



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET
POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



جامعة زيان عاشور-الجلفة-

UNIVERSITE ZIANE ACHOUR -DJELFA-

كلية علوم الطبيعة والحياة

FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

قسم العلوم الفلاحية والبيطرية

DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES ET VÉTÉRINAIRES

THESE

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE
DOCTORAT DE TROISIÈME CYCLE (D-LMD) EN SCIENCES AGRONOMIQUES

OPTION : ECOLOGIE FORESTIÈRE

Par
HAFSI Zakaria

Thème

ÉTUDE ECO-BOTANIQUE ET MORPHOLOGIQUE DES FEUILLES,
DES SURFACES EPIDERMiques ET DES GALBULES DES
ESPECES DU GENRE *JUNIPERUS* L. EN ALGERIE.

Devant le jury composé de :

M. AZOUZI Blel	Professeur (Univ. Djelfa)	Président
M. DERRIDJ Arezki	Professeur (U.M.M.T.O.)	Promoteur
M ^{me} BELHADJ Safia	Professeur (Univ. Djelfa)	Co-promotrice
M ^{me} YAHY Nassima	Professeur (U.S.T.H.B.)	Examinatrice
M. MEDDOUR Rachid	Professeur (U.M.M.T.O.)	Examinateur
M. NEDJIMI Bouzid	Professeur (Univ. Djelfa)	Examinateur
M. GUIT Brahim	MCA (Univ. Djelfa)	Examinateur

Soutenu le 03/05/2018

Remerciements

✚ **Je tiens tout d'abord à exprimer mes grands remerciements à ;**

M^{me} Safia BELHADJ,

Qui a assumé la direction de ce modeste travail,

Veillez accepter ici l'expression de ma profonde reconnaissance pour la confiance que m'avez accordée en proposant ce thème intéressant. Je vous passe également mon grand respect pour votre disponibilité, votre aide et votre soutien essentiel tout au long de cette expérience.

M. Arezki DERRIDJ,

Qui m'a honoré de superviser ce travail,

Je le remercie d'avoir partagé cette épreuve avec moi et de m'avoir inculqué l'optimisme et la stabilité dans le domaine de la recherche.

MM. Thierry GAUQUELIN & Jean-Philippe MEVY,

Qui nous ont offert le dispositif technique nécessaire à l'université d'Aix-Marseille en France pour finaliser l'approche micro-morphologique de la présente thèse. Je les remercie pour la générosité et l'intérêt constant qu'ils ont porté à ma recherche.

✚ **Je tiens à remercier plus particulièrement ;**

Les membres de jury,

Je les remercie profondément pour leur participation active : M. Azouzi Blel pour avoir accepté avec un bon cœur de présider le Jury ainsi que les examinateurs : M^{me} Nassima YAHY, M. Rachid MEDDOUR, M. Bouzid NEDJIMI et M. Brahim GUIT pour avoir accepté de m'accorder leurs précieux temps pour lire et évaluer mon travail.

✚ **Je souhaite également joindre ces remerciements aux ;**

Personnels des universités,

Spécialement, les enseignants et les doctorants de l'université de Ziane Achour à Djelfa et ceux de Mouloud Mammeri à Tizi-Ouzou et à tous ceux qui m'ont aidé au laboratoire et sur terrain.

Services des forêts,

Les subdivisions et les conservations des forêts des différentes régions pour leur sollicitation, soutien technique et leur orientation (transport, expérimentation et accès au terrain).

✚ **Je voudrais aussi également remercier ;**

Toute ma famille,

Mes parents qui m'ont partagé depuis toujours la passion pour accéder à la recherche scientifique, merci du tout mon cœur pour votre amour, votre soutien de tous les instants et pour cette belle vie que vous m'avez offertes.

Mon frangin Yazid pour son aide précieuse et l'intérêt qu'il porte toujours à mes projets ainsi que mon petit frère Khabeb, le photographe et l'informaticien pour m'avoir aidé durant toutes ces années.

Mes sœurs : Asma, Maria et leurs époux, leurs enfants et la petite Jouairia.

✚ **De plus, mes remerciements s'adressent de même à ;**

Mes amis,

Djamel, Hatem, Bachir, Kenza, Rabia, Radhwen & Nora, Hana, Zahreddine, Redha & Ahlem, Sadek, Khaled, Hamza, Randa, Siham, Kamilia, Nadjiba, Zahra, Fatima, Rym, Wassim, Aissa, Issam, Daoud, Amin, Mabrouk, Slimane, Abbas, Hassen, Akram, Fateh et les autres qui me rendent tous les jours la vie belle par leur présence tout au long de cette période écoulée.

✚ **Pour terminer, ma reconnaissance va également à ;**

Toutes les personnes anonymes,

Qui ont contribué à améliorer et finaliser le contenu du présent travail.

Liste des activités scientifiques

Les résultats obtenus durant cette thèse ont fait l'objet de :

A/ Publication internationale (01)

- 1- Etude de la variabilité morphologique (aiguilles, galbules) du complexe spécifique *Juniperus oxycedrus* L., le genévrier oxycèdre, au sein de sept populations d'Algérie.

Auteurs : *Hafsi Zakaria**¹, *Belhadj Safia*¹, *Derridj Arezki*², *Mevy Jean Philippe*³, *Notonnier Roger*⁴, *Tonetto Alain*⁴ et *Gauquelin Thierry*³

Article publié dans la revue d'écologie (*Terre et Vie*) en Octobre 2017. Vol. 72 N°4. pp. 353-373.
URI : <http://hdl.handle.net/2042/62680>.

B/ Communications internationales (05)

- 1- Etude morphologique des galbules de *Juniperus oxycedrus* ssp. *refescens*.

Auteurs : *Zakaria HAFSI**¹, *Safia BELHADJ*¹, *Arezki DERRIDJ*²

International Colloquium on Thuriferous Juniper. The Thuriferous Juniper and other Mediterranean Cupressaceae: Uses, Ecosystem services, Threats and Conservation. 30th April-3rd May 2014, Marrakesh. The organizing committee of CGT5.

- 2- Micromorphologie des aiguilles de quelques genévriers d'Algérie.

Auteurs : *Safia BELHADJ*¹, *Zakaria HAFSI**¹, *Jean-Philippe MEVY*², *Arezki DERRIDJ*³ & *Thierry GAUQUELIN*²

Séminaire international sur Gestion et Aménagement Durable des Ecosystèmes Forestières Méditerranéens. Organisé le 8 & 9 novembre 2015 par : Université de Batna 1 ; Institut des sciences vétérinaire et des sciences agronomiques.

- 3- Variabilité intra et inter-populations des caractères morphologiques des feuilles et des galbules chez l'espèce *Juniperus thurifera* L. sur deux populations spontanées dans la région des Aurès en Algérie.

Auteurs : *Zakaria HAFSI**¹, *Safia BELHADJ*¹, *Arezki DERRIDJ*²

Séminaire international sur Gestion et Aménagement Durable des Ecosystèmes Forestières Méditerranéens. Organisé le 8 & 9 novembre 2015 par : Université de Batna 1 ; Institut des sciences vétérinaire et des sciences agronomiques.

- 4- La variabilité morphologique des feuilles de *Juniperus phoenicea* var. *phoenicea* chez trois populations de la région semi-aride en Algérie.

Auteurs : *Zakaria HAFSI**¹, *Safia BELHADJ*¹, *Arezki DERRIDJ*²

Séminaire international « Biodiversité et Changement Globaux » du 23 au 25 Novembre 2015. Le Haut-Commissariat au Développement de la Steppe. Djelfa.

- 5- Diversité phénotypique des galbules (*Juniperus phoenicea* var. *phoenicea*) dans les régions semi-arides.

Auteurs : *Zakaria HAFSI**¹, *Safia BELHADJ*¹, *Arezki DERRIDJ*²

Séminaire international sur la valorisation des ressources naturelles dans les zones semi-arides : potentialités et perspectives d'amélioration. Organisé le 22 & 23 novembre 2016 par : Faculté des sciences, département des sciences de la nature et de la vie, université Mohamed Boudiaf - M'sila.

C/ Communication nationale (01)

- 1- Caractérisation morphologique des sous-espèces de *Juniperus oxycedrus* L., par le biais des caractères taxonomiques de leurs stomates en Algérie.

Auteurs : *Zakaria HAFSI**¹, *Safia BELHADJ*¹, *Arezki DERRIDJ*²

Colloque national sur biodiversité en Algérie : Connaissance, Valorisation & Conservation. Organisé le 22 mai 2016 par : Université Batna 2 ; Association scientifique Biologie, biodiversité durabilité ; Association nationale algérienne d'ornithologie.

Liste des tableaux

Tableau	Chapitre	Page
Chapitre I. Synthèse bibliographique		
1	Caractéristiques des trois sections du genre <i>Juniperus</i> (Adams 2014a).	12
2	Caractéristiques botaniques et répartition géographique des genévriers en Algérie selon (Maire, 1952) et (Quézel & Santa, 1962).	18
Chapitre II. Etude du milieu		
3	Principales caractéristiques géographiques des sites étudiés.	32
4	Caractéristiques des stations climatiques de référence, périodes et sources des données (O.N.M. d'Alger).	46
5	Paramètres et indices climatiques appliqués pour les sites d'échantillonnage.	46
6	Données thermiques corrigées, en C°, des sites étudiés.	48
7	Données pluviométriques corrigées des sites étudiés en mm.	49
8	Types de régime saisonnier correspondants aux sites d'échantillonnage.	50
9	Valeurs de l'amplitude annuelle moyenne et extrême et Bioclimats correspondants selon les classifications de Rivas-Martinez (2005) et de Debrach (1953).	52
10	Valeurs de l'indice de continentalité hydrique de Gams (1932) modifié et les bioclimats correspondants.	54
11	Valeurs de l'Indice ombrothermique estival de Rivas-Martinez (2005) et bioclimats correspondants.	55
12	Pluviométrie, températures et quotients d'aridité des sites étudiés concernant les cinq espèces.	59
13	Tableau 13. Valeurs de l'indice de thermicité de Rivas-Martinez (2005a) et thermotypes correspondants	62
14	Valeurs de l'indice ombrothermique annuel de Rivas-Martinez (2005a) et ombrotypes correspondants.	63
15	Caractéristiques écologiques des stations d'échantillonnage pour les deux espèces de la section <i>Oxycedrus</i> .	64
16	Caractéristiques écologiques des sites d'étude concernant les trois espèces de la section <i>Sabina</i> .	65
Chapitre III. Matériel et méthodes		
17	Caractères morphologiques (quantitatifs et qualitatifs) étudiés chez les deux espèces en aiguilles.	70
18	Caractères morphologiques (quantitatifs et qualitatifs) étudiés chez les trois espèces en écailles.	71
19	Diverses formules empiriques pour la discrétisation des variables quantitatives.	74
20	Intervalles de classes pour la longueur de l'aiguille chez l'oxycedre.	74
Chapitre IV. Résultats et discussions		
A. Etude de la variabilité morphologique (aiguilles, galbules) au sein des espèces de la section <i>Oxycedrus</i> : <i>J. oxycedrus</i> L. & <i>J. communis</i> L.		
21	Valeurs des caractères quantitatifs mesurées pour les aiguilles, les galbules et les stomates (<i>J. oxycedrus</i> L.).	82

22	Fréquences (%) pour les caractères qualitatifs des aiguilles et des galbules (<i>J. oxycedrus</i> L.).	83
23	Valeurs des caractères quantitatifs mesurées pour les aiguilles, les galbules et les stomates (<i>J. communis</i> L.).	84
24	Fréquences (%) pour les caractères qualitatifs des aiguilles et des galbules (<i>J. communis</i> L.).	85
25	Comparaison de quelques résultats obtenus pour les aiguilles et les galbules de <i>Juniperus oxycedrus</i> L. dans la littérature.	103
26	Comparaison de quelques résultats obtenus pour les aiguilles et les galbules de <i>J. communis</i> L. var. <i>hemisphaerica</i> dans la littérature.	104

B. Etude de la variabilité morphologique (ramules, galbules) au sein des espèces de la section *Sabina* : *J. phoenicea* L. ; *J. thurifera* L. & *J. sabina* L.

27	Valeurs des caractères quantitatifs mesurées pour les feuilles et les galbules (<i>J. phoenicea</i> L.).	107
28	Fréquences (%) pour les caractères qualitatifs des feuilles et des galbules (<i>J. phoenicea</i> L.).	108
29	Valeurs des caractères quantitatifs mesurées pour les feuilles et les galbules (<i>J. thurifera</i> L.).	109
30	Fréquences (%) pour les caractères qualitatifs des feuilles et des galbules (<i>J. thurifera</i> L.).	110
31	Valeurs des caractères quantitatifs mesurées pour les feuilles et les galbules (<i>J. sabina</i> L.).	111
32	Fréquences (%) pour les caractères qualitatifs des feuilles et des galbules (<i>J. sabina</i> L.).	112
33	Corrélations entre les variables quantitatives mesurées relatives aux ramules et galbules des trois espèces.	121
34	Comparaison de quelques résultats obtenus pour l'espèce <i>J. phoenicea</i> dans la littérature.	137
35	Comparaison de quelques résultats obtenus pour l'espèce <i>J. thurifera</i> et <i>J. sabina</i> dans la littérature.	138

Annexes

1	Types et sous-types de continentalité thermique selon Rivas-Martinez (2005a).	158
2	Types et sous-types de continentalité thermique selon Debrach (1953).	158
3	Domaines climatiques définis au Maroc septentrional selon Michalet (1991-1994).	158
4	Valeurs d'It et Itc selon Rivas-Martinez (2005a).	158
5	Types de thermotypes selon Rivas-Martinez (2005a).	159
6	Types d'ombrotypes selon Rivas-Martinez (2005a).	159

Liste des figures

Figure	Chapitre	Page
Chapitre I. Synthèse bibliographique		
1	Aire naturelle de répartition des sections <i>Caryocedrus</i> et <i>Juniperus</i> (sensu <i>Oxycedrus</i>) dans le monde (Adams, 2014a).	11
2	Aire naturelle de répartition de la section <i>Sabina</i> dans le monde (Adams, 2014a).	11
3	Illustration de types des feuilles dans le genre <i>Juniperus</i> L. (Adams, 2014a).	13
4	Aire naturelle de répartition des espèces du genre <i>Juniperus</i> L. en Algérie.	17
5	Photographies montrant l'aspect général de <i>J. oxycedrus</i> en Algérie. (A-C) ssp. <i>oxycedrus</i> dans la station de Chikh Zouaoui : A- allure générale ; B- galbules et C- aiguilles. (D-F) ssp. <i>macrocarpa</i> dans la station de Messida : D- allure générale ; E- galbules et F- aiguilles.	20
6	Photographies montrant l'aspect général de <i>J. communis</i> de la station d'Irghissen à Tikjda en Algérie (A, arbrisseau étalé ; B, galbules et C, aiguilles).	22
7	Photographies montrant l'aspect général de <i>J. phoenicea</i> de la station Dayat Belkhir (Djelfa) en Algérie (A, arbrisseau dressé ; B, feuilles écailleuses et C, galbules).	24
8	Photographies montrant l'aspect général de <i>J. thurifera</i> L. de la station Tafrent (Khenchela) en Algérie (A, arbre dressé ; B, feuilles écailleuses et C, galbules).	27
9	Photographies montrant l'aspect général de <i>J. sabina</i> de la station Aswal (Bouira) en Algérie (A, arbrisseau étalé ; B, galbule et C, feuilles écailleuses).	29
Chapitre II. Etude du milieu		
10	Localisation des sites d'échantillonnage pour les cinq espèces du genre <i>Juniperus</i> étudiées. Messida (Me) ; Chikh Z. (Cz) ; Dj. Messaad (M) ; Gottyia (G) ; Dj. Boutaleb (B) ; Babor (Ba), Chélia (Ch) ; Irghissen (I) ; Ighidhiane (Ig) ; Dayat Belkhir (D) ; T'kout (K) ; Tafrent (T) ; Zana (Z) ; Aswal (A) et Issig-Issig (Is).	32
11	Répartition des sites d'échantillonnage dans le domaine climatique de Michalet pour les cinq espèces du genre <i>Juniperus</i> étudiées. Messida (Me) ; Chikh Z. (Cz) ; Dj. Messaad (M) ; Gottyia (G) ; Dj. Boutaleb (B) ; Babor (Ba), Chélia (Ch) ; Irghissen (I) ; Ighidhiane (Ig) ; Dayat Belkhir (D) ; T'kout (K) ; Tafrent (T) ; Zana (Z) ; Aswal (A) et Issig-Issig (Is).	54
12	Diagramme ombrothermique de Bagnouls & Gausson des stations d'échantillonnage. Messida (Me) ; Chikh Z. (Cz) ; Dj. Messaad (M) ; Gottyia (G) ; Dj. Boutaleb (B) ; Babor (Ba), Chélia (Ch) et Irghissen (I).	57
13	Diagramme ombrothermique de Bagnouls & Gausson des stations d'échantillonnage. Ighidhiane (Ig) ; Dayat Belkhir (D) ; T'kout (K) ; Tafrent (T) ; Zana (Z) ; Aswal (A) et Issig-Issig (Is).	58
14	Situation des sites d'échantillonnage dans le climagramme d'Emberger concernant les cinq espèces du genre <i>Juniperus</i> . Messida (Me) ; Chikh Z. (Cz) ; Dj. Messaad (M) ; Gottyia (G) ; Dj. Boutaleb (B) ; Babor (Ba), Chélia (Ch) ; Irghissen (I) ; Ighidhiane (Ig) ; Dayat Belkhir (D) ; T'kout (K) ; Tafrent (T) ; Zana (Z) ; Aswal (A) et Issig-Issig (Is).	60

Chapitre III. Matériel & méthodes

- 15** Parties végétatives étudiées. A, aiguille de *J. oxycedrus* ; B, aiguille de *J. communis* ; C, base de l'aiguille (espèce en aiguilles) ; D, Ramule (espèce écailleuses) ; E, dimensions d'un galbule ; F, cicatrice blanchâtre sur l'enveloppe du galbule. 72
- 16** Mesures biométriques pour les stomates de *Juniperus oxycedrus* (station de Boutaleb) au microscope optique (grossissement 400x) relié à un ordinateur à l'aide d'un logiciel d'analyse d'images (Motic Images Plus 2.0). 73

Chapitre IV. Résultats et discussions

A. Etude de la variabilité morphologique (aiguilles, galbules) au sein des espèces de la section *Oxycedrus* : *J. oxycedrus* L. & *J. communis* L.

- 17** Micrographies montrant la face adaxiale des feuilles non traitées (A et B) et des feuilles traitées (C-E) de *Juniperus oxycedrus* de la station de Messida (Me) (*sensu* subsp. *macrocarpa*). A et C : Détail montrant de larges bandes stomatiques (B. St) et la bande médiane (BM). B, D et E : détails sur la forme des stomates (St), leur forte densité et les dépôts de cires épicuticulaires (Ci). 86
- 18** Micrographies montrant la face adaxiale d'une feuille non traitée (A et B) et d'une feuille traitée (C-E) de *Juniperus oxycedrus* (station Chélia, Ch). Dépôts de cire (Ci) sous forme de particules fines (A, B et E) autour des stomates (A et B) et sous forme de couche (C et D). St : stomates ; B. St : Bandes stomatiques. 87
- 19** Micrographies montrant la face adaxiale d'une feuille non traitée (A et B) et d'une feuille traitée (C-E) de *Juniperus oxycedrus* de la station de Djebel Messaad (M), montrant des bandes stomatiques (B. St) étroites et des stomates (St) situés dans un plan inférieur à celui des cellules épidermiques (A-D). Détail de stomates et des dépôts de cire (Ci) (E). BM : Bande médiane de cellules épidermiques. 87
- 20** Micrographies montrant la face adaxiale d'une feuille traitée de *Juniperus oxycedrus*. A et B : station de Boutaleb (B) ; C et D : station de Babor (Ba) ; E et F : station de Chikh Zouaoui (Cz). Stomates situés dans un plan inférieur à celui de l'épiderme (A, B,C,E et F) ; dépôts de cire (DC) au niveau des stomates sous forme de particules fines (B,D et F) et au niveau de l'épiderme sous forme de couche (E et F) ; augmentation de l'espace inter-stomatique (D) et des cellules épidermiques (CE) (D et F) ; présence d'enfoncements visibles dans l'épiderme (A, E et F). 88
- 21** Micrographies montrant la face adaxiale d'une feuille non traitée (A et B) et d'une feuille traitée (C et D) de *J. oxycedrus* de la station de Gottyia (G). Dépôts de cires (DC) au niveau des bandes stomatiques sous forme de cristaux couvrant toute la surface des stomates (A et B) et de particules fines sous forme de poussière (D). Bandes stomatiques au-dessous du niveau de l'épiderme (C). 89
- 22** Micrographies montrant la face adaxiale du feuillage non traité (A, B, C et D) de *J. communis* de la station d'Irghissen (Is). A, deux bandes stomatiques (B.st) étroites avec leurs stomates (St) situés dans un plan inférieur à celui de l'épiderme B, bande médiane (B.m) comportant des cellules stomatiques (St) et épidermiques ; C et D, des dépôts de cire (Ci). 89
- 23** Cercles de corrélation des variables morphologiques quantitatives et environnementales (A1, B1 et C1) avec les diagrammes de dispersion des 210 92

	arbres (A2, B2 et C2) pour l'analyse en composantes principales concernant les aiguilles, les galbules et les stomates de <i>J. oxycedrus</i> .	
24	Cercles de corrélation des variables morphologiques quantitatives et environnementales (A1, B1 et C1) avec les diagrammes de dispersion des 210 arbres (A2, B2 et C2) pour l'analyse en composantes principales concernant les aiguilles, les galbules et les stomates de <i>J. communis</i> .	93
25	Dendrogrammes de la classification hiérarchique ascendante appliquée à l'ensemble des sept populations de <i>J. oxycedrus</i> concernant les aiguilles (A), les galbules (B) et les stomates (C).	94
26	Cartes de l'analyse factorielle des correspondances (AFC) appliquée à l'ensemble des 210 arbres concernant les aiguilles (A), les galbules (B) et les stomates (C) de <i>J. oxycedrus</i> .	96
27	Cartes de l'analyse factorielle des correspondances (AFC) appliquée à l'ensemble des 60 arbres concernant les aiguilles (A), les galbules (B) et les stomates (C) de <i>J. communis</i>	97

B. Etude de la variabilité morphologique (ramules, galbules) au sein des espèces de la section *Sabina* : *J. phoenicea* L. ; *J. thurifera* L. & *J. sabina* L.

28	Micrographies (A-F) montrant l'épiderme de la face supérieure (externe) chez les trois espèces : <i>J. phoenicea</i> (A et B) ; <i>J. thurifera</i> (C et D) et <i>J. sabina</i> (E et F). S : stomates ; Ci : cire.	114
29	Micrographies (A-C) montrant l'épiderme de la face interne chez les trois espèces : <i>J. phoenicea</i> (A) ; <i>J. thurifera</i> (B) et <i>J. sabina</i> (C) avec deux bandes stomatiques (Bs), séparées au milieu par une série de cellules épidermiques, formant une nervure médiane (N) prolongée de la base vers l'apex et une marge (Fm) finement denticulée ou entière.	115
30	Micrographies (A-D) montrant le feuillage de <i>J. phoenicea</i> . (A) : station de Dj. Messaad ; (B et C) : station de Boutaleb ; (D-F) : station de Dayat Belkhir. A, écailles (Fe) disposées en quatre rangées et imbriquées à la base ; B, forme rhomboïdale (Fe) des écailles ; C-F, présence de glandes cireuses au revers (Pg) sur la face dorsale ; B et E, apex (Fa) de forme subaigüe ; F, sommet dorsale (Fe) aplati et plié au milieu.	116
31	Micrographies (A-D) montrant le feuillage de <i>J. phoenicea</i> . (G) : station de Dj. Messaad ; (H) : station de Boutaleb ; (C-F) : station de Dayat Belkhir. G, écailles de forme ovale (Fe) ; G et H, marge avec denticulations (Fm) régulières et fines ; G et H, apex (Fa) obtus, dépourvu de stomates ; H, deux bandes stomatiques étroite (Bs) séparée par une bande médiane épidermique (Bm) ; J, stomates (S) sous forme des glandes ovales, disposés en ligne ; H, présence d'une petite nervure médiane (Vs) à la base ; J et K, particules fines de cire (Ci) ; L, couche de cire (Ci) tapissant les stomates.	117
32	Micrographies (A-H) montrant le feuillage de <i>J. thurifera</i> . (A, C et H) : station de Tafrent ; (B, D, E, F et G) station de T'kout. A et B, écailles (Fe) disposées en deux rangs opposés, imbriquées à la base ; (B) forme rhomboïdale, à pointe libre (Fe) ; A, B et E, surface dorsale concave et dépourvue de stomates (Pg) ; C et D, marge (Fm) entière, rarement denticulée ; B et D, apex astomatique de forme aigüe ; H, stomates visibles, plus de 50 µm de long ; D et F, deux bandes stomatiques séparées par une bande médiane de cellules épidermiques. D, F, G et H, dépôts de cire (Ci).	118
33	Micrographies (A-H) montrant le feuillage de <i>J. sabina</i> . A, écailles (Fe) disposées en deux rangs opposés, imbriquées à la base ; A et C, forme	119

	rhomboïdale (Fe), à pointe libre ; H, forme ovale (Fe) ; C et E, surface dorsale bombée ou aplatie avec un enfoncement visible, sillonnée ; D et H, glande cireuse (Pg), arrondie, moins de 0,2 mm du long ; F et G, apex astomatique de forme obtuse à subaiguë (Fa); F, deux bandes stomatiques séparées par une bande médiane de cellules épidermiques ; J et H, stomates visibles, moins de 50 µm de long ; I, L et I, dépôts de cire (Ci).	
34	Analyses factorielles multiples (AFM) des variables morphologiques quantitatives (Gc1) et environnementales (Gc2) concernant les ramules et les galbules de <i>J. phoenicea</i> L. : Carrées de liaison des groupes de variables (A1 et B1) ; Cercles de corrélation des variables (A2 et B2) ; Diagrammes de dispersion des 90 arbres (A3 et B3) ; Dendrogrammes de la classification hiérarchique sur composantes principales (A4 et B4).	124
35	Analyses factorielles multiples (AFM) des variables morphologiques quantitatives (Gc1) et environnementales (Gc2) concernant les ramules et les galbules de <i>J. thurifera</i> L. : Carrées de liaison des groupes de variables (A1 et B1) ; Cercles de corrélation des variables (A2 et B2) ; Diagrammes de dispersion des 90 arbres (A3 et B3) ; Dendrogrammes de la classification hiérarchique sur composantes principales (A4 et B4).	125
36	Analyses factorielles multiples (AFM) des variables morphologiques quantitatives (Gc1) et environnementales (Gc2) concernant les ramules de <i>J. sabina</i> L. : Carré de liaison des groupes de variables (A1) ; Cercle de corrélation des variables (A2) ; Diagramme de dispersion des 60 arbres (A3) ; Dendrogramme de la classification hiérarchique sur composantes principales (A4).	127
37	Analyses factorielles des correspondances (AFC) pour les variables qualitatives réduites de <i>J. phoenicea</i> L. : ramules (A1, A2) et galbules (B1 et B2).	128
38	Analyses factorielles des correspondances (AFC) pour les variables qualitatives réduites de <i>J. thurifera</i> L. : ramules (A1, A2) et galbules (B1 et B2).	129

Sommaire

Introduction	1
Chapitre I. Présentation du genre <i>Juniperus</i> L.	5
1. Aperçu sur le genre <i>Juniperus</i> L. dans le monde	6
1.1 Généralités	6
1.2 Evolution et spéciation	6
1.3 Taxonomie et clé de classification des espèces	7
1.3.1 Section <i>Caryocedrus</i> Endlicher (1847)	9
1.3.2 Section <i>Juniperus</i> (Syn.: sect. <i>Oxycedrus</i> , Spach, 1841)	9
1.3.3 Section <i>Sabina</i> (Syn. : sect. <i>Sabina</i> , Spach, 1841)	10
1.4 Caractères généraux (morphologie, biologie et écologie des espèces)	12
1.4.1 Port, tronc et écorce	12
1.4.2 Feuillage	12
1.4.3 Floraison et fleurs	13
1.4.4 Fructification, galbules et graines	14
1.4.5 Germination, régénération et croissance	14
1.4.6 Système racinaire et Substrat	15
1.4.7 Dissémination	15
1.4.8 Longévité et phytopathologie	15
1.5 Intérêts et usages	16
2. Aperçu sur le genre <i>Juniperus</i> L. en Algérie	16
2.1 Généralités	16
2.2 Monographie des espèces rencontrées en Algérie	19
2.2.1 <i>J. oxycedrus</i> L.	19
2.2.1.1 Répartition et description	19
2.2.1.2 Systématique	21
2.2.2 <i>J. communis</i> L.	21
2.2.2.1 Répartition et description	21
2.2.2.2 Systématique	23
2.2.3 <i>J. phoenicea</i> L.	23
2.2.3.1 Répartition et description	23
2.2.3.2 Systématique	25
2.2.4 <i>J. thurifera</i> L.	26
2.2.4.1 Répartition et description	26
2.2.4.2 Systématique	28
2.2.5 <i>J. sabina</i> L.	28
2.2.5.1 Répartition et description	28
2.2.5.2 Systématique	29
Chapitre II. Etude du milieu	31
1. Cadre physique	32
1.1 Choix et localisation	32
1.2 Contexte administratif et biogéographique	33
1.2.1 Site de Messida (Parc National d'El Kala)	33
1.2.2 Site de Djebel de Chikh Zouaoui (Massif de Chettabah)	34
1.2.2.1 Sites de Tikjda (Parc national du Djurdjura)	35

1.2.3 Site de Djebel Babor (Kabylie des Babors)	36
1.2.4 Sites du Massif de Boutaleb (Hodna)	37
1.2.5 Sites du Massif des Aurès (5 sites)	38
1.2.5.1 Zana	38
1.2.5.2 Chélia	39
1.2.5.3 Tafrent	40
1.2.5.4 T'kout	41
1.2.5.5 Djebel Aïdel (Ouled-Yakoub)	41
1.2.6 Site de Dhayat Belkhir (Dar Chioukh)	42
1.2.7 Site du Massif de Séalba	43
1.2.8 Sites de la forêt de Djebel Messaad	44
2. Cadre climatique	45
2.1 Sources et périodes des données météorologiques	45
2.2 Paramètres et indices climatiques étudiés	45
2.3 Données climatiques	46
2.3.1 Températures	46
2.3.2 Précipitations	47
2.4 Description synthétique	49
2.4.1 Les régimes saisonniers	49
2.4.2 Evaluation des phénomènes de continentalité	50
2.4.2.1 La continentalité thermique	50
2.4.2.2 La continentalité pluviale	52
2.4.3 Evaluation des phénomènes de dessèchement et de sécheresse	55
2.4.3.1 Indice ombrothermique estival de Rivas-Martinez (2005a)	55
2.4.3.2 Indice de Bagnouls et Gaussen (1953) et diagramme ombrothermique	55
2.4.3.3 Quotient pluviothermique et climagramme d'Emberger	56
2.4.3.4 Etagement bioclimatique de Rivas-Martinez : thermotypes et ombrotypes	61
3. Synthèse	63
Chapitre III. Matériel & méthodes	
1. Matériel	67
1.1 Matériel végétal	67
1.1.2 Espèces en aiguilles	67
1.1.3 Espèces en écailles	67
1.2 Dispositif expérimental	67
2. Méthodes	68
2.1 Etude morphométrique	68
2.1.1 Tests d'observations et caractères choisis	68
2.1.2 Mensurations	68
2.1.2.1 Examen macroscopique	68
2.1.2.2 Examen microscopique	69
2.2 Méthodes d'analyses statistiques	73
2.2.1 Types des caractères	73
2.2.2 Tests de normalité	75
2.2.3 Statistiques descriptives	75
2.2.4 Tests de significativité	75
2.2.5 Tests de corrélation	75
2.2.6 Analyses factorielles	75

2.2.6.1 Analyse en composantes principales (ACP)	75
2.2.6.2 Analyse factorielle des correspondances (AFC)	76
2.2.6.3 Analyse factorielle multiple (AFM)	76
2.2.6.4 Classification ascendante hiérarchique (CAH)	76
2.2.7 Logiciels appliqués	77
Chapitre IV. Résultats & discussion	78
A. Etude de la variabilité morphologique (aiguilles, galbules) au sein des espèces de la section <i>Oxycedrus</i> : <i>J. oxycedrus</i> L. & <i>J. communis</i> L.	79
1. Résultats	79
1.1 Morphométrie	79
1.1.1 Aiguilles	79
1.1.2 Galbules	80
1.1.3 Stomates	81
1.1.4 Surfaces épidermiques	81
1.2 Analyse de la diversité morphologique	90
1.2.1 Tests de significativité	90
1.2.2 Tests multivariés	90
1.2.2.1 Analyse en composantes principales (ACP)	90
1.2.2.2 Classification hiérarchique ascendante (CHA)	91
1.2.2.3 Analyse factorielle des correspondances (AFC)	94
2. Discussion	97
2.1 Pressions d'ordre abiotique (facteurs environnementaux)	98
2.2 Pressions d'ordre biotique (biodissémination par ornithochorie)	99
2.3 Comparaison des données recueillies pour les deux espèces dans la littérature	101
B. Etude de la variabilité morphologique (ramules, galbules) au sein des espèces de la section <i>Sabina</i> : <i>J. phoenicea</i> L. ; <i>J. thurifera</i> L. & <i>J. sabina</i> L.	105
1. Résultats	105
1.1 Analyse morphométrique	105
1.1.1 Ramules et galbules	105
1.1.2 Surfaces épidermiques et micromorphologie	113
1.2 Analyse de la diversité morphologique	120
1.2.1 Tests de significativité	120
1.2.2 Tests de corrélation	120
1.2.3 Tests multivariés	122
1.2.3.1 Analyse factorielle multiple (AFM)	122
1.2.3.2 Analyse factorielle des correspondances (AFC)	127
2. Discussion	130
2.1 Pressions d'ordre abiotique (facteurs géographiques et climatiques)	130
2.2 Comparaison des données recueillies pour les trois espèces dans la littérature	133
Conclusion	139
Références bibliographiques	142
Annexes	158

Introduction

Le bassin méditerranéen est l'un des points chauds de la biodiversité mondiale pour sa richesse floristique exceptionnelle (81 million ha) ainsi que le taux très élevé de son endémisme tant terrestre que marin (Greuter, 1991 ; Mugnossa *et al.* 2000 ; Médail & Diadema, 2009 ; Sundseth, 2010). Néanmoins, plus de la moitié des 25 000 plantes à fleurs identifiées à ce jour, représentant environ 10 % de toutes les espèces végétales connues sur terre, sont endémiques de cette région (Sundseth, 2010). La conservation des forêts et de la végétation forestière de ce bassin, constitue un problème complexe du fait de l'hétérogénéité des situations et des multiples usages et pressions anthropiques pratiqués par les diverses entités culturelles de la Méditerranée depuis des millénaires (Quézel & Médail, 2003).

