolère la salinité (**Whitehouse, 1957**) et préfère les sols profonds bien drainés (**Woodruf, 1979**). On rencontre aussi le Betoum dans les zones steppiques et sahariennes (**Monjauze, 1980**).

### **3-1-4- Altitude**

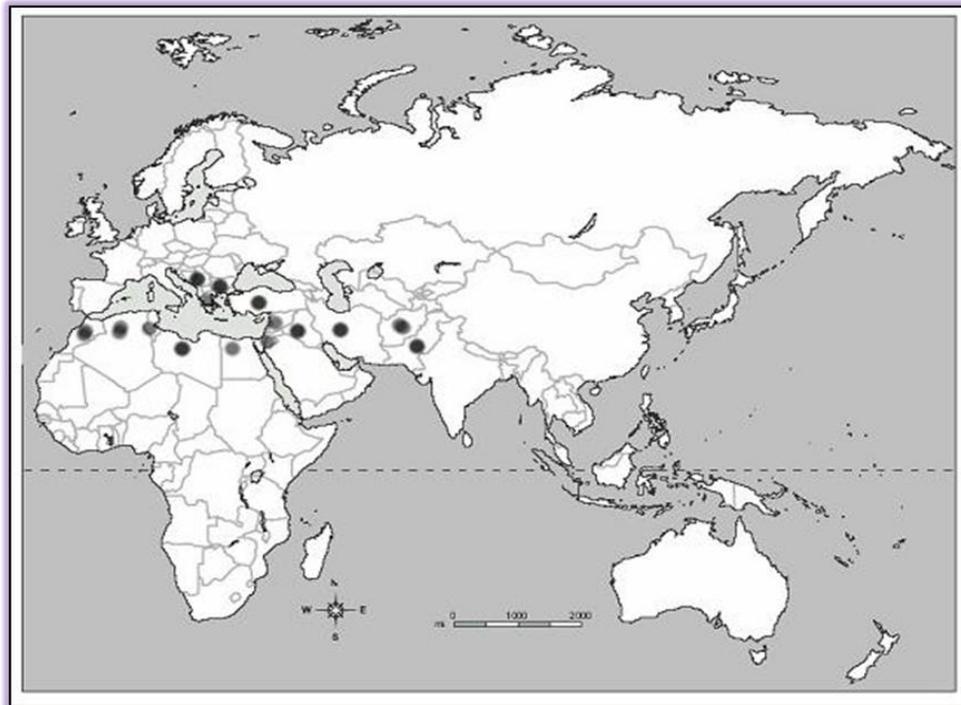
Cet arbre préfère une altitude entre 600 et 1200 m où il peut mieux se développer (**Boudy, 1952 et Monjauze, 1968**), comme il peut vivre dans une altitude de 2000 m (**Monjauze et al., 1965**). D'après **Zohary (1952)**, cette espèce s'adapte à une altitude très élevée environ 3000 m à l'orient.

## **4- Répartition géographique**

Dans le monde, le pistachier de l'Atlas est largement distribué au sud de la méditerranée et dans le moyen orient, il est répandu depuis les canaries (Gomera, ténériffe) jusqu'au Pamir, ce dernier est largement réparti à l'Est méditerranéen (Grèce, Chypre, Turquie, Syrie, Palestine, Crimée, dans le Caucase en Iran, en Afghanistan et en Inde (**Seigne, 1985**), comme il existe aussi dans le sud de l'Afrique du nord à l'état disséminé dans l'étage aride et semi aride (**Boudy, 1948**).

En Algérie, cette espèce endémique figure parmi les plantes non cultivées, et ni protégées (**Kaabeche et al., 2005**), mais elle trouve son optimum dans les régions arides et semi arides, notamment les hautes plaines où elle prospère dans les lits des oueds et les dayas (**Harfouche et al., 2005 et Kaabeche, 2003**). Elle arrête son extension quand elle est face à une concurrence avec d'autres espèces bien plus adaptées au froid et à l'humidité (**Harfouche et al., 2005**). D'après **Brichet (1931)**, on peut ainsi trouver cette essence dans l'Atlas Mditidjien. Selon **Monjauze (1965, 1968, 1980)**, le Pistachier de l'Atlas se localise dans le secteur oranais, le secteur algérois occidental, les hauts plateaux, et les hautes plaines de l'Atlas saharien et **Quezel (1976)**, ajoute qu'il est répandu dans le Sahara : Hassi R'mel, Hoggar, Tassili.

Cet arbre est pratiquement en voie de disparition, pourtant il se régénère naturellement dans tous les abris susceptibles afin d'assurer à son premier âge la protection qui lui est nécessaire (**Monjauze, 1967**).



**Figure II.1.8** : Aire naturelle du Pistachier de l'Atlas (**Al Saghir, 2006**).

## 5- Association du Pistachier de l'Atlas

À l'époque préhistoire et même sans doute au début de la période historique, le Pistachier de l'Atlas constituait dans le Sahara du nord et sur les hauts plateaux Algéro-marocains, des forêts-parcs très étendues, tournant à la steppe boisée avec du *Zizyphus lotus* en sous-étage (**Boudy, 1952**).

L'association de Betoum dans la zone maghrébine steppique est une brousse à betoum, jujubier (*Zizyphus lotus*) et Gommier du Maroc (*Acacia*).

**Boudy (1958)**, a signalé la présence de Betoum dans une association végétale sous forme de brousse, composée par *Zizyphus lotus*, mais aussi avec *Olea europea* en étage semi aride.

On rencontre des peuplements de chêne vert, genévrier, Pistachier de l'Atlas, olivier, caroubier (**Boudy, 1955**) et d'après **Ozenda (1983)**, dans le Sahara septentrional, la présence d'une vingtaine d'espèces franchement arborescentes parmi lesquelles : *Pistacia atlantica*, *Acacia radiana*, *Cupressus dupreziana*, *Phoenix dactifera*, *Acacia albida*, *Tamarix gallica* et *Olea lapirini* à lesquelles il faut ajouter de nombreux arbustes : *Retam*, *Rhus*, *Zizyplus stnerium*.

Les principales formations végétales du Pistachier de l'Atlas sont : maquis à olivier, lentisque, groupement de chêne liège, groupement de chêne vert, groupement de pin d'Alep, groupement de thuya ou tetracinaies, groupement de genévrier rouge, la brousse à jujubier, les steppes d'alfa et l'armoïse.

## 6- La reproduction du Pistachier de l'Atlas

La régénération naturelle du Bétoum reste très aléatoire et difficile du fait notamment de la dureté des téguments qui inhibent la germination. Les rares cas de régénération de cette espèce ont lieu dans les touffes du jujubier qui assurent au semis une protection contre le pâturage et la gelée (**Boudy, 1950**). Il est possible d'utiliser pour la reproduction de cette espèce soit :

- Le semis direct, en utilisant des graines pré-germinées, c'est-à-dire trempées dans l'eau pendant 48 heures avec décortication des enveloppes séminales qui a donné des résultats satisfaisants à condition de disposer les jeunes plants à l'abri durant les premières années (**Chaba et al, 1991**).
- La transplantation, qui permet une meilleure reprise des plants à condition de mettre les graines en stratification dans du sable humide durant deux semaines ou plus, le semis devra être exécuté quand la température moyenne atteint au moins 12 °C (**Monjauze, 1965**).
- Voie végétative (Bouturage ligneux), L'opération qui consiste à le propager c'est-à-dire à obtenir un certain nombre d'exemplaires à partir de la souche mère (**Debbache, 1998**). Selon les travaux de **Ait Radi (1979)** et **Djerah (1991)**, qui ont été porté sur le bouturage du Pistachier de l'Atlas et non pas donné de résultats positifs mais cela n'autorise pas de dire que le bouturage de l'espèce ne peut pas se faire.

## 7- Intérêt du Pistachier de l'Atlas

L'intérêt du pistachier de l'Atlas est multiple, grâce à son caractère rustique, sa capacité de résistance à la sécheresse et sa faible exigence pluviométrique, il est utilisé comme essence de reboisement dans les stations les plus sévères (**Boudy, 1995**). Ainsi, il joue un rôle de conservation des sols dans les zones semi-arides et arides où l'érosion est importante grâce à son système racinaire développé (**Larouci, 1987**).

Cette espèce est un porte greffe pour le pistachier vera, donc il permettra d'enrichir la production du pistache comestible, ceci est prouvé au jardin botanique d'Alger (**Brichet, 1931**).

D'après **Saffarzadeh et al. (2000)** montrent que les semences broyées comme aliments de volailles ont donné des résultats intéressants sur leur croissance, car ce composé est très pauvre

en éléments antinutritionnels tels que les tanins qui sont de l'ordre de 1,43% comparés à ceux des glands de chêne (5%).

Son bois est utilisé comme source d'énergie, par sa dureté peut être aussi utilisé en ébénisterie et en marqueterie et fournir une source intéressante de revenu aux populations locales (**Ozenda, 1977**).

Ses fruits donnent une excellente huile de table (**Daneshard, 1980**), ainsi ils sont connus comme antiseptiques, antifongiques et dans des maladies abdominales (**Baba Aissa, 2000**).

Son huile est utilisée dans la préparation des produits cosmétiques (**Yousfi et al., 2003**) et dans la fabrication du savon (**Yaltirik, 1967 ; Belhadj et al., 2008**).

En plus ses feuilles ont une activité antileishmanienne, antifongique et antimicrobienne (**Maamri, 2008 ; Rhouma et al., 2009**).

Selon **Ghalem et Benali (2009)**, l'huile essentielle de la résine du pistachier de l'Atlas a une activité antimicrobienne contre les bactéries gram- négatives et positives.

## Chapitre 2 : Matériels et méthodes

### 1- Mesures dendrométriques

Ces mesures comportent la hauteur totale des arbres (au Blum- Leiss) et la circonférence à 1.30 m du sol (au ruban mètre).

### 2- Biométrie des feuilles

Nous avons sélectionné les feuilles saines au laboratoire pour les cinq sites, les mesures biométriques et morphologiques des paramètres quantitatifs et qualitatifs étaient faites par la méthode décrite pour les espèces du genre *Pistacia* par **Zohary (1952)**, de 30 feuilles et 30 folioles de chaque arbre dans les cinq sites à l'aide d'une règle graduée pour les paramètres mesurables : longueur de feuille (L.F), largeur de feuille (LA.F), longueur de pétiole (L.P), largeur de pétiole (LA.P), longueur de foliole basale (L.FO.B), largeur de foliole basale (LA.FO.B), longueur de foliole terminale (L.FO.T), largeur de foliole terminale (LA.FO.T). Nous avons aussi dénombré le nombre de folioles de chaque feuille car selon **Fiscchesser et Dupuitate (1996)**, l'estimation du nombre de feuilles est un bon indicateur des capacités assimilatrices de la plante et de sa production en biomasse. Nous avons aussi estimé la couleur de folioles.

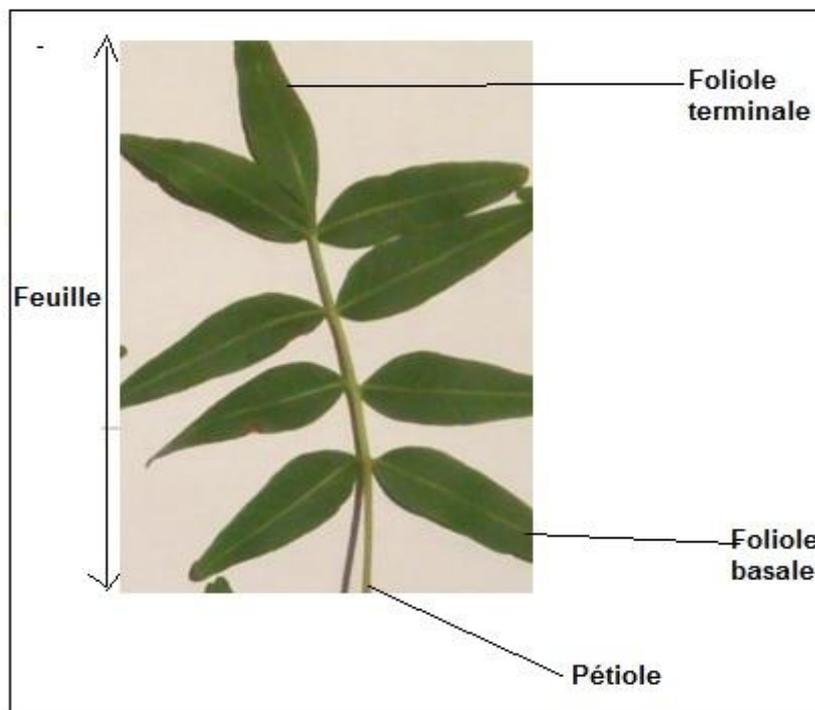


Figure II.2.1 : Schéma de la feuille du *Pistacia atlantica*.

### 3- Biométrie des fruits

Les récoltes sont faites en fonction de la maturité des fruits à partir du mois de septembre jusqu'au mois d'octobre, on a récolté les grappes physiologiquement murs qui portent les fruits de couleur brune- rougeâtre directement sur l'arbre, et on a mesuré les différents paramètres au laboratoire : longueur de grappe de fruit (L.G), nombre de fruit (N.Fr), longueur de pédoncule (L.Pe), largeur de pédoncule (LA.Pe), longueur de fruit terminal (L.Fr.T), largeur de fruit terminal (LA.Fr.T), longueur de fruit basal (L.Fr.B), largeur de fruit basal (LA.Fr.B) à l'aide d'un pied à coulisse.

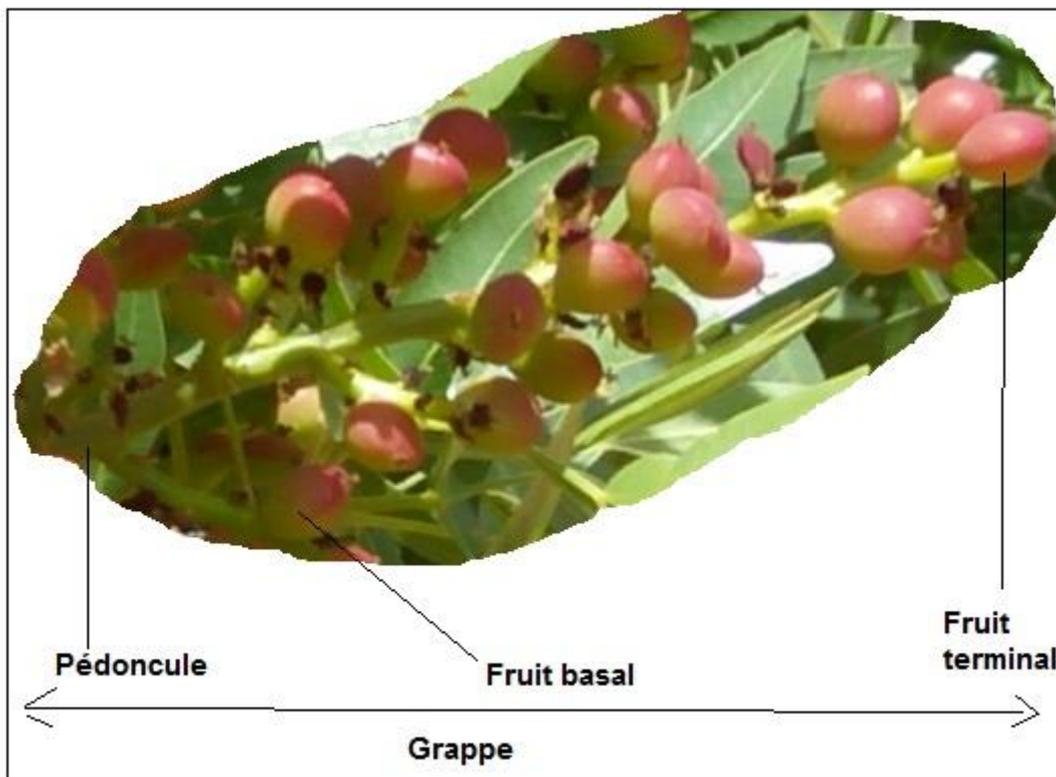


Figure II.2.2 : Schéma de fruit du *Pistacia atlantica*.

### 4- Biométrie de la micromorphologie de la feuille

Les feuilles étudiées des quatre sites (Tircine, Tadjmount, Ain Tellout, Theniet El Had) selon la disponibilité des échantillons, ont été observées par un microscope électronique à balayage type Carl Zeiss EVO LS 10, afin de faire une comparaison micromorphologique des feuilles entre les sites, au niveau du laboratoire bioingénierie à l'université de Trakya –Edirne- en Turquie.

Les feuilles étudiées ont été découpées strictement en portions d'environ 1 cm<sup>2</sup>, de façon qu'on prenne en compte la nervure principale. Celles-ci nettoyées à l'alcool, puis placées dans le microscope électronique pour voir la face supérieure de chaque feuille, en utilisant le

grandissement x500 et x1000 afin d'observer les organes suivants (cellules épidermiques, trichomes, stomates, cires, appareils conducteurs), et d'étudier la biométrie des organes suivants: cellules épidermiques, stomates, trichomes. Puis on a mesuré sur la photo les deux paramètres de chaque organe (longueur, largeur).

## 5- Analyse statistique

Les statistiques descriptives pour chaque paramètre morphologique de l'arbre dans chaque site ont été calculées, puis une analyse de la variance à un facteur (ANOVA1) a été appliquée entre les moyennes des paramètres morphologiques dans les différents sites. Le test Duncan a été utilisé aussi bien pour l'analyse de la variance que pour la comparaison des moyennes, le test a été appliqué à un niveau de probabilité de ( $p = 0,05$ ). Puis, la relation entre les paramètres morphologiques et les sites d'étude a été analysée avec la corrélation de Pearson.

Dans les différents sites, les statistiques descriptives pour chaque paramètre micro-morphologique de la feuille ont été calculées, l'analyse de la variance à un facteur (ANOVA1) a été appliquée entre les moyennes des paramètres micromorphologiques, puis le test Duncan a été utilisé et appliqué à un niveau de probabilité de ( $p = 0,05$ ). Ainsi que la relation entre les paramètres micromorphologiques et les sites d'étude a été analysée avec la corrélation de Pearson. Toutes les analyses statistiques ont été faites par le logiciel SPSS version .20.

En plus on a calculé l'indice stomatique et l'indice de trichome par les formules suivantes :

- L'indice stomatique en appliquant la formule  $SI = \frac{S}{S+E} \times 100$  (Shokefun et Ayodele ,2014) (SI : indice stomatique, S : nombre de stomates, E : nombre de cellules épidermiques)
- L'indice de trichome en appliquant la formule  $TI = \frac{T}{T+E} \times 100$  (Babalola Kadiri et dele olow Okudejo, 2008) (SI : indice de trichome, S : nombre de trichomes, E : nombre de cellules épidermiques)

## Chapitre 3 : Résultats et discussion

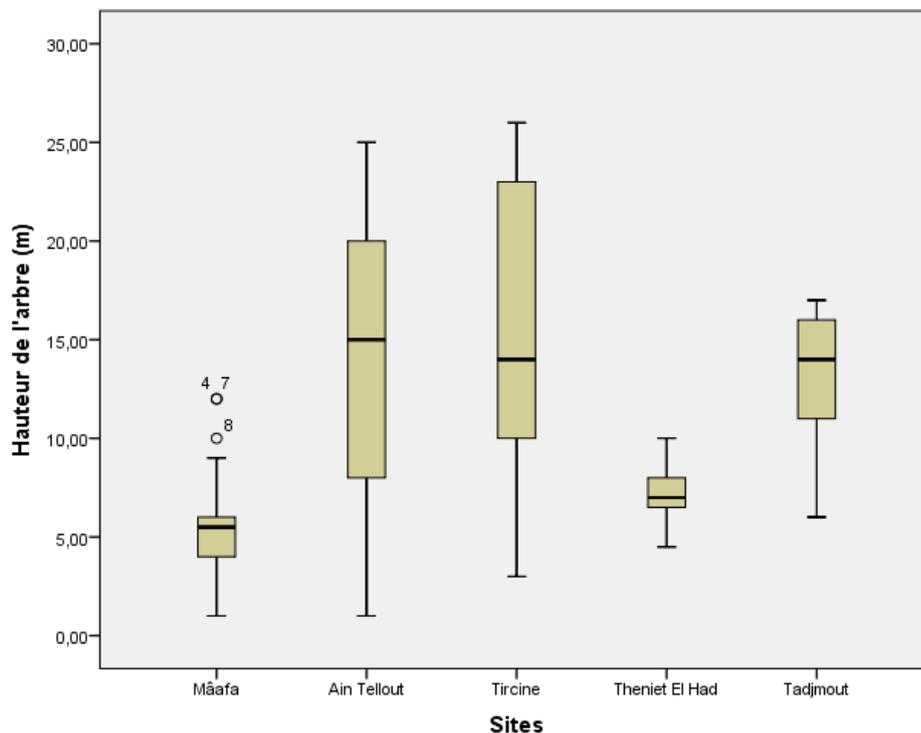
### ❖ Résultats et interprétations

#### 1- Paramètres dendrométriques de l'arbre

##### 1-1- Hauteur de l'arbre

La moyenne de la hauteur des arbres est de 11,06 m dans tous les sites. Notons que la valeur minimale présente à Mâafa et Ain Tellout est de 1,00 m, alors qu'à Tircine la valeur maximale est de 26,00 m. Les hauteurs représentées par des points sont considérées exceptionnelles dans le peuplement étudié (tab II.3.1 et la fig II.3.1).

L'analyse de la variance montre qu'il existe une différence significative entre les sites  $p= 0,000$  (tab II.3.1). Le test de Duncan démontre la présence de deux groupes (G1 : Mâafa, Theniet El Had et G2 : Tadjmout, Ain Tellout et Tircine). La corrélation entre la hauteur des arbres et les axes factoriels représente une corrélation significative et négative avec les axes 2. (tab II.3.2).

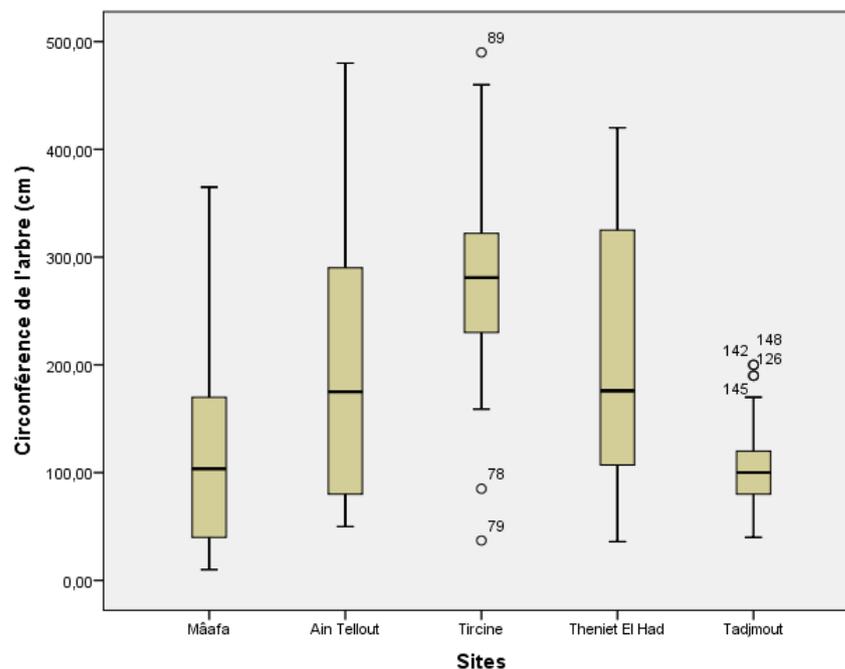


**Figure II.3.1** : La distribution de la moyenne des hauteurs des arbres.

## 1-2- Circonférence

La moyenne des circonférences du peuplement du pistachier de l'Atlas dans les cinq sites est de 181,01 cm, la valeur minimale est observée dans le site de Mâafa 10,00 cm et la valeur maximale à Tircine 490,00 cm. Les circonférences représentées par des points sont considérées exceptionnelles dans le peuplement étudié (tab II.3.1 et fig II.3.2).

L'analyse de la variance donne une différence hautement significative avec  $p=0,000$  (tab II.3.1), ce qui explique une variabilité très large de circonférence dans tous les sites étudiés. Le test de Duncan démontre la présence de trois groupes (G1 : Tadjmout, Mâafa, G2 : Theniet El Had, Ain Tellout et G3 : Tircine). L'analyse de l'impact de milieu sur le paramètre de circonférence nous démontre l'existence d'une corrélation hautement significative négative avec le premier axe factoriel et une corrélation significative positive avec le deuxième axe (tab II.3.2).



**Figure II.3.2** : La distribution de la moyenne des circonférences des arbres.

**Tableau II.3.1** : Dendrométrie de l'arbre.

	Sites					p
	Mâafa	Ain Tellout	Tircine	Theniet El Had	Tadjmout	
Hauteur	5,60±2,78 (1,00-12,00)	13,90±6,74 (1,00-25,00)	15,13±7,31 (3,00-26,00)	7,26±1,40 (4,50-10,00)	13,43±2,76 (6,00-17,00)	0,000
Circonf- érence	114,48± 89,52 (10,00-365,00)	193,40±121,86 (50,00-480,00)	282,31±99,57 (37,00-490,00)	206,60±115,22 (36,00-420,00)	111,66±44,26 (40,00-200,00)	0,000

**Tableau II.3.2** : Corrélation entre les paramètres dendrométriques de l'arbre et les axes factoriels.

	Axe 1	Axe 2
Hauteur	-0,15	-0,40**
Circonférence	-0,32**	0,18*

\*Corrélation significative &lt;0.05

\*\*Corrélation hautement significative &lt;0.001

## 2- Paramètres morphologiques de la feuille

Le tableau (II.3.3) montre l'analyse de la variance des paramètres de la feuille dans les cinq sites étudiés, et le tableau (II.3.4) montre la corrélation entre les paramètres de la feuille et les deux axes factoriels qui représentent les facteurs écologiques des sites. Les points qui apparaissent sur les figures des paramètres de la feuille représentent les mesures exceptionnelles dans le peuplement étudié.

**Tableau II.3.3** : Paramètres morphologiques de la feuille.

	Site moyenne±ecartype (min-max)					P
	Mâafa	Ain Tellout	Tircine	Theniet El Had	Tadjmout	
Longueur de feuille	4,32±0,94 (2,47-7,08)	8,55±1,66 (5,83-12,50)	7,80±1,12 (6,00-10,00)	9,39±1,50 (6,40-12,30)	8,08±1,34 (5,60-11,00)	0,000
Largeur de feuille	4,36±0,88 (2,72-6,14)	7,07±1,63 (4,71-11,63)	6,10±0,94 (4,70-8,00)	8,65±1,60 (5,30-12,00)	7,37±1,20 (4,50-9,50)	0,000
Longueur de pétiole	2,06±0,65 (0,76-3,48)	2,74±0,72 (1,50-4,22)	2,68±0,56 (2,00-3,70)	2,51±0,60 (1,50-4,20)	2,04±0,76 (0,50-3,90)	0,000
Largeur de pétiole	0,14±0,05 (0,10-0,20)	0,14±0,04 (0,10-0,20)	0,10±0,00 (0,10-0,10)	0,20±0,00 (0,20-0,20)	0,10±0,00 (0,10-0,10)	0,000
Longueur de foliole basale	2,13±0,42 (1,22-3,36)	3,44±0,75 (2,20-5,08)	3,18±0,61 (2,00-4,20)	3,63±0,86 (2,20-5,50)	3,26±0,71 (1,80-4,50)	0,000
Largeur de foliole basale	0,70±0,14 (0,42-1,02)	1,27±0,37 (0,60-2,08)	1,00±0,00 (1,00-1,00)	1,36±0,33 (0,80-2,10)	1,08±0,23 (0,50-1,50)	0,000
Longueur de foliole Terminale	1,98±0,48 (1,08-3,16)	3,59±0,69 (2,30-5,08)	3,76±0,86 (3,00-6,00)	4,01±0,85 (2,50-5,80)	3,36±0,63 (2,40-5,00)	0,000
Largeur de foliole Terminale	0,58±0,13 (0,36-0,95)	1,16±0,20 (0,90-1,73)	1,00±0,00 (1,00-1,00)	1,31±0,26 (0,80-2,00)	0,96±0,17 (0,70-1,40)	0,000
Couleur de feuille	1,57±0,50 (1-2)	1,40±0,81 (1-3)	1,00±0,00 (1-1)	1,00±0,00 (1-1)	1,63±0,92 (1-3)	0,000
Nombre de foliole	8,59±0,86 (6,80-10,26)	9,00±0,00 (9,00-9,00)	8,44±0,97 (6,00-9,00)	9,43±1,22 (7,00-11,00)	9,36±1,44 (7,00-11,00)	0,000

**Tableau II.3.4** : Corrélation entre les paramètres morphologiques de la feuille et les axes factoriels.

	Axe 1	Axe 2
Longueur de feuille	-0,24*	0,03
Largeur de feuille	-0,73	-0,12
Longueur de pétiole	-0,37**	0,04
Largeur de pétiole	-0,23**	0,48**
Longueur de foliole basale	-0,19*	0,12
Largeur de foliole basale	-0,28**	0,70
Longueur de foliole terminale	-0,24**	0,09
Largeur de foliole terminale	-0,36**	0,18*
Couleur de feuille	0,18*	-0,29**
Nombre de foliole	0,10	0,01

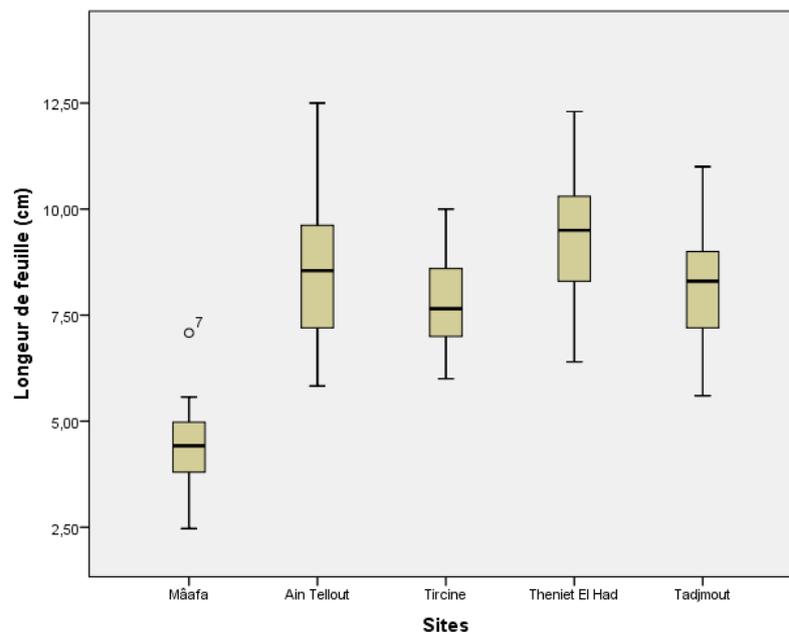
\*Corrélation significative &lt;0.05

\*\*Corrélation hautement significative &lt;0.001

### 2-1- Longueur de feuille

La longueur moyenne des feuilles dans l'ensemble des arbres des cinq sites est de 7,63 cm. La longueur minimale 2,47 cm à Mâafa et la longueur maximale 12,50 cm à Ain Tellout (fig II.3.3).

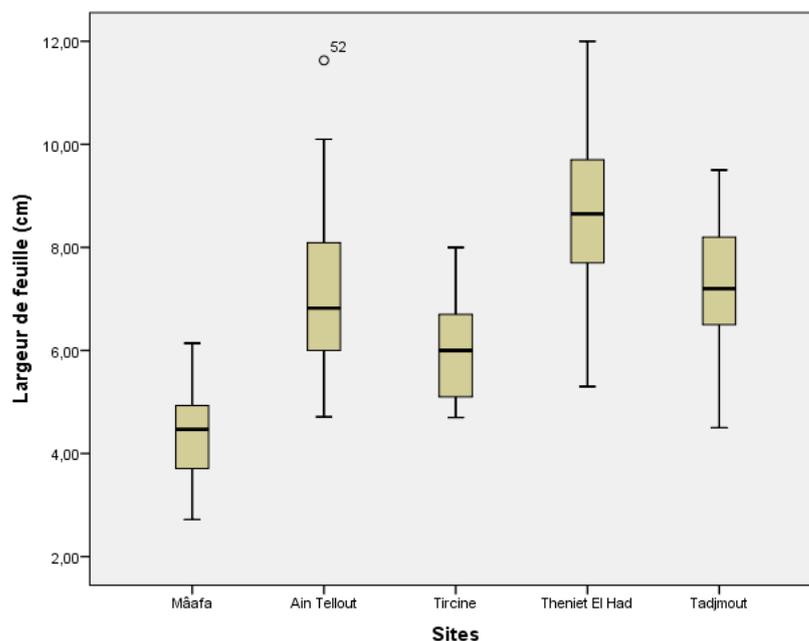
L'analyse de la variance indique une différence hautement significative entre les sites. Le test d'homogénéité de Ducan démontre l'existence de quatre groupes qui se distinguent nettement (G1 : Mâafa, G2 : Tircine et Tadjmout, G3 : Ain Tellout et G4 : Theniet El Had). Il existe une corrélation négative entre la longueur de la feuille et l'axe 1.

**Figure II.3.3**: La distribution de la moyenne des longueurs des feuilles.

## 2-2- Largeur de feuille

La valeur moyenne des largeurs des feuilles dans tous les peuplements étudiés est de 6,71 cm avec des valeurs extrêmes : minimale à Mâafa 2,72 cm, maximale à Theniet El Had 12,00 cm (fig II.3.4).

L'analyse de la variance montre une différence hautement significative entre les sites. Le test de Duncan pour le variable LA.F démontre l'existence de quatre groupes qui se distinguent nettement. (G1: Mâafa, G2: Tircine, G3: Ain Tellout et Tadjmout, G4: Theniet El Had). Le coefficient de corrélation confirme l'absence de corrélation entre la largeur des feuilles et le troisième axe factoriel.

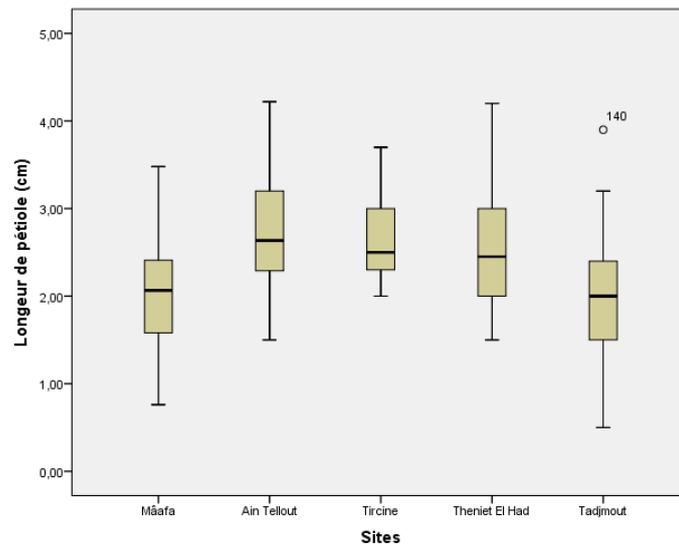


**Figure II.3.4** : La distribution de la moyenne des largeurs des feuilles.

## 2-3- Longueur de pétiole

La longueur moyenne des pétioles est de 2,40 cm dans les peuplements étudiés. Les valeurs minimale et maximale sont de 0,50 cm à Tadjmout et 4,22 cm à Ain Tellout respectivement (fig II.3.5).

L'analyse de la variance est hautement significative, ce qui explique une variabilité très large entre les différents sites pour le paramètre LP ( $p=0,000$ ). Le test de Duncan d'homogénéisation pour le variable L.P, nous a établi deux groupes (G1 : Tadjmout, Mâafa, G2 : Theniet El Had, Ain Tellout et Tircine). Alors que le test de corrélation nous a montré que la longueur des pétioles et l'axe factoriel 1 sont corrélés négativement.

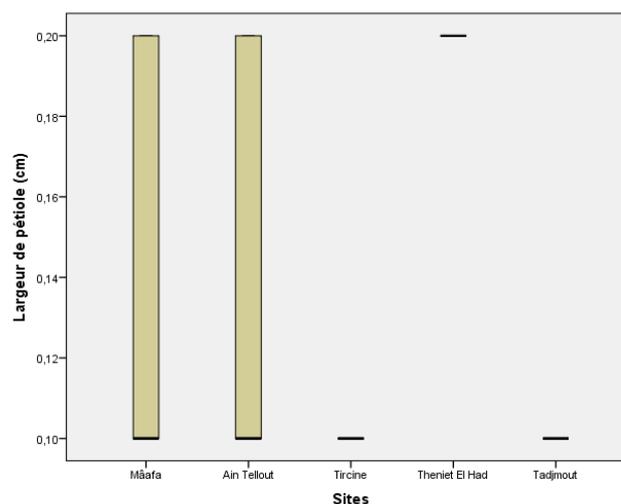


**Figure II.3.5 :** La distribution de la moyenne des longueurs des pétioles.

#### 2-4- Largeur de pétiole

La largeur moyenne des pétioles est de 0,13 cm dans l'ensemble des sites d'étude, entre une largeur minimale de 0,10 cm à Mâafa, Ain Tellout, Tircine et Tadjmout et une largeur maximale de 0,20 cm à Theniet El Had (fig II.3.6).

L'analyse de la variance est hautement significative, ce qui explique une variabilité entre les sites ( $p=0,000$ ). Le test de Duncan d'homogénéisation pour le variable LA.P démontre l'existence de trois groupes (G1 : Tircine, Tadjmout, G2 : Mâafa, Ain Tellout et G3 : Theniet El Had), notant qu'il n'existe pas un lien entre les groupes. La largeur de pétiole et l'axe factoriel 1 sont hautement corrélés négativement par contre avec l'axe 2 est hautement corrélé positivement.

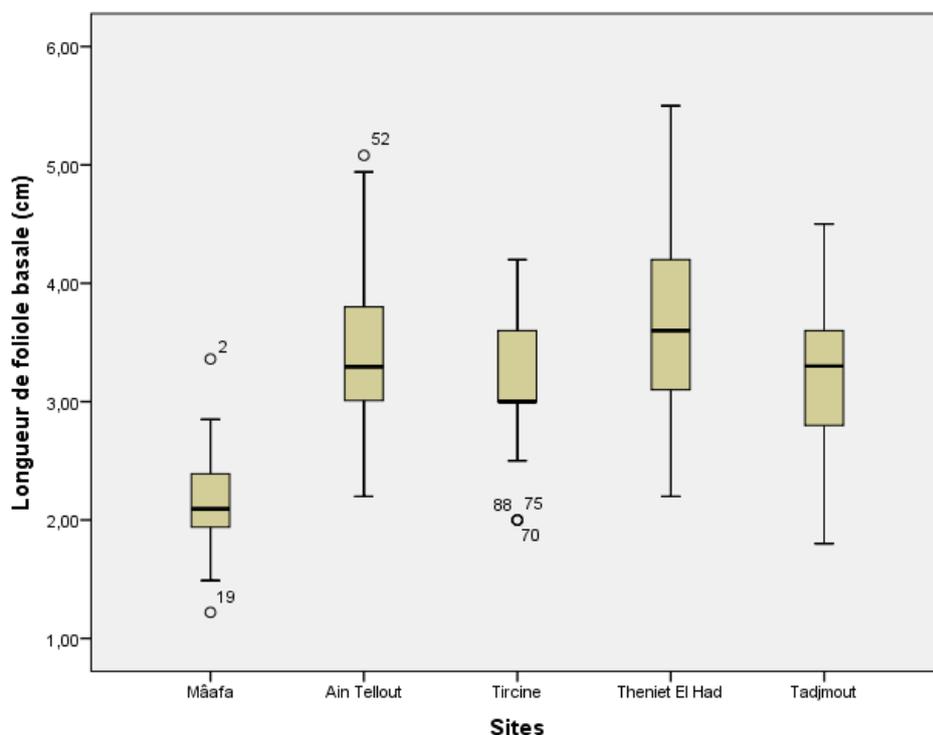


**Figure II.3.6 :** La distribution de la moyenne des largeurs des pétioles.

## 2-5- Longueur de foliole basale

Les folioles basales de tout le peuplement du pistachier de l'Atlas sont d'une longueur moyenne de 3,13 cm. Les folioles les plus longues atteignent 5,50 cm à Theniet El Had, tandis que les plus petites sont de 1,22 cm, observées à Mâafa (fig II.3.7).

L'analyse de la variance est très hautement significative, ce qui explique une variété très large entre les différents sites étudiés pour le paramètre L.FO.B ( $p=0,000$ ). Le test de Ducan d'homogénéisation pour cette variable démontre l'existence de trois groupes (G1 : Mâafa, G2 : Tircine, Tadjmout, G3 : Ain Tellout, Theniet El Had). La longueur de la foliole basale est corrélée négativement avec l'axe 1.

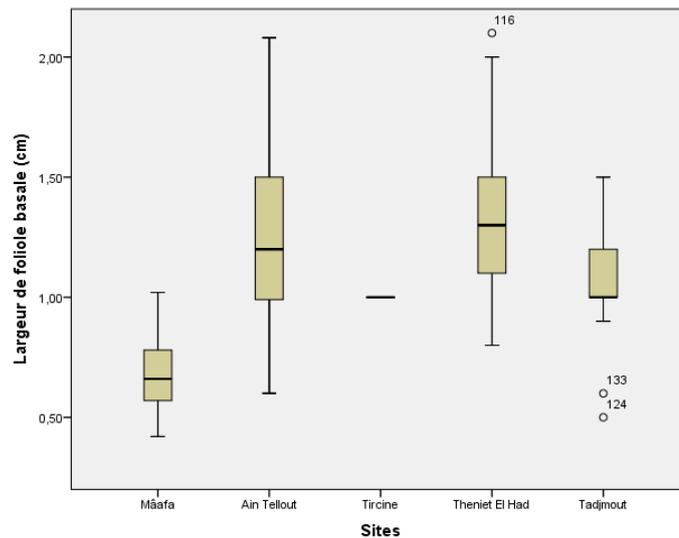


**Figure II.3.7 :** La distribution de la moyenne des longueurs des folioles basales.

## 2-6- Largeur de la foliole basale

La largeur des folioles basales du peuplement des cinq sites est d'une moyenne de 1,08 cm. Les folioles les plus larges sont de 2,10 cm enregistrées à Theniet El Had, tandis que les plus petites sont de 0,42 cm observées à Tircine (fig II.3.8).

L'analyse de la variance des sites est hautement significative ( $p=0,000$ ). Le test de Ducan pour le LA.FO.B est formé par trois groupes (G1 : Mâafa, G2 : Tircine, Tadjmout, G3 : Ain Tellout, Theniet El Had). Il existe une corrélation hautement significative négativement entre la largeur de la foliole basale et l'axe 1.

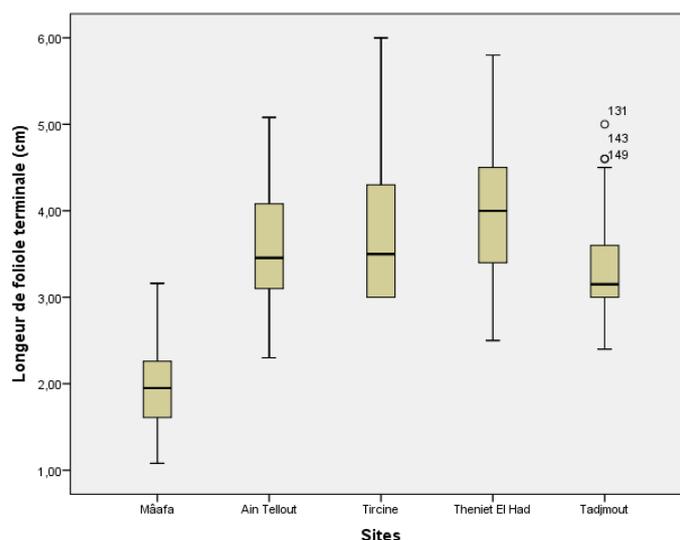


**Figure II.3.8 :** La distribution de la moyenne des largeurs des folioles basales.

### 2-7- Longueur de foliole terminale

La longueur des folioles terminales est d'une moyenne de 3,34 cm. Cette longueur varie entre une valeur minimale de 1,08 cm enregistrée à Mâafa et une valeur maximale de 6,00 cm observée à Tircine (fig II.3.9).

L'analyse de la variance est hautement significative ( $p=0.000$ ) ce qui explique une variabilité très large entre les différents sites. Le test d'homogénéisation pour le variable L.FO.T démontre l'existence de quatre groupes qui se distinguent (G1 : Mâafa, G2 : Tadjmout, G3 : Ain Tellout, Tircine et G4 : Theniet El Had). On remarque une corrélation hautement significative négativement entre la longueur de la foliole terminale et l'axe 1.

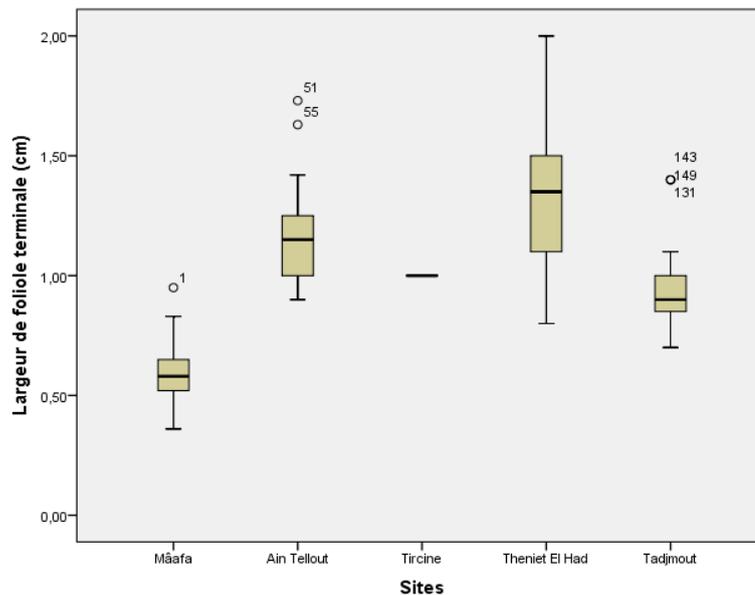


**Figure II.3.9:** La distribution de la moyenne des longueurs des folioles terminales.

## 2-8- Largeur de la foliole terminale

La moyenne de largeur de la foliole terminale dans tous les peuplements étudiés est de 1,00 cm. Elle varie entre 0.36 cm à Mâafa et 2 cm à Theniet El Had (fig II.3.10).

L'analyse de la variance est hautement significative ( $p=0.000$ ) ce qui explique une variabilité inter peuplement. Le test de Ducan d'homogénéisation pour le variable LA.FO.T démontre l'existence de quatre groupes (G1 : Mâafa, G2 : Tadjmout et Tircine, G3 : Ain Tellout et G4 : Theniet El Had). On note qu'il existe une corrélation hautement significative négativement avec l'axe factoriel 1 corrélée positivement avec l'axe 2.

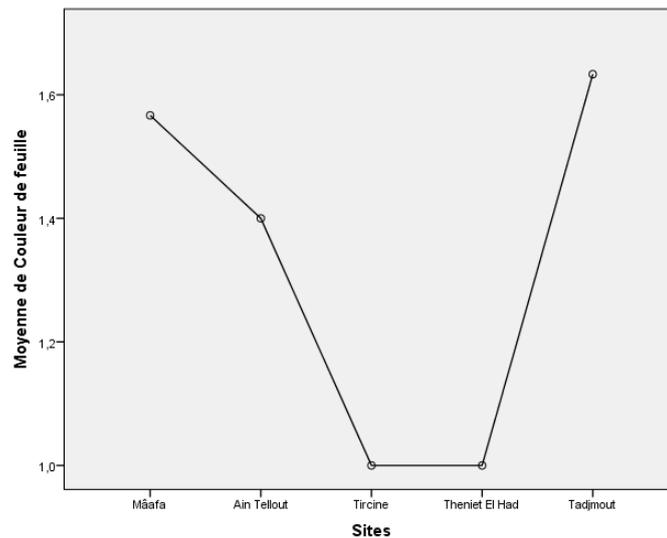


**Figure II.3.10** : La distribution de la moyenne des largeurs des folioles terminales.

## 2-9- Couleur de la feuille

La couleur est assez difficile à définir, on peut noter même des couleurs enchevauchées, pour cela on a décidé de considérer trois couleurs qui sont les plus dominantes: le vert, le jaune et le rouge. On a considéré ce paramètre comme une variable qualitative dont on remarque selon la moyenne que le vert est le plus dominant dans tous les peuplements étudiés (fig II.3.11).

L'analyse de la variance est hautement significative ( $p=0.000$ ) ce qui explique une variabilité très large entre les sites. Le Test de Ducan d'homogénéisation pour la variable couleur de feuilles démontre l'existence de 02 groupes (G1 : Tircine et Theniet El Had, G2 : Ain Tellout, Mâafa et Tadjmout). On remarque une corrélation positive de la couleur des feuilles avec l'axe 1 et une corrélation hautement significative négativement avec l'axe 2.

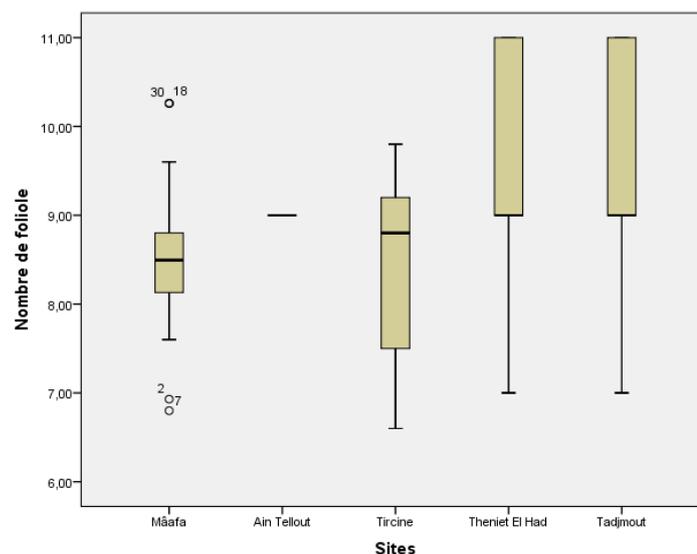


**Figure II.3.11:** La moyenne des couleurs des feuilles.

### 2-10- Nombre de foliole

La moyenne du nombre de folioles par feuille pour l'ensemble des sites étudiés est de 8,97 folioles avec une même moyenne du nombre maximal (11 folioles par feuille) dans les deux sites: Theniet El Had et Tadjmout, et une moyenne du nombre minimal 6,60 folioles par feuille à Mâafa (fig II.3.12).

L'analyse de la variance est hautement significative entre les sites étudiés ( $p= 0.001$ ). Le test de Ducan d'homogénéisation pour la variable N.F démontre l'existence de deux groupes (G1 : Mâafa, Tircine, G2 : Ain Tellout, Tadjmout et Theniet El Had). Il n'existe aucune corrélation entre ce paramètre et les axes.



**Figure II.3.12 :** La distribution de la moyenne du nombre de folioles.

### 3- Paramètres morphologiques du fruit

Le tableau (II.3.5) montre l'analyse de la variance des paramètres morphologiques du fruit, et le tableau (II.3.6) montre la corrélation entre les paramètres du fruit et les deux axes factoriels qui représentent les facteurs écologiques des sites. Les points qui apparaissent sur les figures des paramètres du fruit représentent les mesures exceptionnelles dans le peuplement étudié.

**Tableau II.3.5 :** Paramètres morphologiques du fruit.

	Sites moyenne±ecartype (min-max)					P
	Mâafa	Ain Tellout	Tircine	Theniet El Had	Tadjmout	
Longueur des grappes	7,92±1,29 (6,30-9,60)	8,14±1,86 (6,20-11,20)	7,73±1,23 (6,30-9,60)	7,93±1,86 (5,50-11,00)	6,10±0,70 (5,20-7,20)	0,024
Nombre de fruits	22,41±7,86 (13,00-35,00)	35,88±12,22 (16,00-62,00)	21,60±6,67 (11,00-35,00)	41,16±18,79 (17,00-66,00)	15,70±4,98 (9,00-23,00)	0,000
Longueur de pédoncule	2,60±1,17 (1,00-5,00)	1,71±1,03 (0,50-3,50)	2,54±1,26 (1,00-5,00)	1,51±0,74 (0,50-2,20)	1,86±0,71 (0,80-3,00)	0,101
Largeur de pédoncule	0,40±0,09 (0,30-0,50)	0,30±0,00 (0,30-0,30)	0,40±0,08 (0,30-0,50)	0,35±0,10 (0,20-0,50)	0,34±0,08 (0,20-0,50)	0,100
Longueur de fruit terminal	0,55±0,05 (0,50-0,60)	0,66±0,11 (0,50-0,80)	0,64±0,05 (0,60-0,70)	0,78±0,09 (0,70-0,90)	0,59±0,13 (0,40-0,80)	0,000
Largeur de fruit terminal	0,5±0,00 (0,50-0,50)	0,61±0,10 (0,50-0,80)	0,50±0,00 (0,50-0,50)	0,56±0,10 (0,40-0,70)	0,47±0,06 (0,40-0,60)	0,000
Longueur de fruit basal	0,55±0,05 (0,50-0,60)	0,60±0,00 (0,60-0,60)	0,65±0,05 (0,60-0,70)	0,63±0,08 (0,50-0,70)	0,50±0,00 (0,50-0,50)	0,000
Largeur de fruit basal	0,50±0,00 (0,50-0,50)	0,55±0,07 (0,50-0,70)	0,50±0,00 (0,50-0,50)	0,48±0,09 (0,40-0,60)	0,44±0,06 (0,30-0,50)	0,005

**Tableau II.3.6 :** Corrélation entre les paramètres morphologiques du fruit et les axes factoriels.

	Axe 1	Axe 2
Longueur des grappes	-0,37*	0,22
Nombre de fruits	-0,49**	0,25
Longueur de pédoncule	0,74	0,08
Largeur de pédoncule	0,09	0,21
Longueur de fruit terminal	-0,31*	0,27
Largeur de fruit terminal	-0,55**	0,01
Longueur de fruit basal	-0,55**	0,41**
Largeur de fruit basal	-0,53**	-0,1

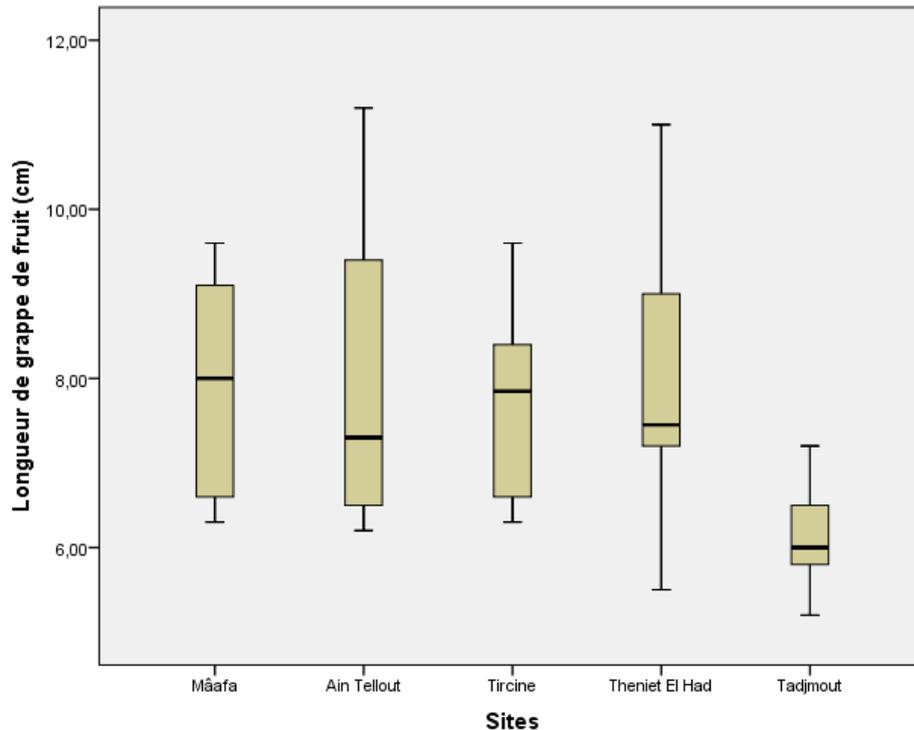
\*Corrélation significative <0.05

\*\*Corrélation hautement significative <0.001

#### 3-1- Longueur des grappes

La moyenne de la longueur des grappes de fruit dans les cinq sites de tous les peuplements est de 7,56 cm, la longueur minimale est de 5.20 cm à Tadjmout et la longueur maximale est de 11,20 cm à Ain Tellout (fig II.3.13).

L'analyse de la variance ( $p=0.02$ ) montre qu'il n'y a aucune différence entre les sites ce qui explique l'absence de la variabilité inter peuplement de cette variable. Le test de Ducan d'homogénéisation pour la variable L.G démontre l'existence de deux groupes (G1 : Tadjmout et G2 : Tircine, Theniet El Had, Ain Tellout). Selon l'analyse du coefficient de corrélation, il existe un impact négative des facteurs du milieu (axe1) sur ce paramètre.

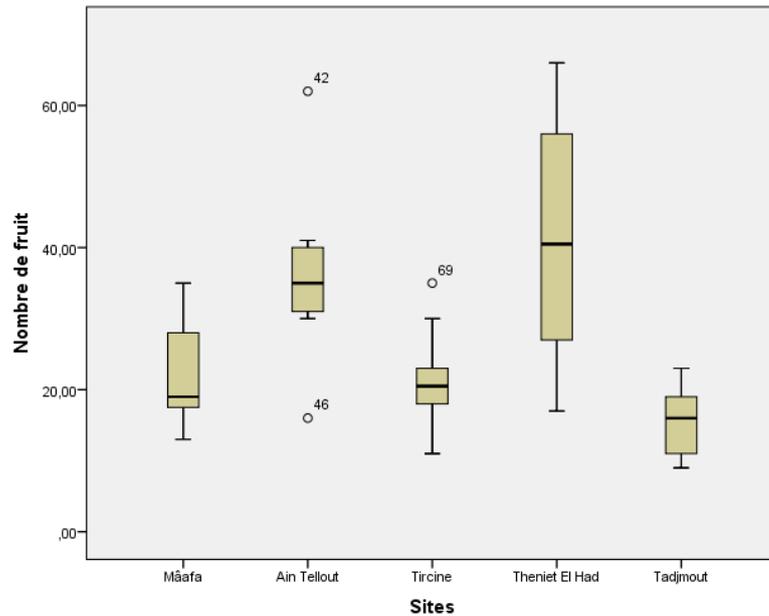


**Figure II.3.13** : La distribution de la moyenne des longueurs des grappes du fruit.

### 3-2- Nombre de fruits

La moyenne du nombre de fruits est de 25,72 dans les cinq sites étudiés, elle varie entre 9,00 à Tadjmout et 66,00 à Theniet El Had (fig II.3.14).

L'analyse de la variance est hautement significative ( $p=0,000$ ) ce qui montre une très grande variabilité du nombre de fruits par grappe entre les sites. Le test de Ducan d'homogénéisation pour la variable NF démontre l'existence de deux groupes (G1 : Tadjmout, Tircine et Mâafa, G2 : Ain Tellou et Theniet El Had). On remarque qu'il existe une corrélation hautement significative négativement entre le nombre de fruits par grappe et l'axe 1.

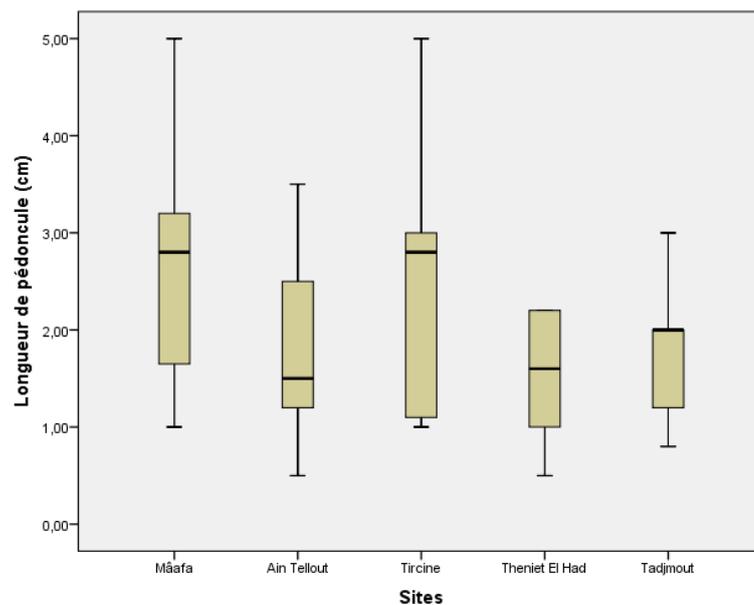


**Figure II.3.14 :** La distribution de la moyenne du nombre des fruits.

### 3-3- Longueur de pédoncule

Selon les mesures nous constatons que la moyenne des longueurs de pédoncules des fruits est de 2,12 cm, avec une moyenne minimale de 0,50 cm à Ain Tellout et Theniet El Had et une moyenne maximale de 5 cm à Mâafa et Tircine (fig II.3.15).

L'analyse de la variance n'est pas significative ( $p=0.10$ ). En plus il n'existe pas une corrélation entre la longueur de pédoncule et les facteurs de milieu.

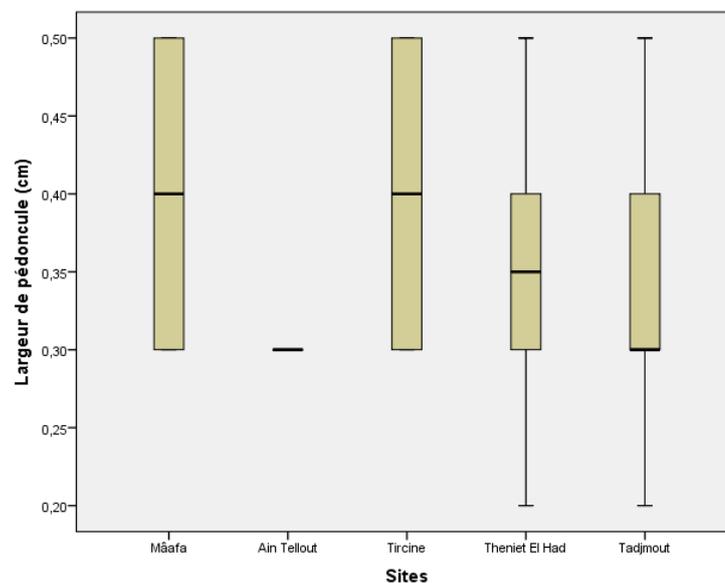


**Figure II.3.15 :** La distribution de la moyenne des longueurs des pédoncules.

### 3-4- Largeur de pédoncule

La moyenne des largeurs des pédoncules du fruit est de 0,36 cm. La largeur minimale est de 0,20 cm enregistrée dans les deux sites (Theniet El Had et Tadjmout) et la largeur maximale est de 0.5cm enregistrée dans les quatre sites (Mâafa, Tircine, Theniet El Had et Tadjmout) (fig II.3.16).

L'analyse de la variance n'est pas significative aucune différence entre les sites et Le test de Ducan d'homogénéisation démontre l'existence de deux groupes (G1 : Ain Tellout, Tadjmout et Theniet El Had, G2 : Mâafa, Tircine) il n'existe pas une corrélation entre la largeur des pédoncules du fruit et les facteurs de milieu.

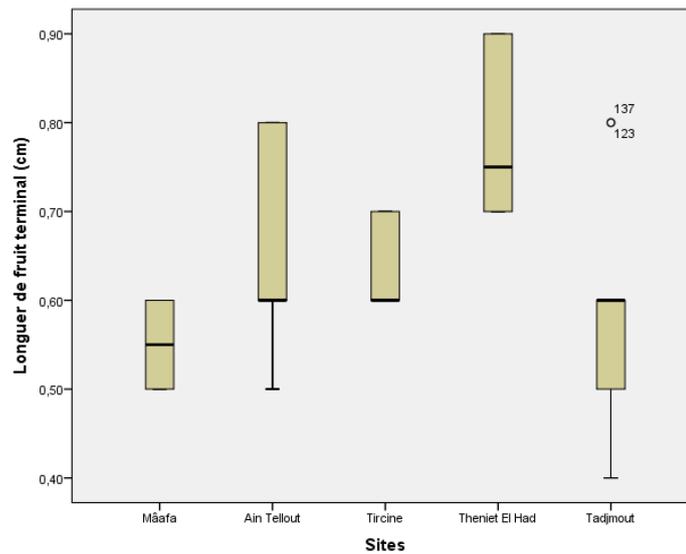


**Figure II.3.16 :** La distribution de la moyenne des largeurs des pédoncules.

### 3-5- Longueur du fruit terminal

Pour l'ensemble des peuplements, la moyenne des longueurs du fruit terminal est de 0,63 cm. La longueur minimale est de 0.40 cm à Tadjmout, la longueur maximale est de 0.9 cm à Theniet El Had (fig II.3.17).

L'analyse de la variance est hautement significative. Le test de Ducan d'homogénéisation pour la variable L.Fr.T démontre l'existence de trois groupes (G1 : Mâafa, Tadjmout, G2 : Tircine, Ain Tellout et G3 : Theniet El Had). Il existe une corrélation entre la longueur du fruit terminal et l'axe 1.

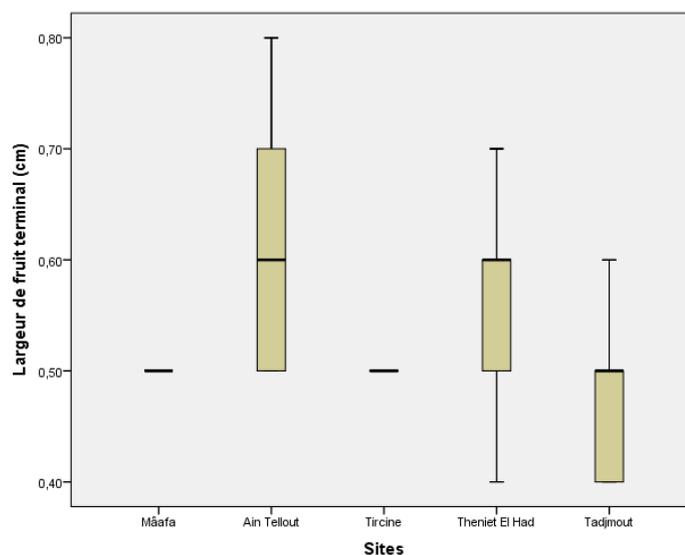


**Figure II.3.17** : La distribution de la moyenne des longueurs des fruits terminaux.

### 3-6- Largeur du fruit terminal

La moyenne des largeurs des fruits terminaux dans les cinq sites est de 0,52 cm, elle varie entre 0.4 cm à Theniet El Had et Tadjmout, arrive jusqu'à 0.8 cm à Ain Tellout (fig II.3.18).

L'analyse de la variance est hautement significative ( $p=0,000$ ), elle explique la variabilité large entre les sites. Le Test de Ducan d'homogénéisation pour le variable LA.Fr.T démontre l'existence de trois groupes (G1 : Tadjmout, Mâafa, Tircine, G2 : Theniet El Had, G3 : Ain Tellout). Il existe une corrélation hautement significative négativement entre la largeur du fruit terminal et l'axe 1.

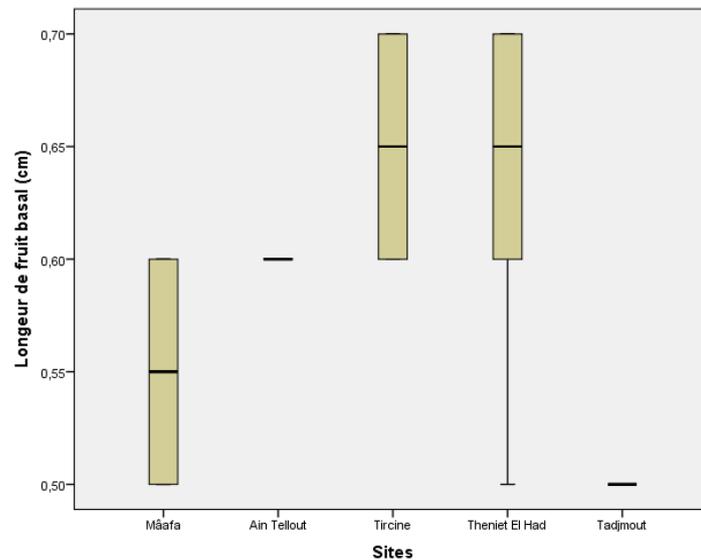


**Figure II.3.18** : La distribution de la moyenne des largeurs des fruits terminaux.

### 3-7- Longueur du fruit basal

La moyenne des longueurs des fruits basaux du pistachier de l'Atlas est de 0,58 cm pour l'ensemble des peuplements étudiés, elle varie entre 0,50 cm à Tadjmout, Theniet El Had, Mâafa et 0.7 cm à Tircine et Theniet El Had (fig II.3.19).

L'analyse de la variance est hautement significative ( $p=0,000$ ) pour le variable L.Fr.B. Le test de Ducan d'homogénéisation pour le variable L.Fr.B démontre l'existence de trois groupes (G1 : Tadjmout, G2 : Mâafa, G3 : Ain Tellout, Theniet El Had et Tircine). Il existe une corrélation hautement significative négativement avec l'axe 1 et positivement corrélée avec l'axe 2.

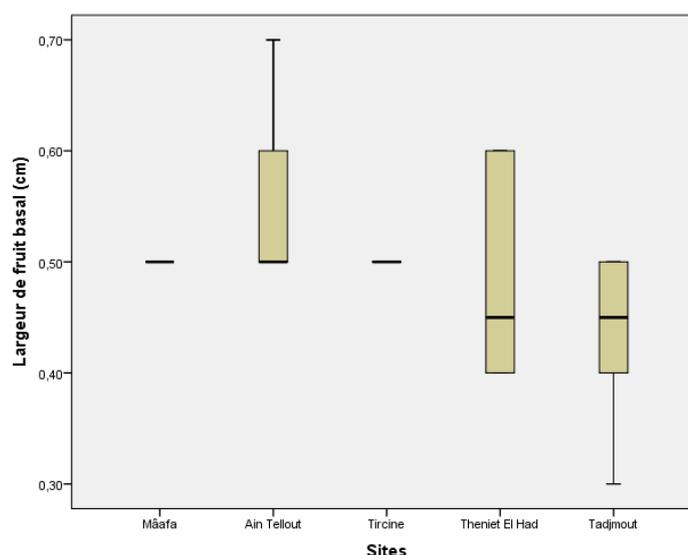


**Figure II.3.19** : La distribution de la moyenne des longueurs des fruits basaux.

### 3-8- Largeur du fruit basal

La moyenne des largeurs des fruits basaux des peuplements étudiés du pistachier de l'Atlas est de 0,49 cm, la largeur minimale est de 0,30 cm à Tadjmout et la largeur maximale 0,7 cm à Ain Tellout (fig II.3.20).

L'analyse de la variance est hautement significative ( $p=0,005$ ). Le test de Ducan du variable LA.Fr.B démontre l'existence de deux groupes (G1 : Tadjmout, Theniet El Had et G2 : Mâafa, Tircine, Ain Tellout). Il existe une corrélation hautement significative négativement entre la largeur du fruit basal et l'axe 1.



**Figure II.3.20** : La distribution de la moyenne des largeurs des fruits basaux.

#### 4- Paramètres micromorphologiques de la feuille

Les photos obtenues par le microscope électronique à balayage type Carl Zeiss EVO LS 10 permettent de comparer les paramètres de la feuille (cellules épidermiques, stomates, trichomes, cires et appareils conducteurs) dans les quatre sites (fig II.3.21 et fig II.3.22).

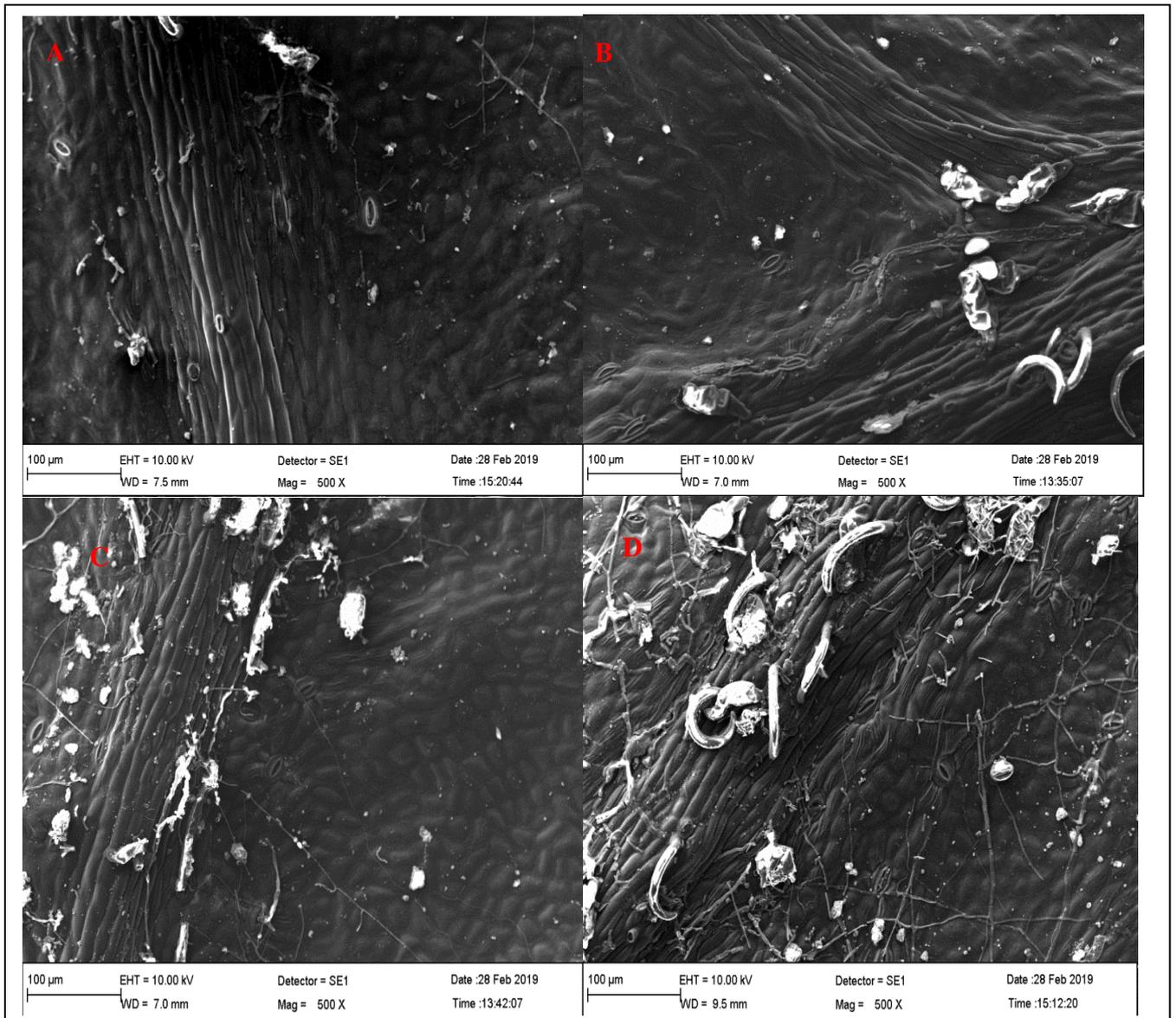
Le tableau (II.3.7) montre l'analyse de la variance des paramètres des organes micromorphologiques de la feuille dans les quatre sites étudiés et le tableau (II.3.8) montre la corrélation entre les paramètres micromorphologiques de la feuille et les trois facteurs (bioclimat, altitude, pente) qui représentent les facteurs écologiques des sites.

**Tableau II.3.7** : Biométrie micro-morphologique de la feuille.

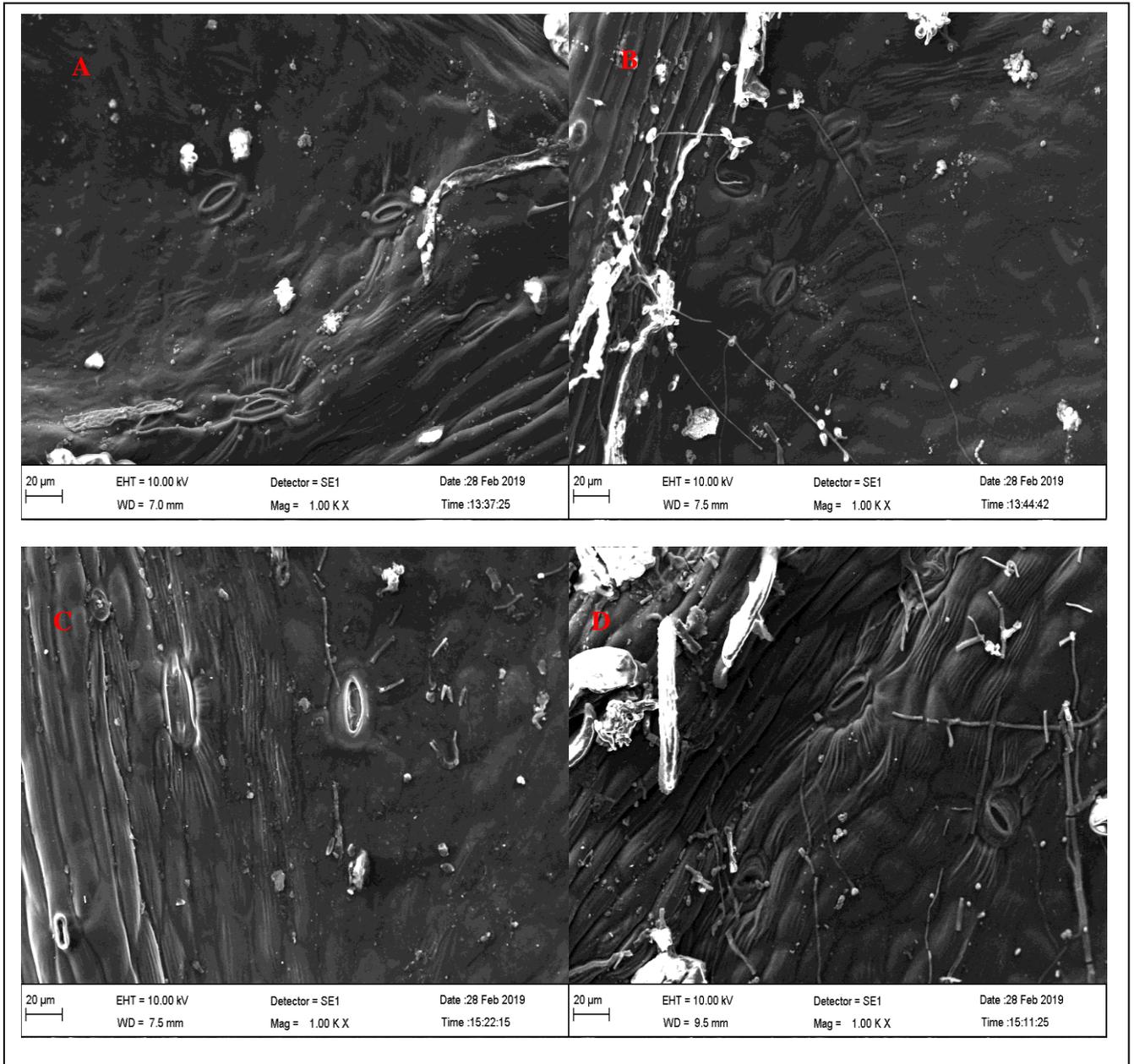
paramètres	Sites ( $\mu\text{m}$ )				<i>p</i>	
	Tircine	Tadjmout	Theniet El Had	Ain Tellout		
Epiderme	Longueur	43,95	30,23	36,04	42,32	0,000
	Largeur	18,13	20,93	21,39	27,44	0,000
Stomate	Longueur	32,09	30,46	30,23	30	0,943
	Largeur	18,13	19,76	21,39	14,88	0,02
Trichome	Longueur	112,09	62,55	80,23	81,86	0,049
	Largeur	21,86	20,23	27,20	16,27	0,709

**Tableau II.3.8** : Corrélation entre la micromorphologie et les facteurs de milieu.

	Paramètres	Bioclimat	pente	Altitude
Epiderme	Longueur	-0,334**	-0,055	-0,053
	Largeur	-0,443**	0,578**	0,262*
Stomate	Longueur	0,056	-0,100	-0,013
	Largeur	0,274	-0,294	-0,379*
Trichome	Longueur	-0,043	-0,314	-0,104
	Largeur	0,000	-0,074	-0,197



**Figure II.3.21 :** Photos de la feuille du pistachier de l'Atlas sous le microscope électronique à balayage montrant les cellules épidermiques, les stomates, les trichomes et les appareils conducteurs :(A) Tircine, (B) Tadjmout, (C) Ain Tellout, (D) Theniet El Had. Gradissement X500.



**Figure II.3.22** : Photos de la feuille du pistachier de l'Atlas sous le microscope électronique à balayage montrant les cellules épidermiques, les stomates, les trichomes et les appareils conducteurs :(A) Tircine, (B) Tadjmout, (C) Ain Tellout, (D) Theniet El Had. Gradissement X1000.