La forêt algérienne qui fait partie intégrante de la région méditerranéenne, a une grande hétérogénéité, ce qui facilite l'adaptation de multiples formations végétales. Elle est actuellement fragile car la déforestation ne cesse de s'accroître en raison de l'action conjuguée des différents facteurs (incendies, pâturages, exploitation excessive, mise en culture) ainsi que les phénomènes multiples et consécutifs, responsables de la destruction de la couverture du sol (désertification, érosion, etc.).

Parmi les conifères, la tribu des *Junipereae* Koch qui fait partie de la famille des *Cupressaceae* Rich. ex Bartl, avec un seul genre *Juniperus* L., qui comprend un grand nombre d'espèces (environ soixante-quinze) avec des variétés rigides aux aiguilles piquantes et des variétés souples aux feuillages en écailles (Adams, 2014a). Ces espèces ont une place non négligeable dans la végétation méditerranéenne, mais leur signification phytoécologique varie nettement selon les groupes d'espèces. Elles sont généralement des éléments pionniers jouant un rôle appréciable dans la dynamique des groupements pré-forestiers, surtout, mais également se développant dans des situations écologiques extrêmes (Quézel & Médail, 2003). En plus du problème de dégradation de ces juniperaies, la signification taxonomique du genre *Juniperus* est encore discutée (Quézel & Médail, 2003).

En Algérie, ce genre est présent sous forme de cinq espèces : *J. oxycedrus* L., *J. phoenicea* L., *J. communis* L., *J. thurifera* L. et *J. sabina* L., (Maire, 1952 ; Quézel & Santa, 1963 ; Quézel & Gast, 1998). Les deux derniers sont quasiment rares.

Le choix d'étude de ces espèces parmi les autres formations forestières est essentiellement justifié par leur superficie importante dans la forêt algérienne, leur stade ultime de dégradation, leur rôle écologique considérable en se comportant comme des éléments de forte résistance à la désertification et à la pression anthropique ainsi que l'insuffisance des travaux forestiers et des projets de recherches sur ces espèces menacées.

Les espèces de ce genre possèdent un grand intérêt biogéographique ; elles ont une place importante dans le parcours nord-africain, essentiellement dans la végétation méditerranéenne en raison de leur rusticité, de leur valeur dynamique et de leur importance physiologique. Ce sont, en effet, des espèces pionnières peu exigeantes du point de vue écologique qui se développent dans des situations écologiques extrêmes (Quézel & Gast, 1998 ; Quézel & Médail, 2003).

L'étude du polymorphisme des végétaux se fait par le biais des caractères taxonomiques, qui sont des traits ou des propriétés d'un végétal susceptible d'être mesurés. Parmi ces caractères, les plus fréquemment utilisés sont les structures des feuilles, des tiges et de certains épidermes ainsi que les particularités des stomates (Bidault, 1971). Néanmoins, l'utilisation de la morphométrie (feuilles et galbules) pour accoster la systématique des espèces du genre *Juniperus* a été entreprise par de nombreux chercheurs et systématiciens, essentiellement Gaussen (1968b), Farjon (2005-2010), et Adams (2014a), ce qui confirme l'intérêt de ce volet descriptif.

En Algérie, de nombreuses études ont été effectuées ; pour *J. oxycedrus*, elles ont porté essentiellement, sur la composition des huiles essentielles (Bensegueni-Tounsi, 2001), la chimio- taxinomie (Dob et al., 2008), l'effet antibactérien et antifongique de certains organes végétatifs (Foudil-Cherif & Yassaa, 2012), les mono-terpènes et les propriétés anti-oxydantes des aiguilles et des galbules (Fadel et al., 2016). Pour *J. communis*, nous avons l'étude de Dahmane et al. (2015) sur la composition chimique des huiles essentielles et celle de Toumi (2015) sur la structure de l'espèce et sa cartographie au Djurdjura. En outre, la diversité du peuplement entomologique chez les deux espèces (*J. communis* subsp. *hemisphaerica* et *J. oxycedrus* subsp. *rufescens*) a été signalée aussi par Abbassen (2015) dans la forêt de Tigounatine à Tikjda. Pour *J. phoenicea*, elles se sont basées généralement, sur la composition des huiles essentielles des feuilles et des galbules (Dob et al., 2008 ; Kilani et al., 2008 ; Bouzabata & Hadeif, 2009 ; Mazari et al., 2010 ; Bekhechi et al., 2012 ; Ramdani et al., 2013 ; Bouyahyaoui et al., 2016 ; Bachir-Raho et al. ; 2017). Le volet écologique au niveau du parc

national de Belezma (Batna) a été abordé par Zereg (2007). Pour *J. thurifera*, de nombreux travaux écologiques et phytochimiques ont été signalés : Vela & Schäfer (2013) sur la typification, la délimitation taxonomique et les conséquences nomenclaturales de la variété *africana* Maire ; Beghami *et al.* (2013) sur les considérations générales, la cartographie, l'écologie et les groupements végétaux dans la région des Aurès ; Zeraïb *et al.* (2013-2014) sur la caractérisation, la composition chimique, la chimio-systématique et l'activité antibactérienne des huiles essentielles et enfin Bacha *et al.* (2016) qui ont abordé la variation saisonnière des éléments de traces métalliques. En ce qui concerne le genévrier sabine, Quèzel & Barbero (1989), Mediouni *et al.* (1994) et Toumi (2011-2015) ont étudié l'écologie, la dynamique et la cartographie de cette espèce au Djurdjura.

Toutefois, les recherches concernant la micromorphologie du feuillage des genévriers, ayant trait aux stomates et aux surfaces épidermiques sont inexistantes, à part quelques études à diffusion restreinte, tels que les travaux de Laïb (2006) et Tahanout (2012) et sur la variabilité inter-individuelle de la morphologie des aiguilles et des stomates de *J. communis* subsp. *hemisphaerica* et *J. oxycedrus* subsp. *rufescens* au Djurdjura en Grande Kabylie. La variation au niveau des galbules n'a pas été étudiée, malgré l'utilisation de leur morphologie dans la classification infra spécifique.

L'objectif principal de ce travail est l'étude de la variation phénotypique intra et inter-populations par le biais des caractères morphologiques des feuilles et des galbules pour les cinq espèces du genre *Juniperus* L. répertoriées en Algérie. L'aspect micro-morphologique a été abordé par l'étude des stomates et la description des surfaces épidermiques des aiguilles et des écailles. Cette étude permettra la définition du statut morphologique, dynamique et génétique des différentes populations étudiées et d'évaluer leur adaptation aux pressions évolutives exercées par l'environnement, les êtres vivants (vecteurs bio-disséminateurs) et leurs interactions. Elle permettra aussi de constituer une base de données sur ces taxons (morphotype) qui contribuerait à affiner les caractères pris en considération dans la systématique, et d'apporter quelques éléments de réponse à la variation des caractères morphologiques en relation avec les conditions écologiques dans lesquelles les différents individus ou populations se sont établis.

Dans ce contexte, et pour rendre compte de cette variabilité phénotypique des genévriers en Algérie, nous avons organisé notre document en quatre chapitres :

- Dans le premier, nous présentons une synthèse des données recueillies sur le genre *Juniperus* L., dans le monde et en Algérie. Les informations présentées relatent plusieurs aspects concernant la description botanique, la classification et la répartition géographique ;
- Le second chapitre présente le contexte physique et bioclimatique des stations d'échantillonnage. Les aspects administratifs et biogéographiques sont abordés, suivis par une synthèse climatique approfondie ;
- Le troisième chapitre décrit le dispositif expérimental nécessaire pour entamer la thématique de notre étude. Aussi, les méthodes appliquées concernant l'échantillonnage et le traitement des données y sont exposés ;
- Le dernier chapitre regroupe essentiellement les résultats et leurs discussions pour les deux groupes d'espèces, en aiguilles (*J. oxycedrus* L. et *J. communis* L.) et écailles (*J. phoenicea* L., *J. thurifera* L. et *J. sabina* L.).

Enfin, une conclusion générale clôture cette thèse, en synthétisant les principaux résultats obtenus sur la diversité morphologique de ce genre en Algérie.

Chapitre I

Présentation du genre
Juniperus L.

1. Aperçu sur le genre *Juniperus* L. dans le monde

1.1 Généralités

La famille des *Cupressaceae* Rich. ex Barlt. comprend environ trente genres (Farjon, 2001). Elle est subdivisée en deux sous-familles, les *Cupressoideae* Rich. ex Sweet et les *Callitroideae* Saxton qui sont essentiellement de l'hémisphère nord et sud, respectivement. Les *Cupressoideae* sont divisés en trois tribus : les *Cupresseae* Rich. ex Dumort., les *Junipereae* Koch et les *Thujopsidaeae* Endl. (Haluk & Roussel, 2000).

Juniperus L. est le seul genre de la tribu des *Junipereae*. Il représente le taxon le plus diversifié des *Cupressaceae*, ainsi que le deuxième le plus varié de l'embranchement des conifères après le genre *Pinus* L. (Debazac, 1991 ; Adams, 2014a), avec environ 75 espèces (Adams, 2014a). Il a la répartition la plus large, par rapport aux autres genres des conifères, mais sa répartition est limitée dans l'hémisphère Nord, seulement en Afrique où certaines espèces traversent l'équateur (Mao *et al.*, 2010; Farjon & Filer, 2013).

1.2 Evolution et spéciation

Les espèces du genre *Juniperus* possèdent un grand intérêt biogéographique car ce sont les vestiges de formations présteppeiques plus répandues lors des phases froides et sèches du pléistocène (Quézel & Médail, 2003).

La section *Sabina* Spach (1941) a été retrouvée durant l'Eo-Oligocène en Europe central (Kvaček, 2002), l'Oligocène tardif et le Miocène récent en Amérique du nord (Wolfe, 1964 ; Axelrod, 1987) et le Pliocène tardif en Asie (Dorofeev, 1962). Par contre, les deux sections *Oxycedrus* Spach (1941) n'est pas connue qu'en Europe et en Asie pendant le Miocène moyen et supérieur (Straus, 1952 ; Negru, 1972 ; Bozukov *et al.*, 2011). Concernant l'espèce *J. drupacea* Labill., de la section monotypique *Caryocedrus*, c'est la seule qui a probablement été différenciée il y'a environ 20 millions d'années (Adams, 2014a). Ses fossiles ont été enregistrés durant l'Oligocène tardif (Sud-est) et le Miocène supérieur (Sofia) en Bulgarie (Stefanov & Jordanof, 1935 ; Palamarev, 1967).

En plus, le genre *Juniperus*, quant à lui, semble être issu d'une souche tropicale. Plus tard, au cours de son évolution, il s'est diversifié surtout dans l'hémisphère Nord (Amérique, Asie, Europe) de sorte que plus de 40 taxons de *Juniperus* individualisent un centre secondaire autour de la Méditerranée (Adams, 2004 ; Gauquelin, 2006). Ce genre a bénéficié, au cours de millions d'années, des milieux ouverts résultant des changements climatiques tertiaires et surtout quaternaires (Jalut *et al.*, 2000). D'abord dans des ambiances

périglaciaires, puis dans les territoires à climat continentalisé (régions moins froides), il a colonisé les terrains pierreux, surtout calcaires, même gypseux, là où les autres arbres (chênes, pins, cèdres, hêtres) ne pouvaient supporter les contraintes environnementales difficiles. C'est surtout dans les moyennes ou hautes montagnes que l'on trouve ses formations s'étalant entre 250 et 3150 m d'altitude (Villar, 2013).

Par ailleurs, les impacts d'herbivores développés au Pléistocène avec une coïncidence plus ou moins longue avec les peuplements de *Juniperus* (équidés, mammoths, bisons, etc.) sont responsables du morcellement de l'aire de sa distribution pour aboutir à situation actuelle (Montserrat & Villar 1972 ; Quézel & Médail, 2003).

1.3 Taxonomie et clé de classification des espèces

D'après Gaussen (1968b), Callen (1976), Debazac (1991), la systématique du genre *Juniperus* L. est la suivante :

Division	<i>Pinophyta</i>
Classe	<i>Pinopsida</i>
Ordre	<i>Pinales</i>
Famille	<i>Cupressaceae</i>
Sous famille	<i>Cupressoideae</i>
Tribu	<i>Junipereae</i>
Genre	<i>Juniperus</i>

En ce qui concerne la classification des espèces de ce genre, plusieurs botanistes les ont regroupé en différentes sections ou sous genres (généralement deux ou trois) selon leurs caractères morphologiques (feuilles, cônes, graines, etc...) :

- Tournefort (1694) a considéré *Juniperus* et *Cedrus* comme deux genres distincts chez les conifères. Puis, Linnæus (1753) les a rassemblés dans un seul genre dénommé *Juniperus* (*Juniperus* et *Cedrus* Tourn.), avec neuf espèces différentes ; six européennes (*J. oxycedrus*, *J. communis*, *J. phoenicea*, *J. thurifera*, *J. lycia* et *J. sabina*) et trois américaines (*J. barbadensis*, *J. bermudiana* et *J. virginiana*).
- Spach (1841) a subdivisé le genre *Juniperus* L. (*Juniperus* et *Cedrus* Tourn.) selon la morphologie des feuilles en deux sections : 1/ *Oxycedrus* ou *Juniperus* avec ses feuilles aciculaires (*J. communis* L., *J. oxycedrus* L., *J. drupacea* Labill.). 2/ *Sabina* (*sensu Cedrus*

- Tourn.) qui a des feuilles squamiformes (écailles) : *J. prostrata* Pers. Ench, *J. fœtida* Spach avec 9 variétés, *J. bermudiana* L. et *J. phoenicea* L.
- Endlicher (1847) a adopté les deux sections (*Oxycedrus* et *Sabina*) de Spach (1841) qui ont un total de 28 espèces séparées, mais il a séparé *J. drupacea* Labill., de la section *Oxycedrus* de Spach et l'a considéré comme espèce unique d'une troisième section « *Caryocedrus* ». Mais, Antoine & Koltschy (1854) ont défini cette section comme genre monotypique « *Arceuthos* » en raison de ses caractéristiques bien distinctes par rapport aux autres genévriers.
 - Carrière (1855) a subdivisé le genre *Juniperus* L. en trois tribus *Caryocedrus*, *Oxycedrus* et *Sabina* avec 44 espèces en totalité.
 - Antoine (1857) a proposé d'élever le rang taxonomique des trois sections d'Endlicher et Spach en les considérant comme trois genres distincts : 1/ Genre *Arceuthos* (pour *Arceuthos drupacea* = *J. drupacea* Labill.) ; 2/ Genre *Juniperus* avec deux sections (*Oxycedrus* et *Communis*) ; 3/ Genre *Sabina* avec plusieurs sections.
 - Pilger (1926-1931) a accepté le genre *Arceuthos* qui se caractérise par des gaines fusionnées comme un genre séparé du *Juniperus* avec deux sections (*Oxycedrus* et *Sabina*). Ces deux dernières sections sont subdivisées en groupes selon la couleur des baies pour l'*Oxycedrus* et le nombre des gaines pour la section *Sabina*.
 - Gaussen (1968b), a classé le genre *Juniperus* en trois sous-genres (dix sections) en se basant sur les différents caractères morphologiques (cônes, graines et pollen) ainsi que la répartition géographique : 1/ *Caryocedrus* représenté par une section monotypique (une seule espèce ; *J. drupacea* Labill.) ; 2/ *Oxycedrus* avec trois sections : *Oxycedroide*, *Rigidoide* et *Recurvoide* ; 3/ *Sabina* divisé en deux groupes selon la marge de la feuille (marge entière ou denticulée), se divisant chacun en trois sections.
 - Emberger (1968) a recensé 70 espèces localisées sur l'hémisphère nord. Il a adopté les deux sections de Spach (1841) pour sa classification basée sur la morphologie des feuilles : *Oxycedrus* (10 espèces) et *Sabina* (60 espèces). La même classification a été adoptée par Maire (1952), Quézel et Santa (1962) pour les genévriers nord-africains (2 espèces de la section *Oxycedrus* et 3 de la section *Sabina*) et Ozenda (1991) dans sa flore du Sahara.
 - En Europe, Callen (1976), Debazac (1991) et Farjon (2005-2010), qui ont réalisé des manuels sur les conifères, ont subdivisé le genre *Juniperus* selon le concept de Spach (1841) et Endlicher (1847) en trois sections (*Caryocedrus*, *oxycedrus*, et *sabina*).

Plus récemment, l'amplification aléatoire d'ADN polymorphe (RAPD) a permis de séparer les espèces du genre *Juniperus*, via des informations extraites suite à des phénogrammes obtenus par des analyses multivariées. Plusieurs auteurs (Farjon, 2005-2010 ; Adams, 2014a) l'ont utilisée. Ce dernier est l'investigateur du genre *Juniperus* L. (plus de 30 ans de recherches) qui l'a subdivisé, essentiellement, sur la base des données de la morphologie, la chimie (terpènes) ainsi que le séquençage d'ADN (RAPD), en trois sections monophylétiques, comme suit :

I.3.1 Section *Caryocedrus* Endlicher (1847)

C'est la section la plus primitive du genre (Fig. 1). Elle est monotypique, représentée par une seule espèce *J. drupacea* Labill. (Adams, 2014a) (Fig.1) qui se répartit uniquement sur l'est méditerranéen (Grèce, Turquie, Syrie et Liban) (Maerki & Frankis, 2015). Les arbres de cette espèce sont dioïques avec une hauteur de 30 m ou plus. Les feuilles sont aciculaires avec deux bandes stomatiques à la face supérieure, elles ont une largeur de 2-3,5 mm et une longueur de 10-25mm. Les cônes femelles matures ont un diamètre de 18-25mm avec trois écailles visibles. Les graines sont trois, fusionnées (non séparées) pour faire une drupe (fausse baie). Les cônes femelles atteignent la maturité entre 18 mois et 2 ans (Tableau 1) (Adams, 2014a). Le pollen est différent de celui des autres genévriers, également la sclérisation de l'ovule commence dans un stade précoce, contrairement aux autres espèces du même genre (Maerki & Frankis, 2015). L'inclusion de la section *Caryocedrus* dans le genre *Juniperus* a été confirmée par les données du séquençage d'ADN (Adams, 2014a).

1.3.2 Section *Juniperus* (Syn.: sect. *Oxycedrus*, Spach, 1841)

Quatorze espèces et neuf variétés sont connues dans cette section (Fig. 1). Ce sont des arbres ou des arbustes dioïques. Les feuilles sont aciculaires, comme celles de la section *Caryocedrus* avec une zone d'abscission basale, verticillées en trois. Elles sont caractérisées par un pédoncule court, apparaissant sessile (0,3-1 mm) et des graines matures (6-15 mm), non fusionnées. Les cônes femelles atteignent la maturité en 2 (-3) ans (Adams, 2014a). Les espèces de la section *Juniperus* peuvent être divisées en 2 sous-sections :

- **Sous-section I (espèces liées au *J. communis*)** : Elle est localisée dans le Nord et l'extrême orient. Elle est caractérisée par une seule (01) bande stomatique à la face supérieure des aiguilles et des baies bleues ou bleu-noires. C'est le cas de *J. communis*, *J. rigide*, et *J. conferta* (Adams, 2014a).

- **Sous-section II (espèces liées au *J. oxycedrus*)** : Elle est localisée dans la région méditerranéenne. Elle est caractérisée par des feuilles qui ont deux (02) bandes stomatiques à la face supérieure et des baies rouges, brun rougeâtres, rouge violâtres à maturité. C'est le cas de *J. oxycedrus* L., *J. macrocarpa* Sibth. & Sm. (Adams, 2014a).

1.3.3 Section *Sabina* (Syn. : sect. *Sabina*, Spach, 1841)

C'est la section la plus avancée (Fig. 2) avec une grande diversité (61 espèces, 23 variétés et 8 formes), elle contient la plupart des espèces de ce genre. Probablement, le changement évolutif le plus important était le développement des graines charnues dans la section *Sabina* et *Juniperus*. Ce sont des arbres ou arbustes, dioïques ou rarement monoïques. Les feuilles sont non aciculaires, (subulées) mais décurrentes avec un limbe qui peut être libre ou apprimé sur la tige (pointes libres selon l'angle du limbe) et une base qui s'étend vers le bas de la tige au-dessous du point de rattachement. Au stade juvénile, les feuilles sont en forme de fouet (décurrentes et libres à la base). Après quelques années (3-5), la plupart de ces espèces commencent à former des écailles (stade adulte). Parfois, certains arbres et espèces n'ont que le stade juvénile du feuillage durant toute leur vie, comme *J. carinata* (Y.F. Yu & L.K. Fu) R.P. Adams, *J. coxii* (A.B. Jacks.), *J. morrisonicola* (Hayata), *J. pingii* (W.C. Cheng), *J. procumbens* (Siebold ex Endl.) Miquel, *J. recurva* (Buch.-Ham. ex D. Don) et *J. squamata* (Buch.-Ham. ex D. Don). Ces feuilles juvéniles n'ont pas une zone d'abscission, décurrentes, verticillées en deux (paire) ou trois. Les grains de pollen et les cônes sont portés sur les branchelettes terminales des rameaux. Les cônes femelles mesurent de 4 à 20 mm, avec 1-12 graines, non fusionnées et atteignent la maturité entre 1 et 2 ans. Ils sont charnus, doux et nutritifs, particulièrement bien développés (*J. pinchotii* Sudw., *J. sabina* L.). Contrairement aux autres sections, c'est la seule qui contient des espèces monoïques (Adams, 2014a). Cette section peut être divisée en trois principaux groupes ou sous-sections (Mao *et al.*, 2010, Adams & Schwarzbach, 2013) :

- **Groupe I (22 espèces)** : Ces espèces ont des feuilles à marge denticulée, elles sont localisées dans le nord-américain ;
- **Groupe II (10 espèces, 3 variétés)** : Ces espèces ont une seule graine cornée par galbule et des feuilles à marge lisse ou entière, elles sont localisées uniquement dans l'hémisphère occidental. Exemple : *J. phoenicea* ;

- **Groupe III (23 espèces, 16 variétés)** : Ces espèces ont plusieurs graines par galbule et des feuilles à marge lisse ou entière, elles sont localisées dans l'hémisphère oriental et occidental. Exemple : *J. virginiana*.

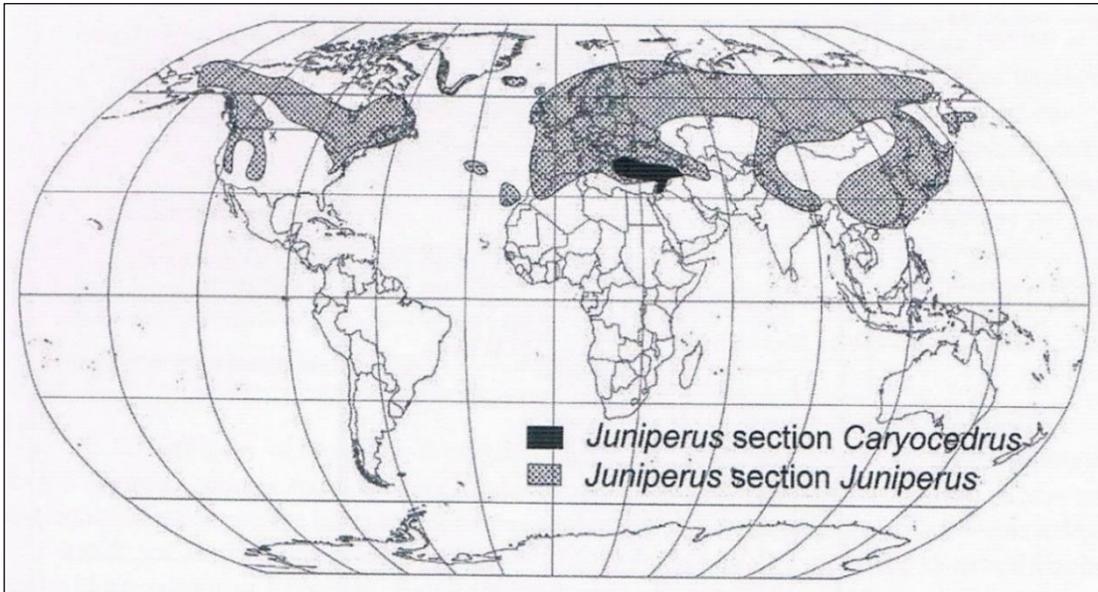


Figure 1. — Aire naturelle de répartition des sections *Caryocedrus* et *Juniperus* (sensu *Oxycedrus*) dans le monde (Adams, 2014a).

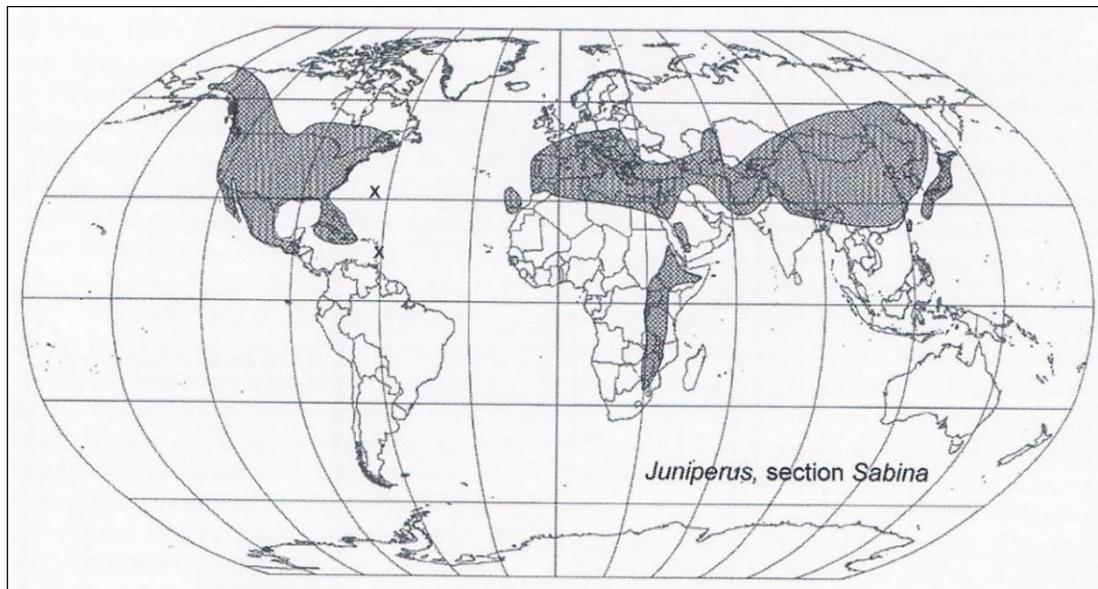


Figure 2. — Aire naturelle de répartition de la section *Sabina* dans le monde (Adams, 2014a).

Tableau 1. Caractéristiques des trois sections du genre *Juniperus* (Adams 2014a).

<i>Caryocedrus</i>	<i>Juniperus</i>	<i>Sabina</i>
1 espèce	14 espèces	60 espèces
Méditerranée	1 Circumboréal + 13 Méditerranée, Asie	Hémisphère nord
Feuilles aciculaires (en aiguilles)	Feuilles aciculaires (en aiguilles)	Feuille squamiformes (en écailles)
Dioïque	Dioïque	Dioïque ou monoïque
Cônes 30-40 mm	Cônes 8-25 mm	Cônes 6-15 mm
3 graines/cône	Généralement 3 graines	1 à 10 ou 12 graines
Cônes boisés	Cônes boisés ou résineux	La plupart croustillante ou cônes résineux
Cônes pourpres	Cônes bleu-foncés, bleuâtres, noirs, marrons, rouges, bruns rougeâtres.	Cônes bleus, noirs, rouges, cuivre, Marrons, roses, verts.
Feuilles entières	Feuilles entières	Feuilles entières et dentelées

1.4 Caractères généraux (morphologie, biologie et écologie des espèces)

1.4.1 Port, tronc et écorce

Le port est très variable (dressé ou prostré) suivant les espèces, allant de la forme d'un arbrisseau, tapissant, très touffu, très rameux à la base, ordinairement ne dépassant guère 1 m de hauteur, à la forme d'un arbre de 40 m de hauteur (cas de *J. drupacea* en Turquie et *J. recurva* dans l'Himalaya) avec un tronc de 1 m de diamètre. L'écorce est mince se détachant en lanières (Maire, 1952 ; Callen, 1976 ; Teuscher *et al.*, 2005 ; Adams, 2014a).

1.4.2 Feuillage

Selon plusieurs auteurs (Maire, 1952 ; Quézel & Santa, 1963 ; Emberger, 1968 ; Callen, 1976 ; Debazac, 1991), le genre *Juniperus* possède deux types de feuillage : des feuilles aciculaires, articulées à la base et verticillées par 3 (sections *Oxycedrus* et *Caryocedrus*) et des feuilles squamiformes chez l'adulte, non articulées avec le rameau et décurrentes sur lui, opposées ou verticillées par 3 (section *Sabina*).

Plus tard, Adams (2014a) a adopté un troisième type (Figure 3) en prenant en compte le stade juvénile des feuilles pour certaines espèces de la section *Sabina* :

- Feuilles aciculaires, verticillées en 3, c'est le type unique dans les deux sections, *Caryocedrus* et *Juniperus* avec une zone d'abscission à la base. Ces feuilles peuvent être divisées en 2 formes ; celles liées au *J. oxycedrus* avec deux bandes stomatiques et celles liées au *J. communis* avec une seule bande.

- Ecailles, décurrentes, apprimées ou non, verticillées en 2 ou 3, présentent dans la plupart des espèces au feuillage adulte des arbres matures après (3-5 ans), uniquement dans la section *Sabina* ;
- Feuilles décurrentes, libres, sans zone d'abscission, présentent au stade juvénile, uniquement, dans la section *Sabina* (certaines espèces ne possèdent que le feuillage juvénile comme *J. coxii*).

Gausсен (1968b) a divisé la section *Sabina* en deux séries selon la marge du feuillage écailleux, soit des feuilles à marge entière ou bien denticulée. Mais, Adams & Schwarzbach (2013) l'ont refait précieusement et ont découvert que la dentelure des marges des feuilles peut avoir plusieurs formes (faibles denticulations ondulées, large denticulations, etc.) et diffèrent aussi selon la biogéographie entre l'hémisphère oriental et occidental (cas de *J. phoenicea*).

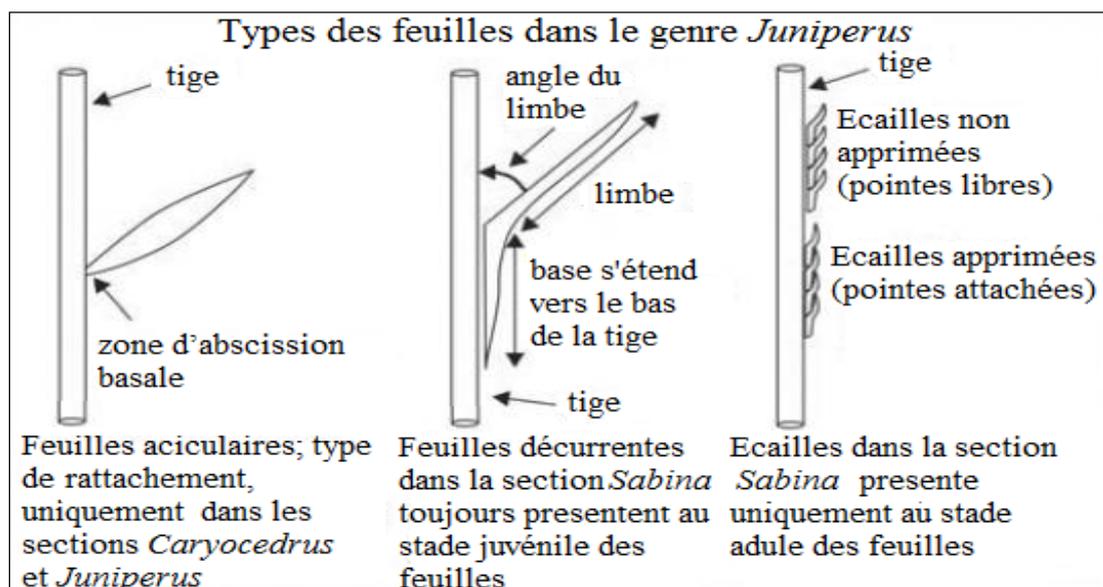


Figure 3. — Illustration de types des feuilles dans le genre *Juniperus* L. (Adams, 2014a).