#### 4-1- Cellule Epidermique

La surface de la face supérieure de la foliole est généralement lisse dans les sites de Tircine, Tadjmout et Ain Tellout par contre à Theniet El Had elle est ondulée. La forme des cellules épidermiques est différente dans les quatre sites, dans le site de Tircine, les cellules sont plates allongées, dans le site de Tadjmout les cellules forment des groupes de cellules striées en rayons orientés vers un centre, dans le site de Ain Tellout elles sont de motif irrégulier où la majorité sont presque de forme rectangulaire, par contre les cellules dans le site de Theniet El Had sont classées de façon régulière de forme convexe, isodiamétrique et réticulée avec des crêtes arrondies.

##### 4-1-1- Longueur de la cellule épidermique

La longueur moyenne des cellules épidermiques dans les quatre sites est de 38,13  $\mu\text{m}$ . La longueur minimale 20,93  $\mu\text{m}$  et la longueur maximale 60,46  $\mu\text{m}$  au même site (Tircine) (fig II.3.23).

L'analyse de la variance de la longueur moyenne indique une différence hautement significative entre les sites. Le test d'homogénéité de Ducan démontre l'existence de trois groupes G1 : Tadjmout, G2 : Tircine, Ain Tellout et G3 : Theniet El Had. Il existe une très grande corrélation négative entre la longueur de l'épiderme et l'étage bioclimatique.

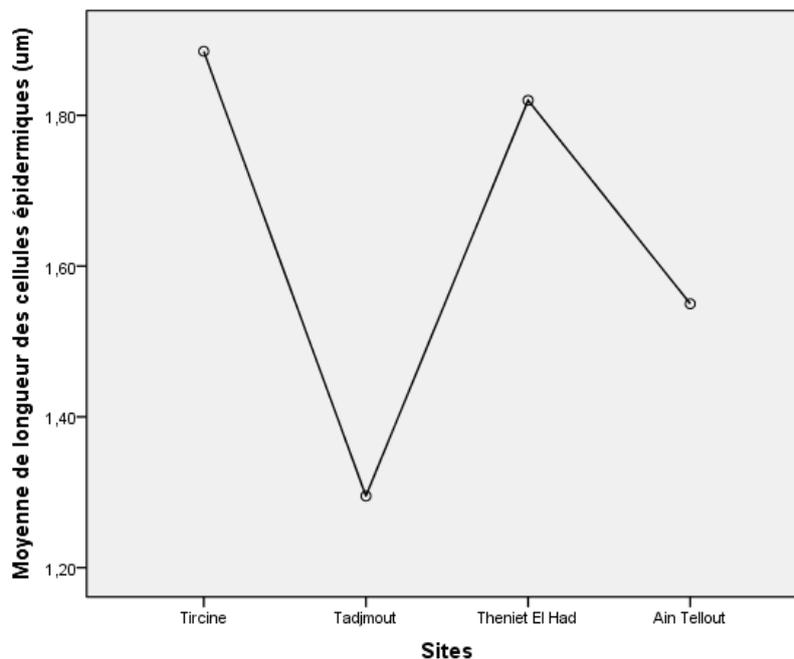
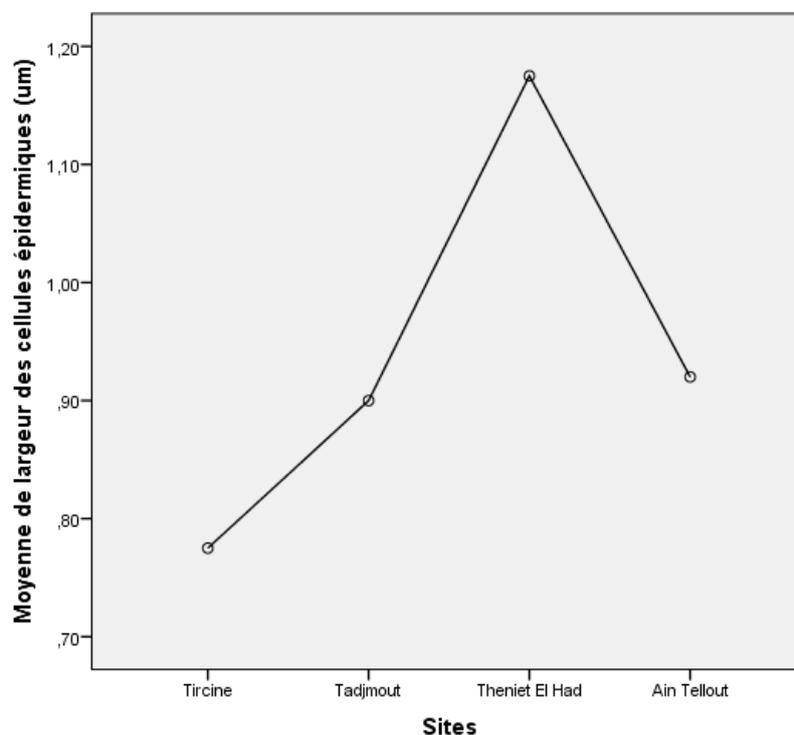


Figure II.3.23 : Moyenne des longueurs des cellules épidermiques.

#### 4-1-2- Largeur de la cellule épidermique

La largeur de la cellule épidermique des quatre sites est d'une moyenne de 21,97  $\mu\text{m}$ . Les cellules épidermiques les plus larges sont d'une moyenne de 41,86  $\mu\text{m}$  à Ain Tellout tandis que les plus petites 2.32  $\mu\text{m}$  sont observées à Tircine (fig II.3.24).

L'analyse de la variance de la largeur moyenne entre les sites est hautement significative  $p=0,000$ . Le test de Duncan pour la largeur des cellules épidermiques est formée par trois groupes G1 : Tircine; G2 : Tadjmout, Ain Tellout et G3 : Theniet El Had. Il existe une très grande corrélation négative entre la largeur des cellules épidermiques et l'étage bioclimatique, une grande corrélation positive avec la pente ainsi qu'une faible corrélation avec l'altitude.



**Figure II.3.24** : Moyenne des largeurs des cellules épidermiques.

#### 4-2-Stomate

Les stomates ont des nombres et des formes variables. Les principaux types de stomates observés sont anomocytaires, actinocytaires qui sont les plus abondants surtout à Theniet El Had, les deux types sont présents dans tous les sites de forme variable : ovale, oblongue, circulaire par contre ils sont rectangulaires dans le site de Ain Tellout. Dans les trois sites (Tircine, Tadjmout, Ain Tellout) les stomates sont situés près des nervures centrales, elliptiques. On observe aussi la présence de poils ou de rayons autour des stomates dans les sites de Tircine et Theniet El Had.

#### 4-2-1- Longueur de stomate

Les longueurs des stomates sont d'une moyenne de 30,69  $\mu\text{m}$ , ces longueurs varient entre 18,60  $\mu\text{m}$  et 46,51  $\mu\text{m}$  (fig II.3.25), enregistrées à Ain Tellout.

L'analyse de la variance montre qu'il n'y a aucune différence de longueur des stomates entre les sites. Le test de corrélation ne présente aucune relation entre la variation des facteurs écologiques et la longueur des stomates.

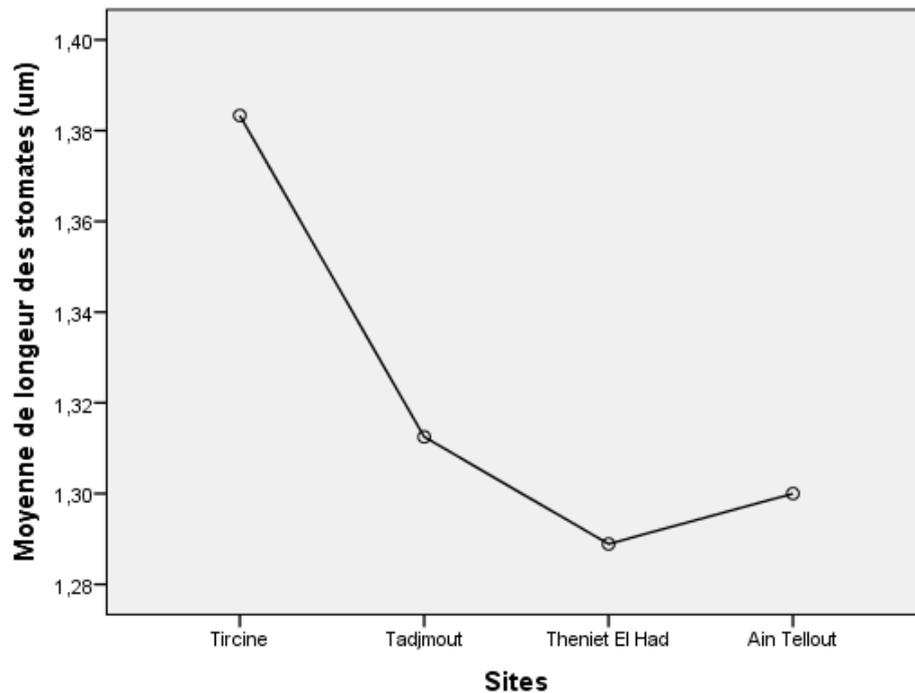
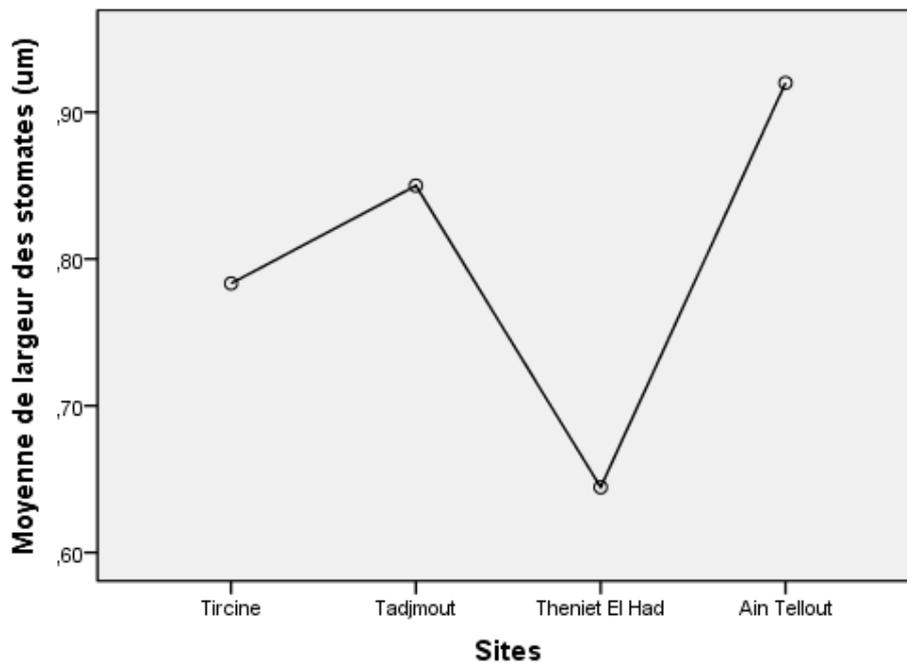


Figure II.3.25 : Moyenne des longueurs des stomates.

#### 4-2-2- Largeur de stomate

La moyenne des largeurs des stomates dans tous les sites étudiés est de 18,54  $\mu\text{m}$ , elle varie entre 9,30  $\mu\text{m}$  à Ain Tellout et 27,90  $\mu\text{m}$  à Ain Tellout et Theniet El Had (fig II.3.26).

L'analyse de la variance est significative  $p=0.02$ . Le test d'homogénéisation pour le variable largeur des stomates démontre l'existence de deux groupes G1 : Theniet El Had; G2 : Tircine, Tadjmout, Ain Tellout. On remarque une corrélation négative entre la largeur des stomates et l'altitude.



**Figure II.3.26 :** Moyenne des largeurs des stomates.

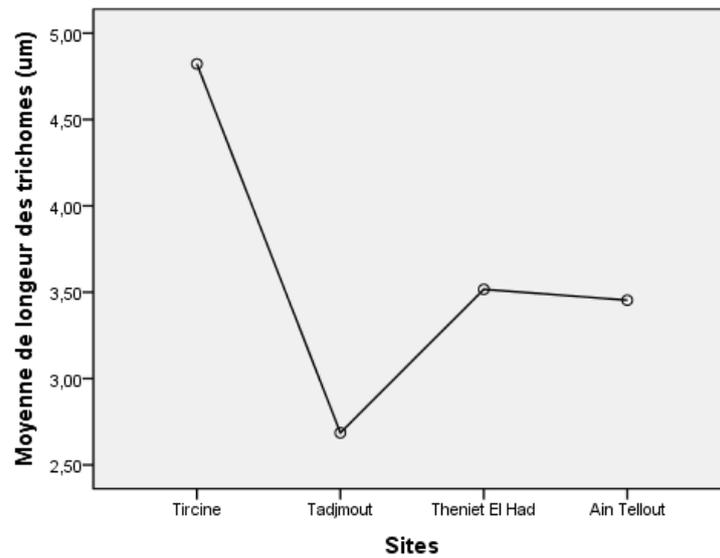
#### 4-3- Trichome

Les trichomes sont des extractions épidermiques sur la foliole avec des formes variables. Le site de Tircine contient deux types : glandulaires et arqués se localisent au-dessus de la nervure principale. La foliole du site de Tadjmout possède rarement les trichomes par contre dans le site de Ain Tellout ils sont très abondants, ces extractions sont présentes sur toute la surface foliaire avec deux formes différentes l'une unicellulaire allongée et l'autre glandulaire. La foliole du site de Theniet El Had contient une très grande abondance de trichomes de plusieurs formes : glandulaire, allongée et arquée.

##### 4-3-1- Longueur de trichome

La moyenne des longueurs des trichomes est de 84,18 µm. La longueur minimale est de 30,23 µm enregistrée dans le site de Ain Tellout la longueur maximale de 188,37 µm enregistrée à Tircine (fig II.3.27).

L'analyse de la variance est significative  $p=0,04$ . Le test de Ducan d'homogénéisation pour le variable longueur des trichomes démontre l'existence de deux groupes G1 : Tadjmout, Ain Tellout, Theniet El Had et G2 : Tircine. Il n'existe pas une corrélation entre la longueur de trichomes et les trois facteurs écologiques.

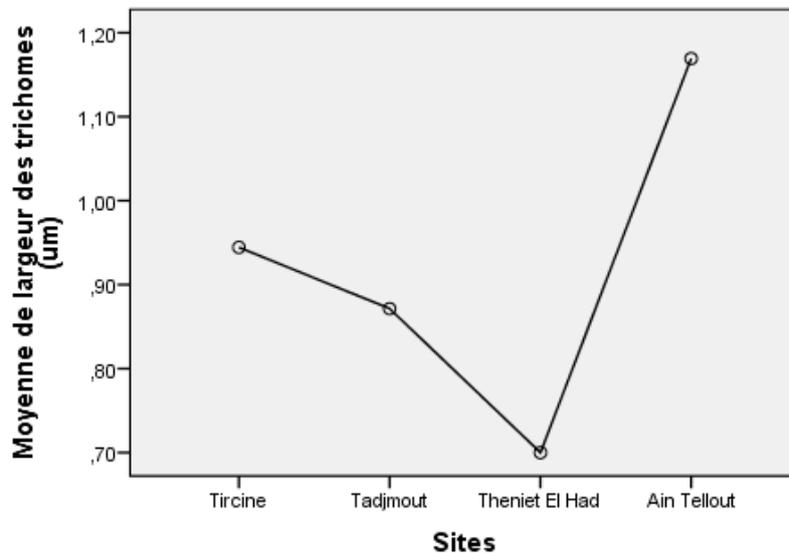


**Figure II.3.27 :** Moyenne des longueurs des trichomes.

#### 4-3-2- Largeur de trichome

La moyenne des largeurs des trichomes est de 21,39 µm pour l'ensemble des sites étudiés. Elle varie entre 4,65 µm à Tadjmout et 116,27 µm à Theniet El Had (fig II.3.28).

L'analyse de la variance n'est pas significative donc il n'existe pas une variabilité de la largeur des trichomes entre les sites, ainsi il n'existe pas une corrélation entre ce variable et les trois facteurs.



**Figure II.3.28 :** Moyenne des largeurs des trichomes.

#### 4-4- Indice stomatique et indice de trichome

Selon le tableau (II.3.9), la valeur de l'indice stomatique est plus élevée à Ain Tellout (7.69). Alors que la valeur la plus faible est notée à Tadjmout (4.44). On constate aussi que les valeurs obtenues de l'indice des trichomes varient selon les sites, la plus faible est observée à Tadjmout (5.49) et la plus élevée à Ain Tellout (10.20).

**Tableau II.3.9 :** Indice stomatique et indice de trichome.

Indice	Tircine	Tadjmout	Theniet El Had	Ain Tellout
Indice de stomate	5.94	4.44	7.24	7.69
Indice de trichome	8.65	5.49	9.21	10.20

#### 4-5- Cire

L'observation microscopique de la foliole nous montre la cire sous forme de cristaux, de boules et parfois d'écoulements à proximité des stomates, cette cire est présente dans tous les sites, mais elle est plus remarquable dans les sites de Ain Tellout et de Theniet El Had, on remarque aussi que dans le site de Tadjmout, la cire coule surtout sur et autour de la nervure principale (fig II.3.21).

#### 4-6- Appareil conducteur

On distingue une différence dans la forme ou l'architecture de l'appareil conducteur. Dans le site de Tircine il apparaît entrelacé, à Tadjmout et à Ain Tellout, allongé et régulier. Alors qu'à Theniet El Had, il est allongé, entrelacé, éminent et gonflé (fig II.3.21).

### ❖ Discussion

La constatation de la variabilité intra et inter-peuplement de certains paramètres morphologiques peut parfois suffire pour la distinction des espèces. Quelquefois, un seul caractère observable permet de différencier une espèce ou un groupe d'espèces, alors que parfois un ensemble de caractères doit être considéré pour caractériser les espèces (**Lesins, 1979**). Dans notre étude, l'évaluation de la variabilité pour certains caractères comme la dendrométrie, la morphologie de la feuille ou du fruit construit un bon outil pour l'évaluer. Les données que nous avons obtenues montrent clairement que les peuplements étudiés comportent une forte variabilité morphologique intra et inter-peuplement. La grande variabilité de tous les paramètres du pistachier de l'Atlas des meilleurs peuplements en Algérie est la résultante de plusieurs indicateurs liés à la diversité des unités géomorphologiques, topographiques, climatiques et anthropiques. Tandis que l'existence d'une importante variabilité phénotypique qui résulterait de l'expression d'une forte hétérogénéité génotypique et de l'influence des facteurs environnementaux (**Bonny et Dje,**

2011), ou par la menace qui provient principalement de la conjonction de deux phénomènes : la dégradation par le surpâturage (ébranchage excessif, terrassement du sol) et l'occurrence, suite au changement climatique mondial, des périodes de sécheresse de plus en plus longues qui compromettent sa régénération naturelle (**Zaafouri et Chaieb, 1999**). En Turquie, **Monastra et al. (1997)** ; **Kafkas et Kaska (1998)**, ont démontré l'existence d'une variabilité génétique significative de cette espèce.

La hauteur des arbres et le cycle de maturité sont les principaux caractères discriminants (**Akanvou et al, 2012**). Selon **Benaradj (2017)**, la hauteur des arbres du pistachier de l'Atlas ne dépasse pas 12 m, également la présence de gros bois c'est la cause de l'humidité favorable et le sol profond, ainsi la lumière favorise la hauteur des arbres. Donc notre étude ajoute d'autres facteurs de milieu qui rentrent dans la variabilité de la dendrométrie de l'arbre qui sont : l'exposition, la concurrence, l'altitude et le surpâturage.

Selon **Monjauze (1980)**, la longueur de la feuille du pistachier de l'Atlas dépasse rarement 12 cm. **Doghbage et al. (2018)**, la longueur et la largeur des feuilles varient selon les stations entre une moyenne de (10,69- 11,04 cm) de longueur et (7,14- 7,44 cm) de largeur, elles possèdent entre 3 à 11 folioles, la foliole terminale est de 3,61 cm de longueur et 1,12 cm de largeur, son pétiole est de 2,22 cm. D'après **Berrichi et al. (2017)**, la longueur moyenne de la feuille est de 12,6 cm et la largeur moyenne est de 9,25 cm, avec une longueur de pétiole de 2,73 cm. La grande foliole est de 5,16 cm de long et 1,72 cm de large par contre la petite foliole est de 3,41 cm de long et 1,30 cm de large. **Quezel et Médail (2003)** ; **Ait Said et al. (2011)** ; **Benabdellah (2012)** ; **Benfoddil (2015)**, ont mentionné que les paramètres de la feuille, de la foliole et du pétiole du pistachier de l'Atlas de la région de Tlemcen présentent des valeurs végétatives plus élevées que celles des stations en zone saharienne et aride. En ce qui concerne la couleur des feuilles, elle est verte à verte plus foncée (**Belhadj, 2008** ; **Yaltirik, 1967**; **Kafkas et al., 2002**). Donc notre étude a expliqué cette hétérogénéité par la différence des conditions de milieu : exposition, concurrence, altitude, surpâturage, le sol, densité, et le bioclimat pour tous les paramètres de la feuille. Selon **Royer et al. (2008)**, les dimensions et la morphologie des feuilles sont affectées par le climat qui entraîne des variations au sein d'une même espèce, d'après **Fahn (1967)**, la réduction de la taille des feuilles est corrélée avec la réduction de la transpiration. **Borboni et al. (2004)**, notent que les dimensions des feuilles peuvent varier sous l'influence de certains phénomènes éco-physiologiques en relation avec les pigments chlorophylliens d'une part et d'autre part les teneurs en chlorophylles tendent à varier en fonction de la disponibilité de l'eau, car le stress hydrique peut causer une oxydation des pigments chlorophylliens provoquant une couleur verte claire des feuilles. Le nombre de paires ainsi que la couleur des folioles sont des caractéristiques très affectées par les facteurs écologiques et peuvent varier aussi en fonction de l'âge de la feuille et du gradient longitudinal (**Zohary, 1952** ; **Alyafi, 1979**). Les petites

feuilles ont tendance à être plus abondantes sur les hauts plateaux et les endroits froids (**Barboni et al., 2004**). Néanmoins, la part de l'influence du facteur génétique au sein d'une population sous l'influence de l'environnement qui est impliquée dans l'adaptation aux changements de l'environnement, n'est pas à omettre (**Maxted et al., 1997**).

Ainsi, les caractères des fruits sont utilisés pour différencier les quatre espèces de Pistacia (**Alyafi, 1979 ; Behboudi, 2004**). Dans notre étude on a constaté une variabilité dans les paramètres du fruit. Selon **Yaltirik (1967) ; Belhadj et al. (2008)**, la largeur des fruits est entre 0,5 et 0,6 cm cette différenciation est expliquée par l'effet des facteurs du bioclimat, du sol et de l'altitude. La fécondation croisée (allogamie) peut expliquer la différence observée au niveau de l'individu pour les fruits et les graines (**Chalemagne et al., 2015**), cette différence permet ainsi une meilleure adaptation au milieu (**Hamrich et Godt, 1990**).

La variabilité morphologique et anatomique admet à l'espèce de s'adapter et survivre dans les différents milieux, ces variations telles que la réduction de la taille, l'enroulement des feuilles et la densité des stomates (**Bosabalidies et Kolidis, 2002**).

Lors de l'étude micro-morphologique on a précisé que : l'épiderme de la feuille, peut être utilisé à l'identification des espèces et des genres d'espèces (**Navarro et El Oualidi, 1999 ; Newton, 1972 ; Stant, 1973**) et son aridité joue un rôle sur la survie et la croissance du pistachier de l'Atlas (**Ait Said et al., 2004**). Le trichome considéré comme un caractère taxonomique (**Krak et Mraz, 2008 ; Salmaki et al., 2009 ; Shaheen et al., 2009**), a un rôle adaptatif et défensif pour la plante (**Jeffrey, 1986**) contre les mollusques, les insectes et les herbivores (**Duffey, 1986**), en plus le type de trichome glandulaire a un rôle important dans la production et le stockage des huiles essentielles (**Covello et al., 2007 ; Giuliani et Bini, 2008 ; Biswas et al., 2009**). Le stomate qui a une fonction importante dans les échanges gazeux et hydriques entre la feuille et l'atmosphère (**Miyashita et al., 2005**), son ouverture et sa fermeture dépend des facteurs environnementaux (La lumière, concentration CO<sub>2</sub> ou eau). Même certains cations (potassium, calcium) et anions (chlorure) interviennent activement dans l'ouverture et la fermeture des stomates. La cire réduit la perte d'eau après la fermeture stomatique retardant un stress hydrique sévère (**Pallardy et Kozlowski, 1979**). **Martins et zeini (2003)**, notent que les caractéristiques anatomiques peuvent être utilisés comme indicateur de tolérance à la sécheresse. Ainsi la surface de l'épiderme, le trichome et la cire peuvent modifier les flux d'échange de gaz.

D'après nos résultats du microscope électronique à balayage de la micro-morphologie des folioles, on a distingué l'existence d'une large variabilité micro-morphologique dans les quatre sites étudiés, due à la résistance aux conditions de milieu qu'on avait remarqué dans la variabilité des stomates, ce mécanisme de contrôle stomatique est très efficace pour économiser l'eau intracellulaire de la feuille (**Flexas et Medrano, 2002 ; Gallé et al., 2007**).

Selon **Ait Said et al. (2004)**, la présence des stomates à moitié ouverts dans les sites les plus arides expliquée par la grande résistance à l'aridité. Ainsi que la présence de différents types de stomates dans nos sites (Anomocyttaire, actinocyttaire) qui ont été enregistrés aux sites étudiés par **Belhadj (2008)**. Et aussi dans la variabilité remarquable des trichomes où l'altitude et la basse température jouent un rôle clé dans la différenciation des trichomes et leur emplacement (**Belhadj, 2008**). Malgré que les stomates chez les Anacardiacees ont été déclarés être anomocyttaires par **Metcalf et Chalk (1950)**. **Lin et al. (1984)**, ont signalé la présence des actinocytoses. Concernant l'augmentation et la réduction de la cire sur la surface de la foliole qu'on les avait vu dans nos sites sont expliquées par la différenciation de l'environnement (**Carpenter et al., 2005 ; Holmes et Keiller, 2002 ; St-Laurent et al., 2000**).

Dans certains sites les stomates sont enfoncés et recouverts de trichomes ou de cire, d'après **Fahn (1967)**, ce mécanisme est observable chez les plantes xéromorphes, pour empêcher la perte d'eau.

L'étude anatomique de la feuille peut nous mené parfois à déterminer la diversité des espèces, si celle ci est due à une différence génétique (**Agbagwa et Ndukwu, 2004 ; Kharazian, 2007**), mais quelque fois cette variabilité anatomique ne peut exister que sous une influence de manière significative des facteurs écologiques. Donc la large répartition du Pistachier de l'Atlas est expliquée par sa haute plasticité morphologique et précisément micro-morphologique dans les différentes conditions écologiques en l'Algérie. Cette répartition peut être expliquée aussi par sa diversité génétique (**Belhadj et al., 2007**).

La moyenne des différents paramètres micro- morphologique de la feuilles du pistachier de l'Atlas sont de : Les cellules épidermiques 38,13  $\mu\text{m}$  de longueur et 21,97  $\mu\text{m}$  de largeur. Les stomates 30,69  $\mu\text{m}$  de longueur et 18,54  $\mu\text{m}$  de largeur et en fin les trichomes 84,18  $\mu\text{m}$  de longueur et 21,39  $\mu\text{m}$  de largeur.

D'Après **Guerin (2005)**, la structure et la densité des trichomes sont parfois utilisables pour la phylogénie. Elles sont aussi considérées comme des caractères taxonomiques importants (**Krak et Mraz, 2008 ; Salmaki et al., 2009 ; Shaheen et al., 2009**) bien que ces caractéristiques sont trop tôt pour tirer la systématique finale de l'espèce.

Les conditions écologiques réagissent directement ou indirectement sur la feuille où l'aridité augmente son épaisseur, diminue sa taille et réduit sa transpiration (**Huang et al., 2009 ; Macek et al., 2009**). La densité élevée de trichomes glandulaires dans la feuille est liée au haut contenu du terpénoïde (**Mahmoud et al, 2004 ; Fridman et al., 2005 ; Ringer et al., 2005**), les différents terpénoïdes peuvent être considérés comme des marqueurs d'aridité (**Ait Said, 2011**). Les trichomes glandulaires sont parmi des sécrétoires les plus courants qui

produisent et stockent des huiles essentielles dans les plantes (**Covello et al., 2007; Giuliani et Bini, 2008 ; Biswas et al., 2009**). Comme ils sont parmi les traits les plus importants contribuant à la résistance passive des plantes aux agents pathogènes, ravageurs et la sécheresse (**Levin, 1973**), et peuvent jouer un rôle important dans l'adaptation aux environnements avec des niveaux élevés d'irradiante (**Stenglein et al., 2005**). Cependant, les trichomes sont généralement constants en groupes d'espèces (**Stace, 1965 ; Okpon, 1969**) mais d'après **Belhadj et al. (2007)**, La densité des trichomes diffère en fonction de l'altitude.

Le nombre de stomates par feuille peut être exprimé soit par la densité stomatique (nombre de stomates par mm<sup>2</sup> ou par cm<sup>2</sup>) soit par l'indice stomatique (pourcentage de stomates par rapport au nombre total de cellules épidermiques) (**Lespinasse et Noiton, 1986**).

# Partie III

## Etude de la variabilité génétique

- **Chapitre 1 : Notion de la génétique**
- **Chapitre 2 : Matériels et méthodes**
- **Chapitre 3 : Résultats et discussion**

# Chapitre 1 : Notion de la génétique

## 1- Origine et intérêt de l'étude de la diversité génétique

La diversité génétique est la source fondamentale de la biodiversité. En 1989 le fond mondial pour la vie sauvage (WWF) avait défini la biodiversité comme: «une richesse de la vie sur terre composée par : des millions de plantes, d'animaux et de micro-organismes, y compris les gènes qu'ils portent et les écosystèmes complexes qui créent l'environnement ». L'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) a inclus la question de la conservation, l'évaluation et l'utilisation des ressources génétiques dans ses domaines d'intérêt depuis 1970 (**Çalışkan, 2012**).

La diversité génétique décrit la variabilité des gènes entre ou à l'intérieur des espèces et de leurs populations. L'intérêt actuel porté à la biodiversité montre à quel point il est nécessaire de veiller au maintien d'une ressource génétique suffisamment large pour garantir l'adaptation des organismes face aux changements environnementaux directs et indirects sur le long terme.

En effet, cette diversité génétique est très importante car elle représente le support de base sur lequel peut agir la sélection. Il est admis que plus la diversité est grande dans un groupe d'individus (sous-population, population, espèce), plus il sera facile pour certains individus de s'adapter à de nouvelles conditions environnementales. La plus grande adaptabilité des individus, permettra également de réduire la dépression de consanguinité et diminuera ainsi le risque d'extinction (**Frankham, 2005**). L'étude de la diversité génétique à différents niveaux hiérarchiques d'organisation peut apporter une aide précieuse à la biologie des populations et à la biologie évolutive qui sont deux disciplines importantes pour la biologie de la conservation. La diversité génétique est alors devenue un outil primordial pour définir des buts, des méthodes et des priorités dans les programmes de conservation (**Stockwell et al., 2003**).

## 2- Notion de l'espèce

La notion de l'espèce est très ancienne, elle est peut être le souci et la nécessité pour l'homme de la classer et de la nommer. Elle est intuitive et repose sur des notions de ressemblance, de géographie, d'évolution, de fertilité en croisement, et même de temps et d'histoire. Mais selon les études depuis linné à ce jour, il n'existe pas une définition universelle de l'espèce. **Buffon (1707, 1788)**, conçoit l'espèce comme représentant un groupe (une population) d'individus semblables, indépendamment de leurs âges ou de leurs sexes, cette similarité étant d'ordre morphologique et structurale, mais ils considèrent encore les variations individuelles comme des anomalies et des variétés. **Darwin (1809, 1882) in Darwin (1958)**, très intrigué par la

variabilité des espèces et par la nature arbitraire de leur séparation, conçoit la théorie de l'évolution des espèces, qu'il expose dans son célèbre ouvrage de l'origine des espèces par voie de sélection naturelle (1859), où l'espèce acquiert une dimension spatio-temporelle jusqu'alors ignorée ou mal comprise. **Huxley (1938)** ; **Dobzansky (1941)** ; **Mayr (1942)**, proposent la définition suivante « les espèces consistent en système de populations séparées les unes des autres par des discontinuités complètes ou très grandes dans leur variation. Ces discontinuités doivent avoir une base génétique et refléter l'existence de mécanismes isolateurs qui empêchent totalement ou presque le transfert de gènes d'un système de population à un autre. Par contre **Gilmour (1940)**, refuse le critère d'isolement : pour lui, l'espèce est un groupe d'individus se ressemblent les uns au autres par l'ensemble de leur attributs phénotypiques, à un degré habituellement accepté comme spécifique, mais ce degré est déterminé en dernier ressort par le jugement plus au moins arbitraire des taxonomistes. **Stebbins (1950)**, a confirmé l'étude de Dobzansky, Mayr et Huxley, insistant sur la notion d'isolement reproductif qui sépare les espèces et s'appuyant sur des approches nouvelles du concept de spécificité. **Lucotte (1978)**, a défini l'espèce comme l'unité de la base du système de la hiérarchie linnéenne de la taxonomie. **Genernont (1985)**, adopte la définition suivante « une espèce est un ensemble d'individus contemporains potentiellement interféconds, séparés d'ensembles similaires par des botanistes comme Carl von linné, elle reste une bonne unité de la biodiversité et de l'évolution. **Dévilles et Chaline (1989)**, ont compté la définition de Maye par l'approche temporelle des espèces « L'espèce est une unité homogène constituée de populations naturelles qui s'enchainent dans le temps et qui, à chaque instant des temps géologiques sont interfécondes et isolées dans d'autres espèces. Ainsi **Lodé (1998b)**, a proposé une définition biologique de l'espèce en tant que groupe de populations naturelles actuellement ou potentiellement inter fécondées et isolées du point de vue reproductif de tous les autres groupes »

### 3- Notion de caractère

La biodiversité englobe l'ensemble des diversités entre les individus qui composent la vie. Pour quantifier cette biodiversité il faut donc prendre en compte l'ensemble des caractères physiques, physiologiques et génétiques des individus où un individu peut être représenté par l'ensemble des valeurs de ses propres caractères (Taille, poids, etc). Cet ensemble de valeurs trouve sa place dans un « hyperespace » à N dimensions (où N le nombre de caractères mesurés sur un individu). Assurément, pour prendre en compte la diversité dans sa globalité, N doit être très grand. Donc il dépend à la fois de la variabilité totale du système (inter espèces comme intra espèces) et du nombre d'espèces ou d'individus échantillonnés, donc permet de prendre en compte ces deux critères de diversité.

Selon **Bidault (1971)**, un caractère taxonomique est l'ensemble où une partie des traits ou propriétés d'un végétal susceptibles d'être soumises à une mesure ou de recevoir un qualificatif permettant des comparaisons avec les mêmes traits ou propriétés d'un autre végétal. La disparité des caractères peut être de plusieurs sortes, qui sont interprétées comme des variables pouvant résulter d'observations morphologiques, anatomiques, histologiques, cytologiques et biochimiques (**Stebbin, 1950**).

#### **4- Notion de la biodiversité**

La définition formelle de la biodiversité est bien loin d'être facile à résoudre, ce terme est à la fois flou, complexe, relatif et dynamique. Elle ne sera jamais manipulable mais ce besoin de définition repose finalement sur des besoins humains, il s'agirait de définir la biodiversité toujours en accord avec une intention sous-jacente. De fait, cela nous mènerait en effet à définir plusieurs biodiversités de façon différentes, seuls les problèmes que l'on se pose nous diraient s'il s'agit de considérer une biodiversité brute, une biodiversité dynamique, une biodiversité résiliente, une biodiversité radiative, une biodiversité patrimoniale, une biodiversité fonctionnelle ou une biodiversité remplaçable. **Hubert-Vincent(2007)**, considère tel ou tel type de diversité influence bien évidemment des stratégies de conservation qu'on adopte.

#### **5- Perte de la biodiversité**

Les principales causes de la disparition de la biodiversité est la distinction des milieux, mais aussi leur transformation (eutrophisation des eaux, drainages des sols), l'agriculture, le tourisme et l'urbanisation viennent en tête des facteurs connus de distinction. Ainsi La désertification, le surpâturage, la déforestation, l'incendie, l'urbanisation, la pollution des eaux et des mers menacent le patrimoine naturel et culturel. Parfois les causes de disparition restent inconnues et imprévues. Le souci de rentabilité et la négligence ont aussi leur place, mais il s'agit avant tout de mentalité, de formation et d'information (**Guy, 1990**).

#### **6- Estimation de la biodiversité**

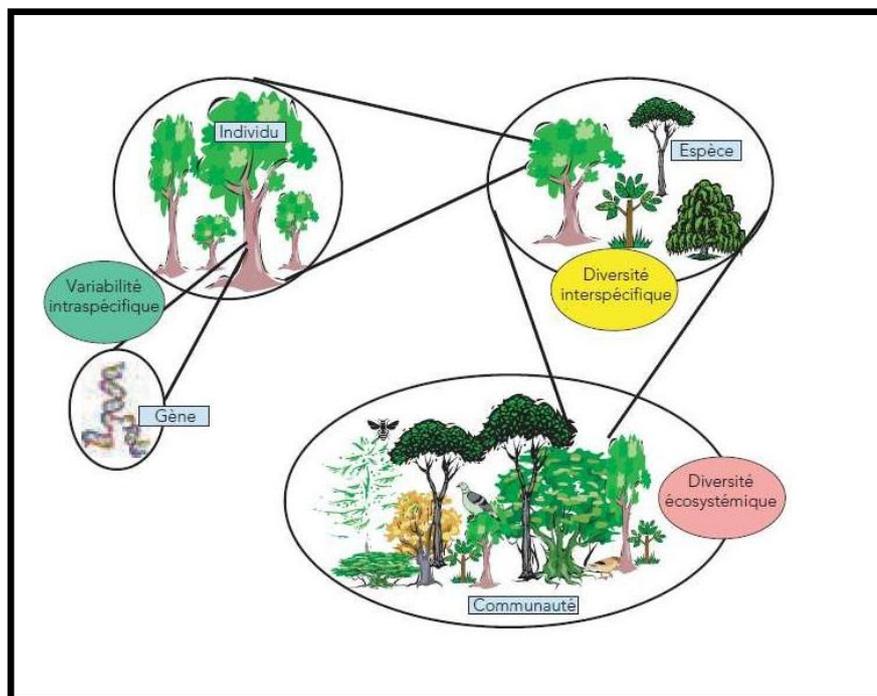
On s'accorde tous à se servir du terme "biodiversité" pour exprimer la richesse de la flore, la faune etc..., certains distinguent de différents niveaux de diversité au sein d'un site donné, depuis la "diversité génétique" jusqu'à la "diversité communautaire" en passant par une "diversité spécifique". Mais chacun pose à son tour les mêmes problèmes dès qu'il s'agit de les définir plus précisément.

En réalité, si le terme de "biodiversité" est si difficile à définir, c'est parce que le concept qu'il soulève s'inscrit dans l'appréhension d'un système particulièrement complexe et dynamique: le

monde vivant. Et il est particulièrement difficile pour nous de le décrire sans se retrouver confrontés à nos propres préjugés sur la question.

Pourtant, il serait précieux de pouvoir disposer d'une idée précise de ce qu'est vraiment la biodiversité, à l'heure où beaucoup s'accordent à dire qu'elle subit par le monde beaucoup d'agressions qui la mettent en danger. Si l'on ne sait pas définir la diversité d'un écosystème donc la décrire, évaluer sa décroissance éventuelle, analyser son comportement, alors il est bien difficile de prévoir ce qu'il adviendra d'elle dans l'avenir, ce qu'elle nous apporte exactement aujourd'hui, ce qu'on pourrait faire éventuellement pour pallier sa régression, etc.

Les changements au niveau de la diversité biologique des populations naturelles et la conséquence des activités anthropiques, ont été plus rapides au cours des cinquante dernières années en comparaison de toute autre période de l'histoire de l'humanité. Les facteurs de changements qui sont responsables de l'appauvrissement de la biodiversité sont constants ou s'intensifient. La transformation des habitats (occupation des sols, modification physique des rivières ou prélèvement de leurs eaux), les changements climatiques, la surexploitation des espèces et la pollution sont les facteurs les plus importants de l'appauvrissement de la diversité biologique et de la variabilité génétique des populations naturelles ou de l'extinction de certaines espèces (Vitousek et al., 1997).



**Figure III.1.1** : Différents niveaux de la diversité biologique, les gènes aux communautés (ONF, 2004).

## 7- Déterminisme des variations : Notion de polymorphisme

Certaines de ses variations s'expriment au niveau phénotypique (morphologie, physiologie, comportement... etc) mais les autres restent cachées et leur mise en évidence nécessite l'utilisation des techniques adoptées (variabilité des protéines ou des séquences d'ADN). On considère que les variations du phénotype sont dues pour partie à des facteurs environnementaux (alimentation, climat, interaction avec les autres espèces, etc) et pour partie à des différences entre les génotypes individuels, transmissibles à la descendance. La génétique des populations s'intéresse principalement à la variabilité d'origine génétique présente dans les populations et que l'on désigne sous le nom de polymorphisme. Dans la plupart des cas, ces deux causes de variation interagissent fortement (interaction génotype, environnement) et il est difficile de mesurer leur part relative dans la variation phénotypique globale (**Hubert-Vincent, 2007**).

### 7-1- Déterminisme génétique

La variabilité d'un caractère est déterminée génétiquement lorsqu'elle est due, au moins en partie, à la présence de plusieurs formes alléliques dans la population. Dans certains cas, la variabilité phénotypique est due à la variation d'un seul gène, on parle de déterminisme monogénique. Cela ne veut pas dire que le caractère est contrôlé par un seul gène mais que la variation d'un seul de ces gènes est suffisante pour entraîner une variation phénotypique. On parle alors de caractères mendéliens. Dans d'autres cas, la variabilité d'un caractère est déterminée par un grand nombre de gènes ayant chacun plusieurs allèles, on parle alors de déterminisme polygénique. C'est le cas de tous les caractères quantitatifs qui font l'objet d'une mesure comme la taille, le poids, etc (**Hubert-Vincent, 2007**).

### 7-2- Déterminisme épigénétique

Lorsque la variabilité d'un caractère n'a aucune base génétique, elle est qualifiée de variabilité épigénétique. Cette variabilité résulte souvent de l'action des facteurs environnementaux sur l'expression phénotypique d'un caractère (température, alimentation, physico-chimie de l'environnement, etc...). Dans certains cas, cette variabilité épigénétique peut être héritable et donc transmise à la descendance. On parle d'hérédité épigénétique. C'est le cas par exemple des effets maternels qui apparaissent lorsque l'environnement subi par les parents, souvent la mère, a des conséquences sur les caractéristiques des descendants par le biais d'enzymes, protéines, hormones ou d'ARNm transmis à la descendance via le cytoplasme des ovocytes ou pendant le développement embryonnaire précoce (**Ifremer, 2007**).

## 8- Diversité génétique et adaptation des espèces

D'après **Ifremer (2007)**, Il est possible chez certains organismes d'étudier la variabilité de l'expression phénotypique d'un même génotype appelée plasticité phénotypique qui est mesurée par sa norme de réaction. On définit la norme de réaction d'un génotype comme étant la gamme des phénotypes produits par un même génotype lorsque celui-ci est soumis à des conditions environnementales différentes. Pour un même caractère, la forme de la norme de réaction peut être variable entre génotypes ce qui est la conséquence des interactions génotypes environnement.

## 9- Différentes sources de variabilité génétique

La diversité génétique répond aux changements dans l'environnement par les actions de la sélection, de la dérive génétique, du flux génique et des mutations.

### 9-1- Mutation

La variabilité génétique peut être le résultat de mutation, qui font apparaître de nouveaux allèles, auxquelles il faut ajouter les phénomènes de recombinaison, notamment pour les caractères quantitatifs. Les mutations peuvent affecter une portion plus ou moins grande d'ADN et, en fonction de leur localisation dans le génome, peuvent avoir ou non des effets phénotypiques. Il existe ainsi tous les intermédiaires entre les mutations neutres qui n'ont aucun effet sur l'organisme et les mutations létales qui réduisent l'espérance de vie des individus.

Les allèles déficients sont éliminés par la sélection, et une fréquence d'équilibre ( $q$ ), existe à laquelle le taux d'élimination des allèles déficients par la sélection égale le taux de formation de nouvelles mutations. Pour des allèles totalement récessifs,  $q^2 = \mu/s$  ( $q$  : fréquence,  $s$  : sélection et  $\mu$  : taux de mutation). Pour des allèles récessifs létaux,  $s = 1$  et  $q = \sqrt{\mu}$  (**Winter, 2000**).

### 9-2- Sélection

La sélection naturelle est le concept de base de la théorie Darwinienne de l'évolution. Chaque individu d'une population ne laisse pas nécessairement le même nombre de descendants pour la génération suivante. Cette capacité, appelée valeur sélective, dépend de la viabilité de l'individu, de la probabilité d'atteindre l'âge de reproduction et de la fertilité.

Quand la sélection favorise un seul des phénotypes extrêmes, elle est dite directionnelle, si elle favorise des phénotypes intermédiaires, elle est dite stabilisatrice ou conservatrice, enfin si tous les phénotypes extrêmes sont avantagés alors que les intermédiaires ne le sont pas, on

la dit divergente ou disruptive. C'est cette force qu'agissent les sélectionneurs en créant des variétés plus plastiques aux différentes conditions environnementales (**Musch et al., 2004**).

Selon **Darwin (1958)**, les individus les mieux adaptés à un environnement, sont les plus aptes à survivre et à se reproduire dans cet environnement. Ils transmettront mieux leurs gènes à la génération suivante.

La sélection artificielle permet d'améliorer de nombreuses caractéristiques d'espèces ayant une importance économique (production en graines, teneur en lipides,...).

### **9-3- Dérivé génétique**

La dérivé génétique agit sur tout le génome, se traduit par un changement aléatoire des fréquences alléliques au cours des générations dans une population de taille limitée (**Wright, 1931**). Il s'agit de fluctuations aléatoires des fréquences d'allèles à chaque génération résultant de la taille des populations et du nombre de générations. La fluctuation de la fréquence des allèles avec le temps devient non négligeable si la taille de la population est petite ou si le nombre de générations est important. Tout événement naturel ou anthropique affectant la taille des populations et favorisant leur isolement peut modifier rapidement la dérivé génétique et conduire à l'appauvrissement génétique des populations.

## **10- Méthodes d'étude de la diversité moléculaire**

La recherche de la diversité dans les populations naturelles concerne des caractères directement accessibles à l'observateur (marqueurs morphologiques), les techniques de biochimie (marqueurs biochimiques), et la biologie moléculaire (marqueurs génétiques), dont les marqueurs morphologiques et biochimiques présentent des limites majeures en comparaison avec les marqueurs moléculaires qui ne cessent de croître avec le développement des techniques de biologie moléculaire (RFLP, RAPD, AFLP, SSR, ISSR, SNP). Ils ont contribué aux travaux d'amélioration des plantes (**Lefort-Buson et al., 1990a et 1990b**), ainsi ils ont été adoptés pour toutes études de génétique des populations et d'écologie (**Haig, 1998**).

### **10-1- Marqueur Restriction Fragment length polymorphism (RFLP)**

Les Restriction Fragment length polymorphism (RFLP) sont les premiers marqueurs moléculaires développés et ont été utilisés pour la cartographie du génome végétal (**Helentjaris et al., 1986**). Ces marqueurs basés sur les techniques d'hybridation, sont appuyées sur la restriction enzymatique des ADN. Les fragments d'ADN obtenus après digestion enzymatique, puis séparation par électrophorèse et visualisation par hybridation avec des sondes radioactives ou fluorescentes. Les mutations dans le génome entraînent la modification de certains sites de restriction d'où la génération de différents profils de

restriction entre différents échantillons. Chaque fragment de taille différente engendré est considéré comme allèle et peut être utilisé en analyse génétique.

### **10-2- Radom Amplifie Polymorphisme DNA (RAPD)**

Radom Amplifie Polymorphisme DNA (RAPD) est une technique très utilisée par les généticiens dans le domaine végétal due à sa grande simplicité, rapidité de manipulation, et nécessite une faible quantité d'ADN. Ainsi elle permet de générer un taux élevé de polymorphisme qui a été largement utilisé chez les populations (**Chalmers et al., 1992**) et contribué chez les plantes à la réalisation de plusieurs cartes génétiques (**Reiter et al., 1992**) et aussi à l'étude phyllogénétique chez plusieurs espèces (**Gupta et al., 2000**).

Cette technique consiste à réaliser une amplification par PCR avec des amorces définies de façon aléatoire. Si les 2 sites d'hybridation sont suffisamment proches et sur deux brin d'ADN, l'amplification par PCR est possible. En revanche, si ces deux sites sont trop éloignés, il ne peut y avoir amplification. Ainsi, cette technique permet de révéler la présence ou l'absence d'un polymorphisme.

### **10-3- Amplified Fragment Length Polymorphism (AFLP)**

Amplified Fragment Length Polymorphism (AFLP) est une combinaison entre le RFLP et le RAPD. Ces marqueurs ont permis de révéler quatre fois plus de polymorphisme que les marqueurs RAPD et Inter Simple Sequence Repeat (ISSR) et de séparer des espèces du nouveau monde et ceux de l'ancien monde (**Talhinhas et al., 2003**).

Cette technique a été largement utilisée par **Becker et al. (1995)** ; **Mackill et al. (1996)** ; **Shan et al. (1999)** pour les plantes cultivées. L' AFLP consiste dans un premier temps à digérer l'ADN par des enzymes de restriction puis des adaptateurs vont venir se fixer à chaque extrémité des produits de digestion, une amplification PCR est ensuite effectuée à l'aide d'amorces qui s'hybrident avec les adaptateurs et qui comportent en plus quelques bases choisies au hasard afin d'amplifier de façon sélective et unique certains fragments, une seconde PCR peut ensuite être effectuée pour réaliser une amplification plus sélective.

### **10-4- Inter Simple Sequence Repeat (ISSR)**

L'ISSR a été utilisée **Kantety et al. (1995)** ; **Godwin et al. (1997)** ; **Joshi et al. (2000)** ; **Talhinhas et al. (2003)** par pour l'analyse du polymorphisme génétique au niveau intra et inter spécifique chez plusieurs espèces. Elle exploite l'abondance aléatoire des Simple Sequence Repeats (SSR) dans le génome des plantes. Les SSR étant des séquences répétées en tandem de motifs mono-, di- tri- ou tétra nucléotidique générant un système de marqueurs

multi locus très intéressants qui permet d'exploiter la distribution abondante et aléatoire des SSRs dans le génome des plantes.

#### **10-5- Inter Simple Sequence Repeat (SSR –Microsatellites)**

Le SSR est une technique plus performante, qui fournit le maximum de renseignements sur des fractions limitées et précises du génome, et l'analyse de la diversité génétique et l'analyse de la génétique des populations chez plusieurs espèces (**Gupta, 2000 ; Budak et al., 2003**). Cette technique est peu compatible avec l'analyse d'un grand nombre d'individus d'une population. Cette technique se base sur l'amplification par PCR de l'ADN génomique moyennant des amorces spécifiques flanquant les séquences répétées et la séparation des amplifias par électrophorèse sur gel de polyacrylamide.

#### **10-6- Single Nucleotide polymorphisme (SNP)**

Les Single Nucleotide polymorphisme (SNP) sont une source importante de polymorphisme de l'ADN. Chez les plantes, les SNP sont des marqueurs génétiques utilisés dans plusieurs études de populations, dans le marquage des germplasmes, dans la cartographie de gène et dans les associations génotype/phénotype (**Giancola et al., 2006**). Cette technique consiste à hybrider sur l'ADN cible une sonde complémentaire portant une molécule fluorescente, puis une élongation par PCR, et enfin une visualisation par excitation et quantification du fluorophore. De ce fait, cette technique permet d'éliminer les étapes de séparation de taille par électrophorèse présentant un potentiel d'automatisation très supérieur aux techniques précédentes (RFLP, RAPD, AFLP, ISSR, SSR).

### **11- Etudes antérieures de la génétique du pistachier de l'Atlas**

En Algérie, les travaux portant sur la diversité génétique du pistachier de l'Atlas sont très rares voire quasi-inexistants à l'exception de celui d'**El Zerey-Belaskri et Benhassaini (2016)**. **Hasan Basr Ila et al. (2003)**, mentionnent qu'il existe des études sur la numération des chromosomes chez *Pistacia*, sachant que l'étude chromosomique est essentielle dans la taxonomie des plantes et en analyses phylogénétiques. D'après **Zohary (1952)**, le nombre chromosomique du pistachier de l'Atlas est de 28 ; alors qu'**Ozbek et Ayfer (1957)**, ont trouvé que le chromosome de cette espèce est de  $2n=28$  qui a été confirmé par **Ghaffari et Harandi (2001)**, y compris les sous espèces mutica, Kurdica et cabulica.

Ainsi **Alayafi (1979)** a décrit quelques sous espèces de *Pistacia atlantica* sur la base de morphologie de leur feuilles et a montré que *Pistacia eurycarpa* est une variété de *Pistacia atlantica*. **Yaltirik (1967a)** a classé les espèces de *Pistacia* en Turquie et a identifié que *Pistacia atlantica var kurdica* Zoh comme une différente espèce, et a été nommée *Pistacia eurycarpa*.

## Chapitre 2 : Matériels et méthodes

### 1- Extraction d'ADN

L'extraction de l'ADN génomique des différents pistachiers a été faite selon le protocole de **Doyle et Doyle (1987)**, avec quelques modifications. L'ADN génomique a été extrait à partir de 250 mg de feuilles traitées par le nitrogen liquide ; le mélange a été repris dans 750 µl de tampon d'extraction (Tris-HCl 100 mM; EDTA 20 mM; 1,4 mM de NaCl; 2% de CTAB, 10 mg de PVP, 0,6% de b-mercaptoéthanol). Après une incubation à 60 °C durant 25 minutes, on a laissé le mélange se refroidir à la température ambiante, ensuite 750 µl du chloroforme-alcool isoamylique a été ajouté. Une centrifugation à 13000 rpm pendant 15 minutes est nécessaire. La phase aqueuse supérieure a été récupérée et mélangée avec 750 µl d'isopropanol froid et centrifugée à 13000 rpm pendant 15 minutes, puis on avait pris 1/2 du volume de la partie supérieure du produit, en lui ajoutant 5% NaCl et 2 ml de 95% de l'Ethanol à 4°C pendant 20 minutes ; ce qui avait permettait la précipitation de l'ADN. La phase supérieure a été éliminée et le culot a été repris dans 1 ml de l'éthanol (75%). Une autre centrifugation à 13000 rpm pendant 5 minutes a été réalisée.

Pour une purification de l'ADN, 0.5 ml d'ARN ase a été rajouté, puis on les a incubé à 37°C pendant 15 minutes puis à 65°C durant 5 minutes. On avait calculé la quantité d'ADN à l'aide d'un spectroscopie (OPTIZEN NANO Q) et la qualité d'ADN à l'aide d'un spectrophotomètre (BIO-RAD T100 Thermal Cycler).

### 2- Analyse RAPD

Le test RAPD a été utilisé afin d'apprécier le polymorphisme qui existe dans nos échantillons. On a utilisé le protocole **Kafkas et Perl-Treves (2002) modifié**. En effet, le profil électrophorétique (profil RAPD) des fragments d'ADN amplifiés à partir de l'ADN des échantillons étudiés, peut présenter une ou plusieurs bandes. Les primers qui ont été utilisés sont mentionnés dans le (Tableau III.2.1). Le volume total de la réaction était de 15 µl, contenant 16 mM (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub> S<sub>04</sub>, 67 mM de Tris-HCl pH 8,8, 0,01% de Tween 20, 2 mM MgCl<sub>2</sub>, 0,1 mM chaque dNTP, 0,4 mM chaque amorce, 25 ng d'ADN génomique et 5,7 primer (OPA3) et 165,3 H<sub>2</sub>O. Les conditions de la PCR sont comme suit : la première étape appelée étape d'initiation de 3 minutes à 94°C, la deuxième étape comprend 35cycles répartis en étapes de : dénaturation de 30 s à 95°C ; hybridation de 30 s à 39°C, et l'élongation de 2 minutes à 72°C. La dernière étape étant l'étape finale qui se déroule à 72°C pendant 10 minutes. Les produits de PCR ont été analysés par électrophorèse capillaire.

**Tableau III.2.1** : Marqueurs RAPD utilisés dans l'étude (Université de Trakya-Turquie).

<b>Primer</b>	<b>Sequence 5'-3'</b>
OPA-03-	5'AGTCAGCCAC3'
OPA-04-	5'AATCGGGCTG3'
OPA-05-	5'AGGGGTCTTG3'
OPA-06-	5'GGTCCCTGAC3'
OPA-07-	5'GAAACGGGTG3'
OPB-01	5'GTTTCGCTCC3'
OPB-02	5'TGATCCCTGG3'
OPB-03	5'CATCCCCCAG3'
OPB-04	5'GGACTGGAGT3'
OPB-05	5'TGCGCCCTTC3'
OPD-02	5'GGACCCAACC3'
OPD-03	5'GTCGCCGTCA3'
OPD-05	5'TGAGCGGACA3'
OPD-08	5'GTGTGCCCA3'
OPD-11	5'AGCGCCATTG3'

- **Révélation**

Les produits de l'amplification RAPD ont fait l'objet d'une migration sur le gel d'agarose 0.8%. 120 µL d'ADN de chaque échantillon ont été déposés dans les puits du gel, ensuite le gel était mis dans un bac contenant le BET pendant 45 minutes afin de révéler le profil. La visualisation était faite sous lampe UV à l'obscurité.

## Chapitre 3 : Résultats et discussion

### ❖ Résultats et interprétations

#### 1- Analyse génétique (RAPD)

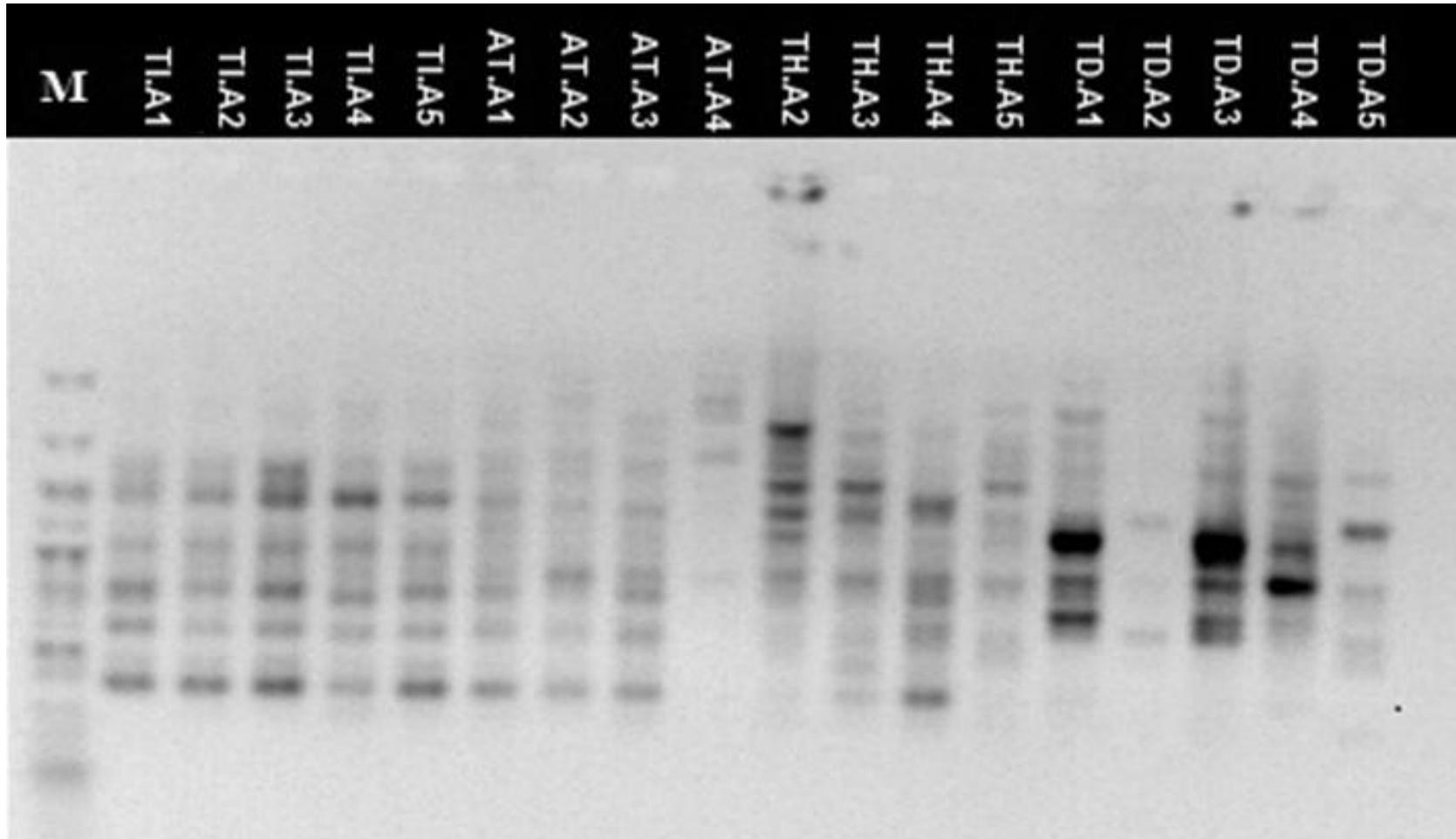
Selon les résultats obtenus par la technique RAPD, Le poids moléculaire des fragments varie entre 100 pb et 800 pb (fig III.3.1). Le nombre minimum de bandes remarquées était de 3 obtenues avec les échantillons AT.A2, TD.A2 et TD.A4. En revanche, le nombre maximum était de 08 bandes obtenues avec l'échantillon TH.A3.

En se basant sur la taille des bandes (fig III.3.1), on peut déduire qu'il y a une variabilité génétique intra et inter sites. Par conséquent, on peut diviser l'ensemble des arbres des quatre sites étudiés en 12 haplotypes.

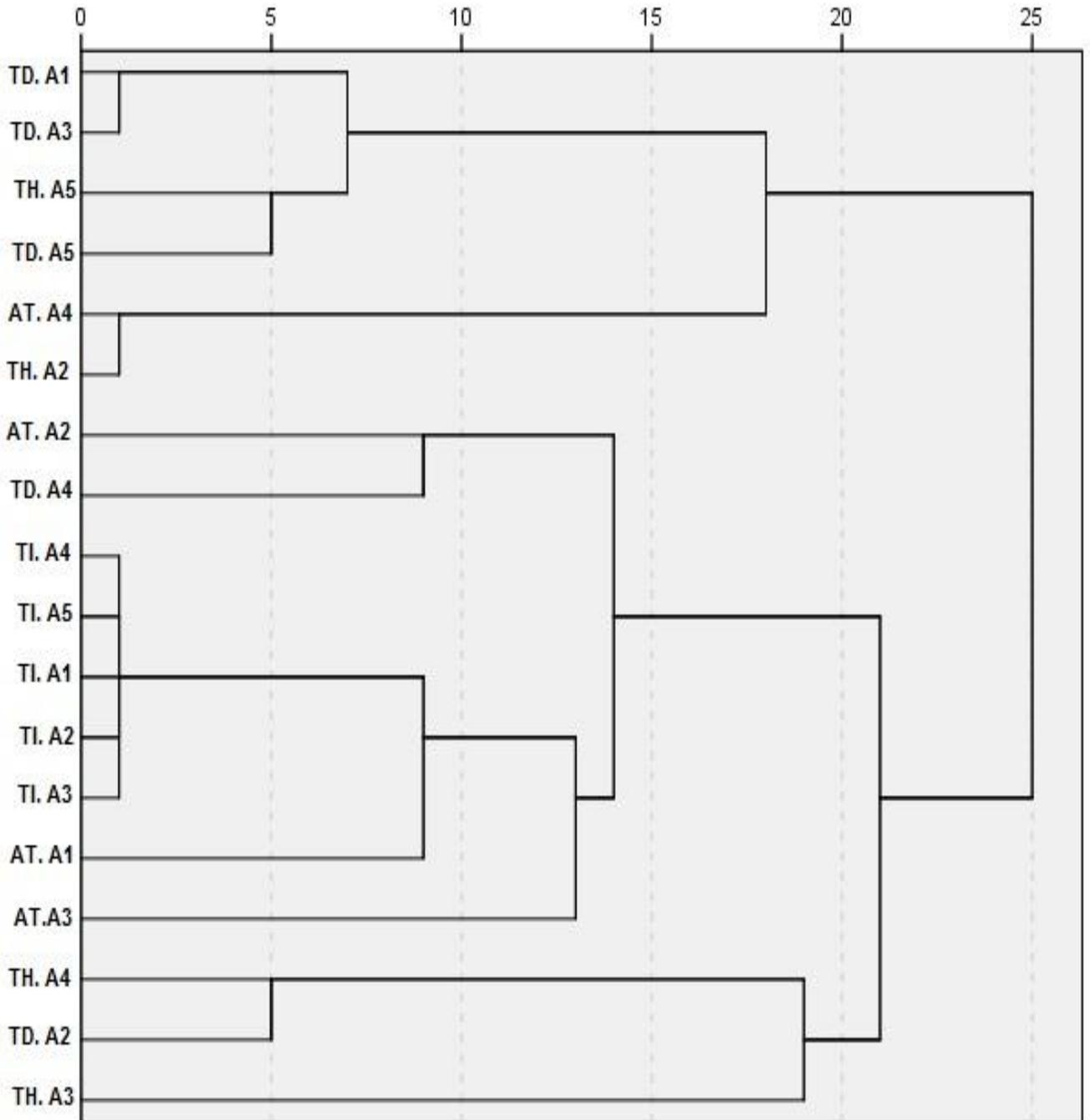
Pour connaître les ressemblances et les dissemblances entre les différents arbres des quatre sites (fig III.3.2), nous avons utilisé l'arbre hiérarchique basé sur la distance moyenne entre les classes. De ce fait, l'arbre hiérarchique montre que selon la distance de combinaison des classes redimensionnées (0-5) l'existence de 12 groupes : (G1 : TD.A1, TD.A3), (G2 : TH.A4), (G3 : TD.A5), (G4 : AT.A4, TH.A1), (G5 : AT.A2), (G6 : TD.A4), (G7 : TLA4, TLA5, TLA1, TLA2, TLA3), (G8 : AT.A1), (G9 : AT.A3), (G10 : TH.A3), (G11 : TD.A2), (G12 : TH.A2),

Ainsi, selon la distance de combinaison des classes redimensionnées (0-10) il existe 07 groupes : (G1 : TD.A1, TD.A3, TH.A4, TD.A5), (G2 : AT.A4, TH.A1), (G3 : AT.A2, TD.A4), (G4 : TLA4, TLA5, TLA1, TLA2, TLA3, AT.A1), (G5 : AT.A3), (G6 : TH.A3, TD.A2), (G7 : TH.A2).

L'absence des deux arbres (AT.A5 et TH.A1), est due à la contamination de ces deux échantillons par des champignons et par conséquent la non possibilité d'extraire leurs ADN.



**Figure III.3.1** : RAPD de génotype *Pistacia atlantica* utilisant le primer : ADN Sentromer. La taille des fragments de la paire de bases sont 1000 pb. (Tircine « TI », Ain Tellout « AT», Theniet El Had « TH», Tadjmout « TD», Arbre « A»).



**Figure III.3.2:** Classes des arbres (Tircine « TI », Ain Tellout « AT», Theniet El Had « TH», Tadjmout « TD», Arbre « A»).

## ❖ Discussion

L'analyse RAPD est une méthode pour identifier les hybrides, et confirmer la variabilité génétique du pistachier de l'Atlas entre les sites étudiés et même intra sites. Selon **Zohary (1952)** *P. eurycarpa* est une variété de *P. atlantica* en se basant sur les caractères morphologiques. Aussi **Pazouki et al. (2009)** montre l'existence d'une diversité génétique de *P. atlantica sub sp.* Par contre **Yaltirik (1967b)** a conclu que *P. eurycarpa* peut être un hybride entre *P. atlantica* et *P. khinjuk* puisque *P. eurycarpa* est une espèce répandue dans le sud-est de la Turquie, le nord de l'Irak, l'Iran et l'Afghanistan, et une partie de son aire de répartition chevauche entre le *P. khinjuk* et *P. atlantica*. **Kafkas et Perl-Treves (2001)** confirment la description de **Yaltirik (1967)**. Dans une autre étude de **Parfitt et Badenes (1997)**, *P. khinjuk* est l'espèce la plus proche de *P. vera*, suivie par *P. atlantica* et *P. terebinthus*, et ils suggèrent que *P. khinjuk* et *P. vera* puissent être considérés comme une seule espèce, et par conséquent ils ont séparé *P. khinjuk* et *P. vera* du *P. eurycarpa*. **Hormaza et al. (1994, 1998)**, ont montré que le pistachier de l'Atlas est réparti en deux variétés *P. mutica* et *P. khinjuk*. Quelques caractéristiques du genre *Pistacia* permettent à la fois le flux de gènes inter et intra-population (**Kafkas et al., 2002**), ce qui explique la répartition des genres d'espèces (**Jordano, 1989; Al Saghir, 2006**).

L'analyse a indiqué la diversité génétique inter et intra peuplement, ce qui était déjà prouvé par d'autres techniques d'analyse comme celle qui a été faite par **El Zerey-Belaskri et Benhassaini (2016)**, de l'existence de la variabilité génétique du pistachier de l'Atlas en Algérie sous les différentes conditions climatiques.

En fin, on suggère que sous les différentes conditions écologiques, la plasticité phénotypique et la diversité génétique du *P. atlantica* sont susceptibles de jouer un rôle déterminant, en permettant à l'espèce de persister dans son environnement et élucider l'hypothèse de l'existence des sous-espèces du Pistachier d'Atlas en Algérie. Et que la micromorphologie de la feuille soit utile pour l'identification de l'espèce du Pistachier de l'Atlas.

# Partie IV

## Etude de la variabilité biochimique

- **Chapitre 1 : Notion de la biochimie**
- **Chapitre 2 : Matériels et méthodes**
- **Chapitre 3 : Résultats et discussion**

# Chapitre 1 : Notion de la biochimie

## Introduction

L'utilisation des espèces demande une caractérisation de leur matériel végétal sur le plan biochimique afin de différencier les individus permanents. Cependant, la composition biochimique et la valeur nutritive de plusieurs espèces végétales restent méconnues en Algérie, car il y a une insuffisance d'information sur la variation génétique et biochimique de ces espèces pour être comme base de programmes pour la sélection et l'amélioration.

## 1- Métabolismes des végétaux

Les végétaux ; comme les autres organismes vivants ont la capacité de former et de constituer des macromolécules (protéine, acide nucléique, polysaccharide et lipide). Donc, ils contiennent un métabolisme primaire, son rôle est la croissance des organismes.

En outre, les végétaux ont la particularité de contenir d'autres métabolites secondaires issus du métabolisme primaire.

Les métabolites secondaires sont impliqués dans la défense et la lutte contre divers stress biotiques et abiotiques (**Ramakrishna et Ravishankan, 2011**), cette particularité pourrait être utilisée comme indicateur de la vigueur du végétal. Ces métabolites secondaires peuvent assurer l'attraction d'insectes pollinisateurs, phytohormone, substance de défense ou précurseur de synthèse (**Richter, 1993**), comme peuvent être un des critères de la classification des végétaux (**Ferrari, 2002**). Aussi la production de composés phénoliques est l'une des stratégies utilisées par certaines plantes dans les conditions environnementales défavorables telles que la sécheresse et la salinité (**Reginato et al., 2014**), ainsi les flavonoïdes jouent un rôle important de photo-protecteur par leur capacité à neutraliser les espèces réactives à l'oxygène (**Agati et al., 2013**), les acides phénoliques interviennent dans la germination et la dormance des graines et ont un rôle clé dans la production des composés de défense contre les herbivores et les infections microbiennes (**Bandaranayake, 2002 ; Mazid et al., 2011**).

## 2- Analyses biochimiques

Afin de connaître la présence ou l'absence de certains métabolites, il est nécessaire d'effectuer des analyses biochimiques. D'après **Benabdellah (2016)**, ces dernières sont nombreuses et doivent être effectuées à partir des extraits ou des huiles.

## **2-1- Extraction**

L'extraction est utilisée pour extraire sélectivement un ou plusieurs composés d'un mélange initial, sur la base de propriétés chimiques ou physiques. Elle consiste à transférer un composé d'une phase à une autre (liquide-liquide, solide-liquide) et à séparer certains composés d'une partie de la plante selon divers techniques : enfleurage, extraction par solvant...etc (**Benabdellah, 2016**).

### ***2-1-1- Enfleurage***

Elle consiste à extraire naturellement le parfum des fleurs, grâce à l'absorption effectuée par les corps gras, soit par enfleurage à froid ou à chaud, selon la résistance de la plante.

### ***2-1-2- Extraction par solvant***

Elle consiste à faire passer, par solubilisation, la substance à extraire dans un solvant, les plantes sont mélangées à un solvant. Les composés à extraire étant emprisonnés dans la cellule par la membrane cellulaire. Il existe plusieurs types d'extraction par solvant tels que : extraction liquide-liquide, extraction solide-liquide.

### ***2-1-3- Extraction par hydro-distillation***

Elle consiste à distiller un composé par entraînement à la vapeur d'eau, c'est une méthode très utilisée pour l'extraction des huiles essentielles.

### ***2-1-4- Extraction des protéines***

Commence par la destruction de l'organisation cellulaire (mécanique, chimique, par action d'enzyme), le mélange résultant du matériel biologique ainsi brisé et du solvant est appelé extrait brut où homogénéisation des débris cellulaires sont séparés par centrifugation, puis divers cellules sont séparés par centrifugation, en suite des divers méthodes sont utilisées pour purifier la protéine obtenue à partir du mélange.

### ***2-1-5- Extraction des acides nucléiques (Extraction d'ADN)***

Elle consiste à isoler l'ADN à partir d'une cellule en quantité et en qualité suffisante pour permettre son analyse.

## **2-2- Purification**

C'est la séparation des substances chimiques par filtration, centrifugation, chromatographie, électrophorèse.

### **2-2-1- Filtration**

C'est une méthode mécanique utilisée pour séparer un solide d'un liquide ou d'un gaz, faire passer le mélange par une membrane ou un chiffon fin à l'aide d'un entonnoir. Il existe plusieurs procédés de filtration tels que : filtration gravimétrique, filtration sous vide, filtration sous pression, ultrafiltration.

### **2-2-2- Centrifugation**

C'est une technique qui permet la séparation des constituants de taille et de masse très différente, contenus dans un liquide sous l'action d'une force centrifuge. Elle permet de récupérer un précipité (culot) et un surnageant, plusieurs types de centrifugeuses ont été connus (centrifugeuse à table, centrifugeuse au sol, ultracentrifugeuse, micro-centrifugeuse, ultracentrifugeuses analytique), et deux types de techniques de centrifugations (centrifugation différentielle et centrifugation en gradient de densité).

### **2-2-3- Chromatographie**

C'est une méthode physique de séparation des constituants présents dans des mélanges variés, elle permet de purifier, identifier et quantifier des composés au sein d'échantillons divers, son principe repose sur les différentes affinités d'un composé à l'égard de deux phases (stationnaire et mobile) (**Lavallaz et Déléroz, 1994**). Cette méthode est basée sur la migration différentielle des divers solutés contenus dans un échantillon analysé. Les méthodes chromatographiques peuvent être classées :

- Selon le support de phase stationnaire
  - Chromatographie sur colonne (HPLC, CPG et les colonnes de silice)
  - Chromatographie sur surface (CCM, chromatographie sur papier)
- Selon la nature de la phase mobile
  - Chromatographie en phase gazeuse CPG (GCMS, GCFID)
  - Chromatographie en phase liquide CPL
    - ✓ Chromatographie en couche mince CCM
    - ✓ Chromatographie de partage centrifuge CPC
    - ✓ Chromatographie liquide haute pression HPLC

### **2-2-4- Electrophorèse**

C'est une technique de séparation et d'analyse de particules chargées par migration différentielle sous l'action d'un champ électrique. Elle permet de déplacer des ions (molécules ayant perdu leur neutralité électrique) sous l'effet d'un champ électrique. Ceux-ci migrent

vers leurs électrons respectifs : les anions vers l'anode et les cations vers la cathode. Il existe plusieurs types d'électrophorèses (bidimensionnelle, isoelectrofocalisation, électrophorèse en champs pulsés et immunoélectrophorèse).

### 3- Etudes antérieures de la biochimie du pistachier de l'Atlas

La composition biochimique du pistachier de l'Atlas, le rend traditionnellement utilisé pour plusieurs effets thérapeutiques à partir des différentes parties de la plante. Selon **Ghalem et Benhassaini (2007)**, le pistachier de l'Atlas possède une valeur nutritive très haute ; il contient plus de 50 % de matières grasses, glucides et protéines où les graines du pistachier de l'Atlas présentent une teneur élevée en lipides. Ils ont déterminé aussi que les feuilles du *Pistacia atlantica* contiennent des : flavonoïdes, floroglucides, coumarines, tanins, dérivés anthracéniques, sucres, les saponines, les glycosides phénoliques et les alcaloïdes et l'acide ascorbique.

Les principaux ingrédients de l'huile essentielle de la résine, des feuilles et des fruits de *Pistacia atlantica* sont monoterpènes, dont l'huile des fruits contient de grandes quantités de monoterpènes oxygénés (**Barrero et al., 2005**), et d'après **Ait Said et al. (2011)**, le spathuléol est le principal composant des feuilles du *Pistacia atlantica*.

Ainsi que les terpénoïdes sont l'un de nombreux métabolites extraits des fruits, des bourgeons, des fleurs, des feuilles, de la résine et des galles de *Pistacia atlantica* (**Bahmani et al., 2015**).

## Chapitre 2 : Matériels et méthodes

Nous avons pris que deux sites pour l'analyse biochimique (CCM) des feuilles du pistachier de l'Atlas celui de Theniet El Had et de Tadjmout. Ces deux sites ont été choisis après l'étude génétique qui était faite et qu'elle nous a montré la grande variabilité entre ces deux sites choisis. Et concernant l'analyse de GCMS on a pris en considération que les terpénoïdes après une étude bibliographique qui montre que les terpénoïdes sont l'un des nombreux métabolites extraits des fruits, bourgeons à feuilles, brindilles, fleurs, feuilles, résine et galles de *pistacia atlantica* (Bahmani, 2015).

### 1- Extraction

Les feuilles saines de trois arbres différents de chaque deux sites ont été séchées à l'air libre et broyées en poudre. 2 g de chaque poudre ont été mis dans 50 ml de solvants de polarités différentes : eau, méthanol, ethanol, butanol, éther de pétrol. L'extraction a été réalisée sous agitation avec absence de lumière pendant 24 heures à température ambiante. L'extrait obtenu de chaque solvant a été filtré à l'aide de papier filtre et un entonnoir, puis évaporé à 45°C à l'aide d'un évaporateur rotatif. Le filtrat de chaque extraction précédente a été récupéré pour servir à d'autre extraction par d'autres solvants (Salah, 2020).

### 2- Chromatographie sur couche mince (CCM)

La chromatographie sur couche mince (CCM) repose principalement sur le phénomène de séparation en fonction du poids moléculaire, la phase mobile est un solvant ou un mélange de solvants, progressant le long d'une phase stationnaire (silice), fixé sur une plaque d'aluminium ou verre.

Six microlitres de chaque extrait sont déposés à l'aide d'une micropipette sous forme de spot à 0.1 cm du bord inférieur des plaques de chromatographie sur une couche mince (CCM) en aluminium (20x20 cm) préalablement étalées par une couche mince de gel de silice (Merck). Ces plaques sont ensuite maintenues verticalement dans des cuves de CCM contenant des systèmes de solvants qui sont comme suit :

- Hexane (70 ml)/Diether éthyle (30 ml)/Acide acétique (1 ml).
- Chloroforme (9 ml)/ Diether éthyle (1 ml).
- Hexane (6 ml)/Diether ethyle (4ml).
- Hexane (8 ml)/Acétate d'ethyle (2 ml).

L'atmosphère des cuves est saturée pendant deux heures, avant d'y introduire les plaques, la chromatographie est arrêtée lorsque le solvant atteint le bord supérieur de la plaque. Le

solvant est éliminé de la plaque par une simple évaporation à température ambiante puis les plaques sont mises sous UV. Après l'apparition des tâches, on a calculé le rapport frontal ( $R_f$ ) par la formule suivante :

$$R_f = \frac{\text{Distance de migration entre le dépôt et la tache}}{\text{Distance de migration entre le depot et et le font du solvant}}$$

### 3- Chromatographie en phase gazeuse couplée au spectre de masse (GCMS)

La Chromatographie en phase gazeuse couplée au spectre de masse (GCMS) est une technique d'analyse qui combine les performances de la chromatographie en phase gazeuse pour la séparation des composés d'un échantillon et la spectrométrie de masse pour la détection et l'identification des composés en fonction de leur rapport masse sur charge, cette technique permet d'identifier et/ou de quantifier précisément de nombreuses substances présentes en faibles quantités voir en traces. Ainsi, l'extrait a fait l'objet d'une analyse chromatographique en utilisant une chromatographie en phase gazeuse (GC) de type « Hewlett Packard Agilent 6890 plus », couplé avec un spectromètre de masse (MS) « Hewlett Packard Agilent 5973 ». Cette analyse a été faite au niveau du Centre de Recherches Scientifiques et Techniques en Analyses Physico-Chimiques (CRAPC), Bou-Ismaïl, Tipaza, Algérie.