1.4.3 Floraison et fleurs

Les espèces des deux sections *Caryocedrus* et *Oxycedrus* sont dioïques alors que celles de la section *Sabina* sont monoïques, rarement dioïques (Adams, 2014a). Les fleurs sont très petites et discrètes. Les fleurs mâles sont en forme de petits chatons, ovoïdes ou arrondis axillaires ou presque terminaux. Elles sont composées de nombreuses étamines, opposées, décussées ou ternées, verticillées sur l'axe et imbriquées sur quelques rangs, avec

des filaments très courts, terminés en un appendice en forme d'écaille, presque orbiculaire, portant en dessous sur le bord intérieur 3-6 loges. Les fleurs femelles sont axillaires, terminales ou solitaires sur les rameaux latéraux. Elles sont composées d'un petit nombre d'écailles ovulifères charnues, bi- ou tri-ternées, verticillées ou opposées, toutes imbriquées rapprochées ou plus moins soudées entre elles. Chaque écaille portant deux ovaires adhérents à sa base. Les ovules sont entourés de bractées, dressés en forme de bouteille, à micropyle terminé en un col court (Gaussen, 1968b ; Callen, 1976).

1.4.4 Fructification, galbules et graines

Après la fécondation, les fleurs femelles (écailles), se soudent ensemble, s'épaississent et fusionnent en une pseudo-baie globuleuse ou arrondie. Cette dernière appelée également « un galbule », contenant des graines, dressées, presque anguleuse, arrondies, à tégument osseux, parfois soudées de manière à former une sorte de faux noyaux (cas de *J. drupacea*). L'embryon est anti-trope dans l'axe d'un albumen charnu de même longueur que lui (Gaussen, 1968b ; Callen, 1976 ; Adams, 2014a).

1.4.5 Germination, régénération et croissance

Selon Deborah & Joseph (1995), la germination des espèces du genre *Juniperus* qui varie selon les espèces, se fait au printemps. Elle peut être retardée jusqu'à deux ans en raison de la dormance embryonnaire, l'enveloppe imperméable des graines et les inhibiteurs chimiques (Johnsen & Alexander, 1974). Les espèces de ce genre ont la capacité de croître lorsque les conditions favorables sont presque inexistantes (Johnsen, 1962). C'est probablement la raison pour laquelle la croissance de nombreuses espèces de ce genre reste mal connue. La plupart des jeunes plants se retrouvent généralement sous l'ombrage d'arbres ou d'arbustes dont le feuillage est souvent bien surélevé et moins dense. L'ombrage modère leur microclimat, accélère la croissance. La survie des semis dont les graines germent à l'air libre, est moins certaine. Mais, lorsque ces semis survivent la première année à l'air libre, ils deviennent plus gros que ceux qui ont poussés dans des microsites ombragés (Meeuwig & Bassett, 1983 ; Harrington, 1987). Plusieurs autres facteurs climatiques influent sur la germination des graines (telle que l'humidité) (Gottfried, 1987). L'âge aussi peut jouer un rôle du fait que la croissance des espèces diminue généralement avec l'âge. En outre, la concurrence exercée par les herbacées limitent la régénération des semis. Mais, ces plants survivent même à la sécheresse lorsque la densité d'enracinement est très importante

(Johnsen, 1962). La régénération végétative a lieu chez certaines espèces comme *J. deppeana* (Steud.) (Jameson & Johnsen, 1964 ; Gottfried, 1989).

1.4.6 Système racinaire et substrat

Le genre possède deux types de racines, pivotantes et latérales. La croissance de ces racines diffère selon les espèces. Les racines pivotantes se trouvent à une profondeur de 0,5 à 3,7 m tandis que celles des latérales sont souvent enfoncées dans le sol (90 cm). Concernant les espèces à une seule graine, le type latéral a une longueur de 2,5 à 3 fois, par rapport à la hauteur de tout l'arbre. Les racines peuvent occuper la plupart des zones inter spatiales en cherchant les éléments nutritifs. Les champignons mycorhiziens ne semblent présents que sur des racines saines (Gottfried, 1989 ; Ronco, 1990 ; Deborah & Joseph ; 1995).

Les genévriers colonisent différents types de sols, ils préfèrent des sites ouverts et ensoleillés dont les sols sont bien drainés, superficiels et rocaillieux (Gauquelin, 2006 ; Westerfield, 2009).

1.4.7 Dissémination

Les espèces du genre *Juniperus* sont principalement dispersées par ornithochorie. Le cône femelle a été modifié (a évolué) pour ressembler à un fruit charnu qui attire les oiseaux disséminateurs et fournit une valeur nutritive significative, avec les graines non digérées excrétés (plus aptes à la germination). Il y a aussi certains mammifères, notamment les canidés et les fourmis moissonneuses qui ingurgitent aussi les galbules, digèrent la partie charnue et restituent les semences qui vont germer plus facilement, ce qui a permis aux espèces du genre de coloniser des espaces insulaires, en leur donnant un caractère invasif (Johnsen, 1962 ; Gaussen *et al.*, 1982 ; Seigue, 1985 ; Gauquelin, 2006 ; Adams & Thornburg, 2010).

1.4.8 Longévité et phytopathologie

Il n'y a pas de données pour la plupart des espèces, mais des âges d'environ 2000 ans ont été recensés pour l'espèce *J. scopulorum* Sarg. (Adams, 1993). Les espèces ont leurs propres maladies, agents pathogènes, insectes et parasites. C'est l'exemple des Coléoptères qui attaquent les rameaux (genre *Phloeosinus* Chapuis), les rouilles (genre *Gymnosporangium* R. Hedw. ex DC.) qui causent la formation des galles, la maladie des balais de sorcière, etc. et

le gui (genre *Phoradendron* Nutt.), qui se répartit par ornithochorie, et cause généralement des dommages non négligeables (Deborah & Joseph, 1995 ; Weber *et al.*, 1995).

1.5 Intérêts et usages

De nombreux cultivars d'espèces du genre *Juniperus* sont largement utilisés pour l'aménagement paysager (Adams, 1993). Le bois est parfumé, habituellement rougeâtre ou brun-rougeâtre, avec une finition lisse très attrayante, facile à travailler, très durable et rarement blessé par les insectes (Dallimore *et al.*, 1967 ; Herbst, 1978). Il est robuste résistant à la décomposition, cela le rend particulièrement utile essentiellement pour la fabrication des poteaux de clôture, les panneaux durs, la construction, le carburant, et les autres usages domestiques. Aussi, il peut être séché avec succès, traité et transformé en produits (Dallimore *et al.*, 1967 ; Herbst, 1978). Beaucoup de populations autochtones ont utilisé le feuillage aromatique et les résines pour des intérêts médicaux ou spirituels. Ses huiles essentielles obtenues par la distillation de certaines parties végétatives (bois, feuilles, tiges et baies) diffèrent selon les espèces, elles sont utilisées pour la parfumerie et savonnerie, parfois en médecine (propriétés diurétiques et dépuratives, activité hypoglycémique, etc.). Les baies sont aussi utilisées pour parfumer certaines viandes (Porc), lors de la préparation d'une choucroute (Dallimore *et al.*, 1967 ; Callen, 1976 ; Laszlo, 2000 ; Schirner, 2004).

2. Aperçu sur le genre *Juniperus* L. en Algérie

2.1 Généralités

En Algérie, ce genre est aussi bien représenté (Maire, 1952 ; Quézel & Santa, 1962). On en compte cinq espèces, parmi lesquelles deux sont très rares (*J. thurifera* et *J. sabina*), une rare (*J. communis*) et les deux dernières, dans un état de dégradation intense, localisées dans les régions semi-arides et arides (*J. oxycedrus* et *J. phoenicea*). Un hybride entre ces deux dernières espèces a été signalé par les populations locales des hauts-plateaux du centre dénommé « *cherkiya* » en arabe local (qui signifie, associé ou hybride). Il comporte les deux formes de feuillage (des aiguilles et des écailles) sur le même rameau des sujets adultes.

La disponibilité d'études d'aménagement forestiers (O.N.T.F, 1979-1982 ; B.N.E.F, 1983-1984; S.E.R.T.F/DGF, 2009 et BNEDER, 1981-2010) et de flores connues (Maire, 1952 ; Quézel & Santa, 1962) (Tableau 2) ainsi qu'un ensemble de travaux publiés ou non, relatifs aux genévriers algériens (thèses et articles) révisés, nous a permis une bonne documentation et de ce fait d'établir une carte de répartition du genre *Juniperus* en Algérie (Figure 4).

Chapitre I. Présentation du genre *Juniperus* L.

La répartition des genévriers est donc résumée comme suit :

- L'Oxycèdre (*J. oxycedrus*) et le Phénicie (*J. phoenicea*) qui représentent les taxons les plus répandus en Afrique du nord s'étendent depuis les dunes littorales jusqu'aux limites sahariennes sur deux habitats principaux : les hauts plateaux, incluant les montagnes de l'intérieur, et les dunes littorales ;
- Le Commun (*J. communis*) pousse dans quelques monts de l'Atlas tellien (Djurdjura) et Saharien (Aurès) ;
- Le Thurifère (*J. thurifera*) est localisé uniquement aux Aurès, terminaison orientale de l'Atlas saharien ;
- Le Sabine (*J. sabina*), le plus rare des genévriers algériens, se répartit seulement sur les hautes altitudes du Djurdjura.

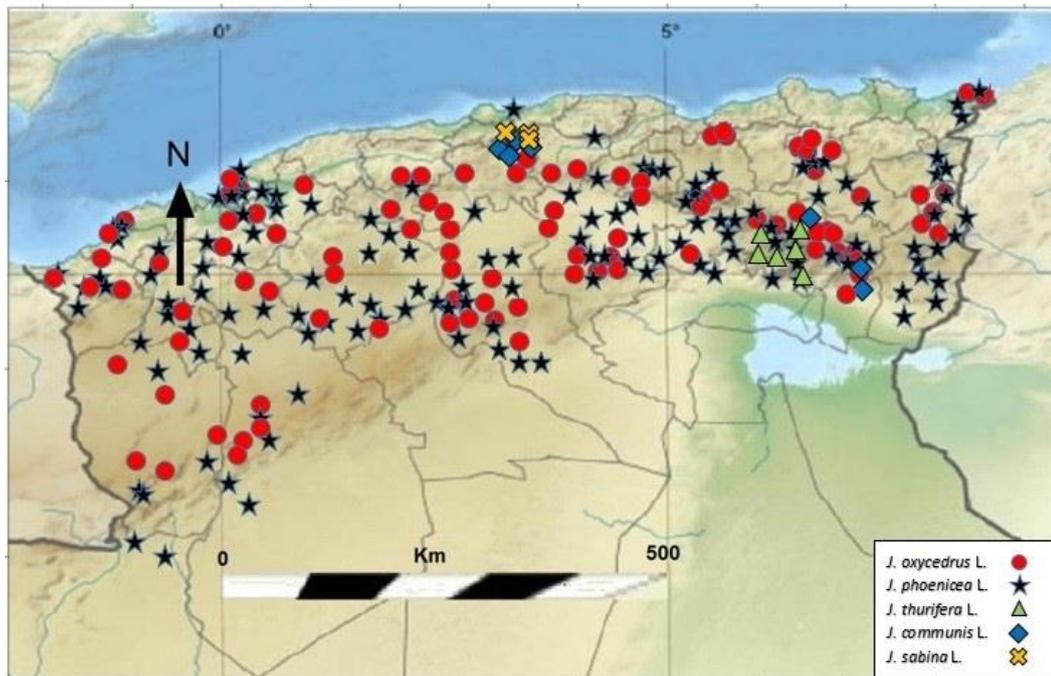


Figure 4. — Aire naturelle de répartition des espèces du genre *Juniperus* L. en Algérie.

Tableau 2. Caractéristiques botaniques et répartition géographique des genévriers en Algérie selon (Maire, 1952) et (Quézel & Santa, 1962).

Genre	Section	Espèces et répartition	
<p>Juniperus L. (Maire, 1952).</p> <p>Cône (galbule) -charnu à 3-6 -écailles portant un seul ovule</p> <p>Feuilles -Aciculaires -squamiformes</p>	<p>Oxycedrus Spach (2 espèces) (Maire, 1952).</p> <p>Feuilles -aciculaires articulées à la base, -verticillées par trois.</p> <p>Galbules -à trois écailles, -à graines non conrescentes</p>	<p>Juniperus communis L. (1 variété) - Var. hemisphaerica (Presl) Parl. : Feuilles offrant en-dessus (au moins dans la partie supérieure) une seule bande blanchâtre (la nervure médiane étant invisible). «Fruits» mûrs bleus ou noir-bleuâtres, couverts d'une efflorescence glauque ; de 5-7 mm de diamètre. Buisson bas ne dépassant pas 150 cm, souvent hémisphérique. Répartition : Pelouses et rocailles des hautes montagnes, Djurdjura, Aurès (Quézel et Santa, 1962).</p>	
		<p>Juniperus oxycedrus L. (2 sous-espèces) - Subsp. rufescens (Link) Deb. : Fruit mûr, rougeâtre, de 6-15 mm de diamètre. Fleurs mâles subglobuleuses et 1 mm de diamètre. Répartition : Plante des forêts de montagne, dans toute l'Algérie (Quézel et Santa, 1962). - Subsp. macrocarpa (S. et Sm.) Ball : Fruit mûr brun-rouge, de 8-15 mm de diamètre. Fleurs mâles ovoïdes, de 1,5-2 mm (il existe des formes de passage entre les 2 subsp.). Répartition : Plante des dunes de tout le littoral, venant très exceptionnellement à l'intérieur (Quézel et Santa, 1962).</p>	
	<p>Graines : non ailées</p> <p>Embryon : 2 cotylédons.</p>	<p>Sabina Spach (3 espèces) (Maire, 1952).</p> <p>Feuilles -squamiformes chez l'adulte, -non articulées avec le rameau et décourtes sur lui, -opposées ou verticillées par trois</p> <p>Galbule : 4-9 écailles</p> <p>Graines : non conrescentes</p>	<p>Juniperus phoenicea L. (2 variétés) Feuilles verticillées par 3, étroitement imbriquées sur 6 rangs, ovales obtuses. Fruits rouges, de 6-15 mm de diamètre, luisants à maturité. Plante monoïque de 4-8 m (Quézel et Santa, 1962). Présence de deux variétés : Var. eu-phoenicea (M. & We.) et Var. turbinata (Guss.) Parl. (Maire, 1952). Répartition : Dunes littorales, collines, montagnes (Quézel et Santa, 1962).</p>
			<p>Juniperus thurifera L. (1 variété) - Var. africana Maire : Arbre pouvant atteindre 20 m. Ramules ± tétragones. Galbules de 6-8 mm réticulés, portés par des rameaux dressés. Plante dioïque. Répartition : Pelouses sèches des hautes montagnes, Aurès (Quézel et Santa, 1962).</p> <p>Juniperus sabina L. - Arbrisseau ou arbuste ne dépassant pas 4 m. Ramules subcylindriques. Fruits non réticulés, portés par des ramules ± arqués. Plante monoïque ou dioïque. Répartition : Rochers des hautes montagnes, Djurdjura (Quézel et Santa, 1962).</p>

2.2 Monographie des espèces rencontrées en Algérie

2.2.1 *J. oxycedrus* L.

2.2.1.1 Répartition et description

Le Genévrier oxycède (*J. oxycedrus* L.), est appelé Genévrier cade en français ou « Taga » en arabe dialectal. Il est nettement circumméditerranéen (Boudy, 1952). Il se trouve à toutes les expositions, essentiellement dans les plaines semi-arides de basses altitudes (500 à 1000 m) mais s'adapte bien à l'étage sub-humide (jusqu'à 3000 m en état de broussaille au Maroc). Ainsi, il forme des peuplements d'allure forestière sur les dunes de sables et les sols érodés (Gausson, 1968b ; Seigue 1985 ; Laszlo, 2000).

C'est un arbre ou arbuste de 10-15 m de hauteur (Fig. 5), monopodial ou sympodial (Farjon, 2010). Son port est compact ou buissonnant étalé (Quézel, 1980) avec une écorce mince et grisâtre qui se détache en fines lanières (Seigue 1985). Les branches sont étalées ou érigées vers le bas (Farjon, 2010). Les feuilles sont aciculaires, verticillées par trois, avec une marge entière, présentant deux bandes blanches des stomates à la face supérieure, séparées jusqu'au sommet ou presque par une nervure médiane verte saillante (Maire, 1952 ; Seigue, 1985). L'apex est, épi-stomatique, plus ou moins aigu, piquant. Les cônes mâles sont de forme sub-globulaire à ovoïde (3-4 x 2-3 mm) et de couleur jaunâtre à brunâtre, portant 4-6 sacs polliniques abaxiales.

Les baies matures sont globuleuses ou ovoïdes (8-20 mm de long), lisses ou rigoureuses, plus ou moins résineuses, brun oranges ou brun violâtres, parfois, glauques ou pruveuses. Les graines sont 2 à 3 par galbule, brunes, triangulaires- ovoïdes, légèrement aplaties (5-12 x 4-8 mm) (Farjon, 2010).

En outre, ce taxon a un rôle écologique considérable du fait de sa résistance à la sécheresse (Riou-Nivert, 2001) donc à la dégradation des sols et à la pression anthropique, surtout dans les régions les plus arides. Il joue aussi une action de remplissage dans les forêts pauvres (Callen 1976 ; Seigue 1985). Son bois homogène et très dur, a divers usages (Callen 1976 ; Seigue 1985). Les baies sont utilisées pour l'extraction d'huile de cade (Debazac, 1991) qui est un remède multi-usager (Laouer, 1985).

Par ailleurs, il est souvent attaqué par *Arceuthobium oxycedri* (DC.) M. Bieb., une plante hémiparasite rare (*Santalaceae* R.Br.) et l'un des principaux parasites obligatoires de plusieurs espèces des *Cupressaceae*, essentiellement celles du genre *Juniperus* (Ciesla *et al.*, 2004 ; Akkol *et al.*, 2010 ; Gajšek *et al.*, 2012).

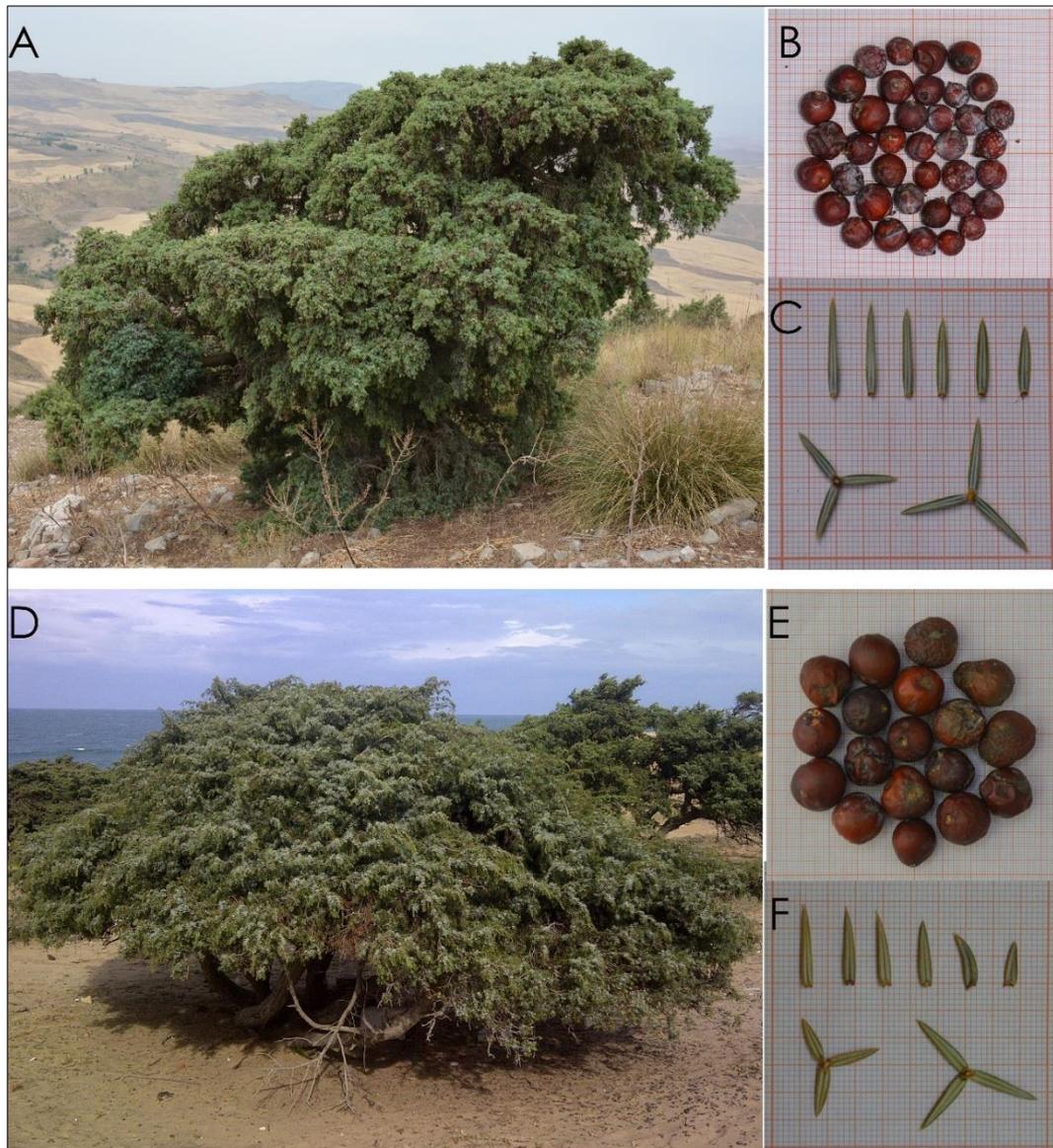


Figure 5.— Photographies montrant l'aspect général de *J. oxycedrus* en Algérie. (A-C) ssp. *oxycedrus* dans la station de Chikh Zouaoui (Constantine) : A- allure générale ; B- galbules et C- aiguilles. (D-F) ssp. *macrocarpa* dans la station de Messida (El-Kala) : D- allure générale ; E- galbules et F- aiguilles.

En Algérie, l'Oxycède est très commun dans le sous-bois et les zones dégradées des régions semi-arides. Il s'étend sur une superficie de 112 000 ha, depuis les dunes littorales jusqu'aux limites du grand Sahara, soit sous la forme d'un arbre de 10 m de hauteur avec un tronc de 1m de diamètre, soit, plus souvent, sous la forme d'un arbuste buissonnant plus petit (Boudy, 1950 ; Maire, 1952 et Quézel & Santa, 1962).

2.2.1.2 Systématique

Du point de vue systématique, cette espèce ne soulève pas, *a priori*, autant d'interrogations que ses congénères (Genévriers commun et nain, Thurifère et de Phénicie) (Lebreton *et al.*, 1991). Farjon (2005-2010) et Farjon & Filer (2013) ont subdivisé l'Oxycèdre en quatre sous-espèces : **1/** ssp. *macrocarpa* (Sibth. & Sm.) Ball, **2/** ssp. *badia* (H. Gay) Debeaux, **3/** ssp. *transtagana* (Franco) et enfin **4/** ssp. *oxycedrus*. En parallèle, d'autres études (Adams, 2000, 2014a), considèrent le taxon *macrocarpa* comme espèce distincte selon des critères morphologiques et moléculaires. Selon Maire (1952) et Quézel & Santa (1962), deux sous-espèces ont été décrites sur des bases morphologiques : la ssp. *macrocarpa* (Sibth. & Sm.) Ball et la ssp. *rufescens* (Link) Asch. & Graebn. Lebreton *et al.* (1998) rapportent que ce dernier taxon dénommé *J. oxycedrus* ssp. *rufescens* est considéré comme illégitime par Flora Europaea et la Med- Checklist, car il est synonyme de *J. oxycedrus sensu stricto*. En 2005, Farjon a décrit un nouveau taxon en Algérie, la sous-espèce *badia* «l'oxycèdre des Haouaras», localisée par Gay et Bailly en 1988, à environ 20 km à l'est de Médéa, que Maire (1952) avait considérée comme forme de la sous-espèce *rufescens* (Link) Asch. & Graebn. Plus tard, Gaussen (1968b), considéra comme autant d'espèces distinctes de la section II, *Oxycedroides*, du sous-genre *Oxycedrus*, les trois taxons *J. rufescens* (Link), *J. macrocarpa* (Sibth. & Sm.) et *J. oxycedrus* ainsi que le *J. brevifolia* (Seub. Antoine), subordonné à l'oxycèdre comme variété (*J. oxycedrus* L. var. *brevifolia* Seub.).

2.2.2 *J. communis* L.

2.2.2.1 Répartition et description

Le genévrier commun (*J. communis* L.) (Fig. 6), est une espèce à très large répartition de l'hémisphère nord, en Europe, dans le nord de l'Asie, en Amérique du nord. Il est très rare dans les montagnes d'Afrique du nord. Il présente de nombreuses formes différentes selon les régions géographiques (Quézel & Santa, 1962). Il a la plus grande distribution géographique des genévriers. C'est la seule espèce trouvée dans les hémisphères orientaux et occidentaux (Adams, 2014a). En Algérie, cette espèce pousse dans quelques massifs forestiers dans les hautes altitudes l'Atlas tellien (Djurdjura) et Saharien (Aurès) (Maire, 1952). C'est une essence de pleine lumière qui résiste très bien au froid et à la sécheresse. Elle peut passer l'hiver enterrée avec son port sous la neige.

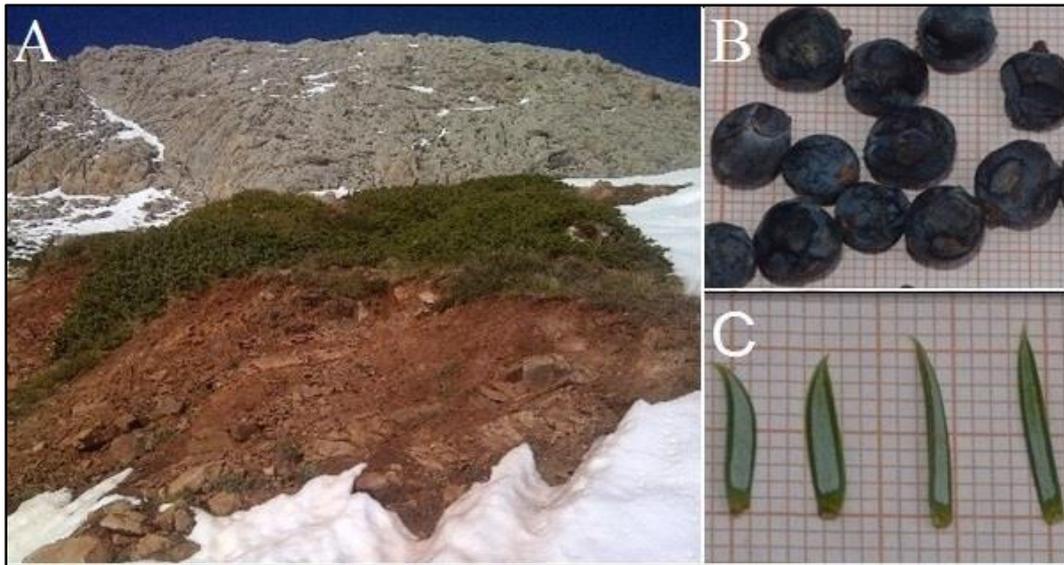


Figure 6.— Photographies montrant l’aspect général de *J. communis* de la station d’Irghissen à Tikjda en Algérie (A, arbrisseau étalé ; B, galbules et C, aiguilles).

Cette espèce dioïque, rarement monoïque, forme des buissons bas, souvent hémisphériques s’élevant dans les lieux abrités jusqu’à 1,50 m (exceptionnellement, 2,50 m) à feuillage dense (Maire, 1952 ; Farjon, 2010). Le port est un peu épais, irrégulier, sillonné, ayant une écorce mince, de couleur cannelle à brune, s’exfoliant en lanières larges (Callen, 1967 ; Dupont & Guignard, 2007 ; Adams, 2014a). Les branches sont descendantes, écartées ou érigées. Les ramules jeunes sont triquêtes et d’une couleur brun-clair, par contre, les rameaux âgés sont gris-bun (Farjon, 2010). Les feuilles, assez courtes (dépassant peu 1 cm de long et 1-2 mm de large) sont aciculaires, verticillées par trois, rarement par quatre, rigides avec une bande stomatifère (ou double à la base) blanchâtre sur la face supérieure. La marge est étroite et entière. L’apex est obtus, acuminé (Maire, 1952 ; Farjon, 2010 ; Adams, 2014a). Les cônes mâles sont de forme sub-globulaire à ellipsoïdales (3-5 mm de long), portant 3-6 sacs polliniques abaxiales. Les baies mûres sont pulpeuses, de forme globuleuse, généralement ovoïde (4-13 mm de diamètre) et de couleur rouge violâtre à noir brunâtre. Les graines sont triangulaires, oblongues, légèrement brunes, avec un apex aigu (Farjon, 2010).

Ce taxon s’adapte bien aux différents types de terrains (Riou-Nivert, 2001). Il peut faciliter l’installation d’autres essences (cas des jeunes semis de Cèdre) et décourager le bétail par la protection de son feuillage piquant (Gaussen, 1968b ; Mediouni & Yahi, 1989). Le commun est généralement utilisé comme une plante ornementale. Ainsi, il a des vertus médicinales (activité antimicrobienne et anti-oxydante) (Farjon, 2001 ; Schirner, 2004 ; Pepeljnjak *et al.*, 2005 ; Kumar *et al.*, 2010).

2.2.2.2 Systématique

La variation intraspécifique de *J. communis* est très complexe, et les études existantes ne l'ont pas résolue (Adams, 2014a). Farjon (2005) a discuté essentiellement cinq variétés : **1/** var. *communis*, **2/** var. *depressa* Pursh, **3/** var. *magistocarpa* (Fernald & H. St. John), **4/** var. *nipponica* (Maxim.) E. H. Wilson et **5/** var. *saxatilis* Pall. Puis, il a examiné d'autres formes : var. *montana* Aiton et var. *nana* (Wild.) Baumg avec la ssp. *pygmaea* (K. Koch) Imkhan. Mais cet auteur n'a pas reconnu la var. *hemisphaerica* (J. & C. Presl) Parl., de la région méditerranéenne.

Les analyses effectuées par Adams (2014a) sur la base de l'ADN, la morphologie et la physiologie des différents taxons de *J. communis*, ont conclu la distinction des cinq variétés reconnues par Farjon (2005) en plus de quatre nouvelles décrites : **6/** var. *charlottensis* R.P. Adams (Adams, 2008), **7/** var. *kamchatkensis* R.P. Adams (Adams & Schwarzbach, 2012), **8/** var. *kelleyi* (Adams, 2013) et **9/** var. *hemisphaerica* (J. & C. Presl) Parl. (Adams, 2014a).

En Afrique du nord, Maire (1952) et Quézel & Santa (1962) ont décrit une seule forme (var. *hemisphaerica*) de sorte que Maire (1952) l'a subordonnée à la sous-espèce *eu-communis* (Syme), mais, Farjon (2005) et Adams (2014a) ont traité cette dernière (Subsp. *eu-communis*) comme *J. communis* var. *communis*. En plus, Franco (1962) a examiné des spécimens de ce taxon, issus de sept pays méditerranéens (Turquie, Bulgarie, Grèce, Sicile, France, Espagne et Algérie) et les ont considérés comme synonymes de la sous-espèce *hemisphaerica* (J. & C. Presl.) Nyman. Cette dernière est abondante dans les Aurès et le Djurdjura, en Algérie (Maire, 1952). Quézel & Barbero (1989) qui ont classé *hemisphaerica* dans le rang des sous-espèces, l'ont considérée comme intermédiaire entre la ssp. *communis* et la ssp. *nana* (Hook.) Syme.

2.2.3 *J. phoenicea* L.

2.2.3.1 Répartition et description

Le genévrier de phénicie (Fig. 7) ou le genévrier rouge (*J. phoenicea* L.) est une espèce typiquement méditerranéenne (Gaussen, 1968b ; Farjon, 2010). Il représente le taxon le plus répandu en Afrique du nord où il s'étend sur une altitude entre 1 m et 2400 m, depuis les dunes littorales jusqu'aux limites sahariennes. Il est pour ainsi dire confiné à l'étage semi-aride où on le trouve sur toute une gamme de sols (sols pierreux et les roches calcaires) (White, 1986 ; Quézel & Gast, 1998 ; Farjon, 2010).



Figure 7.— Photographies montrant l'aspect général de *J. phoenicea* de la station Dayat Belkhir (Djelfa) en Algérie (A, arbrisseau dressé ; B, feuilles écailleuses et C, galbules).