La colonne GC utilisée est de type « HP-5MS » revêtu d'une phase stationnaire (5% Phenyl 95% dimethylpolysiloxane), de 30 m de longueur, 0,25 mm de diamètre et 0,25  $\mu\text{m}$  d'épaisseur. La fragmentation est effectuée par impact électronique sous un champ de 70 eV. La température de la colonne est programmée initialement à 40°C pendant 10 min puis elle augmente de 4°/min jusqu'à 220°C où elle est maintenue pendant 10 min. une seconde d'augmentation de 4°/min était réalisée jusqu'à 270°C maintenue pendant 5 min (**Ait Said et al., 2011**). Le gaz vecteur est l'hélium (N6) dont le débit est fixé à 1 ml/min. Le mode d'injection est Split (1 :50). L'identification de chaque constituant a été obtenue en se basant sur leurs temps de rétention et sur leurs CAS Number (base de données NIST / système de données ChemStation).

## Chapitre 3 : Résultats et discussion

### ❖ Résultats et interprétations

#### 1- Chromatographie sur couche mince (CCM)

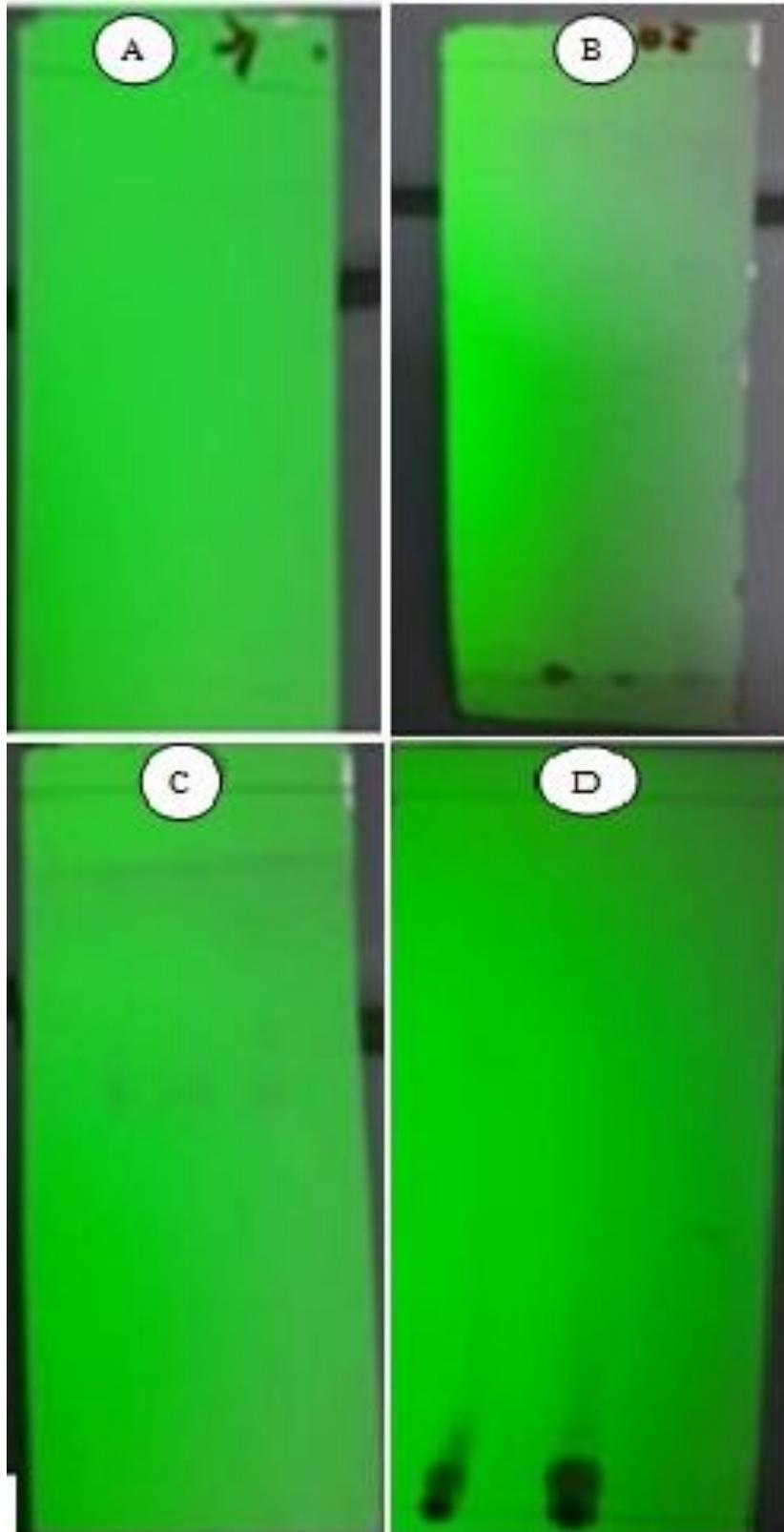
L'analyse qualitative des différents extraits issus des arbres TD.A1, TD.A2, TD.A3, TH.A1, TH.A2, et TH.A3 a été réalisée par la chromatographie sur couche mince. Après développement dans les différents systèmes des solvants utilisés et la révélation sous la lampe UV, les rapports frontaux sont calculés. Les résultats sont réunis dans le tableau (IV.3.1) et la figure (IV.3.1).

Pour le site de Tadjmout, on remarque que le méthanol est le meilleur solvant qui a permis l'extraction d'un nombre élevé de composés au niveau du TD.A1 et TD.A3, en revanche dans TD.A2 l'éthanol représente le meilleur solvant d'extraction. En ce qui concerne le meilleur système de séparation ; en se basant sur le nombre des rapports frontaux obtenus, on observe que le système Hexane / Diether éthyle /Ac. acétique a pu séparer 3 molécules différentes chez les deux arbres TD.A1 et TD.A3 qui sont quasiment identiques dans les deux arbres. Pour TD.A2, le meilleur système de séparation demeure toujours Hexane /Diether éthyle /Ac.acétique, mais le nombre de molécules séparées ainsi que leurs rapports frontaux sont différents en comparaison avec les résultats obtenus avec les deux arbres TD.A1 et TD.A3. Ce qui nous indique une diversité de molécules au sein du même site.

Pour le site de Theniet El Had, le meilleur solvant qui a permis l'extraction d'un nombre élevé de composés au niveau du TH.A1, TH.A2 est le butanol, l'éthanol représente le meilleur solvant d'extraction. Pour TH.A3 l'Ether de pétrole est le meilleur solvant de l'extraction des composés. En ce qui concerne le meilleur système de séparation ; en se basant sur le nombre de rapports frontaux obtenus, on observe que les systèmes Hexane /Diether éthyle /Ac acétique et Chloroforme/ Diether éthyle ont pu séparer 3 molécules. Alors que le système Hexane/Acétate d'éthyle (D) a pu séparer 4 molécules différentes chez l'arbre TH.A1. TH.A2, trois molécules sont séparées par le système de séparation Hexane/ Diether éthyle. En ce qui concerne TH.A3, le nombre de composés séparés est de l'ordre de deux en utilisant les systèmes Chloroforme/Diether éthyle et Hexane/Acétate d'éthyle (D) Ce qui nous indique une diversité des molécules inter sites et intra sites.

**Tableau IV.3.1** : Analyses qualitatives et les rapports frontaux des extraits issus des arbres.

Système	Arbre	Solvant				
		Eau	Méthanol	Ethanol	Butanol	Ether de pétrole
Hexane /Diether éthyle /Ac.acétiqué (A)	TD.A1	R <sub>f</sub> =0.045	R <sub>f</sub> =0.058 R <sub>f</sub> =0.129 R <sub>f</sub> =0.61	/	/	/
	TD.A2	R <sub>f</sub> =0.068	/	R <sub>f</sub> =0.079 R <sub>f</sub> =0.125 R <sub>f</sub> =0.329 R <sub>f</sub> =0.431 R <sub>f</sub> =0.59	/	/
	TD.A3	R <sub>f</sub> =0.048	R <sub>f</sub> =0.056 R <sub>f</sub> =0.093 R <sub>f</sub> =0.63	R <sub>f</sub> =0.079 R <sub>f</sub> =0.34	/	R <sub>f</sub> =0.44
	TH.A1	R <sub>f</sub> =0.057	R <sub>f</sub> =0.19 R <sub>f</sub> =0.41	R <sub>f</sub> =0.27 R <sub>f</sub> =0.31	R <sub>f</sub> =0.22 R <sub>f</sub> =0.26 R <sub>f</sub> =0.43	/
	TH.A2	R <sub>f</sub> =0.045	R <sub>f</sub> =0.16 R <sub>f</sub> =0.38	R <sub>f</sub> =0.30	/	/
	TH.A3	R <sub>f</sub> =0.058	R <sub>f</sub> =0.14 R <sub>f</sub> =0.39	/	/	/
Chloroforme/ Diether éthyle (B)	TD.A1	/	R <sub>f</sub> =0.035 R <sub>f</sub> =0.14	/	/	/
	TD.A2	/	/	R <sub>f</sub> =0.39	/	/
	TD.A3	R <sub>f</sub> =0.67	R <sub>f</sub> =0.047 R <sub>f</sub> =0.082 R <sub>f</sub> =0.115	/	R <sub>f</sub> =0.69	R <sub>f</sub> =0.39
	TH.A1	/	R <sub>f</sub> =0.68	R <sub>f</sub> =0.65	R <sub>f</sub> =0.056 R <sub>f</sub> =0.32 R <sub>f</sub> =0.63	/
	TH.A2	/	R <sub>f</sub> =0.68	R <sub>f</sub> =0.65	/	/
	TH.A3	/	R <sub>f</sub> =0.68	/	/	R <sub>f</sub> =0.38 R <sub>f</sub> =0.53
Hexane/ Diether éthyle (C)	TD.A1	/	R <sub>f</sub> =0.035 R <sub>f</sub> =0.82	/	/	/
	TD.A2	/	/	R <sub>f</sub> =0.09 R <sub>f</sub> =0.39 R <sub>f</sub> =0.88	/	/
	TD.A3	/	R <sub>f</sub> =0.035 R <sub>f</sub> =0.058 R <sub>f</sub> =0.74	R <sub>f</sub> =0.89	/	R <sub>f</sub> =0.44
	TH.A1	/	/	R <sub>f</sub> =0.31	R <sub>f</sub> =0.26 R <sub>f</sub> =0.42	/
	TH.A2	/	/	R <sub>f</sub> =0.19 R <sub>f</sub> =0.26 R <sub>f</sub> =0.32	/	/
	TH.A3	/	/	R <sub>f</sub> =0.44	/	R <sub>f</sub> =0.52
Hexane/Acétate d'éthyle (D)	TD.A1	R <sub>f</sub> =0.31	R <sub>f</sub> =0.034 R <sub>f</sub> =0.72	/	/	/
	TD.A2	/	/	R <sub>f</sub> =0.35 R <sub>f</sub> =0.47	/	R <sub>f</sub> =0.77
	TD.A3	/	R <sub>f</sub> =0.023 R <sub>f</sub> =0.73	R <sub>f</sub> =0.36 R <sub>f</sub> =0.43	/	R <sub>f</sub> =0.38
	TH.A1	/	R <sub>f</sub> =0.23	R <sub>f</sub> =0.23 R <sub>f</sub> =0.35	R <sub>f</sub> =0.13 R <sub>f</sub> =0.23 R <sub>f</sub> =0.33 R <sub>f</sub> =0.525	/
	TH.A2	/	R <sub>f</sub> =0.27	R <sub>f</sub> =0.22 R <sub>f</sub> =0.34	/	/
	TH.A3	/	R <sub>f</sub> =0.26	/	/	R <sub>f</sub> =0.35 R <sub>f</sub> =0.51



**Figure IV.3.1** : Résultats de la CCM. **A** : TD.A2 eau , TH.A3 eau, TH.A2 eau (système : hexane, diether ethyle) ; **B** : TH.A3 butanol, TD.A3 eau, TD.A3 butanol, TH.A2 (système : hexane, acétate d'éthyle) ; **C** : TH.A1methanol, TH.A2 methanol, TH.A3 methanol (système: chloroforme, diethyle d'éther) ; **D**: TD.A3 methanol, TD.A1 methanol (système : hexane, diether ethyl, acide acétique).

## 2- Chromatographie en phase gazeuse couplée au spectre de masse (GCMS)

Les composés présents dans l'extrait méthanolique TD.A1 ont été identifiés par GCMS et sont représentés dans le tableau (VI.3.2). Au total, quarante trois (43) constituants ont été identifiés. La composition de l'extrait TD.A1 a montré la présence du  $\alpha$ -Pinene (21.7%),  $\beta$ -Pinene (12.8%), Camphene (5.0%),  $\delta$ Elemene (5.0%) et du verbenole trans (4.9%) comme composés prédominant. Le tableau révèle que l'extrait renferme une quantité importante de Monoterpènes Hydrocarbonés soit une quantité de 40.6% de terpènes identifiés. Le tableau montre aussi qu'il y a neufs (09) composés non identifiés.

**Tableau VI.3.2 :** Les composés des terpénoïdes du pistachier de l'Atlas.

N°	R <sub>t</sub> (min)	Molécules	%	Cas N
1	7.17	Tricyclene	0.6	508-32-7
2	7.59	$\alpha$ -Pinene	21.7	80-56-8
3	8.04	Camphene	5	79-92-5
4	8.92	$\beta$ -Pinene	12.8	127-91-3
5	10.19	p-Cymene	0.1	99-86-5
6	10.51	$\gamma$ -Terpinene	0.4	99-87-6
7	12.10	sabienne hydrate	0.43	15537-55-0
8	12.20	None	1	-
9	12.40	sabienne hydrate	0.5	15537-55-0
10	12.78	None	0.5	-
11	13.70	$\alpha$ -Campholenal	1.4	4501-58-0
12	14.48	verbenole trans	4.9	-
13	14.85	Pinocarvone	1.1	30460-92-5
14	15.00	Pinocarvole trans	3.1	30460-92-5
15	15.44	Terpinen-4-ol	1.4	562-74-3
16	14.48	Myrtenal	1.7	564-94-3
17	16.00	Myrtenol	1.0	515-00-4
18	16.32	Verbenone	2.0	1196-01-6
19	16.89	trans-Carveol	0.7	1197-07-5
20	17.62	Borneol iso acetate	1.9	125-12-2
21	17.99	$\delta$ Elemene	5.0	29873-99-2
22	18.70	$\alpha$ -cubebene	1.4	17699-14-8
23	20.60	$\alpha$ -copaene	0.9	3856-25-5
24	20.82	$\beta$ -bourbonene	0.7	5208-59-3
25	20.86	$\beta$ -cubebene	0.7	13744-15-5
26	21.06	$\beta$ -elemene	1.0	515-13-9
27	21.10	$\beta$ -copaene	0.4	18252-44-3
28	21.21	$\gamma$ -elemene	0.8	29873-99-2
29	21.26	Guaia-6,9-diene	0.9	-
30	21.30	None	0.1	-
31	21.58	None	0.2	-
32	21.78	caryophyllene, 9-epi-	0.4	-
33	22.00	None	0.9	-
34	23.18	$\gamma$ -amorphene	1.83	23986-74-5
35	23.33	Germacrene-D	3.1	6980-46-7

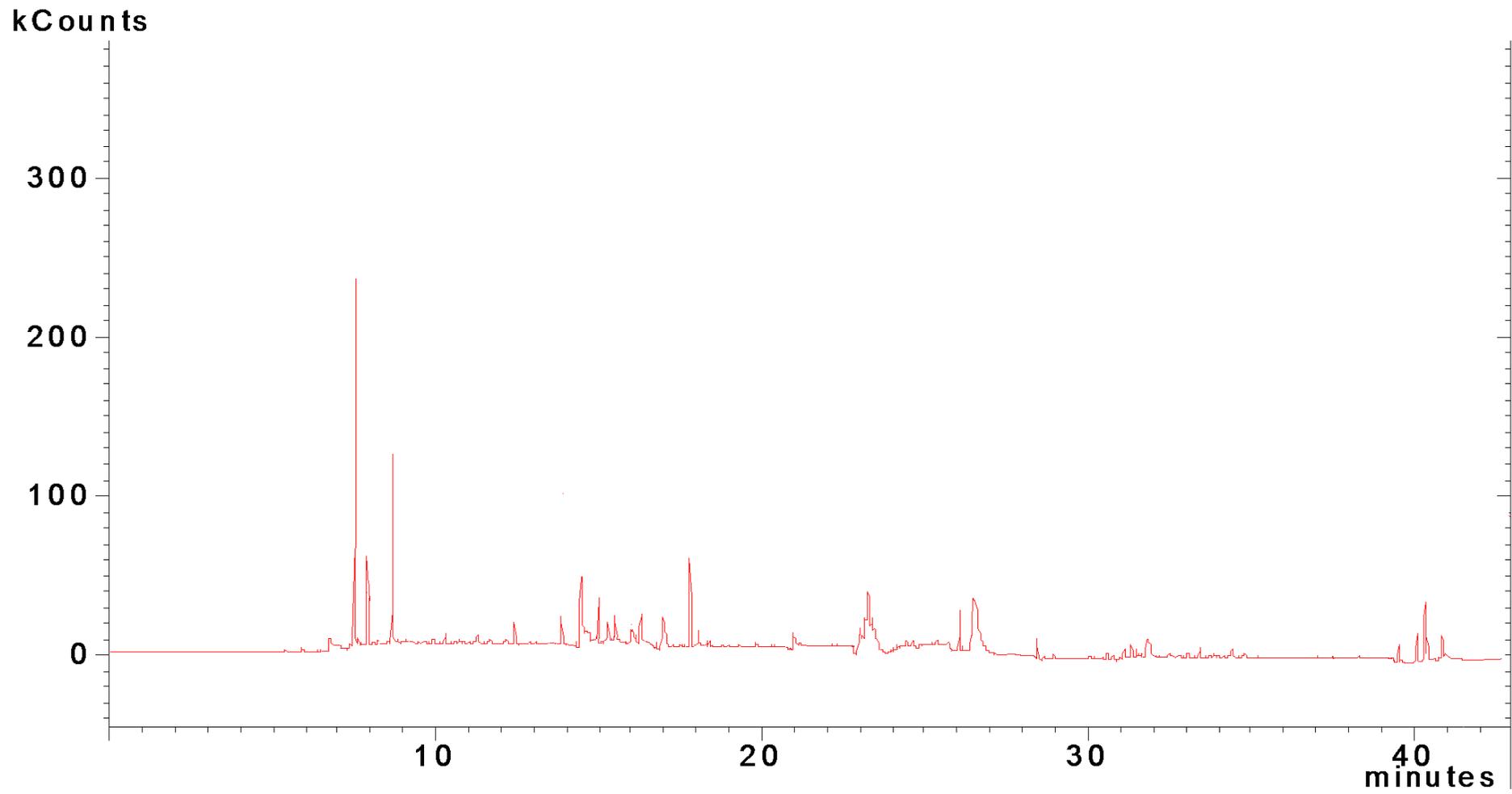
36	23.77	$\alpha$ -muurolene	0.08	10208-80-7
37	24.12	$\gamma$ -cadinene	0.20	1460-97-5
38	25.03	$\delta$ -cadinene	0.49	483-76-1
39	25.67	cubebol	0.17	23445-02-5
40	26.43	elemol	2.5	8024-27-9
41	26.76	spathulenol	3.2	6750-60-3
42	28.66	salvial-4(14)-en-1-one	1.5	73809-82-2
43	29.33	None	0.5	-
44	30.04	None	0.8	-
45	32.99	Germacrene D-4-ol	1.1	74841-87-5
46	34.15	None	0.1	-
47	34.85	None	0.7	-
48	36.45	$\gamma$ -eudesmol	0.8	1209-71-8
49	39.43	$\alpha$ -muurolol	1	19435-97-3
50	40.39	cedr-8(15)-en-10-ol	1.5	-
51	40.57	$\beta$ -eudesmol	2.5	473-15-4
52	41.49	hex-3-en-1-ol benzoate, (Z)-	1.0	25152-85-6

Terpènes :

- Sesquiterpènes : 32.07%
- Monoterpènes Hydrocarbons : 40.6%
- Monoterpènes Oxygenés : 19.7%

Composes non identifiés:4.8%

Autres composés:1%



**Figure IV.3.2** : Spectre de l'analyse GCMS.

## ❖ Discussion

Plusieurs auteurs ont étudié la diversité des composés contenus dans la famille de *Pistacia* appartenant à différentes classes de composés phénoliques (**Romani et al., 2002 ; Longo et al., 2007 ; Benhamou et al., 2008 ; Aït Saïd ; 2011**).

Dans notre étude, l'analyse de la variabilité du pistachier de l'atlas réalisée avec la CCM montre la diversité du Pistachier de l'Atlas inter site et intra site en utilisant cinq extraits (eau, méthanol, éthanol, butanol et éther de pétrole) et révèle un nombre de tâches et de  $R_f$  différents.

Nos résultats n'ont pas fait l'objet d'une comparaison avec d'autres études antérieures vu le manque des résultats de la CCM de l'espèce du pistachier de l'atlas. Dans nos résultats quelques fractions n'ont pas pu migrer, cela peut être expliqué par la complexité des structures des composés phénoliques contenus dans ces fractions, qui peuvent se retrouver sous forme oligomérique ou polymérique avec des poids moléculaires élevés (**Sbaihi, 2010**). Ainsi plusieurs tâches ayant des  $R_f$  variées entre 0,10 et 0,96 ont été observées à partir de plusieurs extraits de la feuille de *Pistacia* (**Sbaihi, 2010**). On remarque la présence des tâches sur CCM au niveau du point de dépôt (sans migration), ceci peut être expliqué par la présence des oligomères de tannins condensés (**Mueller-Harve 2001**). Les composés séparés peuvent correspondre aux composés polymériques qui ont migré suivant leur poids moléculaires (**Sbaihi, 2010**). **Ouni et al. (2018)** démontrent l'existence d'une variabilité inter spécifique de *P. atlantica* qui est riche en polyphénols totaux et en tannins hydrolysables, mais plus pauvre en flavonoïdes totaux, et qu'il existe une bonne corrélation entre la teneur en polyphénols et les caractéristiques édapho-climatiques. Cette étude corrobore avec la nôtre et qui prouve l'existence d'une variabilité dans les composés biochimiques de cette espèce qui est probablement en relation avec leur rôle physiologique.

D'après **Barrero (2005)**, les analyses du *P. atlantica* basés sur GCMS, le terpinen-4-ol (21,7%) et l'élémol (20,0%) sont des ingrédients majeurs de l'huile des feuilles. Et Selon **Said et al. (2011)**, le spathuléol est le principal composant de *P. atlantica* feuilles. En revanche, dans notre étude le  $\alpha$ - pinène (21,7 %) est le composant majoritaire, ce résultat a été aussi retrouvé dans les études **Delazar et al. (2003)** et de **Yoram et al. (2011)**.

# **Partie V**

## **Valorisation du pistachier de l'Atlas via un outil bioinformatique**

- **Chapitre 1 : Les vertus thérapeutiques du pistachier de l'atlas et application des outils bioinformatiques « docking »**
- **Chapitre 2 : Matériels et méthodes**
- **Chapitre 3 : Résultats et discussion**

# Chapitre 1 : Les vertus thérapeutiques du pistachier de l'Atlas et application des outils bioinformatiques « docking »

## 1- Usage thérapeutique de *Pistacia atlantica*

Cette espèce possède divers usages industriels et traditionnels dans toutes ses parties (feuille, résine et fruit). Des travaux antérieurs ont étudié sa large propriété médicinale et pharmaceutique (Bozorgi et al., 2013 ; Mehjoub et al., 2018).

### 1-1- Effets médicaux

Le fruit et la résine de *Pistacia atlantica* ont des effets bénéfiques dans les troubles gastro-intestinales supérieures et inférieures (Aghili, 2009 et Avicenna, 2012). La résine est généralement utilisée pour la dyspepsie, l'ulcère de l'estomac, l'œsophagite et la gastrite. L'oléorésine est un laxatif, il est avantageux pour les fissures anales. *Pistacia atlantica* a une activité anti-inflammatoire et un effet approprié dans le traitement de la colite ulcéreuse (Tanideh et al., 2014).

Le fruit et la résine ont des propriétés hépatoprotectrices, ils sont prescrits pour l'hépatite et l'ascite. Le fruit est un tonique pour la rate, il est prescrit pour la stagnation splénique. Ils sont aussi des toniques nerveux, ils sont utiles dans la paralysie, les accidents vasculaires cérébraux, le tétanos, les convulsions, les tremblements et les maux de tête. Ainsi ils sont prescrits pour la pneumonie et la toux productive due aux propriétés mucolytiques (Aghili, 2009 ; Avicenna, 2012).

Le fruit a été connu comme un rein tonique et aphrodisiaque, aussi il est utilisé pour la néphrolithiase (Aghili, 2009 ; Avicenna, 2012). Il possède également des propriétés antidépressives (Aghili, 2009).

Les feuilles et les fruits du pistachier de l'Atlas ont montré une activité antioxydante similaire ou significative supérieure à ceux des composés antioxydants standards dans différents dosages d'antioxydants in vitro (peksel, 2008 ; Farhoosh et al., 2011). Les feuilles sont hypoglycémiques dues à l'effet inhibiteur sur l' $\alpha$ -amylase et  $\alpha$ -glucosidase (Hamdan et Afifi, 2004 ; Kasabri et al., 2011). Ainsi l'huile de fruit diminue les deux types de cholestérol LDL et VLDL, les triglycérides et augmente le cholestérol HDL (Saeb et al., 2004 ; Nazifi et al., 2012).

Cette espèce a des effets bénéfiques pour les palpitations du cœur et la maladie de la syncope, elle est efficace pour la cicatrisation des plaies, de la gale, des lèvres fissurées et de la chute de cheveux (**Aghili, 2009 et Avicenna, 2012 ; Yousfi et al., 2005**).

Les effets cytotoxiques des fruits ont été démontrés contre deux humaines lignées de cellules cancéreuses, y compris le carcinome du côlon humain (HT29) et le cancer du sein humain (T47D).

L'extrait de résine est efficace dans les brûlures en augmentant l'angiogenèse et la croissance des plaquettes (**Tanideh et al., 2014**).

### **1-2- Activités antimicrobiennes**

Le pistachier de l'Atlas a des propriétés antibactériennes contre un grand nombre de bactéries à Gram-positif et à Gram-négatif (**Bozorgi et al., 2013 ; Sharifi et Hazel, 2012**). Des recherches ont montré que la résine de fractions acides de *Pistacia atlantica* a un effet inhibiteur contre *Escherichia coli*, *Salmonella typhimurium*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Alcaligenes faecalis*, *Enterobacter aerogenes*, *Pseudomonas fluorescens*, *Bacillus cereus*, *Streptococcus faecalis*, *Staphylococcus aureus* et *epidermidis* (**Tohidi et al., 2011 ; Ghalem et Benali., 2009**).

L'extrait méthanolique des fruits frais de *Pistacia atlantica* a montré son efficacité contre les champignons et les levures, tels que *Candida albicans*, *Candida glabrata* et *Saccharomyces cerevisiae* (**Falahati et al., 2015 ; Benhammou et al., 2008**).

## **2- Le processus de docking**

Le docking est un terme utilisé pour des schémas de calcul qui essaient de trouver la meilleure correspondance entre deux molécules : un récepteur et un ligand (**Halperinet al., 2002**). Le docking est capable de confronter deux entités telles que le ligand et le récepteur. Il est utilisé pour cibler des bibliothèques virtuelles de molécules semblables à des médicaments et le criblage des banques de molécules potentiellement actives. Il a déjà aidé à la conception de nouveaux ligands pour des agents antisida et anti-cancer et pour le traitement du diabète.

Les structures 3D ont été définies par cristallographie par rayons X. La diversité des ligands cristallisés dans la protéine est une information précieuse qui nous permet d'observer d'une part les résidus clés de l'interaction, mais également les variabilités structurales 3D de la protéine d'une molécule à l'autre.

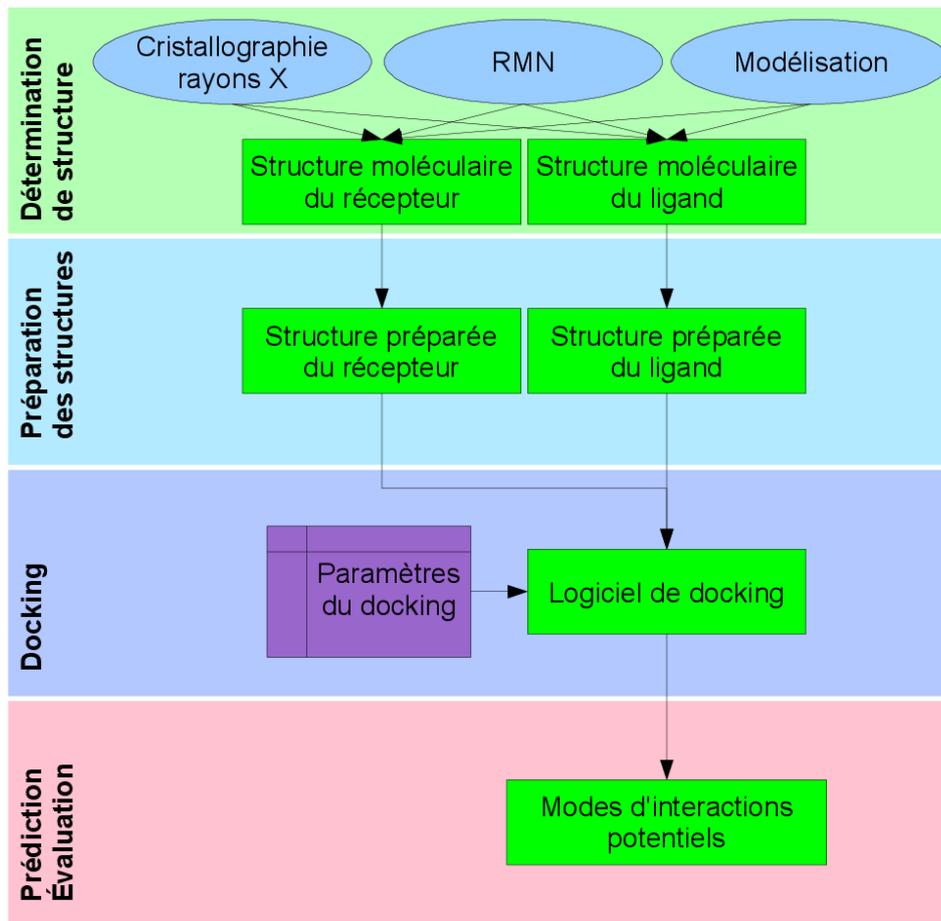


Figure V.1.1 : Conception d'un logiciel de Docking (Grosdidier et al., 2007).

## 2-1- Le docking ligand- protéine

Le docking Ligand- Protéine nécessite une grande molécule, cette protéine est ainsi appelée « le récepteur » et la petite molécule « le ligand ». Il est très utile dans le développement de médicaments. Il est comme « une clé dans une serrure » quand il est amarré dans la cavité de la protéine.

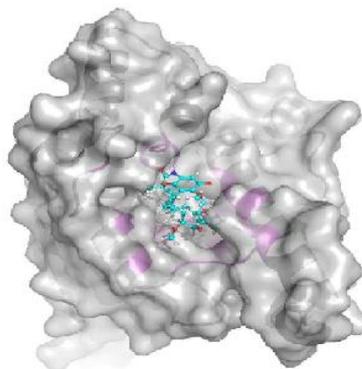
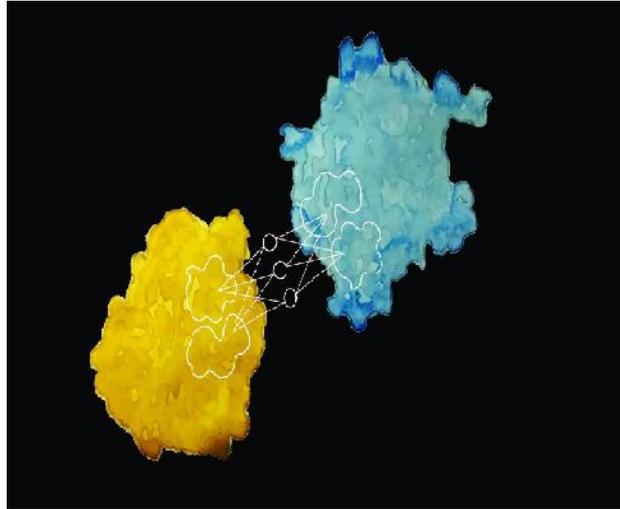


Figure V.1.2 : Interaction ligand-protéine (thomas. gaillard@polytechnique. Edu).

## 2-2- Le docking protéine- protéine

Le docking protéine- protéine nécessite deux protéines approximativement de même taille. Donc, souvent le site de fixation est une surface plus plane que dans le docking ligand-protéine, et les cas où le docking se produit quand l'une des molécules est située à l'intérieur d'une cavité de l'autre molécule, sont très rares.



**Figure V.1.3 :** Interaction protéine-protéine (Gainza et al., 2019).

- Les logiciels les plus fréquemment cités dans la littérature sont : AutoDock, GOLD, FlexX, DOCK et ICM.

## Chapitre 2 : Matériels et méthodes

Plusieurs travaux désignent *Pistacia atlantica* comme une espèce précieuse, en raison de ses diverses utilisations. Elle a été traditionnellement utilisée pour plusieurs propriétés thérapeutiques depuis l'antiquité (**Daget et Godron, 1974 ; Monjauze, 1980 ; Belhadj, 2001 ; Benhassaini, 2003 ; El Oualidi et al., 2004**). De ce fait, notre attention est attirée par son intérêt et sa valorisation dans le domaine médical, pharmaceutique et on s'est intéressé aux terpénoïdes car d'après **Fatemeh et al. (2018)** et **Aziz et al. (2020)**, ses composés ont des effets antimicrobiens, antifongiques et antiviraux. Dans le but d'avoir un travail original et d'actualité et afin de trouver un nouveau agent antimicrobien, on a étudié l'activité des terpénoïdes du pistachier de l'Atlas obtenus par l'analyse GCMS sur le virus (SARS-CoV-2), deux bactéries (Gram+ : *Staphylococcus aureus* MRSA, Gram- : *Pseudomonas aeruginosa*) et deux souches fongiques, à savoir une moisissure : *Aspergillus niger*, et une levure : *Candida albicans*.

### 1- Choix des souches

Le choix des souches dépend de l'objectif du travail visé. D'une façon générale, il est souhaité d'avoir une souche représentative de chaque classe. De ce fait, notre choix s'est porté sur :

#### 1-1- Virus

Le SARS-CoV-2 un nouveau coronavirus apparu en Chine fin de décembre 2019 (**Xu et al., 2020**). L'extension rapide de ce nouveau SARS-CoV-2 a provoqué une pandémie mondiale. Les symptômes de cette infection virale sont : fièvre, pneumonie sévère et insuffisance respiratoire; la période d'incubation était estimé entre 1 et 14 jours (**Hopkins, 2020**).

#### 1-2- Fongiques

##### 1-2-1- Une levure

*Candida albicans* est une levure non capsulée, non pigmentée et aérobie (**Chu et al., 1993**), se reproduit de façon asexuée par bourgeonnements multilatéraux d'une cellule mère (le blastospore) (**Graser et al., 1996**), formant ainsi des colonies blanches crémeuses. *Candida albicans* représentent la cause majeure des infections nosocomiales opportunistes d'origine mycosique.

### **1-2-2- Une moisissure**

*Aspergillus flavus* est une moisissure présente dans les cultures dans les champs ainsi que pendant le stockage lorsque les conditions deviennent favorables à son développement. La principale menace de ce champignon est sa capacité à produire de l'aflatoxine B1 (AFB1), la plus puissante et cancérigène, dans les denrées alimentaires couramment consommées telles que les céréales, les noix et les fruits secs (**Amaike et Keller, 2011; Klich, 2007**).

### **1-3- Bactéries**

#### **1-3-1- Bactérie à Gram positif**

*Staphylococcus aureus* ou staphylocoque doré est un germe commensal de la peau et des muqueuses mais sa niche écologique dominante est la partie antérieure du nez (**Kluytmans et al., 1997**). Ce germe est impliqué dans 19 à 25 % des bactériémies, 20 à 25 % des pneumonies, 32 à 44 % des infections cutanées et des tissus mous (**Diekema et al., 2001**).

#### **1-3-2- Bactérie à Gram négatif**

*Pseudomonas aeruginosa* s'est imposé comme un pathogène hospitalier très important du fait de la fréquence et de la gravité des infections causées (**Enpin, 2007**). Au sein du milieu hospitalier, les nombreux facteurs de virulence de *P. aeruginosa* s'expriment préférentiellement dans les services de réanimation avec leurs patients souvent immunodéprimés et soumis aux procédures invasives, où cette espèce est responsable d'environ 18 % des infections nosocomiales (**Richards et al., 1999**).

## **2- Docking moléculaire**

Autodock vina est un programme d'amarrage moléculaire et de criblage virtuel du médicament, il est utilisé dans de nombreuses études (**Trott et Olson, 2010 ; Sandeep, 2011 ; Jaghoori, 2016**). En effet, Les données des pionniers de l'amarrage moléculaire démontrent la puissance de *Pistacia atlantica* comme médicament.

Les calculs d'ancrage nécessitent des représentations du récepteur et du ligand dans un format de fichier appelé pdbqt qui est un format de banque de données de protéines modifiées (**Berman et al., 2000**), contenant les charges et les définitions des types d'atomes et pour les ligands contenant les informations topologiques (liaisons rotatives). Ces préparations de fichiers sont effectuées à l'aide d'Autodock 1.5.4 MGL Tools (**Sanner, 1999**). Les ligands pour les cycles d'amarrage ultérieurs peuvent être préparés un par un via PyMol (**Delano, 2002**) et Autodock 1.5.4 MGL Tools. Les conformations bioactives étaient simulées à l'aide d'Autodock vina (**Trott et Olson, 2010**). Les meilleures conformations des ligands ont été

analysées pour leurs interactions de liaison ont été évaluées par les énergies libres de liaison (affinité d'amarrage, kcal / mol) les liaisons interactions entre l'atome de ligand et les résidus des sites actifs. Les résultats ont ensuite été analysés en utilisant PyMol et LigPlot + **(Laskowski et Swindells, 2011)**.

## Chapitre 3 : Résultats et discussion

### ❖ Résultats et interprétations

Tous les terpénoïdes de *Pistacia atlantica* ont été amarrés avec les différents ligands des souches choisies.

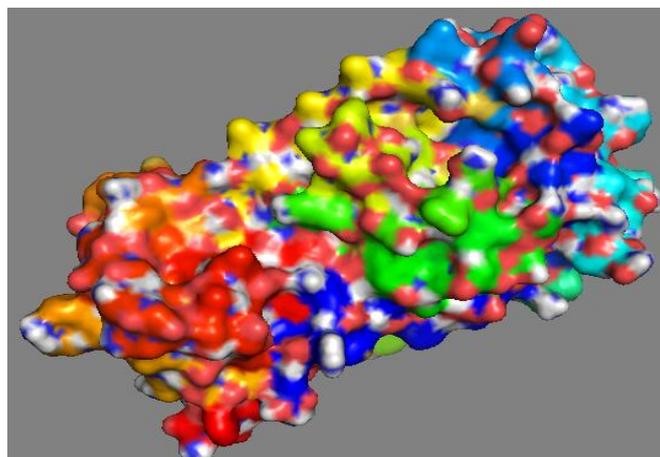
#### 1- Terpénoïdes de *pistacia atlantica* Desf désignés comme antivirus « Anti SARS-CoV-2 »

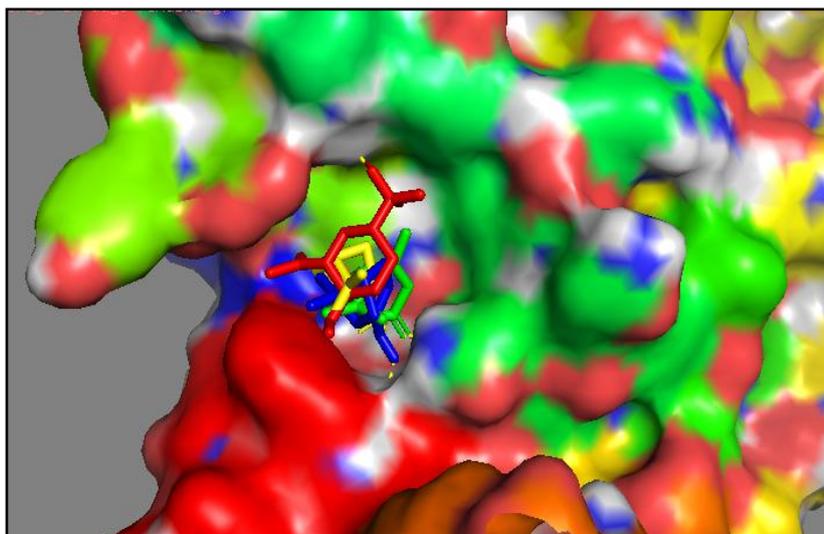
Tous les résultats de cette étude sont présentés dans le tableau (V.3.1). Ils comprennent les types d'interactions identifiées entre le site actif de SARS-CoV-2 Mpro et les ligands. De plus, les figures (V.3.2), (V.3.3), (V.3.4), (V.3.5) montrent l'illustration bidimensionnelle des interactions entre les acides aminés dans la poche de liaison du SARS-CoV-2 Mpro et les composés sélectionnés.

Les résultats montrent que treize composés ont engendré la liaison avec la protéase principale SARS-CoV-2. Ces composés sont: Cubebol (- 6,6kcal / mol) formant un hydrogène liaison avec la protéase principale à (Gln 110), Spathuléol et Camphène (-6,5 kcal / mol) constituant une liaison hydrogène à Asn 151, Cedr-8 (15) -en-10-ol et Alpha-Eudesmol (-6,2 kcal / mol) formant de l'hydrogène à Asp 153 et Ser 158 respectivement, Alpha-Muurolol et Salvial-4 (14) -en-1-one (-6 kcal / mol) et création d'une liaison hydrogène à Gln 110 pour Alpha-Muurolol et à Gln 110, Ser 158 pour Salvial-4 (14) -en-1-one et Germacrene D-4-ol (- 5,8 kcal / mol) formant une liaison hydrogène avec la principale protéase à Ser 158, Le Beta-Eudesmol (- 5.5 kcal / mol) constituant une liaison hydrogène à (Ser 158, Lys 102, Asp 153) , Elemol (- 5.2 kcal / mol) formant de l'hydrogène à (Ser 158), Verbenol (- 5.2 kcal / mol ) constituant une liaison hydrogène à (Thr 111) , Pinocarvone (- 5.1 kcal / mol) formant de l'hydrogène à (Trp207), Myrtenal constituant une liaison hydrogène à (Thr 292), Myrtenol constituant une liaison hydrogène à (Asn 151, Thr 111, Thr 111) et Le trans-carvéol constituant une liaison hydrogène à (Lys 5), ces trois dernières molécules ont un amarrage de (-4.9 kcal / mol).

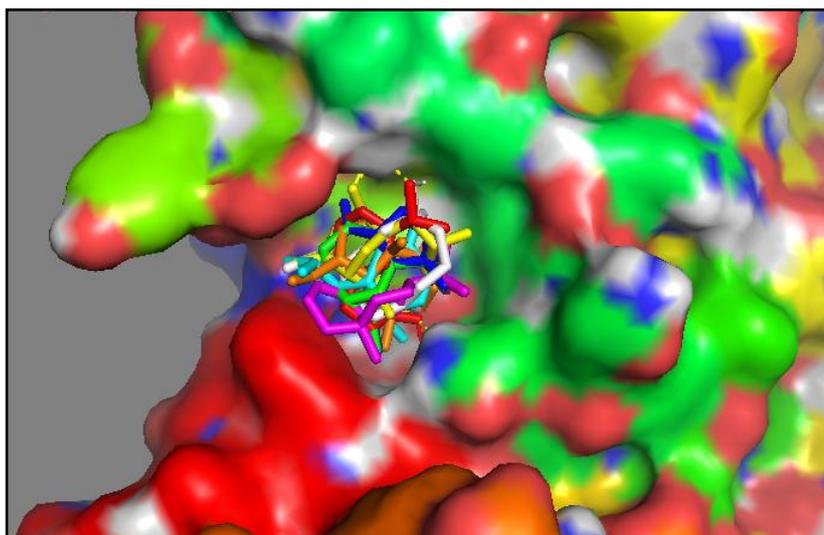
**Tableau V.3.1** : Interactions des molécules de terpénoïdes *Pistacia atlantica* avec la protéase principale SARS-CoV-2.

Ligand	Amarage Kcal/mol	Distance	Meilleur mode rmsd u.b.	Bande d'interaction d'hydrogène	Distance (Å)
Cubebol	- 6.6	0	0	Gln 110	3.02
Spathulenol	- 6.5	0	0	Asn 151	2.82
Camphene	-6.5	0	0	Asn 151	2.88
Cedr-8(15)-en- 10-ol	- 6.2	0	0	Asp 153	2.83
				Ser 158	2.97
Alpha- Eudesmol	- 6.2	0	0	Asn 151	2.81
Alpha- Muurolol	-6	0	0	Gln 110	2.96
Beta- Eudesmol	- 5.5	0	0	Ser 158	2.87
				Lys 102	2.98
				Asp 153	2.94
Elemol	- 5.2	0	0	Ser 158	2.91
Verbenol	- 5.2	0	0	Thr 111	3.32
Pinocarvone	- 5.1	0	0	Trp207	3.09
Myrtenal	- 4.9	0	0	Thr 292	3.05
Myrtenol	- 4.9	0	0	Asn 151	2.92
				Thr 111	2.92
				Thr 111	3.04
Trans- Carveol	- 4.9	0	0	Lys 5	2.86

**Figure V.3.1** : 3D structure de 2019-nCoV (<https://www.rcsb.org/>).



**Figure V.3.2** : Liaison avec les ligands principaux (Cubebol, Sapathuléol: vert, Camphène: Bleu, Cedr: Jaune,  $\alpha$ -Eudesmol : Magenta,  $\alpha$ -Muurolol : Cyan, Salvial : Orange, Germacrene D : Blanc.



**Figure V.3.3** : Liaison avec les ligands. (Elemol : Rouge, Verbenol : Vert, Myrtenal : Bleu, Myrtenol : Jaune).



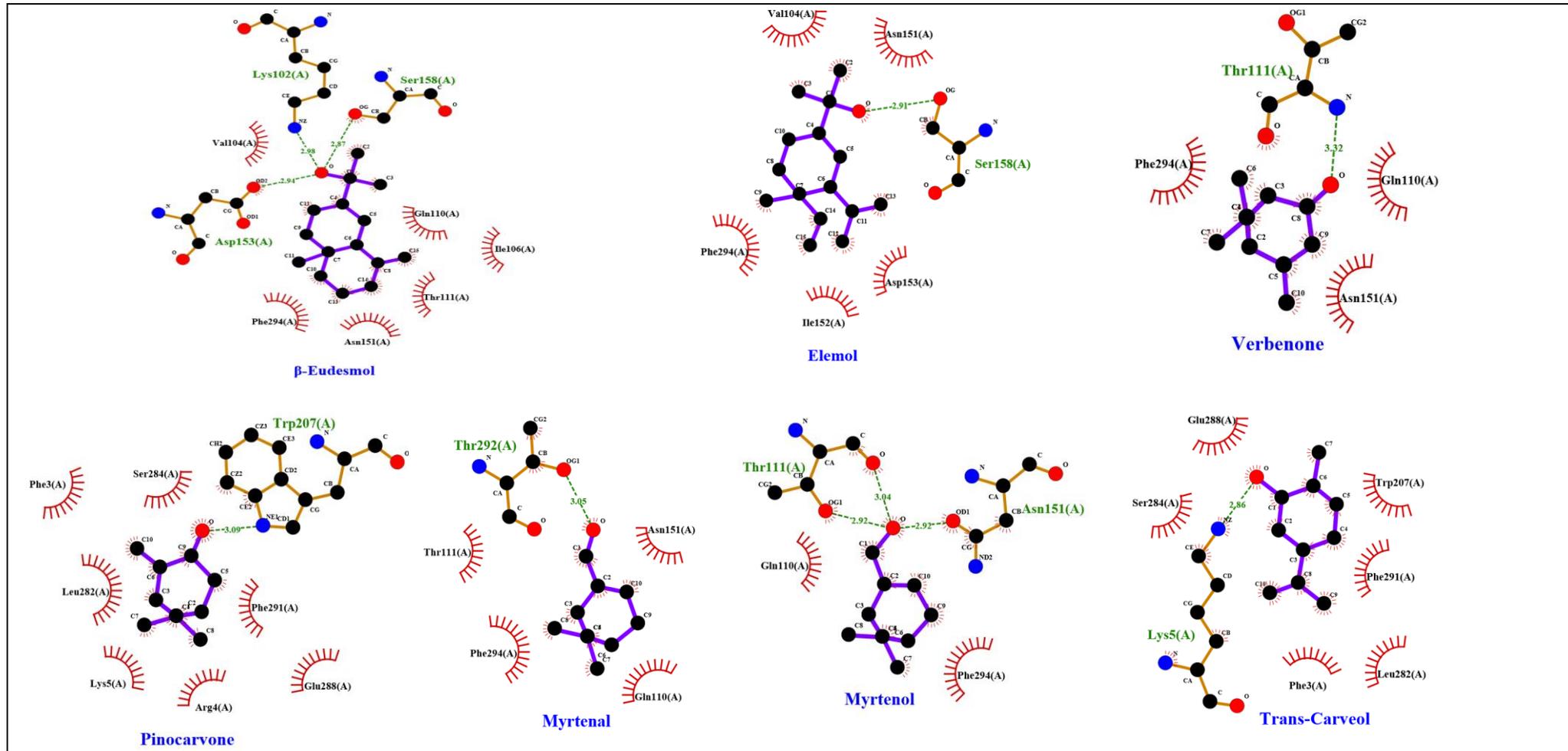


Figure V.3.5 : Vue 2 D de la conformation de liaison de l'interaction des ligands avec la protéase principale SARS-CoV-2 (suite).

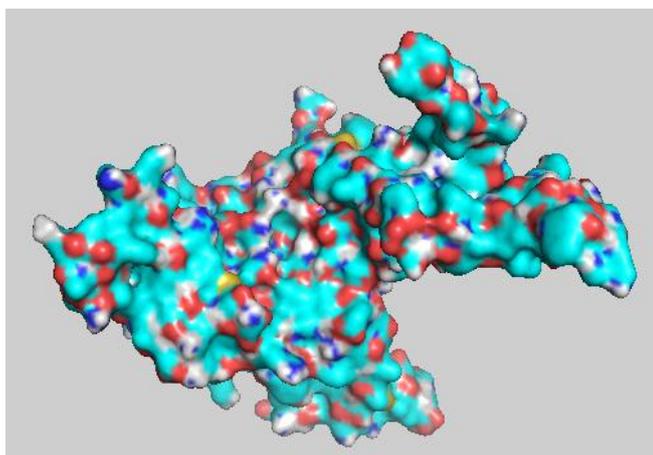
## 2- Terpénoïdes de *Pistacia atlantica* Desf désignés comme antifongique « *Anti Aspergillus flavus*, *anti Candida albicans* »

### 2-1- Anti *Aspergillus flavus*

Les résultats montrent que cinq composés tableau (V.3.2) et la figure (V.3.7) ont une liaison d'énergie avec *Aspergillus flavus*. Ces composés sont: Cubebol (- 6,6kcal / mol) formant un hydrogène liaison avec la protéase principale à (Arg 128), Spathulénol (-6,9 kcal / mol) constituant une liaison hydrogène aux Trp106 et His 104, Germacrene D et Salvial-4(14)-en-1-one (-6,6 kcal / mol) formant de l'hydrogène à Val 29 et Trp 106 respectivement, Beta-Eudesmol (-6,4 kcal / mol) et création d'une liaison hydrogène à His 104 ET Glu.

**Tableau V.3.2 :** Interactions des molécules de terpénoïdes *Pistacia atlantica* avec *Aspergillus flavus*.

Ligand	Amarage Kcal/mol	Distance	Meilleur mode rmsd u.b.	Bande d'interaction d'hydrogène	Distance (Å)
Cubebol	- 6.6	0	0	Arg 128	2.95
Spathulenol	- 6.9	0	0	Trp 106 His 104	3.15 3.09
Germacrene D	-6.6	0	0	Val 29	3.17
Salvial-4(14)-en-1-one	-6.6	0	0	Trp 106	3.01
Beta-Eudesmol	- 6.4	0	0	His 104 Glu 31	2.70 2.56



**Figure V.3.6 :** Structure 3D d'*Aspergillus flavus*.

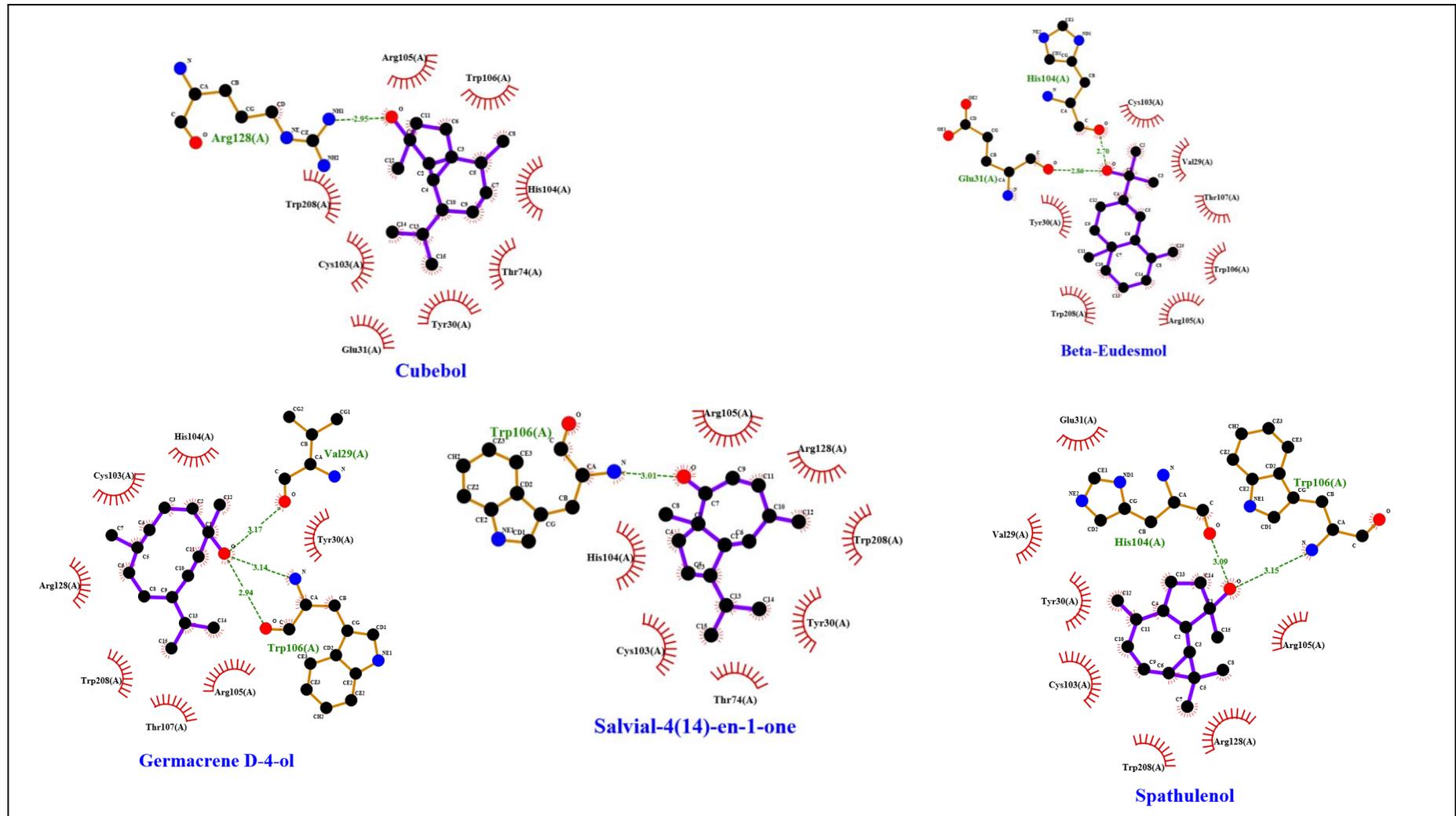


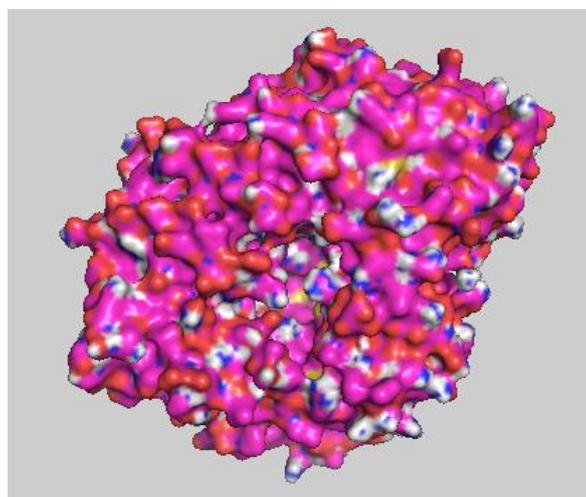
Figure V.3.7 : Vue 2 D de la conformation de liaison de l'interaction des ligands avec *Aspergillus flavus*.

## 2-2- Anti *Candida albicans*

Les résultats sont montrés dans le tableau (V.3.3) et la figure (V.3.9). Cinq composés ont une liaison d'énergie avec *Candida albicans*: Alpha-muurolol (-6,9 kcal / mol) constituant une liaison hydrogène à Gln 110 (A), Elemol (- 6,6kcal / mol) formant un hydrogène liaison avec la protéase principale à (Tyr 163 (B)), Germacrene D avec Thr 375 (B) et Tyr 163 (B), Verbenol avec la protéase Tyr 36 (B) et finalement Beta-Eudesmol (-6,4) constituant une liaison hydrogène à Tyr 103 (A) et Asn 107(A).

**Tableau V.3.3 :** Interactions des molécules de terpénoïdes *Pistacia atlantica* avec *Candida albicans*.

Ligand	Amarage Kcal/mol	Distance	Meilleur mode rmsd u.b.	Bande d'interaction d'hydrogène	Distance (Å)
Elemol	- 6.6	0	0	Tyr 163 (B)	3.05
Alpha-muurolol	- 6.9	0	0	Gln 110 (A)	3.27
Germacrene D	-6.6	0	0	Thr 375 (B)	3.29
				Tyr 163 (B)	2.99
Verbenol	-6.6	0	0	Tyr 36 (B)	3.02
Beta-Eudesmol	- 6.4	0	0	Tyr 103 (A)	2.75
				Asn 107(A)	3.27



**Figure V.3.8 :** Structure 3D du *Candida albicans*.

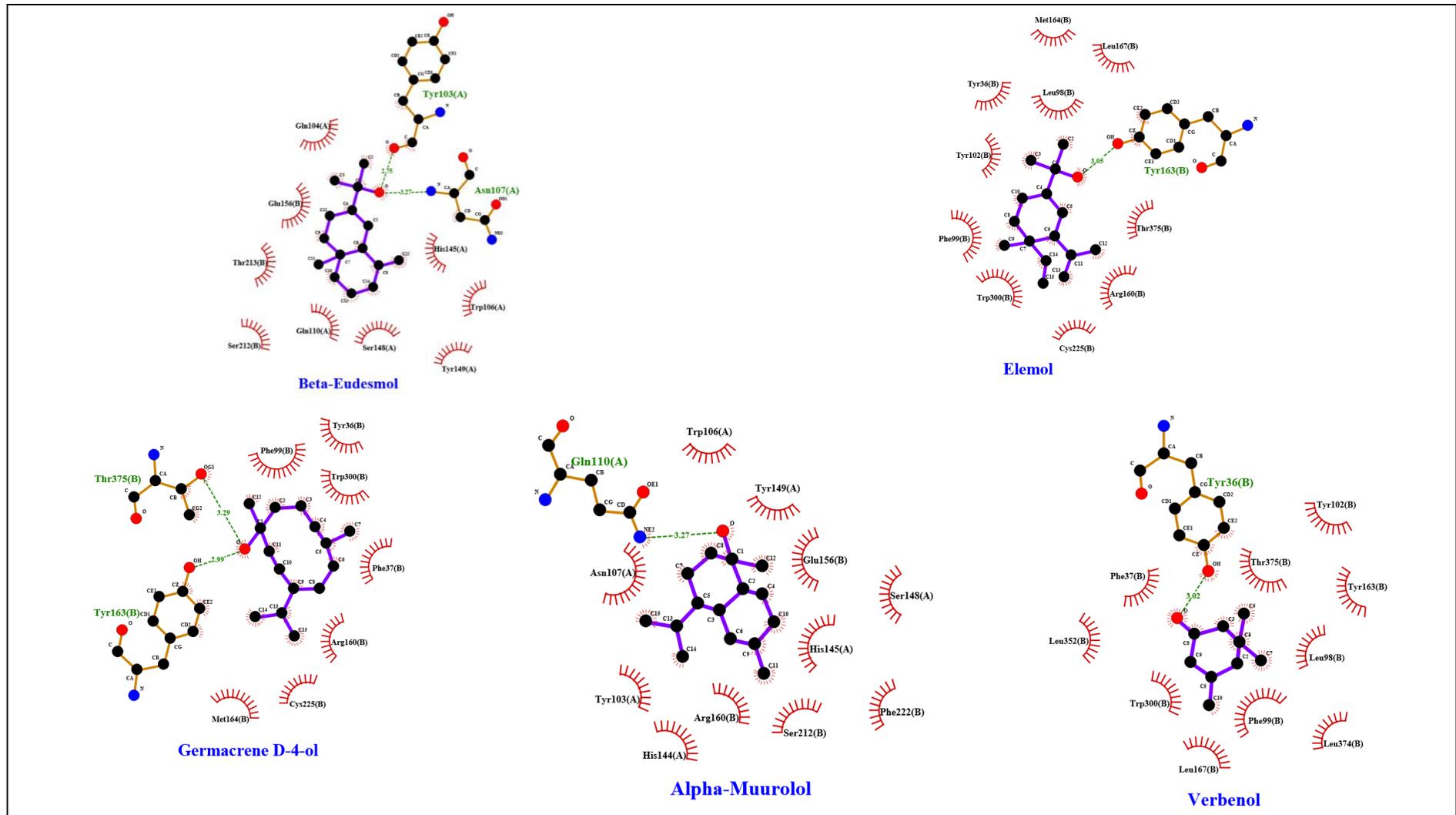


Figure V.3.9 : Vue 2 D de la conformation de liaison de l'interaction des ligands avec *Candida albicans*.

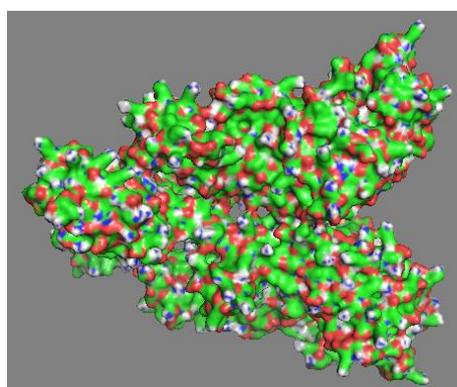
### 3- Terpénoïdes de *Pistacia atlantica* Desf désignés comme antibactérien « Anti *Staphylococcus aureus*, Anti *Pseudomonas aeruginosa* »

#### 3-1- Anti *Staphylococcus aureus*

Six composés forment une liaison d'énergie avec *Staphylococcus aureus*, sont mentionnés au tableau (V.3.4) et la figure (V.3.11) en mode décroissant par rapport à la force de liaison : Spathuléol (-7,1 kcal / mol) constituant une liaison hydrogène aux Lys 218 (B) et Lys 219 (B), Beta-Eudesmol (-6,9 kcal / mol) formant liaison d'hydrogène aux Gln 292 (A) et His 293 (A) et Cedr-8(15)-en-10-ol (-6,6 kcal / mol) créant une liaison hydrogène à Asp 128 (A) et Gln 113 (A), Salvial-4 (14) -en-1-one, (- 6,5 kcal / mol) formant une liaison hydrogène avec la principale protéase à Lys 148 (A), Elemol (- 6,2 kcal / mol) et en fin Germacrene D-4-ol (- 6,0 kcal / mol) engendrant des liaisons avec (Gln 292 (A), His 293 (A)) et Lys 215 (B), Glu 397 (B)) respectivement.

**Tableau V.3.4 :** Interactions des molécules de terpénoïdes *Pistacia atlantica* avec *Staphylococcus aureus*.

Ligand	Amarage Kcal/mol	Distance	Meilleur mode rmsd u.b.	Bande d'interaction d'hydrogène	Distance (Å)
Cedr-8(15)-en-10-ol	- 6.6	0	0	Asp 128 (A)	2.74
				Gln 113 (A)	3.08
Beta-Eudesmol	- 6.9	0	0	Gln 292 (A)	3.05
				His 293 (A)	2.94
Elemol	-6.2	0	0	Gln 292 (A)	3.00
				His 293 (A)	2.91
Germacrene D-4-ol	-6.0	0	0	Lys 215 (B)	3.02
				Glu 397 (B)	3.01
Salvial-4(14)-en-1-one	- 6.5	0	0	Lys 148 (A)	3.11
Spathulenol	-7.1	0	0	Lys 218 (B)	3.05
				Lys 219 (B)	2.80



**Figure V.3.10 :** Structure 3D du *Staphylococcus aureus*.

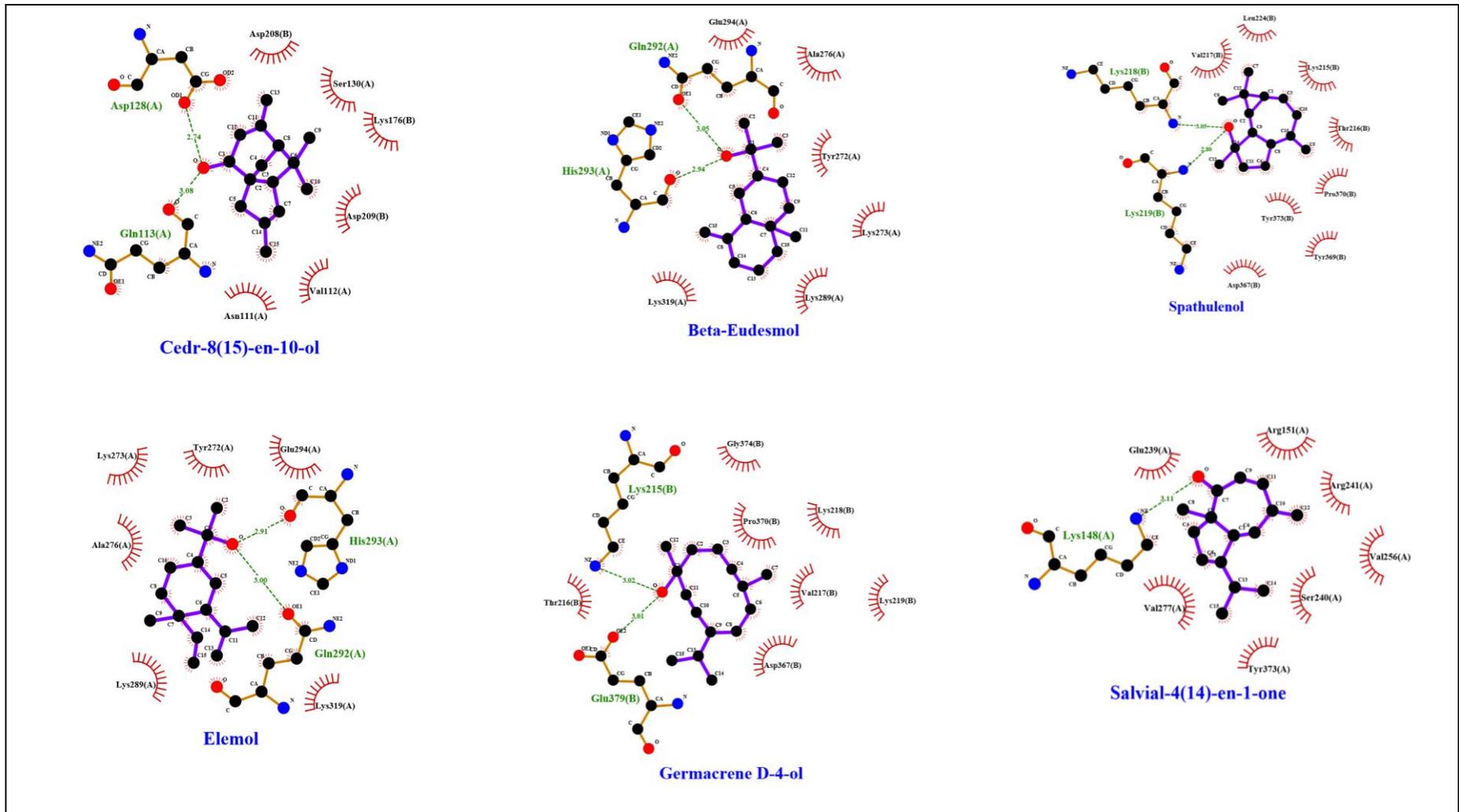


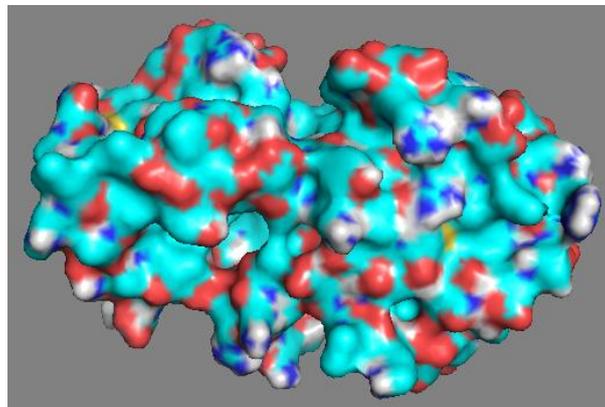
Figure V.3.11 : Vue 2 D de la conformation de liaison de l'interaction des ligands avec *Staphylococcus aureus*.

### 3-2- Anti *Pseudomonas aeruginosa*

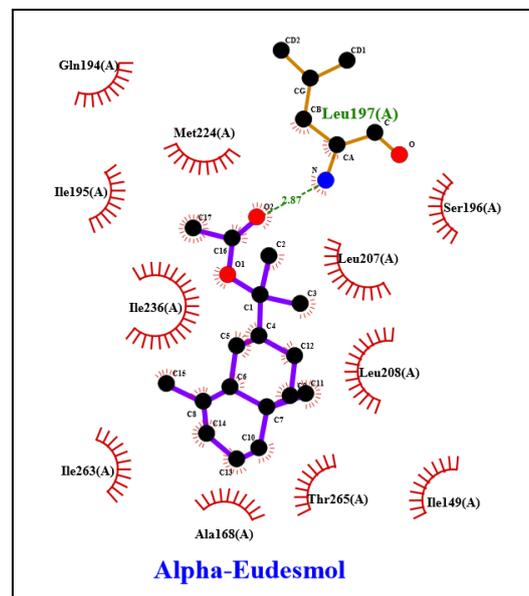
Un seul composant a une liaison d'énergie avec *Pseudomonas aeruginosa* : Alpha-Eudesmol (-7,1 kcal / mol) constitue une liaison hydrogène à Leu 197 (A)(tab V.3.5) et (fig V.3.13).

**Tableau V.3.5** : Interactions des molécules de terpénoïdes *Pistacia atlantica* avec *Pseudomonas aeruginosa*.

Ligand	Amarage Kcal/mol	Distance	Meilleur mode rmsd u.b.	Bande d'interaction d'hydrogène	Distance (Å)
Alpha-Eudesmol	- 7.1	0	0	Leu 197 (A)	2.87



**Figure V.3.12** : Structure 3 D *Pseudomonas aeruginosa*.



**Figure V.3.13** : Vue 2 D de la conformation de liaison de l'interaction des ligands avec *Pseudomonas aeruginosa*.

## ❖ Discussion

D'après nos résultats, le pistachier de l'Atlas contient 13 molécules anti SARS-CoV-2, c'est un résultat intéressant, comparé avec l'étude d'**Aanouz et al, (2020)**, qui avait rapporté trois composés seulement dans plusieurs plantes qui ont un effet inhibiteur. Ces résultats peuvent s'expliquer par la présence des composés sesquiterpènes, par exemple: Le spathulénol et l'alpha-muurolol dans chacun des produits naturels ont généré une activité antivirale (**Vieira et al., 2014**).

Dans notre travail, la faible interaction de Beta-Eudesmol avec la principale protéase SARS-CoV-2 a été montrée, bien que, le Beta-Eudesmol est proposé comme inhibiteur des coronavirus (**Aanouz et al, 2020**), et il a également une activité antivirale comme il a été rapporté par **Astani et al. (2011)**. En outre, les groupes hydroxy (OH) dans les composés terpénoïdes jouent un rôle dans les interactions avec le site actif de SARS-CoV-2 Mpro (**Abdel Aziz et al., 2020**). Selon le poids moléculaire, tous les composés terpénoïdes sélectionnés de *P. atlantica* Desf ont un faible poids moléculaire.

De ce fait les recherches actuelles ont été orientées vers les composés à faible poids moléculaire qui forment des fortes liaisons d'hydrogène (**Pant et al., 2020**). En particulier le camphène (136,23 g / mol) et le Germacrène D (204,35 g / mol) par rapport à l'isotymol (220,31 g / mol) qui a été signalé par **Abdelli et al. (2020)**, et qui a un effet inhibiteur anti-coronavirus.

Dans le même contexte du spectre d'activité du *Pistacia atlantica* on a pu déterminer un pouvoir antibactérien vis-à-vis le *Staphylococcus aureus* et *Pseudomonas aeruginosa*. Nos résultats sont en corrélations avec ceux de **Fernández et al. (2000)** ; de **Barrero et al. (2005)** ; et de **Koutsoudaki et al. (2005)**. Et en ce qui concerne le pouvoir anti *Pseudomonas aeruginosa*, aucune étude n'a été faite pour le pistachier de l'Atlas néanmoins **Alma et al. (2004)** et **Ramezani et al. (2004)** ont mentionné que le pistachier vera est un inhibiteur de *Pseudomonas aeruginosa*.

Parallèlement on a pu obtenu des résultats intéressants sur l'effet anticandidosique et anti aspergillus flavus du pistachier de l'Atlas. Les seuls résultats déterminant le pouvoir antifongique ont été rapportés par **Ramezani et al. (2004)** ; **Koutsoudaki et al. (2005)** ; **Taran et al. (2010)** **Benhammou et al. (2008)**, concernant les deux espèces pistacia vera, pistacia lentiscus, en revanche aucune étude n'a été faite pour le pistachier de l'Atlas.

A la lumière des résultats obtenus et en utilisant le docking moléculaire on peut conclure que le *Pistacia atlantica* possède une aptitude thérapeutique très intéressante pour entamer des nouvelles investigations dans le domaine pharmaceutique et médical.

---

## Conclusion générale

La présence du pistachier de l'Atlas en Algérie et son adaptation dans les différents milieux, nous ont poussé à chercher s'il existe une variabilité de cette espèce dans les sites à différentes conditions de milieu (Mâafa, Ain Tellout, Tircine, Theniet El Had, Tadjmout) et qui sont considérés comme des meilleurs peuplements.

Les mesures moyennes des caractères morphologiques du pistachier de l'Atlas dans les cinq peuplements étudiés sont comme suit : l'arbre de 11,06 m de hauteur et 181,01 cm de circonférence. La feuille est de 7,63 cm de longueur et 6,71 cm de largeur, son pétiole mesure 2,40 cm de longueur et 0,13 cm de largeur. La foliole basale est d'une longueur de 3,13 cm et d'une largeur de 1,08 cm, la foliole terminale est d'une longueur de 3,34 cm et 1,00 cm de largeur. Le nombre de folioles par feuille est de 8,97 avec trois couleurs dominantes (le vert, le jaune, le rouge). La grappe comporte 25,78 de fruits avec une longueur de 7,56 cm, son fruit terminal est de 0,63 cm de longueur et 0,52 cm de largeur, alors que son fruit basal est de 0,58 cm de longueur et 0,49 cm de largeur, le pédoncule est de 2,12 cm de longueur et 0,36 cm de largeur.

On a constaté une hétérogénéité très remarquable presque dans tous les divers caractères étudiés par l'impact des facteurs de milieu, et que la hauteur de l'arbre varie selon l'exposition, la concurrence, l'altitude et le sûrpaturation par contre la circonférence varie aussi par le type de sol, la densité et le bioclimat. Une différence dans tous les paramètres de la feuille due à l'exposition, la concurrence, l'altitude et le sûrpaturation ainsi que les trois paramètres de la feuille (Largeur de foliole terminale, couleur de feuille et la largeur de pétiole) varie aussi par le changement du sol, de la densité et du bioclimat. Et une variabilité des paramètres du fruit expliquée par l'effet de l'exposition, de la concurrence, de l'altitude et du sûrpaturation, sauf la longueur de fruit basal varie aussi par le changement de bioclimat, du sol et de la densité.

Les photos obtenues par le microscope électronique à balayage type Carl Zeiss EVO LS 10 montrent la différence de l'anatomie de la feuille entre les quatre sites étudiés. La surface épidermique est presque entièrement lisse. Les stomates observés sont anomocytaires et actinocytaires. La présence de différentes formes de trichomes : glandulaires, arqués et allongés selon le site. L'existence de la cire dans tous les sites. Une différence dans l'architecture de l'appareil conducteur.

On distingue aussi une variabilité micro-morphologique très remarquable dans la feuille, sauf la longueur des stomates, cette variabilité est provoquée par l'impact des conditions écologiques où la longueur des cellules épidermiques varie selon le bioclimat, leur largeur par

le bioclimat et la pente, la largeur des stomates varie par l'effet de l'altitude. En plus on constate que l'indice des stomates et des trichomes est plus élevé au site humide et sub humide. Donc ces différences anatomiques décrites soulignent une plasticité importante chez cette espèce.

Les résultats qu'on a obtenu par RAPD montrent clairement que les arbres étudiés manifestent une forte variabilité génétique dans les différentes conditions écologiques, ce qui nous définit une stratégie d'amélioration et de gestion des ressources génétiques du pistachier de l'Atlas en Algérie.

En ce qui concerne la variabilité biochimique, on a constaté qu'il existe une différence des nombres de tâches et de Rf ce qui traduit une diversité du Pistachier de l'Atlas inter site et intra site issue des cinq extraits eau, méthanol, éthanol, butanol, éther de pétrole. Cinquante deux (52) constituants de terpénoïdes ont été identifiés par GCMS.

En plus le pistachier de l'Atlas est un produit naturel ayant un pouvoir antiviral, antibactérien, antifongique, qui attire l'attention des chercheurs. Néanmoins, dans ce travail nous rapportons la première étude de la puissance anti SARS-CoV-2, anti *Staphylococcus aureus* MRSA, anti *Pseudomonas aeruginosa*, anti *Aspergillus niger*, et anti *Candida albicans* de *pistacia atlantica* en utilisant un programme bioinformatique de découverte de médicaments. Par conséquent, *pistacia atlantica* offre une source alternative de médicaments. Cette variabilité morphologique, micro-morphologique, génétique et biochimique et même son intérêt médical et pharmaceutique, nous encourage de conserver cette espèce et de sélectionner le matériel végétatif adapté aux différentes régions.

Ce travail représente une ébauche et de ce fait d'autres investigations sont en cours de réalisation : confirmation de la variabilité biochimique en utilisant des techniques de chimie analytique (LCMS, MSMS), la variabilité génétique en utilisation d'autres outils plus précis tel que (microsatellite), et en plus la confirmation de potentielle thérapeutique et pharmaceutique du pistachier de l'Atlas.

## Références bibliographiques

**Aanouzi, I., Belhassan, A., El-Khatibi, K., T. Lakhlifi, K., M. El-Idrissi et M. Bouachrine (2020).** Moroccan Medicinal plants as inhibitors against SARS-CoV-2 main protease: Computational investigations, *Journal of Biomolecular Structure and Dynamics*, DOI: 10.1080/07391102.2020.1758790.

**Abd El-Aziz, T. M., et Stockand, J. D. (2020).** Recent progress and challenges in drug development against COVID-19 coronavirus (SARS-CoV-2)-an update on the status. *Infection, Genetics and Evolution*, 104327.

**Abdelli, I., Hassani, F., Bekkel Brikci, S., et Ghalem, S. (2020).** In silico study the inhibition of Angiotensin converting enzyme 2 receptor of COVID-19 by *Ammoides verticillata* components harvested from western Algeria. *Journal of Biomolecular Structure and Dynamics*, (just-accepted), 1-17.

**Agati, G., Brunetti, C., Di Ferdinando, M., Ferrini, F., Pollastri, S., et Tattini, M. (2013).** Functional roles of flavonoids in photoprotection: new evidence, lessons from the past. *Plant Physiology and Biochemistry*, 72, 35-45.

**Alyafi, J. (1979) :** Approches systématique et écologique du genre *Pistacia* L.'dans la région méditerranéenne (Doctoral dissertation, Université de droit d'économie et des sciences d'Aix-Marseille).