L'espèce est monoïque, rarement dioïque, elle existe généralement dans des peuplements ouverts et dégradés, soit sous forme d'un arbre de 8 à 12 m de hauteur avec un tronc de 0,60 m de diamètre, soit sous forme d'un petit arbuste buissonnant (Maire, 1952 ; White, 1986 ; Farjon, 2010). Le tronc ou les branches larges écailleuses sont exfoliants en longues bandes, de couleur grise. Les branches étalées ou obliques sont souvent incurvées ou inclinées. Les petites branches ont des formes de touffes à la fin des branches principales. La couronne est conique chez les sujets jeunes et devient arrondie et irrégulière chez les sujets adultes (Farjon, 2010). L'écorce d'un brun rouge, légèrement lamelleuse fibreuse, devient assez épaisse. Son système racinaire est profond (Rameau *et al.*, 2008). Les feuilles sont décussées, parfois alternatives, à marge entière ou denticulée, de couleur vert clair brillant ou vert grisâtre avec un apex obtus. Les cônes mâles (2-4 mm) sont nombreux, sur les ramifications finales, de forme ovoïde ou cylindrique courte, portant des sacs polliniques abaxiales. Les cônes femelles qui grandissent dans deux saisons, sont mous, pulpeux ou fibreux, parfois prumineux de forme subglobuleuse ou ovoïde, et de couleur ochracée, rouge-marron, noir-violacé. Les graines sont 3-8 par cône, relativement petites inégales, 4 mm de long et aplaties (Farjon, 2010).

En outre, le genévrier rouge joue un rôle écologique considérable du fait qu'il se comporte comme un élément de forte résistance à la désertification et à la pression de

l'homme et de ses troupeaux (Taleb, 2007). Il s'adapte à des contextes climatiques méridionaux variés : héliophile, se rencontre en station sèche à l'étage thermo méditerranéen à l'étage montagnard et xérophile, c'est l'espèce qui résiste le mieux à l'aridité et au froid (Rameau et al., 2008). De nos jours, en montagne et sur les dunes, il doit être considéré comme une essence de protection (Taleb, 2007). Cette espèce est rarement prise en culture dans les pays méditerranéens. Son bois est utilisé dans la région maghrébine dans la construction, le chauffage et la fabrication des poteaux. Ses cônes femelles rougeâtres plus au moins succulents peuvent être utilisés dans la cuisine et les boissons alcooliques (Farjon, 2010).

En Algérie, le genévrier rouge se répartie sur une grande surface (290.000 ha) (Boudy, 1952), ce qui lui confère une plasticité évolutive et des stratégies adaptatives vis-à-vis des diverses contraintes écologiques (zones semi-arides et littorales). Ainsi, Il joue un rôle important surtout dans la protection des arido-sols et des zones fragilisées par la désertification et thérophytisation ainsi que dans la fixation des dunes littorales, néanmoins, actuellement, il se trouve dans un état de dégradation intense.

2.2.3.2 Systématique

La signification taxonomique des *Juniperus* se rattachant au complexe *phoenicea* est encore discutée (Quézel & Médail, 2003). Maire (1952), a subdivisé cette espèce en deux variétés sur des bases morphologiques : **1/** la première var. *eu-phoenicea* (M. & We.) avec trois formes, représentant les populations intérieures, notamment en montagne (la f. *sclerocarpa* (M. & W.) à galbules durs, la f. *mollis* (M. & We.) à galbules mous, et la f. *megalocarpa* (Maire) avec ses gros galbules mous). **2/** la seconde var. *turbinata* (Guss.) Parl. du milieu littoral. Ensuite, Gaussen (1968b) a identifié essentiellement cinq variétés : **1/** var. *turbinata* (Guss.) Parl. du littoral méditerranéen, **2/** var. *canariensis* (Guyot) dans les Iles Canaries, **3/** var. *lycia* (L.) (sensu *J. phoenicea*) en France avec celles du Maroc (**4/** var. *mollis* M. & We. et **5/** var. *megalocarpa* Maire).

Plus tôt, Lebreton & Thivend (1981) ont décrit un autre taxon (ssp. *eu-mediterranea* (Lebr. & Thiv)) que Adams et al. (2002) reconsidéra autant que conspécifique de la var. *turbinata* (Guss.) Parl. Ensuite, Rivas-Martinez et al. (1993) ont promu ces deux taxons au rang d'espèce : *J. phoenicea* L. du sud-ouest européen et *J. turbinata* (Guss.) avec deux sous-espèces [ssp. *turbinata* Guss. (circumméditerranéenne et maghrébine) et ssp. *canariensis* (Guyot & Mathou) Rivas-Martinez (des Iles Canaries)]. Lebreton & Pérez de Paz (2001) ont

adopté une position semblable à celle de Martinez *et al.* (1993) et ont, de ce fait, confirmé l'existence de deux taxons bien différenciés, élevés au rang d'espèces en se basant sur la teneur en prodelphinidine et du nombre de graines : *J. phoenicea* L. et *J. turbinata* Guss. De plus, ces auteurs ont subordonné à la sous-espèce *turbinata* (Guss.) Parl., deux variétés : la var. *occidentalis* et la var. *orientalis*, respectivement, en Méditerranée occidentale et orientale avec un chimiovar « *montana* » à l'intérieur du Maghreb (Maroc et Algérie). Plus tard, les deux taxons intraspécifiques de Maire (1952) ont été reconnus comme deux sous-espèces bien distinctes par Farjon (2005-2010) et Farjon & Filer (2013) : la ssp. *phoenicea* et la ssp. *turbinata* (Guss.) Nyman [sensu var. *phoenicea* et var. *turbinata* (Guss.) Parl.] par Adams (1996)]. Récemment, et sur la base des données de séquençage d'ADN (Adams & Schwarzbach, 2013 ; Adams, 2014a) ont suivi l'hypothèse de Martinez *et al.* (1993) et Lebreton & Pérez de Paz (2001) et ont procédé à la révision du rang taxonomique de la var. *turbinata* en la qualifiant d'espèce à part entière (de *J. turbinata* Guss. à *J. phoenicea* L.).

2.2.4 *J. thurifera* L.

2.2.4.1 Répartition et description

Le genévrier thurifère (Fig. 8) est un arbre ou arbuste dioïque, parfois monoïque (Farjon, 2010), de port très variable, à feuilles en écailles et à galbules noirs bleuâtres à maturité. Il est exclusivement méditerranéen occidental, présent en Europe (France, Espagne et Italie) et Nord-Africain (Maroc et Algérie). Son aire de répartition est très fragmentée, témoignant soit d'une régression de l'espèce ne laissant que des « îlots » à partir d'une aire ancienne beaucoup plus large, soit d'une colonisation de milieux particuliers, répondant aux exigences écologiques strictes de l'espèce (Borel *et al.*, 1983 ; Conrad, 1986 ; Gauquelin *et al.*, 2003). Il se développe sur tous les substrats, en milieu rocailleux et sur les éboulis fixés, essentiellement aux étages montagnards et oroméditerranéens, en bioclimat sub-humide et surtout semi-aride (Quézel & Gast, 1998).

Cette espèce est de forme conique compact à l'état jeune s'élargissant avec l'âge, pouvant atteindre jusqu'à 20 m de hauteur. Le tronc est très ramifié (5 m de diamètre) et se caractérise par l'exfoliation de son écorce bronze marron (Maire, 1952 ; Quézel & Santa, 1962 ; Adams, 2014a). Les feuilles sont des écailles (1,5-2 mm de long), allongées et aiguës, entières ou légèrement denticulées, opposées et disposées sur quatre rangs avec une glande résinifère sur la face dorsale, mais libres dans leurs apex aigus, réunies en ramules plus ou moins quadrangulaires (Maire, 1952 ; Rameau *et al.*, 1993; Adams, 2014a). Les baies sont charnues, pruneuses, de forme sub-globuleuse, de couleur pourpre verdâtre (immatures) et

noires pourpres (complètement mures), et à chair assez molle, solitaires au sommet de ramules très courts dressés. Elles atteignent leur maturité au bout de deux ans (Gauquelin *et al.*, 1988 ; Adams, 2014a). Les graines sont libres, ellipsoïdes subtrigones, orangées-roussâtres, luisantes, lisses, portant quelques glandes résinifères arrondies sur la base seulement. Leur nombre varie selon la variété (Maire, 1952 ; Adams, 2014a). La dispersion du pollen est assurée par voie anémophile (Adams, 2014a). La dissémination se fait essentiellement par ornithochorie (Gauquelin *et al.*, 1999).

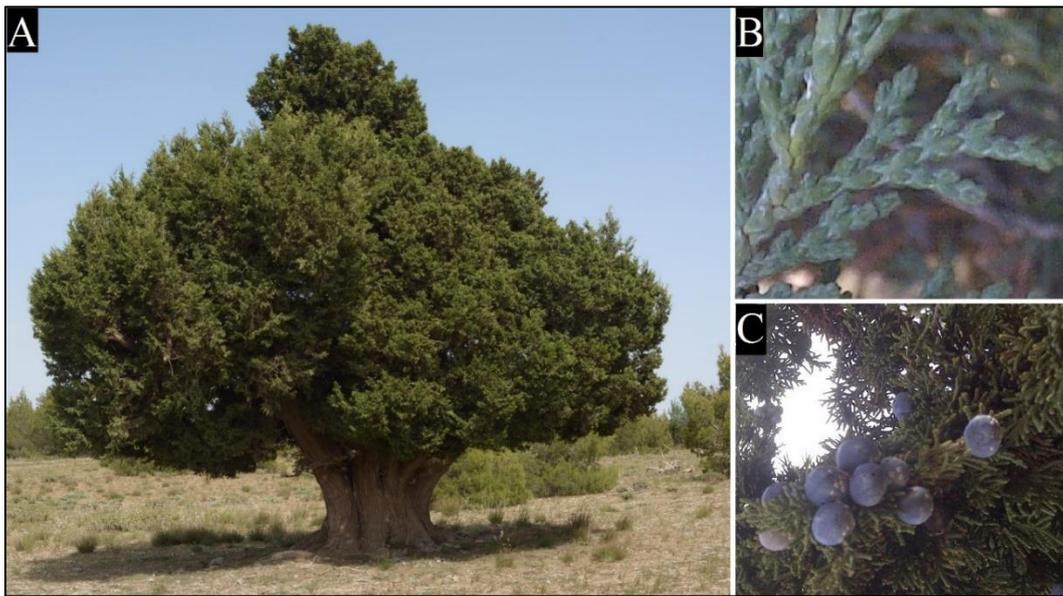


Figure 8.— Photographies montrant l'aspect général de *J. thurifera* L. de la station Tafrent (Khenchela) en Algérie (A, arbre dressé ; B, feuilles écailleuses et C, galbules).

En plus, Il présente une multitude d'intérêts, écologique, socioéconomique, floristique, scientifique et culturel dans toute son aire de répartition (Gauquelin *et al.*, 1999). Cet arbre relictuel, multi centenaire, n'a cessé de susciter des intérêts auprès des chercheurs scientifiques. Il est soumis, depuis de longues périodes, aux sévères et fluctuantes conditions naturelles et anthropiques. Il témoigne d'une parfaite adaptation aux différentes contraintes auxquelles il est exposé (Ouhammou *et al.*, 2013). En Algérie, le thurifère est uniquement localisé aux Aurès, terminaison orientale de l'Atlas saharien. Il se répartit selon trois ensembles principaux d'inégale importance (T'kout, Oued Abdi et Tibhirine) et à d'autres localités dont il est dominé par d'autres essences forestières et n'arrive pas à individualiser des formations distinctes (Beghami *et al.*, 2013).

2.2.4.2 Systématique

Plus de deux siècles et demis (260 années) depuis la description du *J. thurifera*, sa variabilité intraspécifique ne semble pas définitivement acquise (Villar, 2013). Classiquement, cette espèce était subdivisée en trois variétés : **1/** var. *gallica* (Coincy) pour la France ; **2/** var. *hispanica* Miller regroupant les peuplements de la péninsule Ibérique et **3/** la var. *africana* Maire Nord-Africaine. Après presque un siècle des auteurs (Gauquelin *et al.*, 1988 ; Barbero *et al.*, 1994 ; Gauquelin & Lebreton, 1998) ont proposé, sur des bases morphologiques et phytochimiques, de sectionner ce taxon en deux sous-espèces : *J. thurifera* ssp. *africana* (Maire) (Gauquelin, Hassani et Lebreton) pour les populations nord-africaines et *J. thurifera* ssp. *thurifera* pour les populations européennes avec trois chimiovars pour cette dernière (*hispanica*, Espagne ; *gallica*, France et *corsicana*, Corse). Farjon (2005-2010) n'a pas adopté cette organisation intraspécifique en raison du nombre limité de spécimens d'herbiers étudiés par les auteurs précédents. Adams *et al.* (2003) ont confirmé cette séparation entre les deux populations (européenne et nord-africaine) en les déclassant dans le rang de variétés (var. *africana* et var. *thurifera*).

Plus récemment, une série d'études menées sur les populations nord-africaines (Terrab *et al.*, 2008 ; Vela & Schäfer, 2013), ont conduit probablement à la distinction taxonomique entre les populations marocaines et algériennes. Autrement-dit, un troisième sous-ensemble est presque inconnu (Beghami *et al.*, 2013) pour les populations algériennes et reste une hypothèse proposée (var. *aurasiaca*) par Gauquelin et Vela (Villar, 2013). Cette entité algérienne est constituée des populations, très isolées géographiquement et en position « intermédiaire », plutôt affine à la sous- espèce marocaine du point de vue morphologique et à la sous-espèce européenne du point de vue du polymorphisme génétique (Vela & Schäfer, 2013). Également, un hybride entre *J. thurifera* L. et *J. phoenicea* L., dénommé *J. x palancianus*, a été décrit par Aparicio *et al.*, (2006) à l'est de l'Espagne.

2.2.5 *J. sabina* L.

2.2.5.1 Répartition et description

Juniperus sabina L. (Fig. 9) (section *Sabina*), est un arbuste ou arbrisseau, monoïque ou dioïque, très rameux dès la base, formant des buissons très touffus, verts, dépassant rarement 1-1,5 m, mais pouvant atteindre 3-4 m dans les stations abritées (Maire, 1952 ; Farjon, 2010). Le feuillage se présente en deux types : 1/ Des feuilles aciculaires de 4 mm de long, avec une ou deux bandes stomatiques au stade juvénile. 2/ Des feuilles squamiformes au

stade adulte, décussées, imbriquées et appressées à la base, ovales, obtuses à subaiguës avec des glandes centrales elliptiques, bien visibles. La marge est entière avec un apex obtus à aigu. Ces écailles sont épi-stomatiques ou amphi-stomatiques (stomates formant deux petites bandes) (Gaussen, 1968b ; Farjon, 2010). Les fleurs mâles sont jaunes pâles, ovales, dressées, renferment 10 à 15 étamines et 3 à 4 sacs polliniques dans les anthères arrondies. Les fleurs femelles sont de petite taille et verdâtres, se forment au début de juillet mais l'ovule n'est bien formé qu'en octobre (Gaussen, 1968b). Les baies (4- 8 mm de long), deviennent mûres de 1 à 2 ans. Elles sont pulpeuses, résineuses, pruneuses, de forme (irrégulièrement) globuleuse, de couleur marron violâtre noire brunâtre à bleuâtre foncé. Les graines (2-5 mm) sont généralement 2 par cône, ovoïdes aplaties, marrons jaunâtres (Farjon, 2010).



Figure 9.— Photographies montrant l'aspect général de *J. sabina* de la station Aswal (Bouira) en Algérie (A, arbrisseau étalé ; B, galbule et C, feuilles écailleuses).

En Algérie, le genévrier sabine constitue un élément résiduel, localisé uniquement sur les lapiaz culminaux très arrosés du Djurdjura. Il mérite d'être au moins signalé pour sa valeur historique et biogéographique (Maire, 1952 ; Quézel & Gast, 1998). Il se répartit dans trois localités avec 112 arbustes sur des altitudes plus de 1750 m (Mediouni *et al.*, 1994, Toumi, 2011-2015).

2.2.5.2 Systématique

La systématique de ce taxon est encore mal connue, néanmoins, Farjon (2001-2005) a identifié trois variétés : **1/** la var. *sabina* ; **2/** la var. *arenaria* (E. H. Wilson) Farjon [reconnue

classiquement par Wilson (1928) comme *J. chinensis* var. *arenaria* E.H. Wilson] ; 3/ la var. *davurica* (Pall.) Farjon, synonyme classique du *J. davurica* Pall. Plus tard, Adams & Schwarzbach (2006) et Adams *et al.* (2006b- 2007) ont adopté l'hypothèse de Farjon (2001-2005) en ajoutant une quatrième variété de Mongolie (var. *mongolensis* R.P. Adams). Toutefois, Farjon (2010) la considéra comme synonyme de la var. *arenaria* (E.H. Wilson) Farjon. Plus récemment, Adams *et al.* (2016) confirmèrent la distinction d'une cinquième variété ; il s'agit d'un hybride avec l'ancestral du *J. thurifera* dans la péninsule balkanique. Cette dernière dénommée var. *balkanensis* R.P. Adams & A.N. Tashev a été retrouvée aussi dans l'ouest de la Turquie (Adams *et al.*, 2017). En Algérie, aucune étude n'a signalé la signification intraspécifique de ce taxon. Mais, si en se référant à la répartition géographique de l'ensemble des variétés indiquées par Adams *et al.* (2006b-2007) pour cette espèce, il semblerait que le sabine, algérien exprime un pool génétique similaire à la var. *sabina* qui se répartit aussi dans la région méditerranéenne.

Chapitre II

Étude du milieu

1. Cadre physique

1.1 Choix et localisation

L'étude entreprise a été effectuée sur dix-sept populations naturelles algériennes (Tableau 3 et fig. 10) du genre *Juniperus*. L'échantillonnage porte sur les feuilles et les galbules.

Tableau 3. Principales caractéristiques géographiques des sites étudiés.

Site	Espèce	Alt (m)	Cordonnées Lambert		Localisation (Wilaya)
Messida (Me)	<i>J. oxycedrus</i>	24	36°54'N	08°31'E	El-Kala (Taref)
Chikh Z. (Cz)	<i>J. oxycedrus</i>	1098	36°20'N	06°26'E	Massif de Chettabah (Constantine)
Dj. Messaad (M)	<i>J. oxycedrus</i> & <i>J. phoenicea</i>	1219	35°02'N	04°12'E	Djebel Messaad (M'sila)
Gottya (G)	<i>J. oxycedrus</i>	1320	34°33'N	02°48'E	Forêt de Sénalba (Djelfa)
Dj. Boutaleb (B)	<i>J. oxycedrus</i> & <i>J. phoenicea</i>	1401	35°44'N	05°21'E	Massif du Hodna (Sétif)
Babor (Ba)	<i>J. oxycedrus</i>	1633	36°30'N	05°29'E	Chaîne des Babors (Sétif)
Chélia (Ch)	<i>J. oxycedrus</i>	1825	35°18'N	06°37'E	Massif des Aurès (Khenchela)
Irghissen (I)	<i>J. communis</i>	1864	36°28'N	04°10'E	Djurdjura (Bouira)
Ighidhiane (Ig)	<i>J. communis</i>	1872	35°20'N	06°55'E	Massif des Aurès (Khenchela)
Dayat Belkhir (D)	<i>J. phoenicea</i>	1130	34°56'N	03°26'E	Dar Chioukh (Djelfa)
T'Kout (K)	<i>J. thurifera</i>	1500	35°06'N	06°21'E	Massif des Aurès (Batna)
Tafrent (T)	<i>J. thurifera</i>	1639	35°13'N	06°38'E	Massif des Aurès (Khenchela)
Zana (Z)	<i>J. thurifera</i>	1722	35°22'N	06°19'E	Massif des Aurès (Batna)
Aswal (A)	<i>J. sabina</i>	1790	36°28'N	04°11'E	Djurdjura (Bouira)
Issig-Issig (Is)	<i>J. sabina</i>	2000	36°28'N	04°05'E	Djurdjura (Bouira)

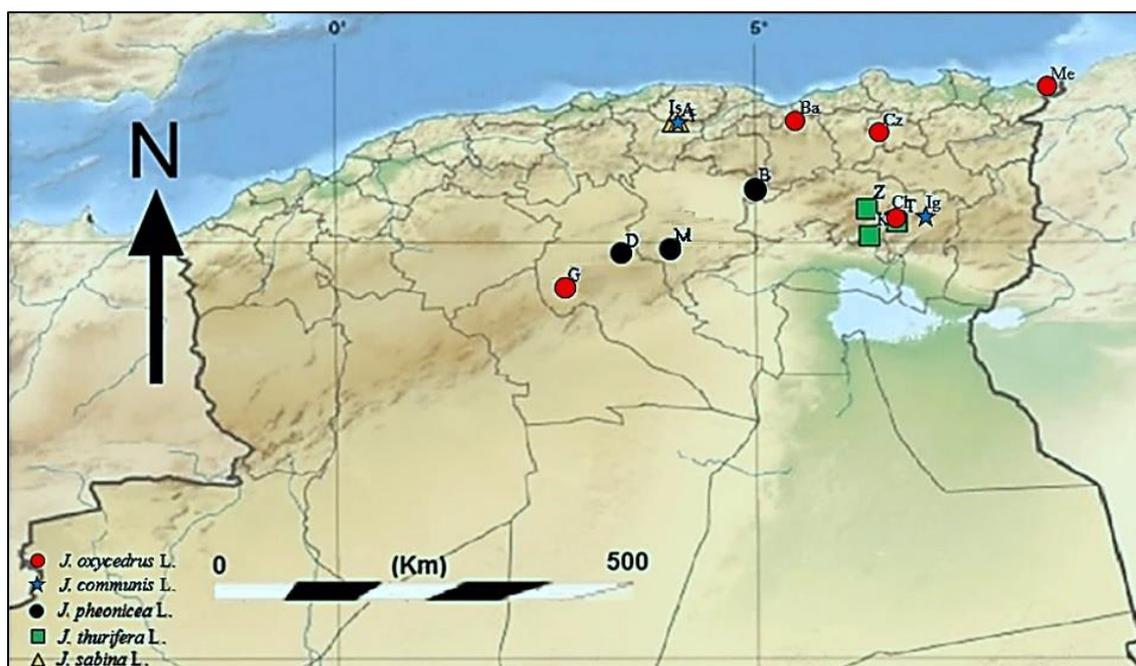


Figure 10. — Localisation des sites d'échantillonnage pour les cinq espèces du genre *Juniperus* étudiées. Messida (Me) ; Chikh Z. (Cz) ; Dj. Messaad (M) ; Gottya (G) ; Dj. Boutaleb (B) ; Babor (Ba), Chélia (Ch) ; Irghissen (I) ; Ighidhiane (Ig) ; Dayat Belkhir (D) ; T'kout (K) ; Tafrent (T) ; Zana (Z) ; Aswal (A) et Issig-Issig (Is).

Le choix des populations nous a été dicté par un ensemble de considérations d'ordre pratique et scientifique, à savoir, la présence d'un nombre suffisant d'individus, la possibilité d'accès au terrain et la variabilité des bioclimats. Les principales caractéristiques géographiques des sites d'échantillonnage sont indiquées dans le tableau 3.

Pour les espèces en aiguilles (section *Juniperus* sensu *Oxycedrus*), neuf populations naturelles de genévriers ont été échantillonnées :

- Sept populations de Genévrier oxycède : à Messida (Me) dans la wilaya d'El Taref qui se trouve en zone littorale (population décrite en tant que sous-espèce *macrocarpa*), Chikh Zouaoui (Cz), Gottyia (G), Djebel Messaad (M), Boutaleb (B), Babor (Ba), Chélia (Ch) qui sont localisées à l'intérieur du pays en zone montagneuse au-dessus de 1000 m d'altitude ;
- Deux populations de Genévrier commun : à Irghissen « I » qui se trouve dans la région de Djurdjura (Wilaya de Bouira) de l'Atlas Tellien et Ighidhiane « Ig » (Dj. Aïdel) qui est située au niveau des Aurès (Wilaya de Khenchela) de l'Atlas Saharien.

Pour les espèces en écailles (section *sabina*), huit populations ont été échantillonnées :

- Trois populations pour chacune des deux espèces genévriers de Phénicie et thurifère. Celles du genévrier de Phénicie représentent la subsp. *phoenicea* et proviennent de la région steppique (Boutaleb, B ; Djebel Messaad, M et Dayat Belkhir, D). Tandis que celles du thurifère (T'kout, K ; Tafrent, T et Zana, Z) représentent la variété *africana* et se trouvent dans la région des Aurès ;
- Deux populations de genévrier sabine dans la région du Djurdjura (Aswal, A et Issig-Issig, Is).

1.2 Contexte administratif et biogéographique

1.2.1 Site de Messida (Parc National d'El Kala)

Les échantillons ont été prélevés pour *J. oxycedrus* au niveau de la zone dunaire qui s'éloigne de quelques mètres de la mer. Bien que la zone, fasse partie du parc national d'El Kala, elle a subi une forte pression anthropique d'où la présence de sujets individualisés et dispersés.

Le P.N. d'El Kala, intégralement inclus dans la wilaya d'El-Taref est bordé au Nord par la mer Méditerranée, au Sud par les contreforts des monts de la Medjerda, à l'Est par la frontière Algéro-tunisienne et à l'Ouest par l'extrémité de la plaine alluviale d'Annaba. Sa diversité géomorphologique, pédologique et hydraulique constitue une mosaïque particulière d'écosystèmes (Benyacoub, 1993 ; Ouelmouhoub, 2005 ; Djelloul, 2014). Le relief se

caractérise par une juxtaposition de dépressions dont certaines sont occupées par des formations lacustres ou palustres et des hautes collines de formes variées ainsi que la présence d'un pendage important qui lui confère un caractère diversifié et constitue exceptionnellement un paysage montagneux fortement disséqué par un réseau hydrographique dense (De Belair, 1990). Les sols sont intimement liés à la nature du substrat géologique, au climat et à la présence ou à l'absence d'une hydromorphie, permanente ou temporaire. Ces critères ont permis de distinguer trois types de sols, dunaires, inter-collinaires et des milieux forestiers (Benyacoub, 1993). La chronologie de cette région relève des terrains géologiques allant du Secondaire au Quaternaire récent (Benyacoub *et al.*, 1998). L'écosystème forestier est composé principalement de forêts naturelles telles que le chêne zèen et le chêne liège abritant de nombreuses essences comme le châtaignier, le chêne vert, l'Aulne et de forêts de reboisements à savoir le pin maritime et l'eucalyptus (A.N.D.I, 2013).

1.2.2 Site de Djebel de Chikh Zouaoui (Massif de Chettabah)

Selon Marre *et al.* (1977), le Djebel Zouaoui dont le point culminant atteint 1316m, est un massif calcaire qui constitue avec les Djebels Karkara, Gaurneshouf et Friktia, l'ensemble montagneux de direction SW-NE du Chettabah. Il est constitué d'une part de la série néritique constantinoise essentiellement carbonatée, d'autre part par la série allochtone d'affinités telliennes qui représente le domaine Péni-tellien. Sur le versant nord de ce Djebel, près du Douar Ouled Rahmoun, un petit plateau karstique d'environ 7 km² se situe sur une altitude comprise entre 1050 et 1100 m.

Le massif de Chettabah, d'une superficie de 2409 ha, est situé au Nord-ouest du chef-lieu de la wilaya de Constantine, au sud d'Ibn Ziad ; au nord d'Ain Smara et à l'est d'Oued-Athmania. Le relief est très accidenté avec présence de nombreuses lignes et crêtes. Les pentes se répartissent en trois classes de 3% à 50%. L'exposition la plus dominante est celle de l'est. Le réseau hydrographique est formé de plusieurs thalwegs à régime temporaire ou saisonnier. Cette région est formée essentiellement par des roches sédimentaires (constituées entre l'ère Secondaire et Tertiaire) composées de sédiments tendres (Schistes et marnes) ou rigoureux (Calcaire et grès). Du point de vue stratigraphique, cette région est formée par deux ensembles lithologiques : un ensemble inférieur constitué par une puissante formation calcaire (Djebel Chikh Zouaoui et Djebel Karkara) appartenant à la série néritique constantinoise, et un ensemble supérieur constitué essentiellement par une épaisse formation marneuse (Forêt de Chettabah). Le patrimoine forestier est à dominance de Pin d'Alep et de Chêne Vert (Bahria, 2006 ; Lakehal & Mechari, 2010).

1.2.3 Sites de Tikjda (Parc national du Djurdjura)

Trois sites sont considérés ici :

- **1^{er} site** pour la collecte d'échantillons de *J. communis*. Il se situe au lieu-dit Irghissen (I) qui se trouve dans un périmètre pas loin (centaine de mètres) du stade olympique où se localise des dizaines de sujets rampants de cette espèce ;
- **2^{ème} site** où se trouve *J. sabina*, appelé Aswal (A), il s'étend sur une superficie 0,20 Ha. Il se caractérise par un substrat calcaire avec un pendage accentué ($\approx 60\%$). Le nombre de pieds de *J. sabina* échantillonnés est de 28 sujets. Tous rampants, avec 27 pieds sur le rocher et 1 pied sur le replat en aval parmi les sujets de *J. communis* et du cèdre planté. Le pied le plus haut se trouve à 1784m et le plus bas à 1775m. Les autres espèces végétales rencontrées dans ce lieu sont essentiellement : *Berberis hispanica*, *Prunus prostrata*, *Avena macrostachya* et *Amelanchier ovalis* (Toumi, 2015) ;
- **3^{ème} site**, Issig-Issig (Is), également pour la collecte d'échantillons du *J. sabina*. Selon Toumi (2015), le site d'Issig-Issig s'étend sur une superficie de 0,4885 Ha. Il présente une pente douce avec un substrat calcaire. Le nombre de sujets existants est de 71 pieds. Le pied le plus haut se trouve à 2009m et le plus bas à 1977m. D'autres espèces végétales sont rencontrées sur les lieux : *Berberis hispanica*, *Prunus prostrata*, *Lonicera kabylica*, *Avena macrostachya*, *Dactylis glomerata*, *Galium molugo* (Mediouni & Yahi, 2004).

La région de notre échantillonnage, le Djurdjura, dépend administrativement de la wilaya de Bouira. Le Djurdjura est une chaîne de montagnes qui s'étend d'ouest en est sur l'ensemble du nord de l'Algérie avec une superficie de 553 021 Ha, il couvre en totalité la wilaya de Tizi-Ouzou (53,70 % du massif) et partiellement les wilayas de Bejaia (23,51%), Boumerdès (12,54 %), et Bouira (10,25 %). Les zones de montagnes occupent la partie centrale de l'Atlas tellien du nord de l'Algérie. Elles sont circonscrites dans les limites naturelles suivantes : au nord par la mer Méditerranée ; à l'ouest par l'oued Isser et au sud par l'oued Soummam (MATET, 2008). Ce massif se distingue par la diversité de ses milieux physiques et naturels, une diversité qui résulte de son relief escarpé fortement disséqué, par un important chevelu hydrographique, donnant lieu à une alternance de paysages et de géo-systèmes : Plaines littorales, massifs côtiers, vallées et dépressions inférieures, basses, moyennes et hautes montagnes (Meddour, 2010). Les monts de Djurdjura se distinguent par un pendage accentué et par des altitudes moyennement élevées, généralement inférieures à 800 mètres, les zones de haute altitudes et supérieures à 1200 mètres occupent 6,46 % de la superficie du massif, dont le point culminant est le sommet de Lalla Khadidja (2308 mètres) (MATET, 2008). Le massif du Djurdjura est un élément de la chaîne des maghrébines appelé la chaîne calcaire ou la dorsale

Kabyle. Il est composé de terrains sédimentaires, fortement plissés et fracturés (Flandrin, 1952 ; Coutelle, 1979 ; Saadallah *et al.*, 1996). Il expose de grands ensembles géologiques (Formations de l'oligocène, du crétacé et du jurassique, roches métamorphiques). Aussi, il présente lithologiquement, une multitude de Faciès (alluvions et sables, argiles, marnes, dolomies dures et grés) (MATET, 2008). Le massif est pourvu d'un réseau hydrographique très dense et composé de trois oueds majeurs qui drainent les eaux pluviales vers la mer : oued Isser (Ouest du territoire), oued Sébaou (Nord et Est) et oued Sahal-Soummam (Sud). Les forêts s'étendent généralement entre 300 et 1000 m d'altitude et beaucoup plus dans les hautes montagnes (2000 m). Toutes les forêts domaniales sont constituées majoritairement, pour les espèces autochtones de chêne liège pur ou en peuplement mixte, avec les chênes caducifoliés essentiellement (Meddour, 2010).

1.2.4 Site de Djebel Babor (Kabylie des Babors)

La récolte des échantillons a concerné seulement *J. oxycedrus* sur les hautes altitudes du djebel Babor (Ba) qui se trouve à 60 kilomètres au nord de la wilaya de Sétif. Ce Djebel culmine à 2004 m d'altitude. Il est limité au nord par la vallée de l'oued Dardar, au sud par oued Taâkarboust, à l'ouest par Oued El-Bered et à l'est par Djebel Boukais, couvrant une superficie estimée à 2278 ha (Boumar, 2014). Sa strate géologique est constituée à la base par le Crétacé inférieur schisteux (Duplan, 1952 ; Obert, 1974). Le piémont méridional du Djebel Babor est pratiquement dépourvu de végétation arborescente (Gharzouli, 1989). En altitude, entre 1000 et 1450m, la végétation arbustive est dominée essentiellement par *Calycotome spinosa* avec quelques pieds de cèdre à 1300 m. Entre 1400 et 1800 m, on rencontre une forêt à base de *Quercus rotundifolia*, *Cedrus atlantica* et *Juniperus oxycedrus* et à 1800 - 2000 m, une forêt claire de cèdre avec chêne zéen. Des pieds isolés de Sapin de Numidie sont rencontrés à 1900 m (Gharzouli, 1989).

La chaîne des Babors est localisée dans la partie orientale de l'Atlas tellien et fait suite, à l'est, à la chaîne du Djurdjura (Gharzouli, 1989). Elle est constituée par de nombreux djebels, disposés en chaînons sensiblement parallèles, orientés nord-est et sud-ouest (Duplan, 1952). Cette chaîne se situe entre le littoral de Bejaïa, au nord, et les Hautes Plaines Sétifiennes, au sud. À l'ouest elle est limitée par la vallée de la Soummam, à l'est par une ligne qui va d'El-Aouana à Oued Deheb, au sud de Taxana (Gharzouli & Djellouli, 2005). Les massifs les plus méridionaux formés d'ouest vers l'est sont le djebel Takoucht (1896 m), l'Adrar ou Mellal (1773 m), le djebel Tababort (1969 m) et, nettement détaché de l'ensemble, le djebel Babor, point culminant de la chaîne avec 2004 m (Gharzouli & Djellouli, 2005 ; Boumar, 2014). Le

relief, très accidenté, est soumis à une érosion intense. Les oueds, à caractère torrentiel, ont creusé des vallées encaissées assez profondes, comme celle de l'Oued Bered et particulièrement celle de l'oued Agrioun avec les gorges de Chaabet El-Akhra (Boumar, 2014). La série stratigraphique de la chaîne des Babors se compose en trois ensembles constituant autant d'étages structuraux : Des formations carbonatées du Jurassique représentées essentiellement par le Lias à la base. Puis, des pélites calcaires et schistes constituant le crétacé inférieur. L'étage le plus élevé correspond au Crétacé supérieur, marno-calcaire à la base (Cénomaniens), uniquement marneux ensuite (Obert, 1974). Le caractère typiquement montagnard de cette région, lui confère un réseau hydrographique, très dense, parcourue par de nombreux oueds, les plus importants sont l'oued El-Bered et l'oued Dardar situés sur le piémont nord du djebel Babor. Les massifs forestiers de la Kabylie des Babors possèdent une flore riche et diversifiée avec plus de 500 espèces de plantes vasculaires se traduisant par un nombre appréciable en espèces ligneuses (arbres et arbustes) avec plus d'une quarantaine de taxons (Gharzouli & Djellouli, 2005).

1.2.4 Sites du Massif de Boutaleb (Hodna)

Dans cette région deux espèces ont été échantillonnées, *J. oxycedrus* et *J. phoenicea* sur les hautes altitudes du Djebel Boutaleb (B) près d'un ancien château détruit de Bendjedid Chadli. Le massif du Boutaleb fait partie de la chaîne des monts de Hodna dont il constitue un maillon important et bien individualisé de sa partie orientale de la chaîne des monts du Hodna (terminaison Sud de l'atlas tellien). Il se trouve ainsi situé entre les hautes plaines sétifiennes au nord et le bassin du Hodna au sud (dépression désertique du chott). Son altitude oscille entre 1000 et 1886 m. Il est caractérisé par une importante hétérogénéité topographique et floristique. L'existence de nombreux "Chaâbet" et l'altitude relativement élevée de ses djebels ont donné au massif un relief extrêmement accidenté dans son ensemble. Ceci explique l'abondance de fortes pentes - essentiellement dans sa partie sud - qui ont favorisé une érosion hydrique importante accentuée par la faiblesse du couvert végétal surtout durant les averses d'été (Madoui & Gehu, 1999). Sur la plus grande partie de sa surface, le massif est recouvert par les terrains de l'Aptien supérieur Albiens et le Barrémien Aptien (Crétacé inférieur et Crétacé supérieur). Les roches mères du périmètre d'étude sont diverses. On y distingue des faciès calcaires marneux et gréseux (S.E.R.T.F/D.G.F, 2009). Concernant le couvert végétal, on rencontre une végétation arborescente constituée essentiellement d'une forêt dense de *Cedrus atlantica* et de *Pinus halepensis* Mill. Ainsi qu'une végétation arbustive représentée par des matorrals élevés, denses, troués et clairs à base de *Quercus ilex*, et d'autres formations à base de *Phillyrea*

angustifolia, *Pistacia terebinthus* et *Pistacia lentiscus* et des matorrals clairs avec des formations à dominance de *Juniperus phoenicea* et *Juniperus oxycedrus*, surtout dans la zone Nord-ouest du massif. La végétation herbacée y est bien représentée par des pelouses écorchées, à dominance de chamaephytes herbacées et xérophytes épineux en coussinets occupant les sommets de certains djebels et de steppes (S.E.R.T.F/D.G.F., 2009).

1.2.5 Sites du Massif des Aurès (5 sites)

Le massif des Aurès est partagé administrativement entre la wilaya de Batna et celle de Khenchela. Il est localisé en Algérie du nord, dans l'extrémité Est de L'Atlas Saharien. Sa longueur de l'Est à l'ouest est de 100km ainsi que sa largeur du nord au Sud est de même de 100 km (Benmessaoud, 2010). Il est constitué d'une série de plis parallèles, orientés du Sud-Ouest vers le Nord-Est. Cette orientation typique de la chaîne atlasique, porte à 2200-2300m ses crêtes sommitales, Mehmel, Chélia et Aïdel (Côte, 2003). Il est limité par la plaine de R'Mila, Ouled Fadel et Timgad au nord ; la plaine de Melagou et Djebel Aourès au sud-est ; la plaine des Amamra et Djebel Djahfa à l'est ; la pinède de Beni-Imloul au sud ; les gorges d'El Kantra et la plaine de l'Outaya à l'ouest (Beghami, 2013). Ce massif se définit par un relief généralement très lourd et les sommets sont constitués en majorité par des dômes arrondis. Il se présente comme un puissant toit à double pente, dissymétrique, ride et parallèle (Côte, 2003). Le réseau hydrographique est endoréique ou aréique. Il est éparpillé en toute direction mais son allure générale ne cesse d'être du Sud-Ouest et Nord Est en suivant l'orientation du complexe montagneux et sa géomorphologie. Les Oueds sont secs en été en se transformant en torrent dès la moindre averse et ils s'éteignent tous dans les chotts du sud et de l'ouest (Ballais, 1981 ; Abdessemed, 1984-1985 ; Benmessaoud, 2010). Quatre vallées creusent le massif de l'Aurès, ce sont celles de l'oued El-Kantara ; l'oued Abdi ; l'oued El-Abiod ; l'oued El-Arab (Benmessaoud, 2010). Pour la géologie, les croupes (reliefs convexes vers le ciel) et les contreforts de ce massif, sont de formation Tertiaire, Miocène inférieur (Est et à l'Ouest de Batna) et Eocène inférieur (Sud- Est de Batna), qui s'étendent en larges bandes. Enfin les plaines sont Quaternaires (Laffitte, 1939). Les principales catégories des sols rencontrés dans la région sont, les sols bruns calcaires et les rendzines (Schoenberger, 1970 ; Abdessemed, 1981).

1.2.5.1 Zana

La station Zana localisée dans la zone Oued-Abdi fait partie de la forêt domaniale du S'gag. Elle se trouve au Nord du massif des Aurès à 35 km au Sud-Est du chef-lieu de Wilaya de Batna et s'étend sur une superficie d'environ 146 Ha. Elle est limitée au Nord, par le bassin

de Timgad ; à l'Ouest, par l'Anticlinal d'Iguedlène ; au Sud, par le Djebel El-Azreg et le mont d'Ichmoul ; au Sud-Ouest, par le Djebel Mahmel. Cette station située sur le flanc Nord-Est du Djebel Mahmel, culmine à une altitude maximale de 1966m sur la limite Sud-Ouest formée par une bande rocheuse et descend jusqu'à 1680m au Sud-est en contre bas de l'Oued Khenguët-Zana. Le relief est formé essentiellement par un versant d'orientation Nord qui a une pente variant de 10 à 35% avec affleurement d'une couche très épaisse de roche dolomitique au sommet et par une dépression presque plane occupant l'aval de ce versant qui est traversée par un ravinement. Le réseau hydrique est de type dendritique, il est drainé principalement par deux Oueds (Ighzer Khanguët Zana et Ighzer mekssem) qui sont secs pendant toute l'année sauf dans le cas des crues. Concernant le sol, les calcaires libérés au cours de la désagrégation des roches, sont entraînés vers l'aval par les eaux pluviales où ils atteignent une teneur élevée. En outre, la décomposition des différentes marnes libère aussi un matériau riche en argile ce qui confère aux sols une texture plus ou moins lourde. Concernant la végétation, on peut identifier deux groupements : une thuriferaie à l'état pur s'étalant sur 85% de la superficie du canton et un peuplement de Genévrier thurifère (22ha) en association avec le Genévrier oxycèdre et le chêne vert. La strate herbacée est représentée par des espèces en coussinet généralement épineux (Astragale, euphorbe...etc.) (U.I.C.N, 2001).

L'accès au Canton Zana (Z), site d'échantillonnage, qui fait partie de la zone Oued-Abdi, se fait par le chemin de Wilaya N° 34 reliant Timgad-Bouzina. La population échantillonnée de genévrier thurifère est représentée par deux types de peuplements reposant sur terrain rocailleux : 1/ Peuplement pur formé d'arbres, isolés, mutilés, avec une absence de sous-bois et aucune régénération n'est à signaler. 2/ Peuplement dégradé formé de sujets en amont et profond à l'aval avec l'existence de quelques sujets de Genévrier oxycèdre avec la présence d'une strate herbacée formée essentiellement d'espèces en coussinet épineux (U.I.C.N, 2001).

1.2.5.2 Chélia

L'essence prélevée de Chélia (C) est le *Juniperus oxycedrus* sur le pied du versant sud à des altitudes qui dépassent 1750 m, près d'oued Tiddart qui prend sa source, à Ras Kelthoum (2328m) dans la série de Chélia, sous le nom d'oued El-Abiod. Selon l'O.N.T.F (1982), cette espèce pousse sur sol dégradé et sec, notamment sur les surfaces supérieures à 1700m. L'analyse phytobiologique effectuée par Schoenberger (1970) montre que ce dernier représente une espèce d'accompagnement dans toutes les associations végétales supérieures ou inférieures à 1400 m.

Selon l'O.N.T.F (1982), la série Chélia qui est un massif boisé avec du cèdre, s'étend sur une superficie de 5552 ha ; elle est située au nord du massif de Béni-Imloul et limitée au sud, par l'oued El Askar et la route de Bouhmama-Médina ; à l'ouest, par des surfaces des hautes pelouses qui font la limite de la série ; au nord, par la limite entre la surface forestière et la surface agricole près de l'oued Tahla et à l'est, par la série de Kantira. La géologie est formée surtout par un grès entremêlé de calcaire dans d'une quote-part différente ou un calcaire avec des intercalations gréseuses, qui datent du Barrémien, Aptien et Albien. Le Ras Kelthoum est le point culminant (2326m), non seulement du massif, mais aussi pour toute l'Algérie du nord. Sur les pentes, on trouve des éboulis effrités avec un sol très argileux. Au versant nord, en dessous de 1500m, c'est le schiste qui apparaît. Au versant sud, les sols sont bruns d'une grande profondeur sans couvert d'Humus, ce sont des sols argileux avec une proportion limoneuse ou de sable fin, le schiste est très rare et ne se trouve que sur les pentes peu inclinées ainsi que les hautes montagnes. Concernant l'hydrologie, le massif, s'étendant du sud-ouest vers le nord-est, est modelé par un grand nombre de vallées et oueds dont le débit varie selon l'importance des précipitations. Les stations au régime hydrique suffisant avec un sol profond et substantiel, se trouve sur les moyens et parfois les hautes montagnes. Il existe des sources temporaires jusqu'en fin d'été. Les essences principales sont le cèdre de l'atlas, le pin d'Alep et le chêne vert. Le cèdre (2040 ha) constitue des futaies âgées et supérieures à 1500m, avec une régénération limitée. Aussi, le pin d'Alep (757 ha) forme des futaies inférieures à 1500 m uniquement au pied du versant-sud. Les futaies mélangées de ces deux espèces n'existent pas dans la série. Le chêne vert couvre sous forme de maquis 983 Ha et il existe comme mélange dans la plupart des peuplements du cèdre et du pin d'Alep. Les autres essences jouent un rôle minime telles que : l'érable, le sorbier, le frêne, le genévrier oxycèdre, le thurifère et l'aulne.

1.2.5.3 Tafrent

Des échantillons du genévrier thurifère ont été récoltés de la forêt de Tafrent (Tf) qui est la seule série dans tous le massif de Beni-Imloul à contenir de cette espèce. Selon l'O.N.T.F (1979), on le rencontre (le long des oueds ou des enclaves à sol profond) à partir d'une certaine altitude notamment au-delà de 1600m. Au-dessous, il est beaucoup plus rare (environ 20% des sujets). Sur les bonnes stations (sols profonds), le thurifère est associé au chêne vert et à l'oxycèdre. Des sujets âgés (450 ans) peuvent atteindre de belles dimensions.

Selon l'O.N.T.F (1979), la série de Tafrent qui occupe 3.462 Ha, est située au Nord-ouest du massif forestier des Béni-Imloul. Elle est limitée, au Nord-Ouest par la plaine de M'sara ; au nord par la série de Bouhmama ; à l'est par la série de Ras Bignoun ; au sud-Ouest

par la série d'Azza Bedaâ ; à l'extrême Sud par la série Tichiout. L'attitude moyenne dépasse 1400 mètres. Le point culminant est le Djebel Tafrent (1705 m). Cette série, formée pendant le crétacé supérieur, comprend les étages de Turonien et Cénomaniens. Le Turonien constitue 90% de la série et se caractérise par des calcaires et des marnes alors que le Cénomaniens caractérisé par des calcaires, constitue le reste (10%). Le relief est important (Oueds et lignes de crêtes avec la présence de pistes artificielles). Le pendage quoique faible favorise l'érosion du sol. Les enclaves occupent 17% de la surface totale de la série. Les sols sont superficiels, leur profondeur en moyenne est nettement inférieure à 20 cm. Il en reste des squelettiques (Lithosols ou sols pierreux). Aussi, les rendzines sont présentes à différents stades d'évolution et de dégradation. Les hauts plateaux (Au-delà de 1600m) sont constitués de calcaire compact sous forme de dalles affleurantes. Par ordre décroissant, les principales essences forestières sont : le pin d'Alep, le chêne vert, le genévrier oxycèdre, le genévrier thurifère, et le genévrier de phénicie.

1.2.5.4 T'kout

Les échantillons de *J. thurifera* ont été pris de la région de T'kout (K), précisément au lieu nommé : Bouymene ou Bouyelmene qui représente la limite inférieure (1400m) de cette région. Selon l'U.I.C.N (2001), le Thurifère de la région de T'kout constitue des peuplements très clairs de 1400m jusqu'à 2020m d'altitude. L'ensemble des pieds sont bien venants avec une cime conique, en raison de la forte pression anthropique. Le nombre total de pieds compté dans cette zone est de 4000.

T'kout est une commune de la wilaya de Batna, située dans une région montagneuse assez isolée dans le massif de l'Aurès, à 95 km au sud-est de Batna et à 71 km au nord-ouest de Biskra. Elle s'empare d'une superficie de 18537 hectares sur un plateau culminant à 1 200 m d'altitude et elle est contournée, au nord, de la commune d'Inoughissen et la commune de Tighanimine ; à l'ouest, la commune de Ghassira ; au sud, la commune de m'ziraa dans wilaya de Biskra et à l'est, la commune de kimmel. Le village de T'kout est située sur un plateau culminant à 1 200 m d'altitude. La région est entourée de vergers en terrasses irrigués par la principale source.

1.2.5.5 Djebel Aïdel (Ouled-Yakoub)

Le prélèvement des échantillons a été réalisé pour l'espèce *Juniperus communis* au lieu-dit Ighidhiane localisé à des altitudes de plus de 1800 mètres sur le Djebel Aïdel (Ai) qui se trouve à l'Est du massif d'Ouled Yakoub.

La Zone d'Ouled Yakoub fait état d'une superficie totale de 43.098,22 ha (B.N.E.F, 1984). Elle se prolonge dans l'Atlas saharien au Nord-Est. Elle est divisée classiquement en différentes régions naturelles en fonction du relief, de la géologie et de la végétation. Elle est formée d'une succession de plis plus ou moins parallèles, orientés Sud-Ouest, Nord-Est et séparés par deux vallées principales (Oued Tamza et oued Issouel). Elle est limitée, à l'Est, par le cèdre de l'Atlas qui occupe le premier pli et dont les sommets les plus importants s'élèvent à plus de 2000 m d'altitude (Djebel Chentgouma à 2113m ; Djebel Féraoun à 2093m et **Djebel Aïdel à 2192m**). Au Nord, par la route nationale Batna-Khenchela. A l'Ouest, la pinède s'étend vers la vallée d'Oued Melagou et la route reliant Kais- Bouhmama. Au Sud, la zone d'étude est délimitée par la plaine de Melagou qui prolonge la pinède des Béni-Imloul (Bentaouti, 2006).

La pinède d'Ouled-Yakoub repose sur le Crétacé supérieur (Laffitte, 1939). Le Turonien est présent sous forme d'un arc assez large qui se prolonge dans le synclinal de djebel Aourès et la vallée de Tamza au Sud, avec un faciès à prédominance calcaire. Le centre du massif est occupé par le Cénomaniens avec la présence de dolomie et de calcaire dans la partie Nord, alors que dans la partie Sud se localisent des substrats marno et marno -calcaires. Sur le plan pédologique, les sols sont globalement squelettiques et de faibles profondeurs, inférieure à 20 cm. Ils sont peu évolués, sur les fortes pentes où se trouvent des lithosols et la végétation herbacée a du mal à s'installer. On y rencontre aussi des sols calcimorphes de types rendzines. Dans les replats, le sol est assez profond et la strate herbacée est très présente (Bentaouti, 2006). Concernant la végétation, le massif est constitué principalement, à plus de 70 % par des peuplements de pin d'Alep et un maquis à dominance de chêne vert et des terres agricoles. Le Cèdre de l'Atlas y occupe moins de 8 % de la superficie totale (B.N.E.F, 1984). Le *Juniperus communis* constitue de petites formations végétales (centaines de sujets) sur les deux monts (Djebels Féraoun et Aïdel).

1.2.6 Site de Dhayat Belkhir (Dar Chioukh)

La récolte des échantillons a concerné l'espèce *J. phoenicea* au lieu-dit la forêt de Dhayat Belkhir (C). Cette forêt se trouve dans la région de Besbassa et se localise au Nord-Ouest du chef-lieu de la commune. L'accès à cette forêt se fait par le chemin de Gaigae reliant les deux communes Dar Chioukh et Sidi-Baizid.

Selon le rapport de l'A.N.D.I (2013), le relief de la région de Djelfa se caractérise par la succession de quatre zones distinctes du Nord au Sud de son territoire dont la zone des dépressions des chotts (dépression des Sebkhass) qui se situe à des altitudes allant de 750 m à 850 m comporte la région de Dar Chioukh. La commune de Dar Chioukh, est située au Nord-

est du chef-lieu de la wilaya (34°53'36" Nord 3°29'26" Est). Elle s'empare d'une superficie de 33,870 hectares sur une altitude de 1103 m, elle est contournée, au Nord et Nord-ouest, de la commune de Sidi Bayezid ; à l'Est, de la commune de M'djebel (W. M'sila), au Sud, les communes de M'liliha et Moudjebara ; et à l'ouest, des communes de Djelfa et Ain maâbed.

La quasi-totalité des sols de la région de Djelfa est calci-magnésique, représentés par les classes suivantes : les régo-sols sur marnes ou argiles qui constituent les affleurements de la roche mère (Pouget, 1980) ; les sols peu évolués et les sols calci-magnésiques (anciens très érodés) qui sont formés par une croûte calcaire et des rendzines (B.N.E.F., 1983).

1.2.7 Site du Massif de Sénalba

La forêt domaniale de Sénalba est située à 4 km à l'Ouest du chef-lieu de la commune de Djelfa (2° à 3°5' longitude Est et 34°34' à 34°45', latitude Nord). Elle occupe une superficie de 62.170 ha, constituée principalement de pin d'Alep à l'état naturel. Ce massif forestier se localise en grande partie sur les collines des hauts plateaux de l'Atlas saharien. Cette forêt occupe deux crêtes, appelées respectivement Djebel Sénalba Chergui et Sénalba Gharbi, orientées Sud-Ouest /Nord Est et s'étend sur une distance de 37 km. Ces deux crêtes descendent en pentes, douces au Sud, abruptes au Nord vers les hautes plaines. Les pentes sont de l'ordre de 40 % au niveau des sommets à plus douces (5 à 20 %) sur les bas de versants. L'altitude varie de 1200 à 1532 mètres (Guit, 2015). L'ensemble du massif de Sénalba date pour la plupart du Crétacé (B.N.E.F, 1983). Pour les sols, ils existent deux types, les rendzines et les sols bruns calcaires (Kadik, 1983 ; Guit, 2015). La végétation se répartie en trois types, la forêt dense de Pin d'Alep, les forêts un peu denses représentées par les espèces dominantes (Pin d'Alep, Chêne vert, Genévrier rouge et oxycèdre). Les matorrals représentés par le Chêne vert, le Genévrier oxycèdre, le pistachier térébinthe, le Pin d'Alep et la steppe arborée à alfa au niveau de l'Atlas saharien (Kadik, 1984-1986 ; Guit, 2015). Cette forêt est composée de 17 séries, parmi lesquelles la 13ème série « Gottyia » qui représente notre site d'échantillonnage.

Les différents échantillons de *Juniperus oxycedrus* sont prélevés dans la forêt sur un périmètre (G) non loin de la Maison forestière de Gottyia. La série de Gottyia est constituée par un relief accidenté par des monts orientés du Sud-ouest vers le Nord-est. Aucun réseau hydrographique ne se trouve dans cette série, seuls les canaux d'écoulement à l'amont sont apparents sur les terrains bien que l'Oued Berrouaghia traverse, en partie, la série non loin de la limite Nord-ouest. Un seul point d'eau existe « Ain-Gottyia » avec trois autres sources de moindre importance. Le sol est peu profond et ses types les plus répandus, sont les sols bruns

calcaires et les rendzines. La végétation s'apparente aux formations forestières et à un degré moindre à celles steppiques. Les espèces forestières dominantes sont, le Pin d'Alep, le chêne-vert, les **genévriers** et les pistachiers. La strate herbacée denses à base de *Stipa tenacissima* et *Thymus hirtus* (C.F.D, 2013).

1.2.8 Sites de la forêt de Djebel Messaad

Deux sites ont été choisis (M) et (Ms) pour échantillonner les deux espèces dominantes (*J. oxycedrus* et *J. phoenicea*) dans la forêt du Djebel Messaad, respectivement. Ils se trouvent dans la même zone appelée Ain-Oghrabe par la population locale à quelques kilomètres du chef-lieu de la commune de Djebel Messaad.

La forêt domaniale de Djebel Messaad qui est située au sud-ouest du chef-lieu de la wilaya de M'sila à une distance de 100 km, a la plus grande superficie forestière avec 34000 Ha. Cette forêt est située à 30 Km au Sud de Boussaâda et appartient à l'Atlas saharien. Elle est rattachée aux circonscriptions forestières de Djebel Messaad et de Boussaâda sous la direction de la conservation des forêts de M'sila. Elle présente le dernier rempart entre le nord et le désert. Elle est située sur le versant nord des monts d'Ouled-Nail sur l'Atlas Saharien entre 800 et 1667 mètres. Elle est limitée, au Nord par la ville de Boussaâda ; au Sud par la Daïra d'Ain El melh ; à l'Est par la Daïra de Ben S'rour et à l'Ouest par la commune de Djebel Messaad et la Daïra de Medjedel. Elle se caractérise par le relief montagneux qui se situe dans l'étage bioclimatique semi-aride. Les pentes sont moyennes (le bas versant) ou fortes supérieures à 25% (Les zones sommitales). Les Oueds se sont formés au Quaternaire, secs le long de l'année, seulement durant les violents orages. Les principaux ensembles hydrographiques sont délimités par les grandes lignes de crête qui caractérisent le relief et forment des oueds importants (Oued Messaad, Oued Triba, oued Okfiane) (C.F.M, 2014). Il existe aucun cours d'eau permanent dans cet ensemble. Les unités lithologiques existantes sont (C.F.M, 2014) :

- Au Sud, un alignement de Djebels orientés Nord-est, Sud-ouest essentiellement constitué par une série de Crétacées. Une épaisse série gréseuse -avec intercalation de marnes- du Crétacé inférieur continental (résistance à l'érosion). Une série de roche calcaire dure et tendre (marnes et marno-calcaire du Crétacé moyen), et un remplissage d'argile rouge plus ou moins sableuse, gypseuse entre les alignements des remplissages des montagnes ;
- Au Nord, un alignement de Djebels orientés vers le Nord formé de marnes du Crétacé moyen et supérieur.

Les sols sont essentiellement de types calci-magnésiques (sols bruns de steppe et sols bruns calcaires) et / ou évolués à mull (sols bruns à mull calcique). Concernant l'écosystème

forestier, les espèces dominantes sont le Pin d'Alep, les Genévriers de Phénicie et Oxycèdre, le Chêne Vert, les Pistachiers (de l'Atlas, Lentisque et Térébinthe). La strate basse est composée de romarin, Ciste du Liban, Alfa, Diss et Armoise blanche (C.F.M, 2014).

2. Cadre climatique

L'étude des éléments constitutifs du climat retenus dans les études écologiques suppose sur la mesure d'un certain nombre de grandeurs climatiques permettant de définir les composantes du climat. Une étude climatique complète, est inexistante en Algérie. Cette contestation est due sans doute à la nature des données, avec d'un côté l'absence et la discontinuité des périodes ou des séries qui gommant les variations mensuelles et/ou annuelles et de l'autre côté le manque de la répartition du réseau de postes météorologiques. Quel que soit le paramètre climatique considéré, il est important de rappeler que l'utilisation de moyennes trentenaires annuelles ou mensuelles, bien que d'usage courant de par la facilité d'accès aux données, cachent les disparités réelles du climat. Les valeurs extrêmes (fortes chaleurs, sécheresse...) sont très importantes à considérer car elles jouent un rôle essentiel dans certains phénomènes observés dans les écosystèmes forestiers (Lebourgeois, 2010).

2.1 Sources et périodes des données météorologiques

Toutes les données météorologiques exploitées sont issues des bulletins climatiques mensuels de l'Office National Météorologique (O.N.M) d'Alger. Ces données sont recueillies sur différentes périodes (30 ans ou plus) pour l'ensemble des sites d'échantillonnage sauf celle de la wilaya de Khenchela où le fonctionnement du poste météorologique d'El-Hama a débuté en 1993. Aussi, la série d'observations de la station de Messida (El-Kala) a été contrôlée à partir de la station d'Annaba. Des auteurs tels que Ripert & Ladier (2005) ont utilisé une période trentenaire afin de filtrer et caractériser les fluctuations et les variations climatiques (Tableau 4).

2.2 Paramètres et indices climatiques étudiés

Les paramètres et les indices climatiques retenus dans l'étude du climat de chaque site d'échantillonnage sont présentés dans le tableau 5.

Tableau 4. Caractéristiques des stations climatiques de référence, périodes et sources des données (O.N.M. d'Alger).

Station météorologique	Période	Cordonnées Lambert		Altitude (m)	Site d'échantillonnage
		Latitude	Longitude		
Annaba	1986 / 2015	36°50 N	07°48 E	3	Messida
Bouira	1967 / 2015	36°23 N	03°53 E	555	Aswal, Irgnissen, Issig-Issig
Constantine	1971 / 2015	36°17 N	06°37 E	639	Chikh Zouaoui
Sétif	1986 / 2015	36°23 N	05°23 E	1030	Babor, Boutaleb
Batna	1986 / 2015	35°45 N	06°19 E	822	Zana, T'kout
Khenchela	1993 / 2015	35°28 N	07°05 E	983	Ighidhiane, Tafrent, Chélia
Boussaâda	1986 / 2015	35°20 N	04°12 E	459	Dj. Messaad
Djelfa	1986 / 2015	34°20 N	03°23 E	1180	Gottya, Dhayat Belkhir

Tableau 5. Paramètres et indices climatiques appliqués pour les sites d'échantillonnage.

Paramètres & indices climatiques		
Paramètres thermiques	T	Valeur de la moyenne annuelle (°C).
	m	Valeur de la moyenne des minimas du mois le plus froid (°C).
	M	Valeur de la moyenne des maximas du mois le plus chaud (°C).
	M'	Valeur de la moyenne des minimas du mois le plus chaud (°C).
	T min	Valeur la plus faible des moyennes mensuelles (°C).
	T max	Valeur la plus forte des moyennes mensuelles (°C).
Paramètres pluviométriques	P	Pluviométrie totale annuelle (mn/ an).
Indices climatiques de températures et/ou de précipitations	A	Amplitude thermique annuelle moyenne (T max- T min).
	A max	Amplitude thermique annuelle extrême ou absolue (M-m).
	α	Angle de continentalité hydrique de Gams.
	I _{OS}	Indice ombrothermique estival de Rivas-Martinez.
	S _O	Indice ombrothermique de Bagnouls et Gaussen.
	Q ₃	Quotient pluviothermique d'Emberger modifié par Stewart.
	It et I _{tc}	Indice de thermicité et de thermicité compensé de Rivas-Martinez.
I _{OA}	Indice ombrothermique annuel de Rivas-Martinez.	

2.3 Données climatiques

La température de l'air et les précipitations sont les deux paramètres atmosphériques le plus fréquemment mesurés dans les réseaux de mesure météorologique (Leroy, 2002).

2.3.1 Températures

La température mesurée en météorologie est la température de l'air, à une hauteur voisine de 1,5 m. Il existe d'ailleurs des formules de calcul d'une température physiologique, qui dépend aussi du vent, du rayonnement solaire et de l'humidité (Tabeaud, 1998 ; Leroy, 2002). La température est un facteur climatique de toute première importance car elle contrôle l'ensemble des phénomènes métaboliques et conditionne la répartition de la totalité des espèces et des communautés d'êtres vivants dans la biosphère (Ramade, 2003). L'effet bioécologique de la température aura toujours un triple aspect (effet de la température moyenne, effet des valeurs extrêmes et effet des périodicités) (Tabeaud, 1998).

Des extrapolations de valeurs thermiques sont effectuées suivant un gradient altitudinal de 100 mètres de dénivellée, calculé sur la base de $-0,7^{\circ}\text{C}$ pour le maxima (M) et de $-0,4^{\circ}\text{C}$ pour le minima (m) (Seltzer, 1946). Les données corrigées relatives aux températures moyennes, minimales, maximales, mensuelles et annuelles des sites étudiés (Tableau 6).

2.3.2 Précipitations

L'apport d'eau « atmosphérique » dont la terre bénéficie représente un élément indispensable à toute vie végétale. Il se présente sous plusieurs formes distinctes liquides ou solides (pluie, neige, grêle, grésil). Ces différentes formes qui tombent du ciel sont toutes réunies dans le mot « précipitations » ou « chutes » (Viers, 1968). En météorologie, la pluie représente la quantité totale d'eau tombée sous forme liquide ou solide à travers l'unité de surface horizontale, au cours d'intervalles de temps déterminés (Quéney, 1974). La quantité de pluie est exprimée en millimètres par jour ou par mois ou par an (Leroy, 2002). Les données les plus courantes pour caractériser la pluie annuelle et sa variation au cours des saisons sont les hauteurs moyennes mensuelles et annuelles des précipitations (Ghanem, 2010).

Le gradient pluviométrique croît de 40 mm tous les 100 mètres d'altitude (Seltzer, 1946). Puisque certains de nos sites sont situés dans le plateau steppique, presque subdésertique (T'kout, Dhayat Belkhir, Djebel Messaad et Gotty), nous avons adopté le gradient pluviométrique proposé par Djebaili (1984) qui est de 20 mm pour 100 m de dénivellation. Les données corrigées relatives aux moyennes mensuelles et aux totales annuelles des précipitations des sites étudiés en ($^{\circ}\text{C}$) concernant les cinq espèces sont indiquées dans le tableau 7.

Chapitre II. Etude du milieu

Tableau 6. Données thermiques corrigées, en C°, des sites étudiés.