**Agbagwa, I. O., et Ndukwu, B. C. (2004).** The value of morpho-anatomical features in the systematics of *Cucurbita* L. (Cucurbitaceae) species in Nigeria. *African Journal of Biotechnology*, 3(10), 541–546.

**Aghili MH (2009).** *Makhzan-al-Advie* (Persian). Tehran: Tehran University of Medical Sciences.

**Ait Radi A., 1979.** Multiplication par voies végétative et par semis de *Pistacia atlantica* Desf. et *Alantusaltissima*. Thèse d'ingénieur. I.N.A. El Harrache, 40p.

**Ait Said, S., Fernandez, C., Greff, S., Derridj, A., Gauquelin, T., et Mevy, J. P. (2011).** Inter-population variability of leaf morpho-anatomical and terpenoid patterns of *Pistacia atlantica* Desf. ssp. *atlantica* growing along an aridity gradient in Algeria. *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 206(4), 397-405.

**Ait Said, S. (2011).** Strategies adaptatives de deux especes du genre *pistacia* (*p. lentiscus* L. et *p. atlantica* Desf.) aux conditions d'altitude, de salinité et d'aridité:[texte imprimé]: approches

morpho-anatomiques, phytochimiques et ecophysiologiques (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).

**Aït Radi, I. (1979).** Multiplication par voie végétative et par semis de *Pistacia atlantica* Desf. et *Ailanthus altissima*.

**Ait-Said S, Kadi-Bennane S et Smail-Saadoune N. (2004).** Phenological adaptation of Atlas Pistachio (*Pistacia atlantica* Desf. ssp. *atlantica*) in three microclimatic zones of Algeria as measured by the stomatal dimensions. Book of abstracts. First world congress of Agroforestry, Orlando, FL, June 27–July 2, 2004.

**Akanvou, L., Akanvou, R., Kouakou, C. K., N'da, H. A., et Koffi, K. G. C. (2012).** Evaluation de la diversité agro morphologique des accessions de mil [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.] collectées en Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences*, 50, 3468-3477.

**Alinus, R., et Linda, R.** Biomassa Dan Cadangan Karbon Di Kawasan Agroforestri Karet Tradisional Di Desa Nanga Pemubuh Kecamatan Sekadau Hulu Kabupaten Sekadau. *Protobiont*, 6(3).

**Alma M.H., S. Nitz, H. Kollmannsberger, M. Digrak, F. T. Efe, et N. Yilmaz. (2004).** Chemical composition and antimicrobial activity of the essential oils from the gum of Turkish Pistachio (*Pistacia vera* L.),” *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 52, no. 12, pp. 3911-3914.

**Al-Saghir, M.G. (2006).** Phylogenetic Analysis of the Genus *Pistacia* (Anacardiaceae). PhD Thesis. Virginia Polytechnic Institute and State University (112p).

**AL-Saghir, M. G. (2010).** Phylogenetic analysis of the genus *Pistacia* L.(Anacardiaceae) based on morphological data. *Asian Journal of Plant Sciences*, 9(1), 28.

**Alyafi J. (1978).** New characters differentiating *Pistacia atlantica* subspecies. *Candollea* 33:201–208.

**Alyafi, J. (1979).** Approches systématique et écologique du genre *Pistacia* L.'dans la région méditerranéenne (Doctoral dissertation, Université de droit d'économie et des sciences d'Aix-Marseille).

**Amaike, S., et Keller, N. P. (2011).** *Aspergillus flavus*. *Annual Review of Phytopathology*, 49(April), 107–33.

- Amirdovlat, A. (1990).** Usefulness for noneducated", (Ed. Basmajan)—Viena, Mkhitarian Publ., 1926,—766 p.(arm); Scientific heritage. Amirdovlat Amasiatsi.—Usefulness for uneducated (Ed. SA Vartanian)—Moscow.
- Anand, K., Ziebuhr, J., Wadhvani, P., Mesters, J. R., et Hilgenfeld, R. (2003).** (3CL pro) Structure: Basis for design of Anti-SARS drugs. *Science*, 300(5626), 1763–1767. <https://doi.org/10.1126/science.1085658>. *Applied Genetics*, 112(6), 1115-1124.
- Astani, A., Reichling, J., et Schnitzler, P. (2011).** Screening for antiviral activities of isolated compounds from essential oils. Evidence-based complementary and alternative medicine.
- Avicenna (2012).** Al-Qanun fi al-Tibb (The Canon of Medicine). Beirut: Alamy Le- Al-Matbooaat institute.
- Avicenna, A. (1985).** Law in Medicine, A Sharafkandi, Ttranslator.
- B.N.D.E.R. (2008) :** Etude du développement agricole dans la wilaya de Saida. Rapport final et documents annexes. 297 pages.
- Baba Aissa, F. (2000).** Encyclopédie des plantes utiles, flore d'Algérie et du Maghreb, substances végétales d'Afrique, d'Orient et d'Occident. Édas, librairie moderne
- Babalola Kadiri, A., et Dele Olowokudejo, J. (2008).** Estudio comparative de la epidermis de la hoja de especies del genero afzaelia smith (Leguminosae: Cesalpinioideae) de Africa Occidental. *Gayana Botánica*, 65(1), 84–92.
- Bacelar, E.A., Santos, D.L., Moutinho-Pereira, J.M., Goncalves, B.C., Ferreira, H.F., et Correia, C.M. (2006).** Immediate responses and adaptative strategies of three olive cultivars under contrasting water availability regimes: changes on structure and chemical composition of foliage and oxidative damage. *Plant Sci.* 170, 596–605.
- Bagnouls, F et Gaussin, H. (1953).** Saison sèche et indice xérothermique Fac. Sci.Doc ; pour la carte des productions végétales, Toulouse, Vol. I,art 8, 47p.
- Bahmani M, Saki K, Asadbeygi M, Adineh A, Saberianpour S, Rafieian-Kopaei M, Bahmani F et Bahmani E. (2015).** The effects of nutritional and medicinal mastic herb (*Pistacia atlantica*). *J Chem Pharm Res*.
- Bandaranayake, W. M. (2002).** Bioactivities, bioactive compounds and chemical constituents of mangrove plants. *Wetlands ecology and management*, 10(6), 421-452.

- Barboni, D., Harrison, S.P., Bartlein, P.J., Jalut, G. New, M., Prentice, I.C., Sanchez-Goni, M.F., Spessa, A., Davis, B. et Stevenson, A.C. (2004)** : Relationship between plant traits and climate in the Mediterranean region: A pollen data analysis. *J. Veg. Sci.* 15: 635-646 <https://researchers.mq.edu.au/en/publications/relationships-between-plant-traits-and-climate-in-the-mediterrane>.
- Barrero A, Herrador M, Arteaga J, Akssira M, Mellouki F, Belgarrabe A et Blazquez MA. (2005)**. Chemical composition of the essential oils of *Pistacia atlantica* Desf. *Journal of Essential Oil Research*.
- Barrero A. F., M. M. Herrador, J. R. Arteaga et al. (2005)**. Chemical composition of the essential oils of *Pistacia atlantica* Desf, *Journal of Essential Oil Research*, vol. 17, no. 1, pp. 52-54.
- Becker, R. (1995)**. An adaptive finite element method for the incompressible Navier-Stokes equations on time-dependent domains (Doctoral dissertation, IWR).
- Behboodi, B.S. (2004)**. *Pistacia atlantica* Desf. 1800 in Iran. *FAO-CIHEAM-NUCIS-Newsletter* 12:27- 29.
- Belhadj, S. (1999)**. Les pistacheraies algériennes. Etat actuel et dégradation. *Cahiers Options MED*, 56, 107-109.
- Belhadj, S., Derridj, A., Aigouy, T., Gers, C., Gauquelin, T., et Mevy, J. P. (2007)**. Comparative morphology of leaf epidermis in eight populations of Atlas pistachio (*Pistacia atlantica* Desf., Anacardiaceae). *Microscopy research and technique*. 70(10) :837-846.
- Belhadj, S., Derridj, A., Auda, Y., Gers, C., et Gauquelin, T. (2008)**. Analyse de la variabilité morphologique chez huit populations spontanées de *Pistacia atlantica* en Algérie. *Botany*, 86(5), 520-532.
- Bellomo, B., Franco, R. L., et Compagno, G. (2007)**. Non-Markovian effects on the dynamics of entanglement. *Physical Review Letters*, 99(16), 160502.
- Benabdallah, F. Z. (2012)**. Etude morphologique des feuilles et des fruits du pistachier de l'atlas (*Pistacia atlantica* Desf.) et valorisation des huiles essentielles des feuilles et de l'oléorésine. Magister en biologie :Université Miloud Mammeri, Tizi Ouzou, Algérie.
- Benabdallah, (2016)**. Techniques d'extraction, de purification et de conservation. Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie. Université Ferhat Abbas de Sétif. 83 page.

- Benabid, A. (1986).** Grands écosystèmes naturels marocains, équilibre de fonctionnement, perturbation, préservation et restauration. Grande encyclopédie du Maroc. Flore et Végétation, Rabat :117-190.
- Benaradj, Abdelkrim. (2017).** Etude phyto-écologique des groupements à *Pistacia atlantica* Desf. dans le sud Oranais (Sud-Ouest algérien. Thèse de doctorat.
- Benfekih L. (1993).** Données préliminaires sur la bioécologie de la sauterelle marocaine *Dociostaurus maroccanus* (Thum, 1815)(Orthoptera,Gomphocerinae)dans la région de Ain Boucif (W.Médèa). Thèse Magister sci., Inst. Nati. Agro., El-Harrach, 129 p.
- Benfoddil, O. (2015).** Inventaire des champignons endophytes des feuilles de *Pistacia atlantica* Desf. De la dayate El Gouffa (Laghout, Algérie). Magister en biologie. Université Miloud Mammeri, Tizi Ouzou, Algérie.
- Benhammou N, B. FA, et T. K. Panovska (2008).** Antioxidant and antimicrobial activities of the *Pistacia lentiscus* and *Pistacia atlantica* extracts. African Journal of Pharmacy and Pharmacology, vol. 2, no. 2, pp. 22-28.
- Benhammou N, Bekkara FA, Panovska TK. (2008).** Antioxidant and antimicrobial activities of the *Pistacia lentiscus* and *Pistacia atlantica* extracts. African Journal of Pharmacy and Pharmacology. 2(2):022-8.
- Benhammou, A., Yaacoubi, A., Nibou, L., et Tanouti, B. (2007).** Chromium (VI) adsorption from aqueous solution onto Moroccan Al-pillared and cationic surfactant stevensite. Journal of hazardous materials, 140(1-2), 104-109.
- Benhammou, N., Bekkara, F. A., et Panovska, T. K. (2008).** Antioxidant and antimicrobial activities of the *Pistacia lentiscus* and *Pistacia atlantica* extracts. African Journal of Pharmacy and Pharmacology, 2(2), 022-028.
- Benhassaini, H., Benabderrahmane, M., et Chikhi, K. (2003).** Contribution à l'évaluation de l'activité antiseptique de l'oléorésine et des huiles essentielles du pistachier de l'Atlas sur certaines sources microbiennes: *Candida albicans* (ATC 20027), *Candida albicans* (ATCC 20032) et *Saccharomyces cerevisiae*. Ethnopharmacologia, 30, 38-46.
- Benhssaini, H., et Belkhodja, M. (2004) :** Le pistachier de l'Atlas en Algérie entre la survie et disparition. La feuille et l'aiguille. (54) :1-2.

- Benmokrane, B., Chekired, M., Nicole, J. F., et Debbache, Z. (1998).** Concrete deck slab reinforced with carbon FRP reinforcement: Laboratory tests and application to Joffre Bridge (No. 1, p. 66). Technical Report.
- Berman H, Westbrook J, Feng Z, Gilliland G, Bhat T, Weissig H, Shindyalov I, et Bourne P. (2000).** The protein data bank.
- Berrichi, M., Chikh, M., Haddad, A., Allam, H., Gueffar, M., et Belkhodja, Y. (2017).** Quelques Aspects Histo-morphologiques du Pistachier de l'atlas (*Pistacia atlantica* DESF.) dans le nord occidental de l'atlas tellien (Tlemcen-Algerie). Algerian Journal of Arid Environment "AJAE".7(1) :111-121.
- Bidault, M. (1971).** Variation et spéciation chez les végétaux supérieurs: notions fondamentales de systématique moderne. Doin.
- Biswas, K. K., Foster, A. J., Aung, T., et Mahmoud, S. S. (2009).** Essential oil production. Relationship with abundance of glandular trichomes in aerial surface of plants. Acta Physiologiae Plantarum. 31(1):13-19.
- Bobone, S.; Hilsch, M.; Storm, J.; Dunsing, V.; Herrmann, A. et Chiantia, S. (2017).** Phosphatidylserine Lateral Organization Influences the Interaction of Influenza Virus Matrix Protein 1 with Lipid Membranes. J. Virol., 91, e00267-17. [CrossRef]
- Bonneau, M., Landmann, G., et Roqueplo, P. (1988).** Le dépérissement des forêts en Europe. Recherche (Paris, 1970), (205), 1542-1556.
- Bonny, S. B., et Djè, Y. (2011) :** Variabilité morphologique et agronomique des variétés traditionnelles de voandzou [*Vigna subterranea* (L.) Verdc.(fabaceae)] de Côte d'Ivoire. J. Appl. Biosci. 41 :2820-2835.
- Boopathi, S., Poma, A. B., et Kolandaivel, P. (2020).** Novel 2019 Coronavirus Structure, Mechanism of Action, Antiviral drug promises and rule out against its treatment. Journal of Biomolecular Structure and Dynamics, (just-accepted), 1-14.
- Borboni, A., Bussola, R., Faglia, R., et Tiboni, M. (2004).** Proceedings of the 2004 Eleventh World Congress in Mechanism and Machine Science, 1, 1-5
- Bosabalidis, A. M., et Kofidis, G. (2002) :** Comparative effects of drought stress on leaf anatomy of two olive cultivars. Plant science.163 (2):375-379.
- Boudy, H. (1995).** Le tourisme urbain: d'un espace consommé à un espace offert (Doctoral dissertation).

**Boudy, P. (1948).** Economie forestière nord-africaine (Vol. 1). Editions Larose.

**Boudy, P. (1950) :** Economie forestière Nord-africaine-Tome 2: monographies et traitements des essences forestières.

**Boudy, P. (1952) :** Guide du forestier en Afrique du Nord.

**Boudy, P. (1955).** Economie forestière Nord Africaine. vol. 1, description forestière de l'Algérie et de la Tunisie.

**Boudy, P. (1958).** Économie forestière nord-africaine: Description forestière du Maroc (Vol. 3). Larose.

**Bouhafs Z., (2007).** Relation sol-végétation et possibilités d'extension du chêne liège (*Quercus suber*) dans la forêt domaniale de Zerdab (Sud-Est de Tlemcen).Mem. Ing. Foresterie. Univ. Tlemcen, 63p+annexe.

**Bouma, E., (2005).** Development of comparable agroclimatic zones for the international exchange of data on the efficacy and crop safety of plant protection products. Bull. OEPP/EPPO, 35, 233-238

**Bozorgi M, Memariani Z, Mobli M, Salehi Surmaghi MH, Shams- Ardekani MR, et Rahimi R. (2013).** Five Pistacia species (*P. vera*, *P. atlantica*, *P. terebinthus*, *P. khinjuk*, and *P. lentiscus*): a review of their traditional uses, phytochemistry, and pharmacology. The Scientific World Journal.

**Bozorgi, M., Memariani, Z., Mobli, M., Salehi Surmaghi, M. H., Shams-Ardekani, M. R., et Rahimi, R. (2013).** Five Pistacia species (*P. vera*, *P. atlantica*, *P. terebinthus*, *P. khinjuk*, and *P. lentiscus*): a review of their traditional uses, phytochemistry, and pharmacology. The Scientific World Journal, 2013.

**Brichet, L., et Duterme, J. (1931).** Aide Mémoire du Forestier. Éd. Duculot, Gembloux.

**Brosse, J. (2010).** Larousse des arbres: dictionnaire de 1600 arbres et arbustes: botanique, mythologies, histoire: pour tout savoir sur les espèces qui peuplent nos contrées. Larousse.

**Budak, H., Pedraza, F., Cregan, P. B., Baenziger, P. S., et Dweikat, I. (2003).** Development and utilization of SSRs to estimate the degree of genetic relationships in a collection of pearl millet germplasm. Crop Science, 43(6), 2284-2290.

**Buffon G.L.L et Linné. (1707-1788).** Comte du site de Comité des travaux historiques et scientifiques (CTHS).

- Bussotti, F., Bettini, D., Grossoni, P., Mansuino, S., Nibbi, R., Soda, C., et Tani, C. (2002).** Structural and functional traits of *Quercus ilex* in response to water availability. *Environ. Exp. Bot.* 47, 11–23.
- Caglar S et Tekin H. (1999).** The stomata density of Pistachio cultivars on different Pistacia rootstocks. *Turk J Agric Forest* 23:1029–1032.
- Caliskan, M. (Ed.). (2012).** Genetic diversity in plants. BoD–Books on Demand.
- Carpenter, S. R. (2005).** Eutrophication of aquatic ecosystems: bistability and soil phosphorus. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102(29), 10002-10005.
- Chaba, B., Chraa, O., et Khichane, M. (1991).** Germination, morphogénèse racinaire et rythme de croissance du Pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.). *Physiologie des Arbres et Arbustes en zones arides et semi-arides*, Groupe d'Etude de l'Arbre-Paris, France, 465-472.
- Chalmers, K. J., Waugh, R., Sprent, J. I., Simons, A. J., et Powell, W. (1992).** Detection of genetic variation between and within populations of *Gliricidia sepium* and *G. maculata* using RAPD markers. *Heredity*, 69(5), 465-472.
- Chang K. O., Y. Kim, S. Lovell, A. D. Rathnayake, et W. C. Groutas., (2019).** Antiviral drug discovery: Norovirus proteases and development of inhibitors. *Viruses*, vol. 11, no. 2, pp. 1–14. doi: 10.3390/v11020197.
- Charre, J. (1997).** Dessine-moi un climat. Que penser du diagramme ombro-thermique Mappemonde, 2, 29-31.
- Chen, Y., Liu, Q. et Guo, D. (2020).** Emerging coronaviruses: Genome structure, replication, and pathogenesis. *J. Med. Virol.*, 92, 418–423. [CrossRef] [PubMed]
- Chenoune, K. (2005).** La flore et la végétation du Hoggar. *BOIS & FORETS DES TROPIQUES*, 284(284), 79-83.
- Chraa, O. (1988).** The study of the factors limiting the germination of the *Simmondsia chinensis*, *Pistacia atlantica*, *Acacia cavenia* and *Juniperus phaenicia*: a trial of a seedbed growing.
- Chu, W. S., Magee, B. B., et Magee, P. T. (1993).** Construction of an SfiI macrorestriction map of the *Candida albicans* genome. *J Bacteriol.* 175: 6637-6651.

- Cosson, E. (1879).** Le règne végétal en Algérie: considérations générales sur l'Algérie, sur sa végétation spontanée et ses cultures. A. Quantin.
- Covello, P.S., Teoh, K.H., Polichuk, D.R., Reed, D.W., et Nowak, G. (2007).** Functional genomics and the biosynthesis of artemisinin. *Phytochemistry* 68, 1864–1871.
- Crane, J. C., et Takeda, F. (1979).** The unique response of the pistachio tree to inadequate winter chilling. *HortScience*, 14(2), 135-137.
- Daget P, Godron. M. (1974).** Vocabulaire d'écologie, Paris, Hachette, 275p.
- Dahmani, M. (1984).** Contribution à l'étude des groupements à chêne vert (*Quercus rotundifolia*) des monts de Tlemcen. Approches phytoécologiques et phytosociologiques (Doctoral dissertation, Thèse doct. 3e cycle USTHB Alger).
- DAJET, J. (1976).** Les modèles mathématiques en écologie, Masson ed., Paris, 172p.
- Daneshrad, A., et Aynehchi, Y. (1980).** Chemical studies of the oil from *Pistacia nuts* growing wild in Iran. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 57(8), 248-249.
- Darwin, C. (1958).** The Autobiography of Charles Darwin, 1809-1882, ed. Nora Barlow. London: Collins.
- De Martonne E. (1926).** Une nouvelle fonction climatologique : l'indice d'aridité. *La météo*, 449-459.
- Debbache M. (1998).** Développement de la culture du Pistachier, rapport de stage. Turquie.
- DeLano, W. L. (2002).** Pymol: An open-source molecular graphics tool. *CCP4 Newsl. Protein Crystallogr*, 40(1), 82–92.
- Delazar A, Nazemieh H, Modaresi M, et Afshar J. (2003).** Study on essential oil obtained from oleoresin of *Pistacia atlantica* var. *mutica*.
- Devillers C. et Chaline J. (1989).** La théorie de l'évolution. Etat de la question à la lumière des connaissances scientifiques actuelles. Published by Dunod
- Diekema DJ, Pfaller MA, et Schmitz FJ. (2001).** et al. Survey of infections due to *Staphylococcus* species: frequency of occurrence and antimicrobial susceptibility of isolates collected in the United States, Canada, Latin America, Europe, and the Western Pacific region for the SENTRY Antimicrobial Surveillance Program, 1997- 1999. *Clin Infect Dis* 32 Suppl 2: S114-132

- Djerrah A.G. (1991).** Contribution à l'étude du pistachier *Pistacia vera* dans la pépinière de Timgad Batna. Thèse d'ing. Univ. Batna. inst. agro. Pp (3 -10)
- Dobzhansky, T. (1941).** Genetics and the origin of species. Genetics and the origin of species.
- Doghbage A, Boukerker H, et Belhadj S. (2018).** Analyse eco-botanique comparative de deux populations du *Pistacia atlantica* en Algérie par le biais de marqueurs morphologiques foliaires. *Courrier Du Savoir.* (25) :119-126.
- Dommergue I. (1969).** La biologie des sols. Presse Universitaire de France : Paris. 125p.
- Doyle JJ et Doyle JL. (1987).** A rapid isolation procedure for small quantities of fresh leaf tissue. *Phytochem Bull* 19:11–15.
- DPAT, D. D. P. (2010).** D'Aménagement du territoire, 2010. Monographie de la wilaya de Biskra.
- Drouaud, J., Camilleri, C., Bourguignon, P. Y., Canaguier, A., Bérard, A., Vezon, D., et Quesneville, H. (2006).** Variation in crossing-over rates across chromosome 4 of *Arabidopsis thaliana* reveals the presence of meiotic recombination “hot spots”. *Genome research*, 16(1), 106-114.
- Duffey, S. S. (1986).** Plant glandular trichomes: their partial role in defence against insects. *Insects and the plant surface.* Edward Arnold, London, 151-172.
- El Oualidi, J., Ater, M., et Taleb, A. (2004).** Conception, essai et évaluation de meilleures
- El Yaaqoubi, N. L., et Abba, G. (2009).** Identification of physical parameters including ground model parameters of walking robot rabbit. *In Humanoids.* 269-276.
- El Zerey-Belaskri, A., Benhassaini, H. (2016).** Morphological leaf variability in natural populations of *Pistacia atlantica* Desf. subsp. *atlantica* along climatic gradient: new features to update *Pistacia atlantica* subsp. *atlantica* key. *Int. J. Biometeorol.* 60, 577–589.
- El-Oqlah AA. (1996).** Biosystematic research on the genus *Pistacia* in Jordan. In: Padulosi S, Caruso T, Barone E, editors. *Taxonomy, distribution, conservation and uses of Pistacia genetic resources (Workshop).* Palermo, Italy, June 29–30, 1995. pp. 12–19.
- Emberger L. (1930).** La végétation de la région Méditerranéenne. Essai d'une classification des groupements végétaux. *Rev. Géo. Bot.* 42, 341-404.

- Emberger L. (1952).** Sur le Quotient pluviothermique. C.R. Sci ; n°234 : 2508-2511, Paris.
- Emberger, L., et Chadefaud, M. (1960).** Traité de botanique (systématique): Les végétaux vasculaires. Masson et Cie.
- Enquête nationale de prévalence des infections nosocomiales (ENPIN). (2006).** Résultats préliminaires au 12/01/2007. Institut de veille sanitaire (InVS).
- Evreinoff, V. A. (1955).** Le Pistachier. Etude pomologique. In: Journal d'agriculture tropicale et de botanique appliquée. 2(7-9) :387-415.
- Fahn, A. (1967).** Plant anatomy. Pergamon Press New York.
- Falahati M, Sepahvand A, Mahmoudvand H, Baharvand P, Jabbarnia S, Ghojoghi A, Yarahmadi M. (2015).** Evaluation of the antifungalactivities of various extracts from *Pistacia atlantica* Desf. Current Medical Mycology.
- Farhoosh, R., Tavakoli, J., et Khodaparast, M. H. H. (2008).** Chemical composition and oxidative stability of kernel oils from two current subspecies of *Pistacia atlantica* in Iran. Journal of the American Oil Chemists' Society, 85(8), 723.
- Fatemeh Mahjoub, Kambiz Akhavan Rezayat, Mahdi Yousefi, Masoud Mohebbi, et Roshanak Salari. (2018).** *Pistacia atlantica* Desf. A review of its traditional uses, phytochemicals and Pharmacology. Journal of Medicine and Life Vol. 11, Issue 3, July-September 2018, pp.180–186.
- Fernández, A, A. Camacho, C. Fernández, et J. Altarejos. (2000).** Composition of the essential oils from galls and aerial parts of *Pistacia lentiscus* L.,” Journal of Essential Oil Research, vol. 12, no. 1, pp. 19-23.
- Ferrari, J. (2002).** Contribution à la connaissance du métabolisme secondaire des Thymelaeaceae et investigation phytochimique de l'une d'elles: " *Gnidia involucrata*" Steud. ex A. Rich (Doctoral dissertation, Université de Lausanne, Faculté des sciences).
- Fischesser et Dupuitate. (1996).** Le guide illustré de l'écologie .Edition de la Matinières. 319p
- Flexas, J., et Medrano, H. (2002).** Drought-inhibition of photosynthesis in C3 plants, stomatal and non-stomatal limitations revisited. Annals of botany. 89(2) :183-189.
- Frankham, R. (2005).** Conservation biology: ecosystem recovery enhanced by genotypic diversity.

- Fridman, E., Wang, J.H., Iijima, Y., Froehlich, J.E., Gang, D.R., Ohlrogge, J., et Pichersky, E. (2005).** Metabolic, genomic, and biochemical analyses of glandular trichomes from the wild tomato species *Lycopersicon hirsutum* identify a key enzyme in the biosynthesis of methylketones. *Plant Cell* 17, 1252–1267.
- Ifremer, 2007.** L'Institut Français de Recherche pour l'Exploitation. Diversité génétique et adaptation des espèces aquatiques en milieu anthropisé.
- Gadiri F., et Righi R. (1993).** Étude phytoécologique des dayats à *Pistacia atlantica* Desf. dans la wilaya de Naâma (Hautes plaines oranaises) Mémoire d'ingénieur d'état, spécialité : écologie végétale, option : Écosystème forestier. USTHB. 80 p
- Gainza, P. et al. (2019).** Deciphering interaction fingerprints from protein molecular surfaces using geometric deep learning. *Nature Methods*.
- Gallé, A., Haldimann, P., et Feller, U. (2007).** Photosynthetic performance and water relations in young pubescent oak (*Quercus pubescens*) trees during drought stress and recovery. *New Phytologist*. 174(4):799-810.
- Gaouar, A. (1980).** Hypothèses et réflexions sur la dégradation des écosystèmes forestiers dans la région de Tlemcen (Algérie). Forêt méditerranéenne.
- Genermont, J. (1985).** Les systèmes d'incompatibilité sexuelle chez les Protozoaires. *Bull Soc Zool Fr*, 110, 261–267.
- Germain, E., Aletà, N., Ninot, A., Rouskas, D., Zakinthinos, G., Gomes Pereira, J., et Limongelli, F. (1997).** Prospections réalisées dans les populations de semis de noyer de l'Espagne, de Grèce, d'Italie et du Portugal: Caractérisation des populations et description en collections d'études des préselections issues de ces prospections. *Options Méditerran*, 16, 7-40.
- Ghaffari, S. M. et Harandi, O. F. (2001).** Chromosome counts and assessment of two heterochromatic chromosomes in some species of *Pistacia* L. from Iran. III. Abstracts of International Symposium on Pistachios and Almond-XII GREMPA Colloquium, Zaragoza, Spain, 70.
- Ghalem, B., et Benhassaini, H. (2007).** Etude des phytostérols et des acides gras de *pistacia atlantica*. *Afrique Science: Revue Internationale des Sciences et Technologie*, 3(3).
- Ghalem B et Benali M. (2009).** Bactericidal activity of *Pistacia atlantica*. Desf mastic gum against certain pathogens. *African Journal of Plant Science*. 3(1):013-5.

- Ghalem, B. R. et Mohamed, B. (2009).** Essential oil from gum of *Pistacia atlantica* Desf.. screening of antimicrobial activity. *Afr J Pharm Pharmacol*, 3(3), 87-91.
- Giancola, S., McKhann, H. I., Berard, A., Camilleri, C., Durand, S., Libeau, P., et Brunel, D. (2006).** Utilization of the three high-throughput SNP genotyping methods, the GOOD assay, Amplifluor and TaqMan, in diploid and polyploid plants. *Theoretical and*
- Gilmour, S. L. (1940).** Taxonomy and philosophy. *The new systematics.*, 404-424.
- Giuliani, C. et Bini, L.M. (2008).** Insight into the structure and chemistry of glandular trichomes of Labiatae, with emphasis on subfamily Lamioideae. *Plant Syst. Evol.* 276, 199–208.
- Godwin, I. D., Aitken, E. A., et Smith, L. W. (1997).** Application of inter simple sequence repeat (ISSR) markers to plant genetics. *Electrophoresis*, 18(9), 1524-1528.
- Gourine, A. V., Wood, J. D., et Burnstock, G. (2009).** Purinergic signalling in autonomic control. *Trends in neurosciences*, 32(5), 241-248.
- Graser, Y., Volovsek, M., Arrington, J., Schonian, G., Presber, W., Mitchell, T. G. et Vilgalys, R. (1996).** Molecular markers reveal that population structure of the human pathogen *Candida albicans* exhibits both clonality and recombination. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 93: 12473-12477
- Grosdidier, A. (2007).** Conception d'un logiciel de docking et applications dans la recherche de nouvelles molécules actives.
- Grosdidier, A., Zoete, V., et Michielin, O. (2007).** EADock: docking of small molecules into protein active sites with a multiobjective evolutionary optimization. *Proteins: Structure, Function, and Bioinformatics*, 67(4), 1010-1025.
- Guerin GR. (2005).** Nutlet morphology in *Hemigenia* R.Br. and *Microcorys* R.Br. (Lamiaceae). *Plant Systematics and Evolution* **254**: 49–68.
- Guira, M. (1997).** Etude de la phénologie et de la variabilité de quelques caractères chez le karité: *Butyrospermum paradoxum* sub sp *parkii* (G. Don) Hepper (Sapotaceae) dans les champs et les jeunes jachères dans la moitié Ouest du Burkina Faso. Doctorat de Thèse 3e cycle à la Faculté des Sciences à l'Université de Ouagadougou. 177p.
- Gupta, P. K., et Varshney, R. K. (2000).** The development and use of microsatellite markers for genetic analysis and plant breeding with emphasis on bread wheat. *Euphytica*, 113(3), 163-185.

**Guy, P. (1990).** De L'avenir De La Diversite Biologique Chez Les Vegetaux. \* Inra, Station d'Amélioration des Plantes Fourragères - 86600 LUSIGNAN.

**Guyot, G., (1999).** Climatologie de l'environnement. Dunod éd., 525 p.

**Guyot, J. L. (1992).** Hydrogéochimie des fleuves de l'Amazonie bolivienne (Doctoral dissertation, Bordeaux 1).

**Haig, S. M. (1998).** Molecular contributions to conservation. *Ecology*, 79(2), 413-425.

**Halitim, A. (1988).** Sols des régions arides d'Algérie. Ed. OPU, Alger, Algérie.

**Halperin, I., Ma, B., Wolfson, H. et Nussinov. R (2002).** *Proteins*. 47: 409-443.

**Hamdan I et Afifi F (2004).** Studies on the in vitro and in vivo hypoglycemic activities of some medicinal plants used in treatment of diabetes in Jordanian traditional medicine. *Journal of ethnopharmacology*. PMID: 15182916

**Hamdan, I. I., et Afifi, F. U. (2004).** Studies on the in vitro and in vivo hypoglycemic activities of some medicinal plants used in treatment of diabetes in Jordanian traditional medicine. *Journal of ethnopharmacology*, 93(1), 117-121.

**Hamrick, J. L., et Godt, M. W. (1990).** Allozyme diversity in plant species. *Plant population genetics, breeding, and genetic resources.*, 43-63.

**Harandi, O. F., et Ghaffari, M. (2001).** Chromosome studies on pistachio (*Pistacia vera* L.) from Iran. *Cahiers Options Méditerranéennes*, 56, 35-40.

**Hasan Basr Ila, Salih Kafkas et Mehmet Topaktas (2003).** Chromosome numbers of four pistacia (*Anacardiaceae*) species, *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 78:1, 35-38.

**Helentjaris, T., Slocum, M., Wright, S., Schaefer, A., et Nienhuis, J. (1986).** Construction of genetic linkage maps in maize and tomato using restriction fragment length polymorphisms. *Theoretical and applied genetics*, 72(6), 761-769.

**Höfer, C.T., Di Lella, S., Dahmani, I., Jungnick, N., Bordag, N., Bobone, S., Huang, Q., Keller, S., Herrmann, A., et Chiantia, S. (2019).** Structural determinants of the interaction between influenza A virus matrix protein M1 and lipid membranes. *Biochim. Biophys. Acta Biomembr.* 1861, 1123–1134. [CrossRef] [PubMed]

**Holaly, G. E., Simplicie, K. D., Charlemagne, G., Kodjovi, A., Kokou, A., Tchadjobo, T.,**

- et Jacques, S. (2015).** Ethnobotanical study of plants used in the treatment of diabetes in the traditional medicine of Maritime Region, Togo. *The Pan African medical journal*, 20, 437-437.
- Holmes, M. G., et Keiller, D. R. (2002).** Effects of pubescence and waxes on the reflectance of leaves in the ultraviolet and photosynthetic wavebands: a comparison of a range of species. *Plant, Cell & Environment*. 25(1) : 85-93.
- Hopkins (2020).** Loss of sense of smell as marker of COVID-19 infection. Ear, Nose and Throat surgery body of United Kingdom.
- Hormaza, J. I., Plnney, K., et Polito, V. S. (1998).** Genetic diversity of pistachio (*Pistacia vera*, Anacardiaceae) germplasm based on randomly amplified polymorphic DNA (RAPD) markers. *Economic botany*, 52(1), 78-87.
- Huang, X., Xiao, X., Zhang, S., Korpelainen, H., et Li, C., 2009.** Leaf morphological and physiological responses to drought and shade in two *Populus cathayana* populations. *Biol. Plant*. 53, 588–592.
- Hubert-Vincent, F. (2007).** Diversité génétique et adaptation des espèces aquatiques en milieu anthropisé.
- Huxley, J. S. (1938).** Darwin's theory of sexual selection and the data subsumed by it, in the light of recent research. *The American Naturalist*, 72(742), 416-433.
- Isfendiyaroglu, M. U. R. A. T., Özeker, E., et Baser, S. (2009).** Rooting of " Ayvalik" olive cuttings in different media. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 7(1), 165-172.
- Jaghoori, M. M., Bleijlevens, B., et Olabarriaga, S. D. (2016).** 1001 ways to run AutoDock Vina for virtual screening. *Journal of computer-aided molecular design*, 30(3), 237-249.
- Jean-Philippe Mevy (2011).** Inter-population variability of leaf morpho-anatomical and terpenoid patterns.
- Jeffree, C. E. (1986).** The cuticle, epicuticular waxes and trichomes of plants, with reference to their structure, functions and evolution. *Insects on the plant surface*, 23-64.
- Jin, Z., Du, X., Xu, Y., Deng, Y., Liu, M., Zhao, Y., et Yang, H. (2020).** Structure-based drug design, virtual screening and high-throughput screening rapidly identify antiviral leads targeting COVID-19. *BioRxiv*, 2020.02.26.964882. <https://doi.org/10.1101/2020.02.26.964882>

**Jordano, P. (1989).** Predispersal biology of *Pistacia lentiscus* (Anacardiaceae): Cumulative effects on seed removal by birds. *Oikos* 55, 357–386.

**Joshi, S. P., Gupta, V. S., Aggarwal, R. K., Ranjekar, P. K., et Brar, D. S. (2000).** Genetic diversity and phylogenetic relationship as revealed by inter simple sequence repeat (ISSR) polymorphism in the genus *Oryza*. *Theoretical and Applied Genetics*, 100(8), 1311-1320.

**Kaabeche, K., Guenou, H., Bouvard, D., Didelot, N., Listrat, A., et Marie, P. J. (2005).** Cbl-mediated ubiquitination of  $\alpha 5$  integrin subunit mediates fibronectin-dependent osteoblast detachment and apoptosis induced by FGFR2 activation. *Journal of cell science*, 118(6), 1223-1232.

**Kaabeche, M. (2003).** Conservation de la Biodiversité et gestion durable des ressources naturelles: étude sur la réhabilitation de la flore locale au niveau de la réserve «El-Mergueb»(Wilaya de M'sila, Algérie). Algérie: Ministère de L'Agriculture et du Développement Rural Direction Generale des Forets.

**Kafkas R. et Perl-Treves. (2001).** Morphological and molecular phylogeny of *Pistacia* species in Turkey. *Theor Appl Genet* (2001) 102:908–915.

**Kafkas, S. (2006).** Phylogenetic analysis of the genus *Pistacia* by AFLP markers. *Plant Systematics and Evolution*, 262(1-2), 113-124.

**Kafkas, S., et Kaska, N. (1998).** Suitability of some selected and fast growing *Pistacia Atlantica* Desf. types as pistachio nut rootstock. *Cahiers Options Méditerranéennes*. 33 :185-190.

**Kafkas, S., et Perl-Treves, R. (2002).** Interspecific relationships in *Pistacia* based on RAPD fingerprinting. *HortScience*. 37(1): 168-171.

**Kaïd Slimane, L. (2000).** Etude de la relation sol-végétation dans la région nord des monts de

**Kantety, R. V., Zeng, X., Bennetzen, J. L., et Zehr, B. E. (1995).** Assessment of genetic diversity in dent and popcorn (*Zea mays* L.) inbred lines using inter-simple sequence repeat (ISSR) amplification. *Molecular breeding*, 1(4), 365-373.

**Karimi Ali, Mohammad Taghi Moradi, et Asghar Gafourian. (2020).** In Vitro Anti-adenovirus Activity and Antioxidant Potential of *Pistacia atlantica* Desf. Leaves. *Research Journal of Pharmacognosy (RJP)* 7(2): 53-60.

**Kasabri V, Afifi FU, et Hamdan I (2011).** In vitro and in vivo acute antihyperglycemic effects of five selected indigenous plants from Jordan used in traditional medicine. *Journal of*

ethnopharmacology.

**Kaska, N., Caglar, S. et Kafkas, S. (1996).** Genetic diversity and germplasm conservation of Pistacia species in Turkey. in Padulosi S.; Caruso T. et Barone S. «Taxonomy, Distribution, Conservation and Uses of Pistacia Genetic Resources». Ed. IPGRI Workshop, Palermo, Italy, 2, 46-50.

**Khaldi, A. et Mk khouja. (1996).** Atlas pistachio (*Pistacia atlantica* desf.). North Africa taxonomy, geographical distribution, utilisation and conservation. In Workshop 'Taxonomy, Distribution, Conservation and Uses of Pistacia Genetic Resources', Palermo, Italie. Padulosi, S., Caruso, T. et Barone, S. Ed: IPGRI, ROMA (pp. 57-62).

**Kharazian, N. (2007).** The taxonomy and variation of leaf anatomical characters in the genus *Aegilops* L. (Poaceae) in Iran. Turkish Journal of Botany, 31(1), 1–9.

**Khella, L. (1979).** Femoral nerve palsy: compression by lymph glands in the inguinal region. Archives of physical medicine and rehabilitation, 60(7), 325-326.

**Klich, M. A. (2007).** *Aspergillus flavus*: the major producer of aflatoxin. Molecular Plant Pathology, 8(6), 713–22

**Kluytmans J, Van Belkum A, et Vernurgh H. (1997).** Nasal carriage of *S. aureus*: epidemiology, underlying mechanisms, and associated risks. ClinMicrobiol Rev; 10:505–20.

**Kokwaro, J. O. (1986).** Flora of Tropical East Africa-Anacardiaceae (1986) (No. 106). CRC Press.

**Konovalov, O., Myagkov, I., Struth, B., et Lohner, K. (2002).** Lipid discrimination in phospholipid monolayers by the antimicrobial frog skin peptide PGLa. A synchrotron X-ray grazing incidence and reflectivity study. European Biophysics Journal, 31(6), 428-437.