Site		J	F	M	A	M	J	J	O	S	O	N	D	Moyenne
Messida	m	6,9	6,7	8,3	10,1	13,1	16,5	19,2	20,2	18,5	15,3	11,1	8,1	12,8
	M	16,4	16,5	18,6	20,8	24,1	27,7	30,6	31,7	29,1	26,3	21,1	17,5	23,3
	T	11,6	11,6	13,4	15,4	18,6	22,1	24,9	25,9	23,8	20,8	16,1	12,8	18,1
Chikh Z.	m	0,7	1,2	2,9	5,1	8,9	13,2	16,2	16,5	13,6	9,6	4,8	1,8	7,9
	M	9,1	10,1	12,9	16,0	21,3	27,1	31,2	31,0	25,8	20,5	14,0	10,1	19,1
	T	4,9	5,7	7,9	10,6	15,1	20,2	23,7	23,7	19,7	15,1	9,4	6,0	13,5
Dj. Messaad	m	0,9	1,9	4,9	8,1	12,8	17,6	20,9	20,6	16,5	11,4	5,6	1,9	10,2
	M	9,1	11,1	15,1	18,8	24,3	29,9	34,0	33,3	27,2	21,3	13,9	9,7	20,6
	T	5,0	6,5	10,0	13,4	18,5	23,7	27,4	26,9	21,8	16,3	9,7	5,8	15,4
Gottya	m	-0,2	0,3	2,8	5,6	10,0	14,7	18,1	17,8	13,9	9,3	4,0	0,8	8,1
	M	8,7	10,5	14,1	17,8	23,2	28,9	33,1	32,4	26,5	20,6	13,5	9,6	19,9
	T	4,3	5,4	8,5	11,7	16,6	21,8	25,6	25,1	20,2	15,0	8,8	5,2	14,0
Dj. Boutaleb	m	-0,2	0,1	2,5	4,9	9,1	14,0	17,6	17,6	13,6	9,6	4,4	0,8	7,8
	M	8,0	9,2	12,8	16,7	22,4	28,4	32,4	31,7	25,9	20,2	13,3	9,0	19,2
	T	3,9	4,7	7,7	10,8	15,8	21,2	25,0	24,7	19,8	14,9	8,9	4,9	13,5
Babor	m	-1,1	-0,8	1,6	4,0	8,2	13,1	16,7	16,7	12,7	8,7	3,5	-0,1	6,9
	M	6,4	7,6	11,2	15,1	20,8	26,8	30,8	30,1	24,3	18,6	11,7	7,4	17,6
	T	2,6	3,4	6,4	9,5	14,5	19,9	23,7	23,4	18,5	13,6	7,6	3,6	12,2
Chélia	m	-1,5	-1,2	-1,3	4,0	8,1	12,2	15,4	15,4	11,9	8,3	2,9	-0,4	6,4
	M	5,2	6,2	10,0	13,7	19,3	24,7	28,8	27,9	21,9	17,1	10,1	6,1	15,9
	T	1,9	2,5	5,7	8,9	13,7	18,5	22,1	21,7	16,9	12,7	6,5	2,9	11,2
Irghissen	m	-1,5	-0,8	0,7	2,8	6,6	10,6	14,3	13,9	11,1	7,6	2,9	-0,2	5,7
	M	3,9	5,9	8,1	10,5	15,0	21,1	26,2	25,8	20,4	15,2	8,9	4,7	14,3
	T	1,2	2,6	4,4	6,7	10,8	18,9	20,2	19,8	15,8	11,4	5,9	2,2	10,0
Ighidhiane	m	-1,7	-1,4	1,1	3,8	7,9	12,0	15,2	15,2	11,7	8,1	2,7	-0,6	6,2
	M	4,9	5,9	9,7	13,4	19,0	24,4	28,5	27,6	21,6	16,8	9,8	5,8	15,6
	T	1,6	2,3	5,4	8,6	13,5	18,2	21,9	21,4	16,7	12,5	6,3	2,6	10,9
Dayat Belkhir	m	0,6	1,1	3,6	6,4	10,8	15,5	18,9	18,6	14,7	10,1	4,8	1,6	8,9
	M	10,1	11,9	15,5	19,2	24,6	30,3	34,5	33,8	27,9	22,0	14,9	11,0	21,3
	T	5,3	6,5	9,5	12,8	17,7	22,9	26,7	26,2	21,3	16,0	9,8	6,3	15,1
T'Kout	m	-2,5	-2,2	0,4	3,0	7,3	11,7	14,5	14,6	11,7	7,4	2,1	-1,5	5,5
	M	7,1	8,4	12,0	15,4	21,2	26,8	30,8	30,2	24,6	19,3	12,4	8,0	18,0
	T	2,3	3,1	6,2	9,2	14,2	19,2	22,6	22,4	18,1	13,3	7,2	3,2	11,8
Tafrent	m	-0,7	-0,4	2,1	4,8	8,9	13,0	16,2	16,2	12,7	9,1	3,7	0,4	7,1
	M	6,5	7,5	11,3	15,0	20,6	26,0	30,1	29,2	23,2	18,4	11,4	7,4	17,2
	T	2,9	3,5	6,7	9,9	14,7	19,5	23,1	22,7	17,9	13,7	7,5	3,9	12,2
Zana	m	-3,3	-3,0	-0,4	2,2	6,5	10,9	13,7	13,8	10,9	6,6	1,3	-2,3	4,7
	M	5,7	7,0	10,6	14,0	19,8	25,4	29,4	28,8	23,2	17,9	11,0	6,6	16,6
	T	1,2	2,0	5,1	8,1	13,1	18,1	21,5	21,3	17,0	12,2	6,1	2,1	10,7
Aswal	m	-1,2	-0,5	1,0	3,1	6,8	10,9	14,6	14,1	11,4	7,9	3,2	0,1	6,0
	M	4,4	6,4	8,7	11,0	15,5	21,2	26,7	26,3	21,0	15,7	9,4	5,2	14,8
	T	1,6	3,0	4,8	7,1	11,2	16,3	20,6	20,2	16,2	11,8	6,3	2,6	10,4
Issig-Issig	m	-2,1	-1,4	0,1	2,3	6,0	10,0	13,7	13,3	10,5	7,0	2,3	-0,8	5,1
	M	2,9	4,9	7,1	9,4	13,9	21,1	25,1	24,8	19,4	14,2	7,9	3,7	13,3
	T	0,4	1,7	3,6	5,8	10,0	18,1	19,4	19,0	14,9	10,6	5,1	1,4	9,2

m, moyenne des minima du mois le plus froid en °C ; *M*, moyenne des maxima du mois le plus chaud en °C (Source : O.N.M., Office national de la météorologie d'Alger).

Tableau 7. Données pluviométriques corrigées des sites étudiés en mm.

Site		J	F	M	A	M	J	J	O	S	O	N	D	Total
Messida	P	98,5	82,4	67,2	55,3	38,6	12,5	2,8	8,8	41,7	57,6	93,4	111,7	670,6
Chikh Z.	P	89,3	79,2	82,0	71,5	57,7	22,5	7,8	19,1	49,5	50,0	67,2	92,2	688,0
Dj. Messaad	P	20,7	18,7	26,7	33,1	41,8	19,4	11,0	18,5	47,1	36,8	28,6	24,7	327,1
Gottya	P	37,3	30,2	31,0	31,6	35,6	21,3	11,1	21,1	35,0	30,8	26,2	27,6	338,8
Dj. Boutaleb	P	49,5	44,4	43,8	48,7	52,9	25,7	13,1	17,2	46,3	40,4	41,6	52,6	476,3
Babor	P	66,9	60,0	59,2	65,8	71,5	34,7	17,8	23,2	62,6	54,6	56,2	71,0	643,3
Chélia	P	79,6	54,4	74,7	74,7	93,8	51,8	28,6	60,4	97,5	68,7	64,5	65,8	814,5
Irghissen	P	199,8	173,2	169,7	154,1	80,1	20,5	6,1	16,5	60,6	136,7	162,3	227,6	1 407,1
Ighidhiane	P	81,5	55,7	76,4	76,4	96,0	53,1	29,3	61,8	99,8	70,3	66,0	67,4	833,7
Dhayat B.	P	33,1	26,8	27,5	28,1	31,6	18,9	9,9	18,8	31,1	27,4	23,2	24,5	300,8
T'Kout	P	57,3	34,2	48,1	48,5	57,2	26,0	13,4	28,9	49,5	35,0	33,8	43,2	462,2
Tafrent	P	72,4	49,4	67,9	67,9	85,2	47,1	26,0	54,8	88,6	62,4	58,6	59,8	740,1
Zana	P	48,1	37,2	52,3	52,7	62,1	28,3	14,6	31,4	53,8	38,0	36,8	46,9	502,2
Aswal	P	195,6	169,6	166,1	150,9	78,4	20,1	5,9	16,1	59,3	133,8	158,9	222,8	1 377,5
Issig-Issig	P	207,5	179,9	176,2	160,1	83,2	21,3	6,3	17,1	62,9	142,0	168,6	236,4	1 461,5

P, Pluviométrie totale annuelle en mm/ an (Source : O.N.M., Office national de la météorologie d'Alger).

2.4 Description synthétique

Pour rendre les données climatiques plus significatives pour une station donnée. Plusieurs auteurs ont proposé des indices climatiques qui sont des combinaisons des moyennes des différentes composantes du climat notamment la température et les précipitations (Emberger, 1955).

2.4.1 Les régimes saisonniers

La notion du régime saisonnier a été définie en premier par Musset (1935). Cette méthode consiste à calculer la somme des précipitations par saison et à effectuer un aménagement ou un classement saisonnier par ordre de pluviosité décroissante en désignant chaque saison par son initial, par conséquent, ce système permet de définir un indicatif saisonnier de chaque site.

Les données présentées dans le tableau 8 révèlent 5 types de régime saisonnier. Par ordre décroissant, le régime saisonnier est de type **HPAE** pour la majorité des sites (Chikh Z., Dj. Boutaleb, Babor, Irghissen, Aswal et Issig-Issig) où les précipitations importantes sont celles de l'hiver. Il est suivi par le type **PHAE** pour les sites de Gottya, T'kout, Dayat Belkhir et Zana où les précipitations importantes sont celles qui tombent au printemps. Ensuite, les deux types **APHE** et **PAHE** avec les sites Dj. Messaad puis Chélia et Ighidhiane, respectivement. Le dernier site, de Tafrent, s'individualise par son régime unique de type **AHPE**.

Tableau 8. Types de régime saisonnier correspondants aux sites d'échantillonnage.

Site	H	P	E	A	Type de régime saisonnier
Messida	292,6	161,1	24,1	192,7	HAPE
Chikh Z.	260,7	211,2	49,4	166,7	HPAE
Dj. Messaad	64,1	101,6	48,9	112,5	APHE
Gottya	95,1	98,2	53,5	92	PHAE
Dj. Boutaleb	146,5	145,4	56	128,3	HPAE
Babor	197,9	196,5	75,7	173,4	HPAE
Chélia	199,8	243,2	140,8	230,7	PAHE
Irghissen	600,6	403,9	43,1	359,6	HPAE
Ighidhiane	204,6	248,8	144,2	236,1	PAHE
Dhayat Belkhir	84,4	87,2	47,6	81,7	PHAE
T'Kout	134,7	153,8	68,3	118,3	PHAE
Tafrent	181,6	221	127,9	209,6	AHPE
Zana	132,2	167,1	74,3	128,6	PHAE
Aswal	588	395,4	42,1	352	HPAE
Issig-Issig	623,8	419,5	44,7	373,5	HPAE

2.4.2 Evaluation des phénomènes de continentalité

La continentalité d'un climat résulte de la combinaison des facteurs thermiques et pluviaux interactifs pour distinguer les types de pluviosité (climats continentaux, semi-continentaux et maritimes) (Pagney, 1976 ; Michalet, 1991 ; Mokhtari *et al.*, 2013).

2.4.2.1 La continentalité thermique

La continentalité thermique se définit par la concentration estivale des températures (Houérou, 2004) généralement à l'aide de l'amplitude thermique annuelle (Villeneuve, 1980).

2.4.2.1.1 L'amplitude thermique annuelle

L'amplitude thermique annuelle moyenne ou extrême est un critère pour caractériser la continentalité thermique (Sauvage, 1963 ; Le Houérou, 2004). Par ailleurs, la séparation entre températures minimales et maximales s'impose car leur comportement respectif est fondamentalement différent, surtout dans le bassin circumméditerranéen où le climat très radiatif permet une expression remarquable des spécificités locales et de fortes amplitudes (Tabeaud, 1998).

- **L'amplitude thermique annuelle moyenne « A »** est définie par l'écart entre les températures moyennes mensuelles extrêmes de l'année à une station météorologique (Emberger, 1971 ; Rivas-Martinez, 2005a, b). Elle a une influence de la première grandeur de la répartition de la végétation et, par conséquent, sur les frontières de nombreux bioclimats (Rivas-Martinez, 2005b). Cette amplitude (T max-T min) augmente avec l'éloignement de la mer (Mokhtari *et al.*, 2013), de nombreux auteurs l'ont utilisée pour évaluer le degré de continentalité. Cote (1983) l'a utilisé comme expression du caractère plus ou moins maritime

ou continental en Algérie ainsi que Rivas-Martinez (2005a) qui a défini trois types et dix-huit sous-types de continentalité thermique (avec son indice $I_c = A$) dans le monde (Tableau 1, en annexe).

- **L'amplitude thermique annuelle extrême ou absolue « A max »** est définie par l'écart entre la moyenne des maxima du mois le plus chaud ($^{\circ}\text{C}$) et celle des minima du mois le plus chaud ($^{\circ}\text{C}$). Selon Le Houérou (1959-2004), cet écart « M-m » joue aussi un rôle important dans l'accentuation de l'aridité comme a pu le montrer Emberger (1930-1955) avec son quotient pluviothermique. En plus, Debrach (1953) a signalé l'importance de cet écart et l'a utilisé comme critère pour évaluer la continentalité thermique au Maroc (Tableau 2, en annexe).

L'application des classifications bioclimatiques précédentes pour nos données obtenues pour les sites d'échantillonnage révèle ce qui suit (Tableau 9) :

- Si l'on se réfère à la classification de Debrach (1953) basée sur l'amplitude (M-m), le site de Messida est presque de type littoral « $M-m < 25^{\circ}\text{C}$ », T'kout de type continental « $M-m > 35^{\circ}\text{C}$ » et le reste des stations est de type semi-continental « $25^{\circ}\text{C} < M-m < 35^{\circ}\text{C}$ ».
- Si l'on se réfère à la classification de Rivas-Martinez (2005) basée sur l'écart ($T_{\text{max}} - T_{\text{min}}$), le site du littoral de Messida ($14,3^{\circ}\text{C}$) s'isole par son caractère eu-océanique accentué. Par ordre croissant, il est suivi par les sites Chikh Z., Irghissen, Aswal et Issig-Issig ($18,8-19^{\circ}\text{C}$) qui ont le même type semi-continental accentué en raison de l'effet modérateur de l'altitude et du rapprochement de la mer. Puis le bioclimat type semi-continental atténué qui caractérise Boutaleb, Chélia, T'kout Tafrent et Ighidhiane ($20,2-20,8^{\circ}\text{C}$). Le reste des sites de la région steppique sont tous de type sub-continental accentué ($21,1-22,4^{\circ}\text{C}$).
- Les deux classifications bioclimatiques aboutissent à des résultats concordants et justifiés par un coefficient de corrélation linéaire entre les deux amplitudes A et A max qui est très élevé et significatif ($r = 0,8$).

Tableau 9. Valeurs de l'amplitude annuelle moyenne et extrême et Bioclimats correspondants selon les classifications de Rivas-Martinez (2005) et de Debrach (1953).

Site	Rivas-Martinez (2005)		Debrach (1953)	
	A (°C)	Bioclimat	A max (°C)	Bioclimat
Messida	14,3	Eu-océanique accentué	25	Littoral
Chikh Z.	18,8	Semi-continental accentué	30,5	Semi-continental
Dj. Messaad	22,4	Sub-continental accentué	33,1	Semi-continental
Gottya	21,3	Sub-continental accentué	33,3	Semi-continental
Dj. Boutaleb	20,8	Semi-continental atténué	32,6	Semi-continental
Babor	21,1	Sub-continental accentué	31,9	Semi-continental
Chélia	20,2	Semi-continental atténué	30,3	Semi-continental
Irhissen	19	Semi-continental accentué	28,6	Semi-continental
Ighidhiane	20,3	Semi-continental atténué	30,2	Semi-continental
Dhayat Belkhir	21,4	Sub-continental accentué	33,9	Semi-continental
T'Kout	20,3	Semi-continental atténué	36,5	Continental
Tafrent	20,2	Semi-continental atténué	31,5	Semi-continental
Zana	20,3	Semi-continental atténué	33,4	Semi-continental
Aswal	19	Semi-continental accentué	28,8	Semi-continental
Issig-Issig	19	Semi-continental accentué	28,2	Semi-continental

$A = (T_{max} - T_{min})$, amplitude thermique annuelle moyenne en °C ; $A_{max} (M - m)$, amplitude thermique annuelle extrême en °C

2.4.2.2 La continentalité pluviale

La continentalité pluviale, et surtout pour le climat méditerranéen, est définie comme étant la concentration estivale des précipitations (Emberger, 1943).

2.4.2.2.1 Indice de continentalité hydrique de Gams 1932 (modifié Michalet 1991)

Il existe depuis 1932 une méthode testée par Gams (1932) dans les Alpes orientales, permettant de mesurer la continentalité relative à un climat donné. Cet indice cherche à s'affranchir de l'effet de l'augmentation des précipitations avec des altitudes supérieures à 900m en considérant le rapport entre la pluviométrie totale annuelle et l'altitude de la station considérée. Les gradients ombriques altitudinaux sont évalués à l'aide de l'angle (α) de continentalité hydrique qui est défini comme l'angle dont la cotangente est égale au rapport P (pluviométrie totale annuelle en mm) sur A (altitude en m). Cet angle (α) augmente et tend vers 90° quand la pluviométrie diminue relativement à l'altitude du poste considéré (Michalet 1991). Avec des altitudes supérieures à 900m, la formule de Gams (1932) s'exprime :

$$Cot \alpha = \frac{P (mm)}{A (m)} \quad \text{ou} \quad Tan \alpha = \frac{A (m)}{P (mm)} \quad \text{avec} \quad \alpha = Tan^{-1}$$

Cette méthode, initialement créée dans les Alpes orientales, a été utilisée par Ozenda (1966) dans les Alpes occidentales et Izard *et al.* (1985) dans les Pyrénées pour déterminer la continentalité (Alifriqui, 1995). Ensuite, elle a été appliquée par Michalet (1991) au Maroc,

mais ce dernier a proposé une modification de la méthode initiale fondée par Gams (1932) pour être applicable à des altitudes inférieures à 900 m et même pour d'autres régions que les Alpes (Lebourgeois, 2010). Cette formule modifiée est exprimée comme suit :

$$\text{Cot } \alpha = \frac{P - \left(\frac{900 - \text{Alt}}{100} \times \frac{P}{10} \right)}{\text{Alt}}$$

P = Pluviométrie totale annuelle en mm et Alt= Altitude en m

Ce nouvel indice a permis de préciser la notion d'étage de végétation avec des limites altitudinales précises et proposées pour l'ensemble des domaines climatiques (Lebourgeois, 2010). L'utilisation de méthode de Gams (1932) modifiée par Michalet (1991-1994) au Maroc septentrional a montré l'existence d'une succession de six domaines climatiques caractérisés par un affaiblissement croissant des précipitations (Tableau 3, en annexe).

Donc, si l'on se réfère à la typologie de domaines climatiques définis par Michalet (1991-1994) au Maroc septentrional comme l'a fait Meddour (2010) dans sa thèse pour la région de la Kabylie Djurdjuréenne, il apparaît que (Tableau 10 et fig. 11) :

- Tous les sites étudiés appartiennent à une grande échelle de domaines climatiques allant de l'externe accentué ($\alpha = 17^\circ$ pour Messida) jusqu'à l'interne accentué ($\alpha = 88^\circ$ pour Issig-Issig) avec l'absence du domaine climatique intermédiaire et l'interne atténué.
- Les sites du Djurdjura (Aswal, Irghissen et Issig-Issig) appartiennent au domaine interne accentué avec ($\alpha > 80^\circ$) en raison de leurs altitudes élevées. Le reste des sites font partie du domaine climatique externe (entre $17^\circ < \alpha < 50^\circ$) avec ces trois variantes « accentué, moyen et atténué ».
- L'angle de Grams modifié (α°) a enregistré une parfaite corrélation avec la pluviosité totale annuelle P. Le pouvoir prédictif de cette relation linéaire est justifié par le coefficient de détermination qui est proche de 1 avec ($R^2 = 0,94$), c'est-à-dire, la grande échelle de domaines climatiques définis par la distribution des valeurs de α pour nos sites d'échantillonnage est interprété à 94% par le module pluviométrique annuel P.

Tableau 10. Valeurs de l'indice de continentalité hydrique de Gams (1932) modifié et les bioclimats correspondants.

Site	Alt (m)	P (mm)	A	Domaine climatique
Messida	24	670,6	17	Externe accentué
Chikh Z.	1098	688	43	Externe moyen
Dj. Messaad	1219	327,1	20	Externe accentué
Gottya	1320	338,8	21	Externe accentué
Dj. Boutaleb	1401	476,3	29	Externe accentué
Babor	1633	643,3	39	Externe moyen
Chélia	1825	814,5	49	Externe moyen
Irghissen	1864	1407,1	85	Interne accentué
Ighidhiane	1872	833,7	50	Externe atténué
Dhayat Belkhir	1130	300,8	19	Externe accentué
T'Kout	1500	462,2	28	Externe accentué
Tafrent	1639	740,1	45	Externe moyen
Zana	1722	502,2	30	Externe accentué
Aswal	1790	1 377,50	83	Interne accentué
Issig-Issig	2000	1 461,50	88	Interne accentué

Alt, Altitude en m ; P, pluviométrie totale annuelle en mm ; α , angle de Gram modifié en (°)

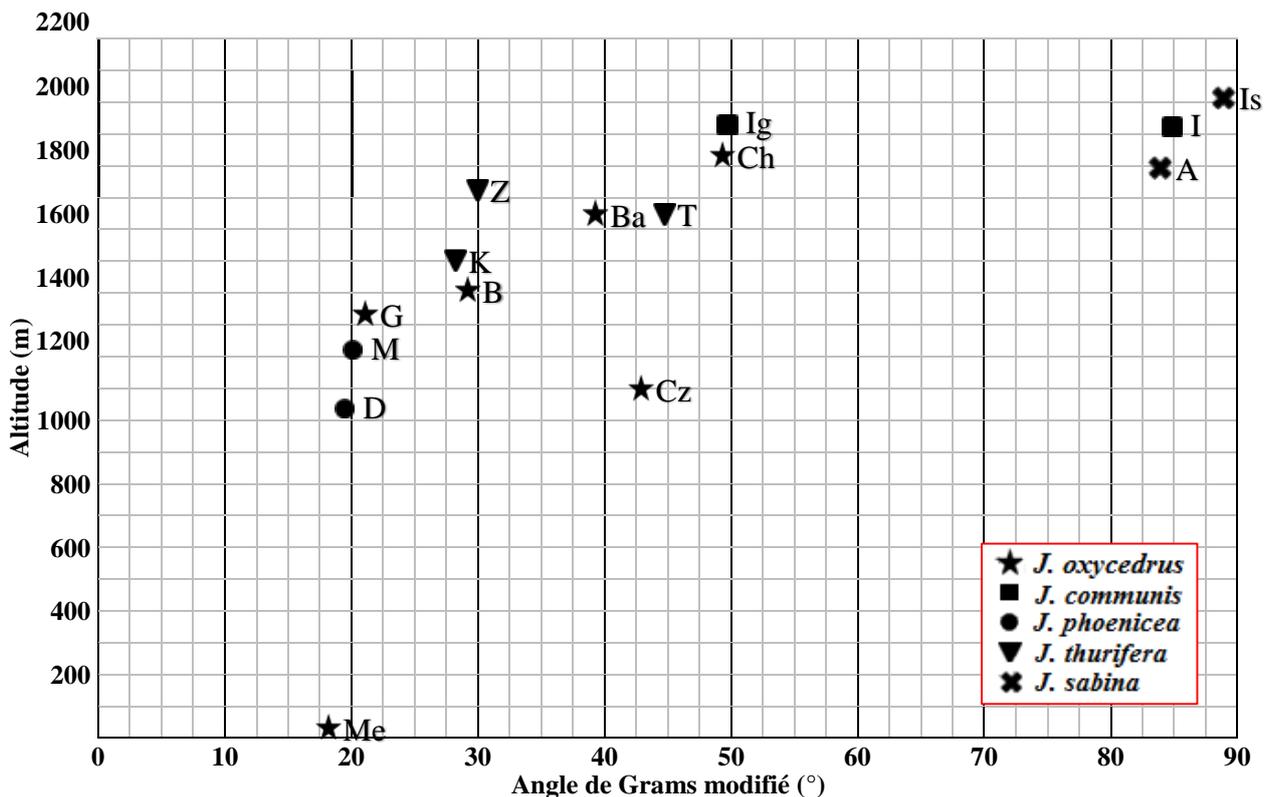


Figure 11. — Répartition des sites d'échantillonnage dans le domaine climatique de Michalet pour les cinq espèces du genre *Juniperus* étudiées. Messida (Me) ; Chikh Z. (Cz) ; Dj. Messaad (M) ; Gottya (G) ; Dj. Boutaleb (B) ; Babor (Ba), Chélia (Ch) ; Irghissen (I) ; Ighidhiane (Ig) ; Dayat Belkhir (D) ; T'kout (K) ; Tafrent (T) ; Zana (Z) ; Aswal (A) et Issig-Issig (Is).

2.4.3 Evaluation des phénomènes de dessèchement et de sécheresse

2.4.3.1 Indice ombrothermique estival de Rivas-Martinez (2005a)

Si Emberger (1943) a proposé un indice de sécheresse estivale S pour mesurer la sécheresse estivale et séparer les climats méditerranéens de ceux qui sont océaniques (Daget & Cavides, 1984), Rivas-Martinez (2005a) a adopté un autre indice ombrothermique estival « I_{os} » pour évaluer le critère de méditerranéité d'une station donnée, qui est le rapport entre la somme des précipitations moyennes des trois mois estivaux (Pps_3) et la somme des températures moyennes mensuelles de ces mêmes mois (Tps_3). Donc un territoire est considéré comme méditerranéen à la condition que la valeur de cet indice ombrothermique soit inférieure à 2. L'application de l'indice ombrothermique estival (Tableau 11) confirme le caractère méditerranéen pour nos sites avec ($0,33 \leq I_{os} \leq 1,17$).

Tableau 11. Valeurs de l'Indice ombrothermique estival de Rivas-Martinez (2005) et bioclimats correspondants.

Site	Pps_3 (mm)	Tps_3 (°C)	I_{os}	Bioclimat
Messida	24,1	72,9	0,33	Méditerranéen
Chikh Z.	49,4	67,6	0,73	Méditerranéen
Dj. Messaad	48,9	78,0	0,63	Méditerranéen
Gottya	53,5	72,5	0,74	Méditerranéen
Dj. Boutaleb	56,0	70,9	0,79	Méditerranéen
Babor	75,7	67,0	1,13	Méditerranéen
Chélia	70,4	62,3	1,13	Méditerranéen
Irghissen	43,1	58,9	0,73	Méditerranéen
Ighidhiane	72,1	61,5	1,17	Méditerranéen
Dhayat Belkhir	47,6	75,80	0,63	Méditerranéen
T'Kout	68,3	64,20	1,06	Méditerranéen
Tafrent	127,9	65,30	1,96	Méditerranéen
Zana	74,3	60,90	1,22	Méditerranéen
Aswal	42,1	60,10	0,70	Méditerranéen
Issig-Issig	44,7	56,50	0,79	Méditerranéen

Pps_3 , somme des précipitations moyennes des trois mois estivaux en mm ; Tps_3 , somme des températures moyennes mensuelles des trois mois estivaux en °C ; I_{os} , Indice ombrothermique estival de Rivas-Martinez.

2.4.3.2 Indice de Bagnouls et Gaussen (1953) et diagramme ombrothermique

Un des indices les plus utilisés encore à l'heure actuelle est l'indice de Bagnouls et Gaussen (1953). Il tient compte des moyennes mensuelles des précipitations (P en mm) et de la température (T en °C) et donne une expression relative à la sécheresse estivale en durée et en intensité c'est à dire la période sèche et humide de n'importe quelle région (Dajoz, 2003). Celle-ci est appréciée à travers un indice de sécheresse S_o (=indice ombrothermique) calculé en faisant la différence entre les courbes P et T pour le ou les mois les plus secs (Lebourgeois, 2010). Un mois est considéré « sec » lorsque le total des précipitations mensuelles est inférieur ou égal au double de la température moyenne mensuelle du même mois, soit $p \leq 2T$.

Inversement, quand $P > 2T$, le mois est considéré comme humide (Bagnouls & Gaussen, 1957). Selon Rivaz-Martinez (2005a), le macrobioclimat Méditerranéen est le type extratropicale ($> 23^\circ \text{ N \& S}$) qui a une période de sécheresse dans laquelle, au moins pendant deux mois consécutifs, les précipitations sont inférieures ou égales à deux fois la température ($P \leq 2T$). Pour repérer les mois secs et humides d'une localité, généralement des diagrammes ombrothermiques sont tracés. Ces diagrammes superposent les deux courbes de températures (T) et de précipitations (P), à la fois en ordonnées sur deux axes, pour les 12 mois de l'année (en abscisses) ce qui permet de définir une aire ombrothermique. Plus l'aire est importante et plus la saison est sèche (Faurie *et al.*, 1980 ; Frontier *et al.*, 2004). Cet indice est destiné à fournir des indications sur la durée de la période de sécheresse « il s'agit de compter le nombre de jours secs à travers les mois secs consécutifs ». Parmi les divers climats mondiaux, certains présentent une longue période de sécheresse coïncidant avec les températures les plus hautes du lieu considéré (humidité de l'air minimale). Cet indice ne s'applique pas pour les pays qui, au cours de l'année, ont une humidité suffisante, il prend tout son sens en zone méditerranéenne (Lebourgeois, 2010). L'établissement de diagrammes ombrothermiques (Figs 12 et 13) selon la méthode préconisée par Bagnouls et Gaussen montre une période sèche qui varie entre un mois (Ighidhiane) et six mois (Dayat Belkhir). Les sites d'Ighidhiane, Chélia et Tafrent ont enregistré une courte période estivale (presque un mois) parce que, la disponibilité de l'eau dans le sol peut compenser les précipitations du mois précédent (Rivas-Martinez, 2005a). Le nombre de jours secs à travers les mois secs consécutifs (différence entre les deux courbes de précipitations et températures) n'est pas fourni par l'O.N.M d'Alger.

2.4.3.3 Quotient pluviothermique et climagramme d'Emberger

Le quotient pluviothermique Q_2 établi par Emberger (1955) est spécifique au climat méditerranéen. Il est le plus fréquemment utilisé en Afrique du Nord. Ce système appelé « climagramme d'Emberger » permet de déterminer l'étage bioclimatique d'une station donnée. Il est déterminé à partir de la formule suivante :

$$Q_2 = \frac{1000P}{\frac{(M+m)(M-m)}{2}} \quad \text{ou} \quad Q_2 = \frac{2000P}{M^2 - m^2}$$

P : Précipitations annuelles totales (mm) ;

M : Moyenne des maxima du mois le plus chaud (K°);

m : Moyenne des maxima du mois le plus froid (K°).

Les températures sont exprimées en Kelvin (K) : $T_K = T_C + 273,15$.

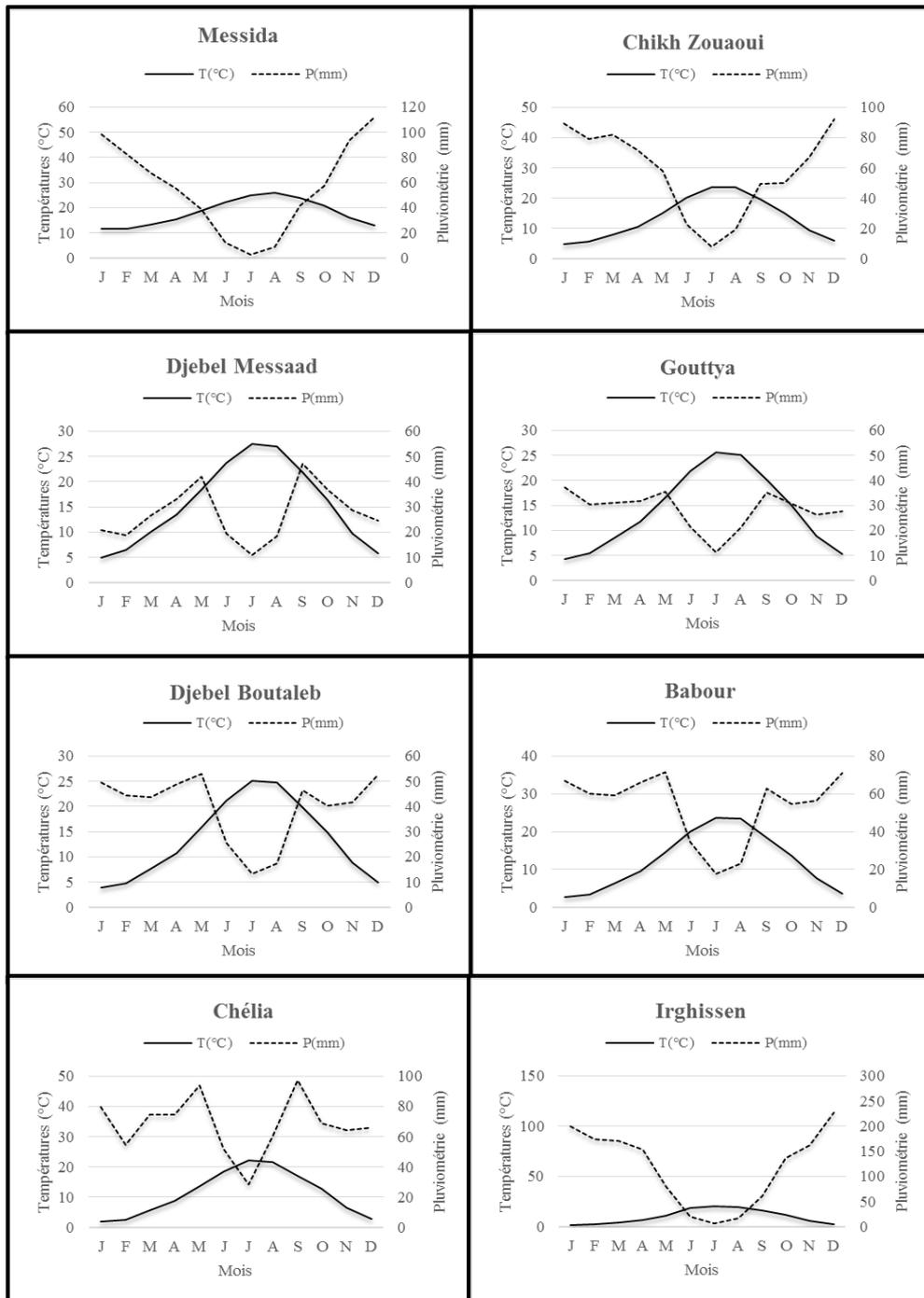


Figure 12. — Diagramme ombrothermique de Bagnouls & Gausson des stations d'échantillonnage. Messida (Me) ; Chikh Z. (Cz) ; Dj. Messaad (M) ; Gouttya (G) ; Dj. Boutaleb (B) ; Babor (Ba), Chélia (Ch) et Irghissen (I).

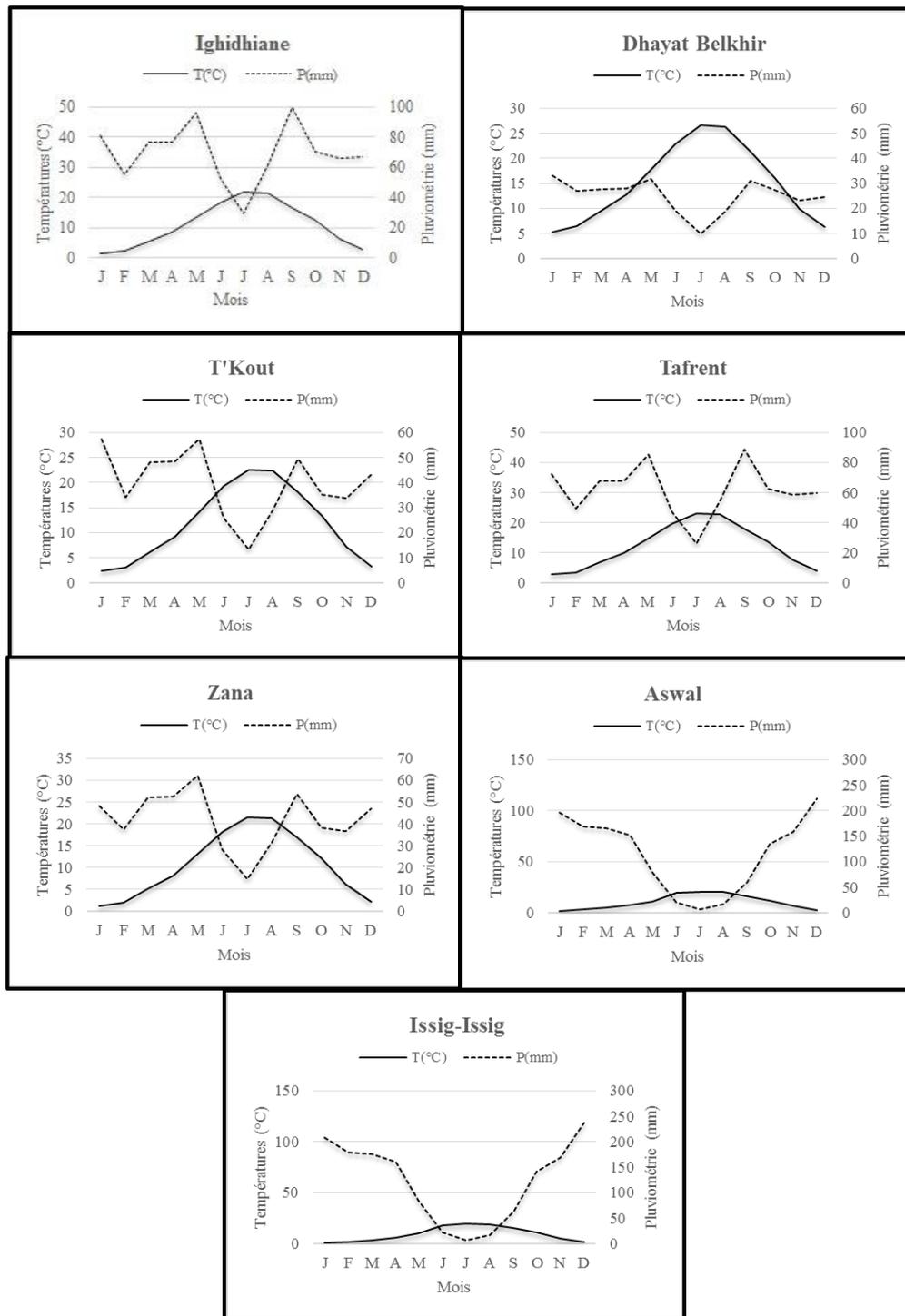


Figure 13. — Diagramme ombrothermique de Bagnouls & Gausson des stations d'échantillonnage. Ighidhiane (Ig) ; Dayat Belkhir (D) ; T'kout (K) ; Tafrent (T) ; Zana (Z) ; Aswal (A) et Issig-Issig (Is).

Stewart (1969) a développé une formule simplifiée de ce quotient pluviothermique d'Emberger pour l'Algérie et le Maroc, qui est défini comme suit :

$$Q_3 = 3,43 \frac{P}{M-m}$$

3.43 : Constante relative à la région : Algérie-Maroc ;

P : Précipitations totales annuelles en mm ;

M : Moyenne des maxima du mois le plus chaud en C° ;

m : Moyenne des minima du mois le plus froid en C°.

Le climagramme d'Emberger fait intervenir deux facteurs essentiels, d'une part la sécheresse représentée par le quotient pluviothermique Q_2 en ordonnées et d'autre part la moyenne des températures minimales du mois le plus froid en abscisses (Stewart, 1969). Plus ce quotient pluviothermique est élevé, plus le climat est plus humide (Dajoz, 1985). Par conséquent, l'application de la formule précédente de Stewart et en rapportant les valeurs de Q_3 et m (°C) sur le climagramme d'Emberger, on constate ce qui suit (Tableau 12 et fig. 14) :

- L'existence de cinq bioclimats, allant du semi-aride froid pour Dj. Messaad ($Q_3=36,1$) jusqu'au per-humide froid pour Issig-Issig ($Q_3=177,8$) ;
- Le coefficient de corrélation linéaire entre cet indice avec la pluviosité P est de $r=0,99$. Ceci traduit que les valeurs de l'indice, c'est à dire la répartition des bioclimats, s'explique plus par le taux des précipitations annuelles.

Tableau 12. Pluviométrie, températures et quotients d'aridité des sites étudiés concernant les cinq espèces.

Site	T (°C)		P (mm/an)	Q ₃	Bioclimats
	M (°C)	m (°C)			
Messida	31,7	6,7	670,6	92,2	Sub-humide tempéré
Chikh Z.	31,2	0,7	688,0	77,4	Sub-humide frais
Dj. Messaad	34	0,9	327,1	36,1	Semi-aride frais
Gottya	33,1	-0,2	338,8	34,9	Semi-aride froid
Dj. Boutaleb	32,4	-0,2	476,3	50,1	Semi-aride froid
Babor	30,8	-1,1	643,3	69,2	Sub-humide froid
Chélia	28,8	-1,5	814,5	92,3	Sub-humide froid
Irghissen	27,1	-1,5	1407,1	168,8	Per-humide froid
Ighidhiane	28,5	-1,7	833,7	94,7	Humide froid
Dhayat Belkhir	34,5	0,6	300,8	30,4	Semi-aride frais
T'Kout	34	-2,5	462,2	43,4	Semi-aride froid
Tafrent	30,8	-0,7	740,1	76,5	Sub-humide froid
Zana	30,1	-3,3	502,2	51,88	Sub-humide très froid
Aswal	27,6	-1,2	1 377,5	164,1	Per-humide froid
Issig-Issig	26,1	-2,1	1 461,5	177,8	Per-humide froid

m, moyenne des minima du mois le plus froid en °C ; M, moyenne des maxima du mois le plus chaud en °C ; P, pluviométrie en mm/an ; Q₃, quotient pluviothermique d'Emberger.

2.4.3.4 Etagement bioclimatique de Rivas-Martinez : thermotypes et ombrotypes

Depuis, 1996 à nos jours, Rivas-Martinez a tenté de développer les corrélations maximales possibles entre la végétation potentielle et les valeurs quantitatives du climat, en adoptant de nouvelles conceptions (paramètres et indices climatiques et biogéographiques) via un système de classification bioclimatique « **Sistema de Clasificación Bioclimática Mundial** », utilisé à l'échelle européenne bien que mondiale.

Selon cet auteur, la délimitation des étages bioclimatiques se fait en fonction des facteurs thermoclimatiques (thermotypes : Indice de thermicité **It**, Indice de thermicité compensé **I_{tc}**) et des facteurs ombroclimatiques (ombrotypes : Indice ombrothermique annuel **I_{OA}** ou mensuel **I_{OM}** (Rivas-Martinez, 2005a).

- **Indice de thermicité de Rivas-Martinez (2005a)**

L'indice de thermicité **It**, qui est basé sur les considérations thermiques, est un facteur limitant pour beaucoup de plantes et communautés végétales selon l'intensité du froid. C'est la somme de T (température moyenne annuelle), M' (température moyenne des maxima du mois le plus froid) et m (température moyenne des minima du mois le plus froid) (Rivas-Martinez, 2005a). Donc sa formule est la suivante : **It = (T+M'+ m) 10**.

Pour calculer cet indice, une autre valeur de thermicité compensée (Ci) variant selon le degré continentalité thermique A (°C) doit être ajoutée à la formule précédente comme suit : **I_{tc} = It+ Ci**. Ce nouvel indice **I_{tc}** est appelé l'indice de thermicité compensée (Tableau 4, en annexe). Si l'indice de continentalité (A) est compris entre 8 et 18 °C, la valeur d'I_{tc} est considérée comme égale à celle d'It (It = I_{tc}).

Dans les territoires extratropicales de la Terre (latitude > 23° N et S) avec un indice de continentalité (A) >= 21) et un indice de thermicité ou thermicité compensée (It ou I_{tc} <120), le calcul des thermotypes se fait par la somme des températures moyennes mensuelles positives (Tp) de chaque localité (Rivas-Martinez, 2005a).

Pour un bioclimat méditerranéen, Rivas-Martinez (2005a) a défini 7 thermotypes allant de l'Inframéditerranéen jusqu'au glacial (Tableau 5, en annexe). La lecture du tableau 13 montre quatre thermotypes pour nos sites, allant de l'inframéditerranéen au supraméditerranéen avec It ou I_{tc} entre 450 et 213 avec l'influence altitudinale (coefficient de corrélation négative entre It et Alt, r= -0,88). En détaillant, nous aurons :

- L'inframéditerranéen supérieur qui est représenté par l'unique site du littoral « Messida » (It = 450) qui possède de fortes considérations thermiques (T=18,1°C ; M'= 20,2°C et m= 6,7°C).

- Le Termoméditerranéen pour les sites de Dayat Belkhir et Dj. Messaad, avec It ou Itc entre 415 et 369 qui se caractérisent par des variations hivernales chaudes pour M' et m ainsi que des amplitudes thermiques les plus élevées ($A > 21$). La limite entre le niveau inférieur (Dj. Messaad) et supérieur (Dayat Belkhir) peut être justifiée par le gradient altitudinal de sorte que Dj. Messaad s'individualise par des valeurs élevées (altitude= 1219m et amplitude= 22,4).
- Le Mésoméditerranéen est le plus étendu (dix sites) avec des valeurs de Itc entre 340 à Gotta et 223,5 à Zana. L'intensité du froid (M' et m) pour ces sites est importante. Elle augmente suivant le gradient altitudinal allant de Gotta (1098 m) vers Irghissen (1872m).
- Le Mépraméditerranéen inférieur est présenté par le site d'Issig-Issig avec un indice Itc égal à 213. Ce site a enregistré une forte intensité de froid avec des valeurs thermiques les plus faibles ($T=9,2^{\circ}\text{C}$; $M'=13,7^{\circ}\text{C}$ et $m=-2,1^{\circ}\text{C}$) en raison de l'effet altitudinal (2000 m) qui a joué un rôle très important.

Tableau 13. Valeurs de l'indice de thermicité de Rivas- Martinez (2005a) et thermotypes correspondants

Site	Alt (m)	A (°C)	T (°C)	M' (°C)	m (°C)	It ou Itc	Thermotypes
Messida	24	14,3	18,1	20,2	6,7	450	Inframéditerranéen supérieur
Chikh Z.	1098	18,8	13,5	16,5	0,7	311	Mésoméditerranéen inférieur
Dj. Messaad	1219	22,4	15,4	20,9	0,9	415	Termoméditerranéen inférieur
Gotta	1320	21,3	14	18,1	-0,2	340	Mésoméditerranéen inférieur
Dj. Boutaleb	1401	20,8	13,5	17,6	-0,2	323	Mésoméditerranéen inférieur
Babor	1633	21,1	12,2	16,7	-1,1	295	Mésoméditerranéen inférieur
Chélia	1825	20,2	11,2	15,4	-1,5	262	Mésoméditerranéen supérieur
Irghissen	1864	19	10	14,3	-1,5	233	Mésoméditerranéen supérieur
Ighidhiane	1872	20,3	10,9	15,2	-1,7	255,5	Mésoméditerranéen supérieur
Dhayat Belkhir	1130	21,4	15,1	18,9	0,6	369	Termoméditerranéen supérieur
T'Kout	1500	20,3	11,8	14,6	-2,5	250,5	Mésoméditerranéen supérieur
Tafrent	1639	20,2	12,2	16,2	-0,7	288	Mésoméditerranéen inférieur
Zana	1722	20,3	10,7	13,8	-3,3	223,5	Mésoméditerranéen supérieur
Aswal	1790	19	10,4	14,6	-1,2	243	Mésoméditerranéen supérieur
Issig-Issig	2000	19	9,2	13,7	-2,1	213	Sépraméditerranéen inférieur

Alt, altitude en m ; $A = (T_{max} - T_{min})$, amplitude thermique annuelle moyenne en °C ; T, moyenne annuelle en °C ; M', moyenne des maxima du mois le plus froid ; m, moyenne des minima du mois le plus froid en °C ; It, Indice de thermicité de Rivas-Martinez (2005) ; Itc, Indice de thermicité compensé de Rivas-Martinez (2005).

- Indice ombrothermique annuel de Rivas-Martinez (2005a)

Cet indice se définit par le rapport I_{OA} entre la somme en mm des précipitations moyennes des mois Pp dont les températures moyennes du même mois sont supérieures à 0 (Positive rainfall) et la somme en °C de ces températures moyennes positives (Tp). Cet indice est défini à l'échelle annuelle par le quotient ($I_{OA} = Pp / Tp$) (Rivas-Martinez, 2005a).

Pour le bioclimat méditerranéen, Rivas-Martinez (2005a) a défini 9 ombrotypes allant de l'ultra-hyper-aride jusqu'à l'ultra-Per-humide (Tableau 6, en annexe). L'application de cet indice nous donne ce qui suit (Tableau 14) :

- Cinq ombrotypes allant du semi-aride supérieur pour Dj. Messaad ($I_o = 1,8$) jusqu'à l'hyper-humide inférieur pour Issig-Issig ($I_o = 13,3$) ;
- Cet étagement ombrique concorde parfaitement avec nos bioclimats définis selon le concept de De Martonne (1932) hormis, les deux sites Dj. Boutaleb et T'kout qui ont marqué le même type sec supérieur. Néanmoins, le coefficient de corrélation linéaire entre les deux indices (I_{OA} de Rivas Martinez et I_{DA} de De Martonne) ($r = 0,99$) confirme cette concordance.
- Le coefficient de corrélation linéaire entre cet indice I_{DA} avec la pluviosité P est de $r = 0,99$. Ce qui montre que la répartition des bioclimats s'explique beaucoup plus par l'effet de la pluviosité annuelle.

Tableau 14. Valeurs de l'indice ombrothermique annuel de Rivas-Martinez (2005a) et ombrotypes correspondants.

Site	Alt (m)	Pp (mm)	Tp (°C)	I_{OA}	Bioclimat
Messida	24	670,6	217,0	3,7	Sub-humide inférieur
Chikh Z.	1098	688,0	162,0	4,2	Sub-humide inférieur
Dj. Messaad	1219	327,1	185,0	1,8	Semi-Aride supérieur
Gottya	1320	338,8	168,2	2,0	Semi-Aride supérieur
Dj. Boutaleb	1401	476,3	162,3	2,9	Sec supérieur
Babor	1633	643,3	146,7	4,4	Sub-humide inférieur
Chélia	1825	814,5	134,0	6,1	Humide inférieur
Irghissen	1864	1407,1	119,9	11,7	Humide supérieur
Ighidhiane	1872	833,7	131,0	6,4	Humide inférieur
Dhayat Belkhir	1130	300,8	181,0	1,7	Semi-Aride supérieur
T'Kout	1500	462,2	141,0	3,4	Sec supérieur
Tafrent	1639	740,1	146,0	5,1	Sub-humide supérieur
Zana	1722	502,2	127,8	3,9	Sub-humide inférieur
Aswal	1790	1 377,5	124,7	11,0	Humide supérieur
Issig-Issig	2000	1 461,5	110,0	13,3	Per-humide inférieur

Alt. Altitude (m) ; *Pp*, somme des précipitations des mois dont les températures moyennes de même mois sont positives en mm ; *Tp*, somme des températures moyennes mensuelles positives en °C ; I_{OA} , indice ombrothermique annuel de Rivas-Martinez (2005)

3. Synthèse

L'étude physique et la synthèse climatologique nous ont permis de proposer deux tableaux récapitulatifs, résumant les variables écologiques (de type quantitatif) des stations d'échantillonnage, utilisées lors de notre étude (résultats et discussions) chez les espèces en aiguilles (Tableau 15) et en écailles (Tableau 16).

Tableau 15. Caractéristiques écologiques des stations d'échantillonnage pour les deux espèces de la section *Oxycedrus*.

Espèce	Station	Altitude (m)	Latitude (Lat)	Longitude (Long)	Exposition	M(C°)	m (C°)	P (mm)	Continentalité		Aridité		
									A (= Ic)	Bioclimats	Q3	Bioclimats	
<i>J. oxycedrus</i>	Messida (Me) El Taref	24	36°54'N	08°31'E	Nord-Ouest	31,7	6,7	670,6	14,3	Eu-océanique accentué	92,2	Sub-humide Tempéré	
	Chikh Z. (Cz) Constantine	1098	36°20'N	06°26'E	Nord-Ouest	31,2	0,7	688	18,8	Semi-continental accentué	77,4	Sub-humide Frais	
	Dj. Messaad (M) M'sila	1219	35°02'N	04°12'E	Ouest	34	0,9	327,1	22,4	Sub-continental accentué	36,1	Semi-aride Frais	
	Gottya (G) Djelfa	1320	34°33'N	02°48'E	Nord-Est	33,1	-0,2	338,8	21,3	Sub-continental accentué	34,9	Semi-aride Froid	
	Boutaleb (B) Sétif	1401	35°44'N	05°21'E	Est	32,4	-0,2	476,3	20,8	Semi-continental atténué	50,1	Semi-aride Froid	
	Babor (Ba) Sétif	1633	36°30'N	05°29'E	Est	30,8	-1,1	643,3	21,1	Sub-continental accentué	69,2	Sub-humide Froid	
	Chélia (Ch) (Khenchela)	1825	35°18'N	06°37'E	Sud-Est	28,8	-1,5	814,5	20,2	Semi-continental atténué	92,3	Sub-humide Froid	
	<i>J. communis</i>	Irghissen (I) Bouira	1864	36°28'N	04°10'E	Sud-Ouest	27,1	-1,5	1407,1	19	Semi-continental accentué	168,8	Per-humide froid
		Ighidhiane (Ig) Khenchela	1872	35°20'N	06°55'E	Nord-Ouest	28,5	-1,7	833,7	20,3	Semi-continental atténué	94,7	Humide froid

M, moyenne des maxima du mois le plus chaud en degrés Celsius ; *m*, moyenne des minima du mois le plus froid en degrés Celsius ; *A*, amplitude thermique annuelle moyenne en degrés Celsius ; *Ic*, indice de continentalité thermique de Rivas-Martinez (2005a) en degrés Celsius ; *P*, pluviométrie en mm/an ; *Q3*, quotient pluviothermique d'Emberger modifié par Stewart (1969) (Source : O.N.M., Office national de la météorologie d'Alger).

Chapitre II. Etude du milieu

Tableau 16. Caractéristiques écologiques des sites d'étude concernant les trois espèces de la section *Sabina*.

Espèce	Station	Alt (m)	Lat & Long	Exp	M (C°)	m (C°)	P (mm)	Continentalité					Sècheresse				
								Hydrique		Thermique		Estivale		Globale			
								G	Domaines	Ic	Bioclimats	Ios	Bioclimats	It	Thermotypes	Ioa	Ombrotypes
<i>J. phoenicea</i>	Dayat B. (D) Djelfa	1130	34°56'N 03°26'E	Sud	34,5	0,6	300,8	19	Externe accentué	21,4	Subcontinental accentué	0,63	Méditerranéen	369	Termoméditerranéen supérieur	1,7	Semi-Aride supérieur
	Dj. Messaad (Ms) M'sila	1219	35°02'N 04°12'E	Sud	34	0,9	327,1	20	Externe accentué	22,4	Subcontinental accentué	0,63	Méditerranéen	415	Termoméditerranéen inférieur	1,8	Semi-Aride supérieur
	Boutaleb (B) Sétif	1401	35°44'N 05°21'E	Est	32,4	-0,2	476,3	29	Externe accentué	20,8	Semicontinental atténué	0,79	Méditerranéen	323	Mésoméditerranéen inférieur	2,9	Sec supérieur
<i>J. thurifera</i>	T'Kout (K) Batna	1500	35°06'N 06°21'E	Est	34	-2,5	462,2	28	Externe accentué	20,3	Semicontinental atténué	1,06	Méditerranéen	250,5	Mésoméditerranéen supérieur	3,4	Sec supérieur
	Tafrent (T) Khenchela	1639	35°13'N 06°38'E	Nord- Est	30,8	-0,7	740,1	45	Externe moyen	20,2	Semicontinental atténué	1,96	Méditerranéen	288	Mésoméditerranéen inférieur	5,1	Sub-humide supérieur
	Zana (Z) Batna	1722	35°22'N 06°19'E	Nord- Est	30,1	-3,3	502,2	30	Externe accentué	20,3	Semicontinental atténué	1,22	Méditerranéen	223,5	Mésoméditerranéen supérieur	3,9	Sub-humide inférieur
<i>J. sabina</i>	Aswal (A) Bouira	1790	36°28'N 04°11'E	Nord- Ouest	27,6	-1,2	1377,5	83	Interne accentué	19	Semicontinental accentué	0,70	Méditerranéen	243	Mésoméditerranéen supérieur	11,0	Humide supérieur
	Issig-Issig (Is) Bouira	2000	36°28'N 04°05'E	Sud- ouest	26,1	-2,1	1461,5	88	Interne accentué	19	Semicontinental accentué	0,79	Méditerranéen	213	Sépraméditerranéen inférieur	13,3	Per-humide inférieur

Alt, altitude ; *Lat*, latitude ; *Long*, longitude ; *Exp*, Exposition ; *M*, moyenne des maxima du mois le plus chaud en degrés Celsius ; *m*, moyenne des minima du mois le plus froid en degrés Celsius ; *P*, pluviométrie en mm/an ; *G*, angle de continentalité hydrique de Gams 1932 modifié par Michalet en degrés ; *Ic*, indice de continentalité thermique de Rivas-Martinez (2005) en degrés Celsius ; *Ios*, indice ombrothermique estival de Rivas-Martinez (2005a) ; *It*, indice de thermicité de Rivas-Martinez (2005a) ; *Ioa*, indice ombrothermique annuel de Rivas-Martinez (2005a).

Chapitre III

Matériel & méthodes

1. Matériel

1.1 Matériel végétal

L'échantillonnage a concerné les feuilles et les galbules de dix-sept populations naturelles pour les cinq espèces du genre *Juniperus* (*J. oxycedrus* ; *J. communis* ; *J. phoenicea* ; *J. thurifera* et *J. sabina*) existantes en Algérie (Tableau 3, chap. II).

1.1.2 Espèces en aiguilles

L'échantillonnage a été effectué durant les campagnes (2013-2016) pour *J. oxycedrus* et *J. communis*, respectivement. Le nombre d'arbustes choisis aléatoirement est de trente pieds par population (un total de 540 arbres). Par la suite trente aiguilles et trente galbules en état de maturité ont été prélevés autour de la couronne de chaque arbre échantillonné (09 stations avec 8100 aiguilles et 8100 galbules pour les deux espèces). Concernant les stomates, cinq aiguilles par arbuste ont été prélevées sur dix arbustes (parmi ceux déjà échantillonnés) des neuf populations (un total de 90 arbres et 450 aiguilles).

1.1.3 Espèces en écailles

La récolte a été effectuée durant la campagne (2014-2016). Pour les deux espèces *J. phoenicea* et *J. thurifera*, un ensemble de trente arbres par population, ont été retenus, également pour les feuilles et les galbules (180 pieds). Puis, trente petites ramules et trente galbules en état de maturité ont été prélevés autour de chaque pied échantillonné (6 Stations avec 5400 ramules et 5400 galbules pour les deux espèces).

Concernant l'espèce *J. sabina*, trente ramules ont été récoltées sur 28 arbres par population (56 pieds, 840 ramules) car la population d'Aswal ne comporte que 28 sujets. Les galbules ont été échantillonnés seulement dans une station (Aswal), le nombre est fixé selon leur présence par arbuste (16 pieds, 476 galbules).

1.2 Dispositif expérimental

L'étude de la variabilité phénotypique de nos espèces du genre *Juniperus* a fait intervenir la microscopie à différentes échelles (loupe, microscopie optique et électronique). L'information fournie se présente généralement sous forme d'images. Selon Gorecki (1989), la microscopie électronique à balayage, permettant d'accéder à des informations relatives à la surface (ou subsurface), plus que nulle autre technique, a été largement exploitée pour l'observation morphologique.

2. Méthodes

2.1 Etude morphométrique

2.1.1 Tests d'observations et caractères choisis

Pour étudier la diversité morphologique de chaque espèce, une évaluation de caractères morphologiques quantitatifs et qualitatifs (Tableaux 17 et 18), inspirés de plusieurs études a été réalisée. Pour l'oxycedre et le commun (Lebreton *et al.*, 1991; Juan *et al.*, 2003; Klimko *et al.*, 2004-2007 ; Brus *et al.*, 2011 ; Adams, 2014b), pour le Phénicie (Lebreton, 1983 ; Mazur *et al.* 2003-2010, etc.) et pour le thurifère (Gauquelin *et al.* 1988 ; Barbéro *et al.* 1994 ; Vela & Schäfer, 2013).

En plus, il existe plusieurs descripteurs ou des guides qui permettent une différenciation phénotypique (même pour la couleur) facile et rapide pour certaines espèces et à l'œil nu, malheureusement, aucun guide pour les espèces du genre *Juniperus* n'est disponible. Nous nous sommes donc inspirés d'autres descripteurs afin de compléter les descriptions des études citées plus hauts (référentiels de l'IPGRI en 1997 pour le pistachier et le caroubier).

Donc, pour chacune des espèces étudiées, nous avons procédé à un test préliminaire pour connaître le degré de variation des caractères choisis. Ce test a porté sur quelques arbres pour quelques populations pour chacune des espèces étudiées. Sur chacun de ces arbres, nous avons prélevé de manière aléatoire, et à différents niveaux de l'arbre, des feuilles et des galbules. Puis, nous avons évalué le degré de variation de chaque caractère de la base vers le sommet de sorte que nous puissions constater qu'au niveau de chaque arbre, une stabilité de ce caractère d'un organe végétatif à un autre, d'un arbre à un autre pour chaque population. Ensuite, ces résultats ont été comparés avec ceux obtenus par nos soins dans la littérature des espèces du genre pour déterminer notre échelle de variation. A la suite de quoi, nous avons effectué nos prélèvements (échantillons des galbules) sans tenir compte de leur position sur l'arbre.

2.1.2 Mensurations

2.1.2.1 Examen macroscopique

Les mesures pour les feuilles et les galbules (Fig. 15) concernant les cinq espèces ont été effectuées à l'aide d'un pied à coulisse à l'œil nu et/ou en utilisant un stéréoscope Optika (grossissement 40x).

2.1.2.2 Examen microscopique

- Etude des stomates au microscope optique

Pour les espèces en aiguilles, les caractères stomatiques (Fig.16) ont été évalués par la méthode de l'impression épidermique proposée par Hilu & Randall (1984) sous microscope optique (grossissement 400x) relié à un ordinateur à l'aide d'un logiciel d'analyse d'images (Motic Images Plus 2.0). Le principe consiste à appliquer une fine couche de vernis transparent uniquement à la face inférieure de l'aiguille. Une fois séchée, cette couche de vernis est tirée à l'aide d'un scotch (ruban adhésif) transparent qui est placé par la suite sur une lame porte-objet. Pour faire le comptage des stomates (la densité stomatique), cinq champs d'observation, par empreinte ou aiguille, ont été examinés aléatoirement. Dans chaque champ observé, la taille (longueur et largeur) d'un stomate a été mesurée. Au total 2250 champs et 2250 stomates ont été examinés, chaque champ ayant une surface de 400mm².

- Etude des surfaces épidermiques au microscope électronique à balayage

Pour l'étude des surfaces épidermiques, les feuilles ont été examinées au microscope électronique à balayage (FEI/Philips XL-30 Field Emission ESEM). Trois feuilles par population ont été traitées pendant cinq heures à l'alcool à 90° sous ultrasons, puis séchées à l'air libre à température et humidité ambiantes, avant d'être observées au MEB. Trois autres échantillons par population ont été observés sans aucun traitement. Ensuite, les procédures standards pour la microscopie électronique à balayage ont été appliquées. Les échantillons sont couverts d'une fine couche d'or et placés sur des stubs (plots). Les échantillons ainsi préparés peuvent être observés à différents grossissements et des photographies numériques ont été prises à différentes échelles. L'analyse des micrographies obtenues a permis d'analyser trois caractères principaux chez les deux espèces en aiguilles (Tableau 18) et sept chez les trois espèces en écailles (Tableau 2).

Chapitre III. Matériel & Méthodes

Tableau 17. Caractères morphologiques (quantitatifs et qualitatifs) étudiés chez les deux espèces en aiguilles.