**Koutsoudaki, C., Krsek, M., et Rodger, A. (2005).** Chemical composition and antibacterial activity of the essential oil and the gum of *Pistacia lentiscus* Var. chia. Journal of agricultural and food chemistry, 53(20), 7681-7685.

**Kozłowski, T. T., et Pallardy, S. G. (1996).** Physiology of woody plants. Academic press. Printed in the United States of America.

**Krak, K., et Mráz, P. (2008).** Trichomes in the tribe Lactuceae (Asteraceae)-taxonomic implications. Biologia, 63(5), 616-630.

- Labat J. N. (1985).** Etude bioclimatologie de michoacan, México, según la clasificación de Bagnouls et gaussen. *Trace*, 8, 36-45.
- Lagha-Benabdallah, A., et Smadhi, F. (1993).** Existence de solutions faibles pour un probleme aux limites associée une équation parabolique dégénérée. *Maghreb Math. Rev*, 2, 201-222.
- Lamnaouer, D. (2002).** Détermination des propriétés biologiques (activités pharmacologiques et toxicologiques) des plantes médicinales et aromatiques du PNT. Programme de l'UICN en Afrique du Nord: Phase III. Etat d'avancement. p, 3-7.
- Landmann, L. (1988).** The epidermal permeability barrier. *Anatomy and embryology*, 178(1), 1-13.
- Larouci, A. (1987).** Etude biochimique et physiologique des essences du pistachier de l'Atlas. Mémoire ingéniorat. Université de USTHB Alger, Algérie.
- Laskowski, R. A., et Swindells, M. B. (2011).** LigPlot+: multiple ligand–protein interaction diagrams for drug discovery.
- Lavallaz, P. E., et Délétroz, R. (1994).** Spectrophotométrie.
- Le Houerou, H.-N. (2004).** An agro-bioclimatic classification of arid and semi-arid lands in the isoclimatic Mediterranean zones. *Arid land research and management*, 18, 301-346.
- Lefort-Buson, M., Rodolphe, F., et Charcosset, A. (1990).** De nouvelles perspectives pour l'analyse génétique des caractères quantitatifs. I, A la recherche des locus importants. *Biofutur (Puteaux)*, (91), 30-37.
- Legg, C. J., Maltby, E., et Proctor, M. C. F. (1992).** The ecology of severe moorland fire on the North York Moors: seed distribution and seedling establishment of *Calluna vulgaris*. *Journal of Ecology*, 737-752.
- Lesins, K. A., et Lesins, I. (1979).** Genus *Medicago* (Leguminosae). A Taxogenetic Study.
- Lespinasse Y, et Dominique Noiton. (1986).** Contribution à l'étude d'une plante haploïde de pommier (*Malus pumila* Mill.).. Etude descriptive et comparaison avec des clones de ploïdie différente. I. – Caractères végétatifs : entre- noeuds, feuilles et stomates. *Agronomie, EDP Sciences*, , 6 (7), pp.659-664.
- Levin DA. (1973).** Role of trichomes in plant defence. *Quarterly Review of Biology* **48**: 3–15.

- Lieth, H., Berkelamp, J., Fuest S. et Riediger, S. (1999).** CD1-climate diagram world atlas. In: Lieth H. ed., "CD series: Climate and biosphere". Backhuys publ. Leiden.
- Lin TS., Crane JC., Ryugo K., Polito VS., et Dejong TM. (1984).** Comparative study of leaf morphology, photosynthesis, and leaf conductance in selected *Pistacia* species. *J Am Soc Hortic Sci* 109:325–330.
- Lin, C. Y., Chen, Y. M., et Key, J. L. (1985).** Solute leakage in soybean seedlings under various heat shock regimes. *Plant and cell physiology*, 26(8), 1493-1498.
- Liu, Y. W., Huang, C. F., Huang, K. B. et Lee, F. J. (2005).** Role for Gcs1p in regulation of Arl1p at trans-Golgi compartments. *Mol Biol Cell* 16, 4024-33.
- Lodé T. (1998b).** Cours de génétique des populations. Éd. Ellipses, Paris.
- Loukkas, A. (2006).** Atlas des parcs nationaux algériens. République Algérienne Démocratique et Populaire, Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural, Direction Générale des Forêt, Parc National de Théniet El Had, Alger, Algeria. Available at
- Lucotte, G. (1978).** Etudes sur le polymorphisme et la variabilité génétique chez la caille japonaise, *Coturnix coturnix japonica* (Doctoral dissertation).
- Maamri, S. (2008).** Etude de *pistacia atlantica* de deux régions de sud Algérien: dosage des lipides, dosage des polyphénols, essais antileishmaniens (Doctoral dissertation).
- Mabberley, D. J. (1987).** The plant-book, xii+ 706 pp. Cambridge, England, 331-333.
- Macek, P., Mackova, J., et De Bello, F. (2009).** Morphological and ecophysiological traits shaping altitudinal distribution of three *Polylepis* treeline species in the dry tropical Andes. *Acta Oecol.* 35, 778–785.
- Mackill, D. J., Zhang, Z., Redona, E. D., et Colowit, P. M. (1996).** Level of polymorphism and genetic mapping of AFLP markers in rice. *Genome*, 39(5), 969-977.
- Mahmoud, S.S., Williams, M., et Croteau, R. (2004).** Cosuppression of limonene-3-hydroxylase in peppermint promotes accumulation of limonene in the essential oil. *Phytochemistry* 65, 547–554.
- Manolaraki, F., Sotiraki, S., Stefanakis, A., Skampardonis, V., Volanis, M., et Hoste, H. (2010).** Anthelmintic activity of some Mediterranean browse plants against parasitic nematodes. *Parasitology*, 137(4), 685-696.

- Mansour C. (2011).** Contribution A L'étude De La Repartition Du Pistachier De L'atlas (Pistacia Atlantica Desf.) Dans La Wilaya De Naama - Cas De Gaaloul. Mémoire d'Ingénieur d'état en foresterie. Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences De la Terre et de l'Univers.
- Maxted, N., Hawkes, J. G., Guarino, L., et Sawkins, M. (1997).** Towards the selection of taxa for plant genetic conservation. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 44(4) :337-348.
- Mayr, E. (1942).** Systematics and the origin of species Columbia University Press. New York, 334.
- Mazid, M., Khan, T. A., et Mohammad, F. (2011).** Role of secondary metabolites in defense mechanisms of plants. *Biology and medicine*, 3(2), 232-249.
- Mcconkey B, Sobolev V, et Edelman M. (1983).** The performance of current methods in ligand-protein docking. *Curr Sci*;83
- Medeiros, L.B.P., Rocha, M.D.S., Lima, S.G.D., Júnior, G.R.D.S., Citó, A.M.D.G.L., Silva, D.D., Lopes, J.A.D., Moura, D.J., Saffi, J., et Mobin, M. et al. (2012).** Chemical constituents and evaluation of cytotoxic and antifungal activity of Lantana camara essential oils. *Rev. Bras. Farmacogn.* 22, 1259–1267.
- Mehde, V. (2011).** Die Evaluation von Verwaltungsleistungen. *Die Verwaltung: Zeitschrift für Verwaltungsrecht und Verwaltungswissenschaften*, 44(2), 179-211.
- Melazem, B. (1990).** Etude des facteurs limitant de la régénération naturelle du cèdre de l'Atlas Cedrus atlantica Manetti dans le parc national de Theniet.El.Had. Mémoire, Ingénieur, Université USTHB Bab Ezzouar- Alger, Algérie.
- Metcalf, C. R., et Chalk, L. (1950).** Anatomy of the Dicotyledons: leaves, stem, and wood, in relation to taxonomy, with notes on economic uses. *Anatomy of the Dicotyledons: leaves, stem, and wood, in relation to taxonomy, with notes on economic uses* 1-2.
- Métro, A. (1975).** Terminologie forestière: sciences forestières, technologie, pratiques et produits forestiers. Association française des eaux et forêts: Conseil international de la langue française.
- Meziane Boualem. (2016).** Les coléoptères saproxyliques des Monts d'Ouarsenis (Nord-ouest Algérie) : cas du Parc National de Theniet El Had. Diplôme de Magister En Ecologie et Dynamique des Arthropodes. Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la Terre et de l'Univers

- Mitchell A. (1992).** Tous les arbres de nos forêts. Paris - Bruxelles : Elsevier séquoia (Multiguide nature), 414 p.
- Miyashita, K., Tanakamaru, S., Maitani, T., et Kimura, K. (2005).** Recovery responses of photosynthesis, transpiration, and stomatal conductance in kidney bean following drought stress. *Environmental and experimental botany*. 53(2) :205-214.
- Monastra, V. J., et Lubar, J. F. (2000).** Using quantitative electroencephalography to differentiate attentional from other psychiatric disorders. In National Conference of the American Psychological Association. Washington, DC: August (Vol. 5).
- Monjauze, A. (1967).** Note sur la régénération du Bétoum par semis naturels dans la place d'essais de Kef Lefaa. *Bull. Soc. Hist. Afr. du Nord*. 57 :59-65.
- Monjauze, A. (1968).** Répartition et écologie de *Pistacia atlantica* Desf. en Algérie. *Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Du*, (56), 1-127.
- Monjauze, A. (1980).** Connaissance du bétoum *Pistacia atlantica* Desf.
- Monjauze, A. (1967).** Note sur la régénération du Bétoum par semis naturels dans la place d'essais de Kef Lefaa. *Bull. Soc. Hist. Afr. du Nord*. 57 :59-65.
- Monjauze, A., et Le Houérou, H. N. (1965).** Le role des opuntias dans l'économie agricole de L'Afrique du Nord. *Bull. Ecole Sup. Agron. Tunis*, 8-9.
- Mueller-Dembois D., et Ellenberg H. (1974).** Aims and methods of vegetation ecology. John Wiley, New York, 547 pp.
- Musch, G., Harris, R. S., Melo, M. F. V., O'Neill, K. R., Layfield, J. D. H., Winkler, T., et Venegas, J. G. (2004).** Mechanism by which a sustained inflation can worsen oxygenation in acute lung injury. *Anesthesiology: The Journal of the American Society of Anesthesiologists*, 100(2), 323-330.
- N. Aziz, M. Y. Kim, et J. Y. Cho. (2018).** Anti-inflammatory effects of luteolin: A review of in vitro, in vivo, and in silico studies, *J. Ethnopharmacol.*, vol. 225, no. May, pp. 342–358, doi: 10.1016/j.jep.2018.05.019.
- Naimi, M. N. (2017).** L'oligocène de l'Ouarsenis : Entre le numidien et le boghari. *Le Géologue Algérien*, (4):13–18.
- Navarro, T., et El Oualidi, J. (1999).** Trichome morphology in *Teucrium* L.(Labiatae). A taxonomic review. In *Anales del Jardín Botánico de Madrid*. 57(2) :277-297.

- Nazifi S, Saeb M, Sepehrimanesh M, et Poorgonabadi, S. (2012).** The effects of wild pistachio oil on serum leptin, thyroid hormones, and lipid profile in female rats with experimental hypothyroidism. *Comparative Clinical Pathology*. 21(5):851-7.
- Okpon ENU. (1969).** Morphological notes on the genus *Cassia*. *Edinburgh Journal of Botany* 29: 185–196.
- ONF. (2004).** Office National Des Forêts
- Ozbek, S. et Ayfer, M. (1957).** *Pistacia turleri* uzerinde sitolojik arastirmalar. Ankara Universitesi Ziraat Fakultesi Yilligi, 3, 203± 222.
- Ozeker E et Misirli A. (2001).** Research on leaf properties and stomata distribution of some *Pistacia* spp. *Cahiers Options Me´diterrane nnes*. 56:237–241.
- Ozenda, P. (1977).** *Flora of the Sahara*. *Flora of the Sahara.*, (ed. 2).
- Ozenda, P. (1983).** *Flore du Sahara*. 2e éd. CNRS, Paris.
- Ozenda, P., (1997).** Aspect biogéographique de la végétation des hautes chaînes. *Biogeographica*, 73 (4), 145-179.
- P. Gainza, F. Sverrisson, F. Monti, E. Rodolà, D. Boscaini, M. M. Bronstein, et B. E. Correia. (2019).** Deciphering interaction fingerprints from protein molecular surfaces using geometric deep learning, *Nature Methods*.
- Pallardy, S. G., et Kozłowski, T. T. (1979).** Frequency and length of stomata of 21 *Populus* clones. *Canadian Journal of Botany*, 57(22), 2519-2523.
- Panini T. et Amandier L., (2005).** Climats pluviométriques et thermiques en région provence- AlpesCote d'azur. Analyse des données météorologique 1961-1996 et cartographie par Système d'information Géographique. *Forêt Médit.*, XXVI, 4, 299-308.
- Pant, S., Singh, M., Ravichandiran, V., Murty, U. S. N., et Srivastava, H. K. (2020).** Peptide-like and small-molecule inhibitors against Covid-19. *Journal of Biomolecular Structure and Dynamics*, (just-accepted), 1-15.
- Parfitt DE. et Badenes ML. (1997).** Phylogeny of the genus *Pistacia* as determined from analysis of the chloroplast genome. *Proc Natl Acad Sci USA* 94:7987–7992.
- Patrick, S. et Covello et al. (2010).** A glandular trichome-specific monoterpene alcohol dehydrogenase from *Artemisia annua*. *Phytochemistry*. 71(11-12) : 1264-1269.

- Pazouki, L., Salehi Shanjani, P., Hagidimitriou, M., Pirseyedi, S.M., Naghavi, M.R., Avanzato, D., Quarta, R., Kafkas, S., Ghareyazie, B., Ghaffari, M.R., Khayam Nekoui, S.M., et Mardi, M. (2009).** Genetic diversity and relationships among *Pistacia* species and cultivars. 5th International Symposium on Pistachios and Almonds. Abstract book, p. 81, October 6–10, Sanliurfa, Turkey.
- Péguy, Ch. P. (1970).** Précis de climatologie. Masson, Paris.
- Peksel, A. (2008).** Antioxidative properties of decoction of *Pistacia atlantica* Desf. leaves, Asian Journal of Chemistry, vol. 20, no.1, pp. 681-693.
- Pell, S. K. (2004).** Molecular systematics of the cashew family (Anacardiaceae).
- Pietracarprina P. (1988).** Morphologie et classification des sols CIHEAM (Bari).
- Pillaiyar, T., Manickam, M., Namasivayam, V., Hayashi, Y., et Jung, S. H. (2016).** An overview of severe acute respiratory syndrome-coronavirus (SARS-CoV) 3CL protease inhibitors: Peptidomimetics and small molecule chemotherapy. Journal of Medicinal Chemistry, 59(14), 6595–6628. <https://doi.org/10.1021/acs.jmedchem.5b01461>.
- Quezel, P. (1976).** Les forêts du pourtour méditerranéen. Forêts et maquis méditerranéens: écologie, conservation et aménagement. Note technique MAB, 2, 9-33.
- Quézel, P., et Médail, F. (2003).** Ecologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen. 572. Paris, Elsevier.
- Quezel, P., et Santa, S. (1963).** Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales (No. 581.965 Q8).
- R. Farhoosh, M. H. Tavassoli-Kafrani, et A. Sharif. (2011).** Antioxidant activity of the ractions separated from the unsaponifiable matter of bene hull oil, Food Chemistry, vol. 126, no. 2, pp. 583- 589.
- Ramakrishna, A., et Ravishankar, G. A. (2011).** Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants. Plant Signal Behav 6: 1720–1731.
- Ramezani, M. Khaje-Karamoddin, et V. Karimi-Fard. (2004).** Chemical composition and anti-*Helicobacter pylori* activity of the essential oil of *Pistacia vera*,” Pharmaceutical Biology, vol. 42, no. 7, pp. 488-490.
- Reginato, M. A., Castagna, A., Furlán, A., Castro, S., Ranieri, A., et Luna, V. (2014).**

Physiological Reiter, R. S., Williams, J. G., Feldmann, K. A., Rafalski, J. A., Tingey, S. V., &

**Reiter, R. S., Williams, J. G., Feldmann, K. A., Rafalski, J. A., Tingey, S. V., et Scolnik, P. A. (1992).** Global and local genome mapping in *Arabidopsis thaliana* by using recombinant inbred lines and random amplified polymorphic DNAs. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 89(4), 1477-1481.

**Rejeb, M. N., Khaldi, A., Khouja, M. L., Garchi, S., Ben Mansoura, A., et Nouri, M. (1996).** Guide pour le choix des espèces de reboisement: Espèces forestières et pastorales. Version provisoire. INRGREF, Tunisie.

**Rhouma, A., Ben Daoud, H., Ghanmi, S., Ben Salah, H., Romdhane, M., et Demak, M. (2009).** Antimicrobial activities of leaf extracts of *Pistacia* and *Schinus* species against some plant pathogenic fungi and bacteria. *Journal of Plant Pathology*, 339-345.

**Richard, P. J. H. (1997).** Les climats annuels, la variabilité climatique et le bioclimat, adresse sur le web: [www.geogr.umontreal.ca/données/geo3152](http://www.geogr.umontreal.ca/données/geo3152)

**Richards MJ, Edwards JR, Culver DH, et Gaynes RP. (1999).** Nosocomial infections in medical care units in the United States National Nosocomial Infections Surveillance System. *Crit Care Med*; 27: 887- 892.

**Richter, C. (1993).** Pro- oxidants and mitochondrial Ca<sup>2+</sup>: their relationship to apoptosis and oncogenesis. *FEBS letters*, 325(1-2), 104-107.

**Ringer, K.L., Davis, E.M., et Croteau, R. (2005).** Monoterpene metabolism. Cloning, expression, and characterization of (-)-isopiperitenol/(-)-carveol dehydrogenase of peppermint and spearmint. *Plant Physiol.* 137, 863–872.

**Royer, D.L, Mcelwain, J.C, Adams, J.M, et Wilf, P. (2008).** Sensitivity of leaf size and shape to climate within *Acer rubrum* and *Quercus kelloggii*. *New Phytol.* 179: 808–17.

**S.A.T.E.C. (1976).** Etude développement intégré de la daïra de Saida. Rapport technique, 93pages.

**Saeb M, Nazifi S, et Mirzaei A. (2004).** The effects of wild pistacio fruit oil on the serum concentration of lipids and Lipoproteins of female rabbits. *Journal of Shahid Sadoughi University of Medical Sciences And Health Services.*

**Saffarzadeh, A., Vincze, L., et Csapó, J. (2000).** Determination of some anti-nutritional factors and metabolisable energy in acorn (*Quercus branti*), *Pistacia atlantica* and *Pistacia khinjuk* seed as new poultry diets. *Acta Agraria Kaposváriensis*, 4(1), 41-47.

- Salah, Z. (2020).** Biodiversité des mécanismes et des molécules mis en oeuvre en réponse aux agressions parasitaires chez *Citrus sinensis* dans la région de Tlemcen (Ouest-Algérien). Thèse de Doctorat Spécialité : Ecologie animale. Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers. Université Aboubakr Belk Aïd – Tlemcen. 167 page
- Salmaki, Y., Zarre, S., Jamzad, Z., et Bräuchler, C. (2009) :** Trichome micromorphology of Iranian *Stachys* (Lamiaceae) with emphasis on its systematic implication. *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*. 204(5) : 371-381.
- Sandeep, G., Nagasree, K. P., Hanisha, M., et Kumar, M. M. K. (2011).** AUDocker LE: A GUI for virtual screening with AUTODOCK Vina. *BMC research notes*, 4(1), 1-4.
- Sanner, M. F. (1999).** Python: a programming language for software integration and development. *J Mol Graph Model*, 17(1), 57-61.
- Scolnik, P. A. (1992).** Global and local genome mapping in *Arabidopsis thaliana* by using recombinant inbred lines and random amplified polymorphic DNAs. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 89(4), 1477-1481.
- Seigne, A. (1985).** La forêt circumméditerranéenne et ses problèmes. Dans : *Techniques Agricoles et Productions Méditerranéennes*. G.P. Maisonneuve et Larose, Paris, pp. 137-141.
- Shaheen, N., Ajab, M., Yasmin, G., et Hayat, M.Q. (2009).** Diversity of foliar trichomes and their systematic relevance in the genus *Hibiscus* (Malvaceae). *Int. J. Agric. Biol.* 11, 279–284.
- Shan, W., Walukiewicz, W., Ager III, J. W., Haller, E. E., Geisz, J. F., Friedman, D. J., et Kurtz, S. R. (1999).** Band anticrossing in GaInNAs alloys. *Physical Review Letters*, 82(6), 1221.
- Sharifi MS et Hazell SL (2012).** Isolation, analysis and antimicrobial activity of the acidic fractions of Mastic, Kurdica, Mutica and Cabolica gums from genus *Pistacia*. *Global journal of health science*. PMID: PMC4777032.
- Shokefun, E. O., Orijemie, E. A., et Ayodele, A. E. (2014).** Foliar epidermal and pollen characters of some species in the genus *Microcos* Linn. In Nigeria. *American Journal of Plant Sciences*, 5(26), 3904–3913.
- Somon E. (1987).** Arbres et arbrisseaux en Algérie. Edit. O.P.U. Alger, 586p.
- Spehn, E. M., Joshi, J., Schmid, B., Alpei, J., et Körner, C. (2000).** Plant diversity effects

on soil heterotrophic activity in experimental grassland ecosystems. *Plant and soil*, 224(2), 217-230.

**Spina, P., et Pennisi, F. (1957).** La culture du Pistachier en Sicile. *Rivista della Ortoflorofruitticoltura Italiana*, 19, 533-57.

**Stace , C. A (1984).** The taxonomic importance of the leaf surface. In V. H. Heywood & D. M. Moore. *Systematic. Association (Eds.), current concepts in plant taxonomy (Vol. 25, pp. 67–94)*. New York, NY: Academic Press.

**Stace CA. 1965.** Cuticular studies as an aid to plant taxonomy. *Bulletin of the British Museum (Natural History) Botany* **4**: 1–78.

**Stant, M. Y. (1973).** Scanning electron microscopy of silica bodies and other epidermal features in *Gibasis (Tradescantia)* leaf. *Botanical Journal of the Linnean Society*. 66(3) :233-243.

**Stebbins Jr, C. L. (1950).** Variation and evolution in plants. *Variation and evolution in plants*.

**Stenglein SA, Arambarri AM, Menendez-Sevillano MC et Balatti PA. 2005.** Leaf epidermal characters related with plant's passive resistance to pathogens vary among accessions of wild beans *Phaseolus vulgaris* var. *aborigineus* (Leguminosae-Phaseoleae). *Flora* 200: 285–295.

**Stockwell, C. A., Hendry, A. P., et Kinnison, M. T. (2003).** Contemporary evolution meets conservation biology. *Trends in Ecology & Evolution*, 18(2), 94-101.

**Subramanian Boopathi, Adolfo B. Poma et Ponmalai Kolandaivel. (2020).** Novel 2019 coronavirus structure, mechanism of action, antiviral drug promises and rule out against its treatment, *Journal of Biomolecular Structure and Dynamics*, DOI: 10.1080/07391102.2020.1758788

**Suyash Pant, Meenakshi Singh, V. Ravichandiran, U. S. N. Murty et Hemant Kumar Srivastava. (2020).** Peptide-like and small-molecule inhibitors against Covid-19, *Journal of Biomolecular Structure and Dynamics*, DOI: 10.1080/07391102.2020.1757510.

**Syros, T., Kofidis, G., Economou, A.S., et Bosabalidis, A.M. (2006).** Leaf structural dynamics associated with adaptation of two *Ebenus cretica* ecotypes. *Biol. Plant.* 50, 245–250.

**Takhi, D., Ouinten, M., et Yousfi, M. (2011).** Study of antimicrobial activity of secondary

metabolites extracted from spontaneous plants from the area of Laghouat, Algeria. *Advances in Environmental Biology*, 469-477.

**Talhinhas, P., Neves-Martins, J., et Leitao, J. (2003).** AFLP, ISSR and RAPD markers reveal high levels of genetic diversity among *Lupinus* spp. *Plant Breeding*, 122(6), 507-510.

**Tanideh N, Masoumi S, Hosseinzadeh M, Safarpour AR, Erjaee H, Koohi-Hosseinabadi O et Rahimikazerooni S. (2014).** Healing effect of pistacia atlantica fruit oil extract in acetic Acid-induced colitis in rats. *Iranian journal of medical sciences*. PMID: PMC4242986

**Taran M, M. Sharifi, E. Azizi, et M. Khanahmadi (2010).** Antimicrobial activity of the leaves of *Pistacia khinjuk*, *Journal of Medicinal Plants*, vol. 9, no. 6, pp. 81-85.

**Tohidi M, Khayami M, Nejati V et Meftahizade H. (2011).** Evaluation of antibacterial activity and wound healing of *Pistacia atlantica* and *Pistacia khinjuk*. *Journal of Medicinal Plants Research*. 5(17):4310-4.

**Topçu, G., Ay, M., Bilici, A., Sarıkürkcü, C., Öztürk, M., et Ulubelen, A. (2007).** A new flavone from antioxidant extracts of *Pistacia terebinthus*. *Food Chemistry*, 103(3), 816-822.

**Trabut et Louis Charles. (1935).** Répertoire des noms indigènes des plantes spontanées, cultivées et utilisées dans le nord de l'Afrique. Alger. 355 p. (Collection du centenaire de l'Algérie. Flore du nord de l'Afrique).

**Trott, O., et Olson, A. J. (2010).** AutoDock Vina: improving the speed and accuracy of docking with a new scoring function, efficient optimization, and multithreading. *Journal of computational chemistry*, 31(2), 455-461.

**Trubat, R., Cortina, J., et Vilagrosa, A. (2006).** Plant morphology and root hydraulics are altered by nutrient deficiency in *Pistacia lentiscus* (L.). *Trees*, 20(3), 334.

**Turesson, G. (1922).** The genotypical response of the plant species to the habitat. *Hereditas*, 3(3), 211-350.

**Tzakou, O., Bazos, I., et Yannitsaros, A. (2007).** Volatile metabolites of *Pistacia atlantica* Desf. from Greece. *Flavour and fragrance journal*, 22(5), 358-362.

**Vargas, F. J., Romero, M. A., Monastra, F., Rouskas, D., et Mendes Gaspar, A. (1997).** Sélection de variétés de pistachier adaptées à l'aire nord méditerranéenne. *Options Méditerranéennes, Serie B, Etudes et Recherches*. (16) : 93-119.

**Vieira PRN, Morais S.M, Bezerra FHQ, et al. (2014).** Chemical composition and antifungal activity of essential oils from *Ocimum* species. *Ind Crop Prod* 55:267–71.

**Vitousek, P. M., et Farrington, H. (1997).** Nutrient limitation and soil development: experimental test of a biogeochemical theory. *Biogeochemistry*, 37(1), 63-75.

**Wang, M., Cao, R., Zhang, L., Yang, X., Liu, J., Xu, M. et Xiao, G. (2020).** Remdesivir and chloroquine effectively inhibit the recently emerged novel coronavirus (2019-nCoV) in vitro. *Cell research*, 30(3), 269-271.

**Whitehouse, W. E. (1957).** The pistachio nut—a new crop for the western United States. *Economic Botany*, 11(4), 281-321.

**Winter, G. (2000).** A Comparative Discussion of the Notion of 'Validity' in Qualitative and Quantitative Research. *The Qualitative Report*, 4(3), 1-14.

**Woodruff, J. G. (1979).** Tree nuts: production, processing, products (No. Ed. 2). AVI Publishing Co. Inc..

**Wright, S. (1931).** Evolution in Mendelian populations. *Genetics*, 16(2), 97.

**X. Liu et X.-J. Wang. (2020).** Potential inhibitors against 2019-nCoV coronavirus M protease from clinically.

**Xu, X, P. Chen, et J. Wang, et al. (2020).** Evolution of the novel coronavirus from the ongoing Wuhan outbreak and modeling of its spike protein for risk of human transmission, *Sci. China Life Sci.* 63 457e460

**Xue, X., Yu, H., Yang, H., Xue, F., Wu, Z., Shen, W., Li, J., Zhou, Z., Ding, Y., et Zhao, Q., et al. (2008).** Structures of two coronavirus main proteases: Implications for substrate binding and antiviral drug design. *J. Virol.*, 82, 2515–2527. [CrossRef]

**Yaaqobi, A., El Hafid, L., et Haloui, B. (2009).** Etude biologique de *Pistacia atlantica* Desf. de la région orientale du Maroc. *Biomatec Echo*, 3(6), 39-49.

**Yaltirik, F. (1967):** *Pistacia* L. Dans Flora of Turkey and the east Aegean Islands. Sous la direction de P.H. Davis. Edinburgh University Press, Edinburgh, R.-U.(2) : 542–548.

**Yaltirik, F. (1967a).** Contributions to the taxonomy of woody plants in Turkey. Notes from the Royal Botanic Garden Edinburgh, 28(1), 9-10.

**Yaltirik F (1967 b).** Anacardiaceae. Contributions to the taxonomy of woody plants in

Turkey. Notes R Bot Gard Edinburgh 28:11–12

**Yang, H., Yang, M., Ding, Y., Liu, Y., Lou, Z., Zhou, Z., Sun, L., Mo, L., Ye, S., Pang, H., Gao, G. F., Anand, K., Bartlam, M., Hilgenfeld, R., et Rao, Z. (2003).** The crystal

**Yoram G. et Inbar M. (2011).** Distinct antimicrobial activities in aphid galls on *Pistacia atlantica*. Plant signaling & behavior. 2011;

**ousfi M, Nadjemi B, Belal R, Bombarda I, et Gaydou E. (2005).** Triacylglycerol composition of oil from *Pistacia atlantica* fruit growing in Algeria. Journal of the American Oil Chemists' Society.

**Yousfi, M., Nedjemi, B., Belal, R., et Bertal, D. B. (2003).** Étude des acides gras de huile de fruit de pistachier de l'Atlas algérien. Oléagineux, Corps gras, Lipides, 10(5-6), 425-427.

**Yousfi, M., Nedjmi, B., Bellal, R., Ben Bertal, D., et Palla, G. (2002).** Fatty acids and sterols of *Pistacia atlantica* fruit oil. Journal of the American Oil Chemists' Society, 79(10), 1049-1050.

**Zaafouri, M. S., et Chaïeb, M. (1999).** Arbres et arbustes de la Tunisie méridionale menacés de disparition. Acta botanica gallica. 146(4) : 361-373.

**Zhao, Q., Li, S., Xue, F., Zou, Y., Chen, C., Bartlam, M., et Rao, Z. (2008).** Structure of the main protease from a Global Infectious Human Coronavirus, HCoV-HKU1. Journal of Virology, 82(17), 8647–8655. <https://doi.org/10.1128/JVI.00298-08>

**Zohary M. (1952).** A monographical study of the genus *Pistacia*. Palest J Bot Jerusalem Ser 5:187–228.

**Zohary, D. (1996).** The mode of domestication of the founder crops of Southwest Asian agriculture. The origins and spread of agriculture and pastoralism in Eurasia, 142, 158.

## Etude de la variabilité biologique du Pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf) en Algérie

**Résumé:** Le pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica*) a beaucoup d'intérêts médicaux, pharmaceutiques et économiques. Sa variabilité représente son potentiel évolutif. Il possède une amplitude écologique et une plasticité remarquable. La présente étude s'inscrit dans le but de mieux connaître la variabilité morphologique, micro-morphologique, génétique et biochimique dans les meilleures populations en Algérie dans les différentes régions écologiques (Mâafa, Ain Tellout, Tircine, Theniet El Had, Tadjmout) et de bien montrer sa valeur médicinale comme agent antimicrobien.

Ce travail regroupe une description générale des sites, une analyse de la variabilité morphologique de vingt (20) paramètres quantitatifs et qualitatifs, puis une analyse anatomique de la feuille et ses caractéristiques micro-morphologiques (cellules épidermiques, stomates, trichomes) en se basant sur l'impact de plusieurs conditions de milieu. Ainsi l'étude de la variabilité génétique inter et intra sites a été faite par l'analyse de l'ADN polymorphe amplifié de manière aléatoire (RAPD). Pour connaître la variabilité biochimique, une extraction des composés via des solvants de polarité différente suivie par une Chromatographie sur Couche Mince et une Chromatographie en phase Gazeuse couplée au Spectre de Masse-GCMS (analyse des terpénoïdes) a été réalisée. Finalement, la valorisation de cette espèce par via l'approche de docking moléculaire a été réalisée à l'aide du logiciel AutoDock Vina afin de déterminer le pouvoir antiviral, antibactérien et antifongique des composés terpénoïdes du *Pistacia atlantica*.

Les résultats obtenus montrent clairement que les peuplements étudiés comportent une forte variabilité dendrométrique de l'arbre intra et inter-peuplement, une hétérogénéité dans les paramètres de la feuille et une variabilité des paramètres du fruit par les facteurs de milieu (exposition, concurrence, altitude et surpâturage) et ainsi que les trois paramètres de la feuille (Largeur de foliole terminale, couleur de feuille, et la largeur de pétiole), la longueur de fruit basal varie aussi par le changement du sol, de la densité et du bioclimat. Les résultats du microscope électronique à balayage de l'anatomie de la feuille montrent l'existence d'une large variabilité micro-morphologique de cette dernière, où la variabilité des cellules épidermiques est due au changement de l'étage bioclimatique et la pente, ainsi que la variabilité de la largeur des stomates due à la variation altitudinale. Les résultats de la diversité génétique intra et inter sites était considérablement plus large à Theniet El Had et à Tadjmout, faible à Ain Tellout mais aucune diversité distinguée à Tircine. Les résultats de la variabilité biochimique des deux sites Tadjmout et Theniet El Had montrent qu'il existe une variabilité très remarquable. Ainsi les résultats de l'analyse GCMS montrent sa richesse en terpénoïdes : 43 composants identifiés et 09 composants non identifiés. Concernant les résultats du docking moléculaire indiquent plusieurs composants terpénoïdes ont un potentiel antiviral (vis-à-vis du SARS-CoV-2), antibactérien (vis-à-vis *Staphylococcus aureus* MRSA, et *Pseudomonas aeruginosa*) et antifongique (vis-à-vis *Aspergillus niger*, et *Candida albicans*). Néanmoins, des investigations supplémentaires sont nécessaires pour développer et optimiser le processus médicamenteux.

Mots clés: pistachier de l'Atlas; morphologie; micromorphologie, variabilité génétique, variabilité biochimique, impact de milieu, docking.

### Study of the biological variability of the Atlas Pistachio (*Pistacia atlantica* Desf) in Algeria

**Abstract:** *Pistacia atlantica* has many medicinal, pharmaceutical and economical interests. Its Variability represents its evolutionary potential. Has an ecological amplitude and a remarkable plasticity. This study is better to understand the morphological, micro-morphological, genetic and biochemical variability in the best population in Algeria in the different ecological regions (Mâafa, Ain Tellout, Tircine, Theniet El Had, and Tadjmout) and to show its medicinal value as an antimicrobial agent. This work includes a general description of the sites, an analysis of the morphological variability of twenty (20) quantitative and qualitative parameters, then an anatomical analysis of the leaf and its micro-morphological characteristics (epidermal cells, stomata, and trichome) based on the impact of several environmental conditions. Thus, the study of inter- and intra-sites genetic variability was carried out by analyze of random amplified polymorphic DNA (RAPD). To determine the biochemical variability, extraction of the compounds via solvents of different polarity followed by Thin Layer Chromatography and Gas Chromatography coupled to Mass Spectrum-GCMS- (terpenoid analysis) was performed. Finally, the valuation of this species via the molecular docking approach was carried out using AutoDock Vina software in order to determine the antiviral, antibacterial and antifungal power of the terpenoids compounds of *Pistacia atlantica*.

The results obtained clearly show that the populations studied have a high dendrometric variability inter- and intra-population, a heterogeneity in the parameters of the leaf and a variability of the parameters of the nut by environmental factors (exposure, competition, altitude and grazing) and as well as the three leaf's parameters (Terminal leaflet width, leaf color, and petiole width) and basal nut length also varies by change in soil, density and bioclimatic. The results of scanning electron microscope of the anatomy of the leaf show the existence of a wide micro-morphological variability, where the variability of epidermal cells is due to the change of the bioclimatic stage and the slope, and of the width of stomata due to the altitudinal variation. Thus the results of intra- and inter-site genetic diversity were considerably stronger at Theniet El Had and Tadjmout, weak at Ain Tellout and no distinguished diversity at Tircine. The results of the biochemical variability of the two sites Tadjmout and Theniet El Had show that there is a very remarkable variability. Also the results of the GCMS analysis show its richness in terpenoids; 43 identified components and 09 unidentified components. Regarding the results of molecular docking indicate that several terpenoids components have antiviral (against SARS-CoV-2), antibacterial (against *Staphylococcus aureus* MRSA, and *Pseudomonas aeruginosa*) and antifungal (against *Aspergillus niger*, and *Candida albicans*). However, further investigation is needed to develop and optimize the drug process.

**Keywords:** *Pistacia atlantica*; morphology; micro-morphology; genetic variability; biochemical variability; environmental impact; docking.

### دراسة التباين البيولوجي الفستق الأطلسي في الجزائر

**المخلص:** لشجرة الفستق الأطلسي العديد من المنافع الطبية والصيدلانية والاقتصادية. يمثل تنوعها إمكانية التطورية. لها مكانة بيئية وقدر ملحوظ على التكيف. هذه الدراسة تهدف إلى فهم التنوع المورفولوجي، المايكرومورفولوجي، الوراثي و البيوكيميائي في أفضل مستوطنة للفستق الأطلسي في الجزائر في المناطق البيئية المختلفة (المعافة، عين تالوت، ترسين، ثنية الحد، تاجموت) وإظهار قيمها الطبية كضادة للميكروبات.

يتضمن هذا العمل وصفاً عاماً للمناطق التي تمت فيها الدراسة، ودراسة التباين المورفولوجي لعشرين (20) بعد كمي ونوعي. تم الدراسة التشريحية للورقة وخصائصها المايكرومورفولوجي الدقيقة (خلايا البشرة، الثغور والتركوم) بناء على تأثير العديد من الظروف البيئية. وكذا تم إجراء دراسة التباين الجيني داخل المنطقة وبين المناطق المدروسة عن طريق تحليل الحمض النووي متعدد الأشكال الضخم عشوائياً. وإيضاً التحديد التباين الجيني الحيوي. إن إجراء استخلاص المركبات عن طريق المذيبات ذات القطبية المختلفة متنوعة بالكروماتوغرافيا ذات الطبقة الرقيقة واللوني الغازي المترن بالطيف الكتل من أجل تحليل التربينويدات. أخيراً تم إيراد قيمة هذا النوع من الشجر بواسطة نتيج الانتحام الجزيئي باستخدام برنامج أوتودوكينغ فينا من أجل تحديد قوته المضادة للفيروسات، للبكتيريا و للفطريات بالمركبات التربينويدات المتواجدة في الفستق الأطلسي.

أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن الأجزاء المدروسة للشجرة لها تنوع كبير في طول ومحيط الشجرة داخل وبين المنطقة. عدم تجانس في أجزاء الورقة وتنوع أجزاء الفرة حسب اختلاف العوامل البيئية (التعرض لاشعة الشمس، المنافسة، الارتفاع، والرعي) بالإضافة إلى أجزاء الأوراق الثلاث (عرض الورقة الطرفية، لون الورقة، عرض السويقة) وطول الثمار القاعدية تختلف أيضاً باختلاف التربة والكثافة والمناخ أيضاً تظهر نتائج مسح المجهر الإلكتروني لتسريح الورقة وجود تباين المايكرومورفولوجي كبير ودقيق، حيث يرجع التباين في خلايا الورقة إلى تغير المناخ الحيوي والانتحار، حيث إن عرض الثغور سببه اختلاف الارتفاع. وكذا كانت نتائج التنوع الجيني داخل وبين المناطق التي تم الدراسة فيها كبير وبشكل ملحوظ في ثنية الحد و تاجموت، وضعيفة في عين تالوت وانعدام التنوع في منطقة ترسين. تظهر نتائج أيضاً التباين البيوكيميائي إن يوجد هناك في منطقتي تاجموت و ثنية الحد تبايناً ملحوظاً للغاية. كما تظهر نتائج تحليل الكروماتوغرافي ثنائياً بالتربينويدات : 43 مكوناً محدداً و 09 مكونات غير محددة. فيما يتعلق بنتائج الانتحام الجزيئي، تشير إلى أن العديد من مكونات التربينويدات تحتوي على مضاد للفيروسات (ضد الكوفيد 19)، ومضاد للبكتيريا (ضد ستافيلوكوكيس أوريغينوس، وسوسوموناس إروجنيز) ومضاد للفطريات (ضد كانديدا البيكانس واسبارجيليس نيجر). لذا يجب المزيد من الدراسة المعيقة والتكثيف من المجهودات للوصول إلى عرض طبي.

**كلمات مفتاحية:** الفستق الأطلسي؛ المورفولوجيا؛ مازومورفولوجيا، التباين الجيني، التباين الجيني الحيوي، التأثير البيئي، الانتحام.