Organe	Espèce concernée	Caractère morphologique
Aiguille	<i>J. oxycedrus</i> & <i>J. communis</i>	Longueur de l'aiguille en mm (Ln) Largeur de l'aiguille en mm (Lr) Rapport (Longueur/ Largeur) de l'aiguille (R) Longueur de la nervure médiane (ou la partie visible) de l'aiguille en mm (Lnv) Forme de l'aiguille (F) : 1- Symétrique ; 2- Asymétrique (1-orientée vers la droite ; 2- orientée vers la gauche ; 3- Droite d'un seul côté). Forme de la base de l'aiguille (Fb) : 1-Aplatie ; 2-Arrondie ; 3-Arrondie, droite d'une face unique Forme de l'apex de l'aiguille (Fap) : 1-Aigu ; 2-Elargi ; 3-Rétréci Couleur de l'aiguille (C) : 1-Vert très clair ; 2-Vert clair ; 3-Vert Cire : 1-Face supérieure (Cip) ; 2-Face inférieure (Cif) ; (1- Absence ; 2- Présence)
	<i>J. communis</i>	Visibilité de la nervure médiane (Vn) : 1-Visible ; 2- Non visible
Galbule	<i>J. oxycedrus</i> & <i>J. communis</i>	Longueur du galbule en mm (Lng) Largeur du galbule en mm (Lrg) Rapport (Longueur/ Largeur) du galbule (Rg) Poids du galbule en g (Pg) Forme du galbule (Fg) : 1-Arrondie ; 2-Ovoïde ; 3-Allongée ; 4-Cordiforme ; 5-Falciforme Forme de la cicatrice blanchâtre sur l'enveloppe du galbule (Fci) : 1-Triangle ; 2-Polygones incomplets ; 3-Polygones complets ; 4-Trait unique ; 5-Deux traits sécants
	<i>J. oxycedrus</i>	Couleur du galbule (Cg) : 1-Brun sombre ; 2-Rouge sombre ; 3-Brun rouge sombre ; 4-Brun rouge vif
	<i>J. communis</i>	Couleur du galbule (Cg) : 1- Bleu noirâtre sombre ; 2- Bleu noirâtre vif ; 3- Noir brunâtre
Stomate	<i>J. oxycedrus</i> & <i>J. communis</i>	Longueur du stomate en μm (Lns) Largeur du stomate en μm (Lrs) Rapport (Longueur/ Largeur) du stomate (Rs) Densité stomatique (Ds) (stomates/ mm^2)
Epiderme	<i>J. oxycedrus</i> & <i>J. communis</i>	Occurrence de cire sur les deux faces de l'aiguille (Ci) Situation des stomates par rapport à la surface de l'épiderme supérieur de l'aiguille (S) Orientation des stomates par rapport à la nervure principale (Os)

Tableau 18. Caractères morphologiques (quantitatifs et qualitatifs) étudiés chez les trois espèces en écailles

Organe	Espèce	Caractères morphologiques	
Feuille	<i>J. phoenicea</i> , <i>J. thurifera</i> & <i>J. sabina</i>	Longueur de la ramification principale en mm (LRp)	
		Nombre de ramifications primaires (NRp)	
		Longueur de la ramification basale en mm (LRb)	
		Épaisseur de la ramification basale en mm (ERb)	
		Nombre de ramifications secondaires basales (NRSb)	
		Nombre d'écailles sur la ramification basale (NERb)	
		Épaisseur de la ramification finale en mm (ERf)	
		Nombre d'écailles sur 5mm de la ramification finale (NERb)	
		Forme de la ramule (Fr) : 1- Cylindrique ou subcylindrique ; 2-Tétragone 3- Aplatie	
		Couleur de la ramule (Cr) : 1- Vert clair ; 2- Vert ; 3- Vert foncé	
Galbule	<i>J. phoenicea</i> , <i>J. thurifera</i> & <i>J. Sabina</i>	Longueur du galbule en mm (Lng)	
		Largeur du galbule en mm (Lrg)	
		Rapport (Longueur/ Largeur) du galbule (Rg)	
		Poids du galbule en g (Pg)	
		Forme du galbule (Fg) : 1- Arrondie ; 2- Ovoïde ; 3- Allongée ; 4- Cordiforme ; 5- Falciforme	
		Forme de la cicatrice blanchâtre sur l'enveloppe du galbule (Fci) : 1- Présence (1-Triangulaire ; 2-Trait unique ; 3-Deux traits parallèles ; 4-Polygone complet ; 5-Polygone incomplet ; 6-Asymétrique) ; 2- Absence.	
		Nature de l'épicarpe du galbule (Ng) : 1- Dur ; 2- Mou	
		<i>J. phoenicea</i>	Couleur du galbule (Cg) : 1- Brun ; 2-Rouge ; 3- Brun rouge sombre ; 4- Brun rouge vif
		<i>J. thurifera</i>	Couleur du galbule (Cg) : 1- Noir bleuâtre vif ; 2- Noir bleuâtre sombre ; 3- Noir
		<i>J. sabina</i>	Couleur du galbule (Cg) : 1- Noire bleuâtre ; 2- Noire violâtre ; 3- Noir
Epiderme	<i>J. phoenicea</i> , <i>J. thurifera</i> & <i>J. Sabina</i>	Forme des écailles (Fe)	
		Forme de la marge des écailles (Fm)	
		Présence de glandes (Pg)	
		Forme de l'apex (Fa)	
		Forme et agencement des stomates (S)	
		Forme de la nervure médiane (N)	
		Occurrence de cire (Ci)	

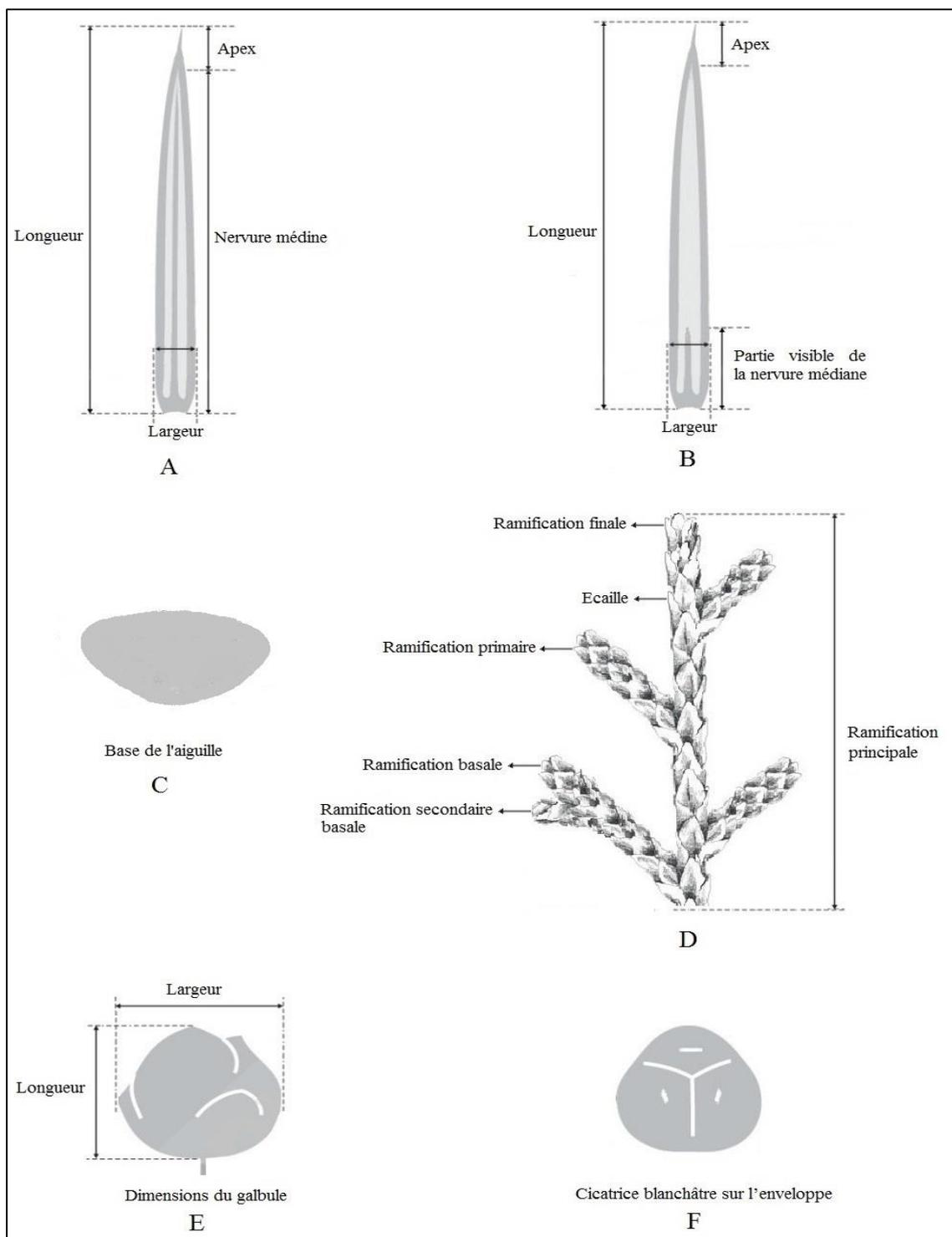


Figure 15.— Parties végétales étudiées. A et B, aiguilles de *J. oxycedrus* et *J. communis* ; C, base de l'aiguille (espèce en aiguilles) ; D, Ramule (espèce écaillées) ; E, dimensions d'un galbule ; F, cicatrice blanchâtre sur l'enveloppe du galbule.

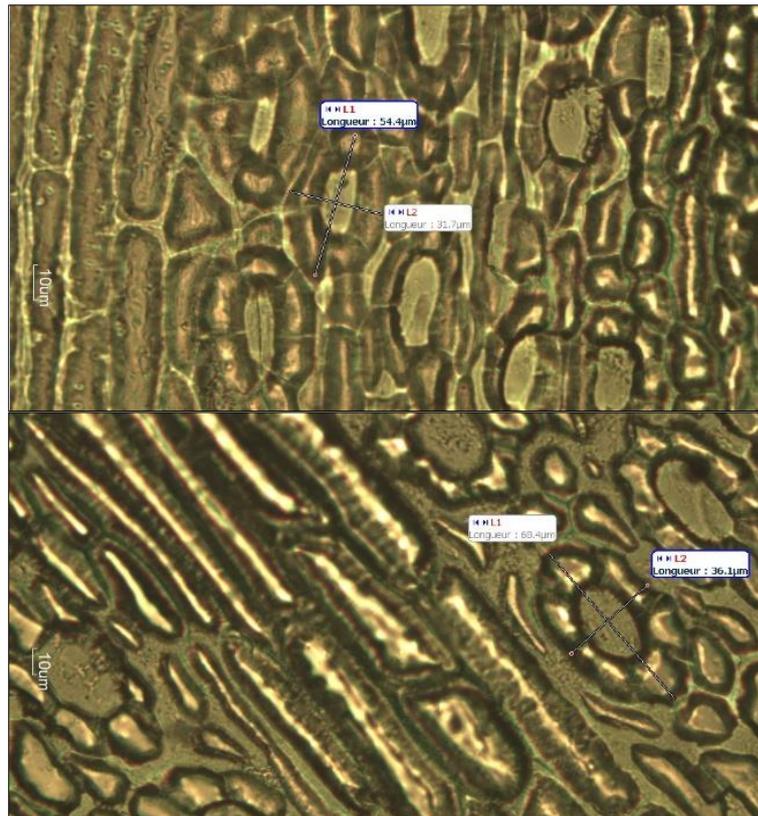


Figure 16. — Mesures biométriques pour les stomates de *J. oxycedrus* (station de Boutaleb, Sétif) au microscope optique (grossissement 400x) relié à un ordinateur à l'aide d'un logiciel d'analyse d'images (Motic Images Plus 2.0).

2.2 Méthodes d'analyses statistiques

2.1.1 Types des caractères

Pour mieux décrire la variabilité des espèces du genre *Juniperus*, les caractères retenus dans le cadre de notre étude, sont de type qualitatifs (une expression discontinue, observables) et quantitatifs (mesurables). Parfois, une discrétisation des variables quantitatives en variables qualitatives est nécessaire pour construire des fichiers statistiques de nature homogène via un découpage en classes (cas des espèces en aiguilles). Cette transformation se fait comme suit :

L'intervalle entre chaque classe a été obtenu approximativement après application de la formule :

$$\text{Intervalle de classe} = \frac{\text{X max} - \text{X min}}{\text{Nombre des classes}}$$

Avec X max et X min, respectivement, qui sont les plus grandes et les plus petites valeurs de X dans la série statistique.

Diverses formules empiriques (Tableau 19) permettent d'établir le nombre de classes K pour un échantillon de taille N. Elles servent à découper une plage de valeurs en tranches pour en faire la description statistique (Sturges, 1926).

Tableau 19. Diverses formules empiriques pour la discrétisation des variables quantitatives.

Concept	Formule
Yule	$K = \frac{5}{2} \times \sqrt[4]{N} = 2,5 \times N^{0,25}$
Sturges-Huntsberger	$K = 1 + \frac{10}{3} \times \log N$
Brooks-Carruthers	$K = 5 \times \log_{10}(N)$

Application :

Pour le genévrier oxycedre, nous avons échantillonné 7 populations, donc selon la règle de Yule l'effectif de l'échantillon pour cette espèce est de $N = 7$; par la suite le nombre de classes pour chaque variable est de $K = 4,066$; on prend $K \approx 4$ (l'entier le plus proche de k). Si l'on prend comme exemple la variable « Longueur de l'aiguille de l'oxycedre (Ln) », avec :

- Borne supérieure de la classe (Valeur max =29,46)
- Borne inférieure (Min= 7,48)

Comme le nombre de classes est déterminé, 4 selon la règle de Yule, pour toute sorte de variable concernant cette espèce. L'intervalle de chaque classe pour la longueur de l'aiguille (Ln) est égal à 5,495. Par conséquent, les 4 classes pour cette variable seront (Tableau 20) :

Tableau 20. Intervalles de classes pour la longueur de l'aiguille chez l'oxycedre.

Intervalle de Classe	Dénombrement de classe
[07,480 - 12 ,975[1
[12 ,975 - 18,470[2
[18,470 - 23,956[3
[23,956 - 29,460]	4

Et nous allons faire la même chose pour les autres variables.

2.2.2 Tests de normalité

La normalité des données a été vérifiée à l'aide du test de Kolmogorov Smirnov. La distribution de l'échantillonnage tend à suivre la loi normale (taille des échantillons suffisamment grande).

2.2.3 Statistiques descriptives

Les statistiques élémentaires ont été calculées à l'échelle intra et inter-populations pour chacune des espèces étudiées (moyenne, minimum, maximum écart-type et coefficient de variation, effectifs).

2.2.4 Tests de significativité

Le test de Student est utilisé pour comparer les moyennes chez les espèces qui ont deux populations (cas de *J. communis* et *J. sabina*). Lorsqu'il y a plus de deux groupes indépendants ou appariés (cas de *J. oxycedrus*, *J. phoenicea* et *J. thurifera*), il devient nécessaire d'utiliser une analyse de la variance à un seul facteur. Ces deux tests ont été appliqués pour les variables quantitatives et semi quantitatives exprimées en pourcentage (qualitatives réduites).

2.2.5 Tests de corrélation

Le coefficient de corrélation « r » avec sa valeur comprise entre -1 et 1, a été appliqué pour visualiser la liaison entre les variables quantitatives.

2.2.6 Analyses factorielles

Afin de visualiser la structuration de la diversité morphologique des cinq espèces étudiées, les analyses multivariées ont été appliquées à l'échelle de l'arbre (individus) pour les feuilles, les galbules ainsi que les stomates (cas des espèces en aiguilles).

2.2.6.1 Analyse en composantes principales (ACP)

L'analyse en composantes principales (ACP) a été appliquée pour les variables quantitatives relatives aux aiguilles, aux galbules, aux stomates chez les espèces en aiguilles (Tableau 17) avec les variables environnementales (Tableau 15, chap. II).

Les cercles de corrélation permettent de visualiser les liaisons linéaires sur l'ensemble des variables considérées, soit celles qui sont très corrélées entre elles, ou bien celles qui, au

contraire ne le sont pas. L'étude des individus permet de voir s'il existe des groupes d'individus qui se ressemblent ou se distinguent l'un de l'autre (Rao, 1964 ; Benzécri, 1973 ; Lebart, *et al.*, 1995 ; Morineau & Aluja-Banet, 1998).

2.2.6.2 Analyse factorielle des correspondances (AFC)

L'analyse factorielle des correspondances permet notamment de résumer les variables qualitatives mais pas seulement (Dumolard, 2011). Pour les espèces en aiguilles, cette analyse (AFC) a été appliquée (Bouxin, 2016) pour avoir dans un même plan les individus (arbres) et les variables (caractères morphologiques mesurés) afin de mettre l'accent sur la similarité ou non entre les populations étudiées. Les données traitées correspondent à un fichier statistique homogène construit suite à une transformation des variables quantitatives en variables qualitatives (un découpage en 4 classes) par la méthode des histogrammes (Cassin, 1999). Puis, pour les espèces en écailles, le même test a été appliqué pour les variables semi-quantitatives (qualitatives réduites).

2.2.6.3 Analyse factorielle multiple (AFM)

L'Analyse factorielle multiple a été appliquée pour les variables quantitatives relatives aux ramules et galbules (Tableau 18) avec les variables écologiques (Tableau 16, chap. II) pour voir l'influence de ces deux groupes de variables sur le regroupement des arbres chez les populations des espèces en écailles.

Cette analyse est dédiée aux tableaux de données où les variables sont structurées en groupes. Elle se comporte comme ACP lorsque les variables sont quantitatives, autant qu'ACM quand les variables sont qualitatives et d'Analyse Factorielle de Données Mixtes (AFDM) lorsque les variables actives sont des deux types. La pondération de cette analyse permet d'équilibrer l'influence de chaque groupe de variables sur les deux axes, d'étudier les liens entre les groupes de variables et de récupérer les graphiques classiques (ACP et ACM) mais avec des graphiques particuliers (Escofier & Pagès, 2008 ; Husson *et al.*, 2009 ; Pagès, 2002-2013).

2.2.6.4 Classification ascendante hiérarchique (CAH)

Dans notre étude, les méthodes hiérarchiques visent à regrouper en classes homogène (grande similarité) l'ensemble des arbres de chaque espèce étudiée. Le type choisi est la distance euclidienne qui est la distance la plus utilisée et la plus directe pour calculer des

distances dans un espace multidimensionnel (Nakache & Confais, 2005 ; Boubou, 2007). Par conséquent :

- Une classification ascendante hiérarchique (CAH) obtenue par la méthode de Ward a été appliquée pour les espèces en aiguilles. Le critère de Ward vise à minimiser l'inertie intra-classe dans un espace euclidien (Boubou, 2007).
- Une classification ascendante hiérarchique sur composantes principales (CHAC) après une analyse factorielle a été réalisée pour les espèces en écailles. Les points (arbres) à classer étant repérés par les coordonnées des premiers axes factoriels (cas des espèces en écailles) (Boubou, 2007).

2.2.7 Logiciels appliqués

L'ensemble de ces tests a été effectué à l'aide des programmes STATISTICA (10 et 12) et R (3.2.4 et 3.4.0).

Chapitre IV

Résultats & discussions

A. Etude de la variabilité morphologique (aiguilles, galbules) au sein des espèces de la section *Oxycedrus* : *J. oxycedrus* L. & *J. communis* L.

1. Résultats

1.1 Morphométrie

1.1.1 Aiguilles

Pour *J. oxycedrus*, les aiguilles (Tableaux 21 & 22) de l'oxycedre, la longueur (Ln) est en moyenne de 16,61 mm pour l'espèce, la population de Babor (Ba) a enregistré la plus faible valeur (14,87 mm) contrairement à Djebel Messaad (M) qui a enregistré la valeur la plus importante (18,33 mm). Concernant, la largeur (Lr), les valeurs par population, varient entre 2,19 mm à Messida (Me) et 1,60 mm à Boutaleb (B) avec une moyenne de 1,83 mm pour l'espèce. Le rapport longueur/largeur (R) est plus faible (7,06) à Me et plus grand (11,07) à B, avec une moyenne de 9,39 pour l'ensemble des populations. Concernant, la longueur de la nervure médiane (Lnv), la moyenne est de 14,11 mm ; elle est plus petite (12,17 mm) à Me et plus longue (15,81 mm) à M. La forme symétrique des aiguilles est la plus répandue (90,4 %) chez l'espèce ; il en est de même pour chacune des populations Me (94,7 %), Cz (95,7 %), M (93,2%), G (79,4%), B (82,1%), Ba (91,7%) et Ch (95,8%). Pour la forme de la base de l'aiguille (Fb), la moyenne prédominante pour l'espèce est la forme arrondie (53,4 %). C'est la même forme qui prédomine pour les populations M (70,3 %), Ch (67,8 %), Me (61,0 %), Cz (52,2 %). Cependant, les autres populations G, B et Ba présentent deux formes majoritaires : arrondie (43,2 % ; 36,3 % et 42,9 %, respectivement) et arrondie droit d'un seul côté (41,0 % ; 45,4 % et 39,3 %, respectivement). La forme de l'apex (Fap) est majoritairement aigüe chez l'espèce (74,8 %), c'est également le cas pour le reste des populations où la forme aigüe domine. Pour la couleur, le vert représente le pourcentage le plus élevé (66,2 %), suivi par le vert clair (22,9 %) et le vert très clair (10,9 %) pour l'espèce. Il en est de même pour chaque population de sorte que le vert prédomine et les aiguilles de Cz présentent une valeur maximale (80,8 %). Concernant la cire, elle est présente sur les deux faces abaxiales et adaxiales pour toutes les aiguilles. Celle-ci se présente sous forme de dépôts uniformes luisants à la surface de la feuille.

Concernant les aiguilles de *J. communis* (Tableaux 23 & 24), la longueur et la largeur moyenne des aiguilles sont de 11,94 - 1,45 mm et 10,62 - 1,32 mm à Irghissen et Ighidhiane, respectivement. Les aiguilles sont plus longues (11,94 mm) et plus larges (1,45 mm) à Irghissen. Le rapport R donne les valeurs de 8,35 à Irghissen et 8,13 à Ighidhiane avec une moyenne de 8,23 pour l'espèce. En ce qui concerne la longueur de la partie visible de la

nervure médiane, la moyenne pour l'espèce est de 2,61mm, avec la plus grande valeur à Ighidhiane (3,02mm). Concernant, la forme des aiguilles, la forme symétrique est la plus dominante (I- 82,56% ; Ig- 91,11%). La forme de la base de l'aiguille est majoritairement arrondie (76,33% et 84%, à I et Ig, respectivement). Pour l'apex, la majorité des aiguilles possèdent la forme aiguë pour les deux stations I et Ig (88,56% et 85,22%, respectivement). Les autres formes sont présentes avec des pourcentages minimes. En ce qui concerne, la visibilité de la nervure médiane sur la face supérieure, une absence de 59,22% a été enregistrée pour l'espèce (avec 53,78 % et 64,67 % à I et à Ig, respectivement). Les aiguilles qui possèdent une nervure visible, représentent 46,22% à Irghissen et 35,33% à Ighidhiane avec un pourcentage de 40,78% entre les deux stations. Une homogénéité de la couleur des aiguilles a été enregistrée pour les deux populations avec une dominance de la couleur verte (I- 62,33 %, Ig- 66,00 %). Pour la présence de la cire, celle-ci a été enregistrée de manière égale pour les deux stations.

1.1.2 Galbules

Pour les galbules de *J. oxycedrus* (Tableaux 21 & 22), la longueur moyenne (Lng) pour l'espèce est de 10,92 mm. La valeur la plus grande (15,18 mm) est enregistrée pour Me et la plus petite (9,63 mm) pour M. Pour la largeur (Lrg), les galbules les plus larges (14,55 mm) ont été collectés à Me alors que les moins larges (9,69 mm) ont été obtenues à Ba. La largeur moyenne des galbules chez l'espèce est de 10,97 mm. Concernant le rapport longueur/largeur (Rg), il se situe dans un intervalle entre 0,96 à B et 1,05 à Me. Pour le poids (Pg), les galbules pèsent en moyenne 0,58 g, avec la population Me ayant les valeurs les plus élevées (1,28 g) tandis que Cz et M ont les plus faibles (0,41 g). Pour la forme des galbules (Fg), deux formes majoritaires ont été rencontrées pour l'espèce, la forme arrondie (46,2 %) et ovoïde (41,9 %). Ces deux formes sont aussi majoritaires dans toutes les stations. En outre, l'aspect cordiforme est présent avec une proportion non négligeable (19,4 %) à Me. La variable « forme de la cicatrice blanchâtre (Fci) » est très hétérogène, les cinq formes se trouvent uniquement au niveau de deux populations Me et M. Néanmoins, la forme triangulaire prédomine au sein de toutes les populations avec une moyenne de 83,9 % pour l'espèce. Elle est suivie par la forme « polygones incomplets » pour les populations Me (2,9 %), Cz (6,7 %), M (3,0 %) et Ch (4,8 %) et par la forme « polygones complets » pour G (33,9 %), B (19 %) et Ba (7,1 %). Concernant la couleur (Cg), le brun-rouge sombre (64,7%) et le brun-rouge vif (14,9 %) représentent les proportions les plus élevées pour l'espèce. C'est également le cas pour l'ensemble des populations, à l'exception de la

population de *Gottya* (G) où le brun sombre (41,9 %) et le rouge sombre (28,6%) dominant.

En ce qui concerne les galbules de *J. communis* (Tableaux 23 & 24), la station d'Irghissen a enregistré les valeurs les plus grandes concernant tous les caractères quantitatifs des galbules (Lng ; 8,20 mm, Lg ; 7,49 mm, Rg ; 1,10 et Pg ; 0,15g). Pour l'espèce, les galbules mesurent 7,89 x 7,37mm et pèsent 0,13g en moyenne. La forme arrondie (55,72%) et la couleur bleu noirâtre sombre (86, 67%) sont les plus répandues pour l'espèce. Aussi, la cicatrice blanchâtre triangulaire qui représente 98,11%, chez l'espèce.

1.1.3 Stomates

Pour les stomates de *J. oxycedrus* (Tableau 21), la longueur (Lns) est en moyenne de 52,43 μm pour l'espèce avec des valeurs extrêmes (54,79 μm à M et 49,52 μm à Me). Pour la largeur (Lrs), les stomates sont plus larges à M (33,43 μm) et Me (33,04 μm) et plus étroits à G (31,44 μm) avec une valeur de 32,65 μm enregistrée pour l'espèce. Concernant le rapport (Rs), il montre qu'en moyenne les stomates de Me (1,51) et Ba (1,56) sont moins allongés que ceux des autres populations. La densité stomatique (Ds) est en moyenne de 170,01 stomates/ mm^2 pour l'espèce. Les valeurs les plus grandes s'observent à Me (239,68 stomates/ mm^2) et Cz (174,23 stomates/ mm^2) et décroissent jusqu'à 150,57 et 150,04 stomates/ mm^2 pour B et M, respectivement.

Concernant les stomates de *J. communis*, la longueur (Lns) est en moyenne de 47,09 μm , les plus longs étant à Irghissen (48,12 μm). Leur largeur a une valeur moyenne de 30,79 μm à I et 29,14 μm à Ig avec une valeur moyenne pour l'espèce de 29,96 μm . En outre, pour le rapport des stomates, l'espèce a enregistré une valeur de 1,60. Ce caractère est en moyenne de 1,59 à Irghissen et plus petit à Ighidhiane (1,61). Quant à la densité stomatique, on enregistre 223,37 stomates/ mm^2 à I et 230,91 stomates/ mm^2 à Ig. Cette densité est en moyenne de 227,14 stomates/ mm^2 pour l'espèce (Tableau 23).

1.1.4 Surfaces épidermiques

L'examen des surfaces épidermiques foliaires au microscope électronique à balayage (MEB) met en évidence des réponses d'adaptation morphologiques liées à une pression d'ordre abiotique. Les micrographies obtenues pour la face inférieure (abaxiale) de *J. oxycedrus* démontrent des épidermes dépourvus de stomates, alors que celles de la face supérieure (adaxiale) ont des épidermes bien structurés comportant des bandes stomatiques, une bande médiane de cellules épidermiques et des stomates, disposés en ligne, entre six à quinze rangées (Figs 1-5).

Chapitre IV. Résultats & discussions

Tableau 21. Valeurs des caractères quantitatifs mesurées pour les aiguilles, les galbules et les stomates (*J. oxycedrus* L.).

Caractères	(Moy ± ET ; Min-Max)							
	Messida (Me)	Chikh Z. (Cz)	Dj. Messaad (M)	Gottya (G)	Boutaleb (B)	Babor (Ba)	Chélia (Ch)	Moyenne (Espèce)
Longueur de l'aiguille en mm (Ln)	15,26±2,29	16,08±3,32	18,33±3,47	17,32±2,89	17,18±3,21	14,87±2,86	17,25±3,06	16,61±3,25
	9,36-27,82	7,88-26,64	8,10-29,46	8,38-26,11	9,25-28,99	7,48-23,60	8,84-26,72	7,48-29,46
	***	***	***	***	***	***	***	***
Largeur de l'aiguille en mm (Lr)	2,19±0,28	1,85±0,28	1,81±0,28	1,72±0,26	1,60±0,26	1,82±0,29	1,80±0,24	1,83±0,32
	0,50-3,37	1,05-2,83	1,01-2,90	0,07-2,86	0,45-2,50	0,57-2,75	1,11-2,92	0,45-3,37
	***	***	***	***	***	***	***	***
Rapport Longueur/ Largeur de l'aiguille (R)	7,06±1,48	8,88±2,18	10,27±2,16	10,29±2,26	11,07±3,19	8,38±2,20	9,74±2,18	9,39±2,61
	3,75-30,46	4,16-17,88	3,79-19,03	5,11-18,92	4,39-40,98	3,28-36,32	3,94-18,5	3,28-40,98
	***	***	***	***	***	***	***	***
Longueur de la nervure médiane de l'aiguille en mm (Lnv)	12,17±2,03	13,91±2,91	15,81±3,13	14,59±2,56	14,54±2,77	12,92±2,47	14,86±2,65	14,11±2,90
	6,81-24,03	6,5-23,30	7,28-26,44	8,61-23,05	7,47-24,03	6,64-20,30	8,47-24,63	6,5-26,44
	***	***	***	***	***	***	***	***
Longueur du galbule en mm (Lng)	15,18±1,90	10,05±1,03	9,63±1,13	10,15±1,05	10,80±1,17	9,95±0,90	10,65±1,16	10,92±2,16
	9,81-26,09	6,69-14,12	5,53-13,33	7,43-13,75	6,85-14,67	7,03-12,69	6,90-19,95	5,53-26,09
	***	***	***	***	***	***	***	***
Largeur du galbule en mm (Lrg)	14,55±1,87	9,82±1,06	9,97±1,20	10,48±1,14	11,32±1,27	9,69±0,93	10,94±1,14	10,97±2,01
	9,71-21,11	6,62-15,48	6,98-14,13	6,95-14,06	6,62-14,48	6,73-12,23	8,09-14,86	6,62-21,11
	***	***	***	***	***	***	***	***
Rapport Longueur/ Largeur du galbule (Rg)	1,05±0,10	1,03±0,08	0,97±0,08	0,97±0,08	0,96±0,08	1,03±0,09	0,98±0,09	1,00±0,09
	0,80-1,49	0,77-1,32	0,76-1,21	0,78-1,22	0,76-1,31	0,77-1,37	0,75-1,42	0,75-1,49
	***	***	***	***	***	***	***	***
Poids du galbule en g (Pg)	1,28±0,47	0,41±0,12	0,41±0,15	0,46±0,14	0,58b±0,18	0,42±0,11	0,53±0,17	0,58±0,37
	0,39-4,06	0,08-1,09	0,09-0,99	0,17-1,02	0,10-1,29	0,12-0,88	0,15-1,38	0,08-4,06
	***	***	***	***	***	***	***	***
Longueur du stomate en µm (Lns)	49,52±5,55	51,59±5,66	54,79±6,40	52,30±6,20	54,12±6,52	50,80±5,82	53,90±7,17	52,43±6,45
	30,50-64,63	31,50-71,75	31,80-70,70	38,40-74,60	38,30-71,10	37,63-72,13	28,50-71,90	28,50-74,60
	***	***	***	NS	***	***	***	***
Largeur du stomate en µm (Lrs)	33,04±3,99	32,24±4,67	33,43±3,80	31,44±4,21	32,91±4,17	32,89±4,16	32,58**±4,90	32,65±4,32
	22,13-46,13	20,38-50,08	25,70-48,80	21,10-48,40	21,10-45,40	15,88-45,88	20,10-64,50	15,88-64,50
	**	***	***	***	***	***	**	***
Rapport Longueur/ Largeur du stomate (Rs)	1,51±0,21	1,62±0,23	1,66±0,24	1,68±0,22	1,66±0,22	1,56±0,22	1,67±0,24	1,62±0,23
	1,04-2,27	1,06-2,30	1,04-2,34	1,14-2,60	1,19-2,37	1,08-2,74	1,00-2,47	1,00-2,74
	***	***	**	***	**	***	*	***
Densité stomatique en Stomates/mm ² (Ds)	239,68±61,14	174,23±35,31	150,04±29,2	154,86±32,46	150,57±31,55	165,22±28,08	155,47±29,06	170,01±47,21
	110,53-363,16	94,74-273,68	73,68-221,05	89,47-289,47	68,42-247,37	89,47-252,63	78,95-247,37	68,42-363,16
	***	***	***	***	***	***	***	***

Moy, Moyenne ; ET, écart type ; Min, minimum ; Max, maximum ; Seuil de signification statistique *, $p < 0,05$; **, $p < 0,01$; ***, $p < 0,001$; NS : Non significatif.

Chapitre IV. Résultats & discussions

Tableau 22. Fréquences (%) pour les caractères qualitatifs des aiguilles et des galbules (*J. oxycedrus* L.)

Caractères	Variantes	Messida (Me)	Chikh Z. (Cz)	Messaad (M)	Gottya (G)	Boutaleb (B)	Babor (Ba)	Chélia (Ch)	Moyenne Espèce (%)	
Forme de l'aiguille (Fa)	1-Symétrique	94,66±5,57	95,66±4.81	93,22±7.08	79,44±9.02	82,11±9.45	91,67±6.11	95,78±4.46	90,36***±9.23	
	2-Asymétrique	1-Orienté vers la droite	1±1,99	1±1.78	1,78±2.59	7,78±5.05	5±4.61	2,11±2.70	1,11±1.82	2,83***±3.96
		2-Orienté vers la gauche	1,56±2,43	1,67±2.10	1,67±2.59	11,22±5.07	9,89±6.92	2±2.57	1,33±2.07	4,19***±5.52
		3-Droit d'un seul côté	2,78±3,69	1,67±2.27	3,33±3.61	1,56±2.59	3±3.08	4,22±3.71	1,78±3.89	2,62*±3.39
Forme de la base de l'aiguille (Fb)	1-Aplatie	9,56±7,57	11,56±8.96	8,23±9.17	15,78±6.43	18,23±8.70	17,78±14.99	3,55±4.54	12,10***±10.32	
	2-Arrondie	61±17,92	52,22±19.91	70,33±14.21	43,22±11.999	36,33±11.29	42,89±15.55	67,78±15.27	53,40***±19.17	
	3-Arrondie droit d'une seule face	29,44±17,18	36,22±15.70	21,44±9.58	41±11.25	45,44±9.73	39,33±17.23	28,67±13.80	34,51***±15.63	
Forme de l'apex de l'aiguille (Fap)	1-Aigüe	72,11±26,16	81,33±18.10	87,77±14.69	61,67±10.64	60,67±	71,11±14.29	88,67±13.77	74,76***±18.34	
	2-Elargie	2,11±3,66	4,23±11.21	0,56±1.54	9,89±8.28	10±10.86	9±7.33	1±2.34	5,26***±8.33	
	3-Rétrécie	25,78±26,16	14,44±18.10	11,67±14.69	28,44±10.64	29,33±17.07	19,89±14.29	10,33±13.77	19,98***±18.34	
Couleur de l'aiguille (C)	1-Vert très clair	2,23±4,14	2,44±4.87	2,11±2.97	20,22±10.75	27±9.32	13,34±19.50	8,78±21.93	10,87***±15.42	
	2-Vert clair	41,33±32,34	16,78±18.31	30,11±16.92	10,78±11.23	2,11±3.21	31,33±18.27	28,11±21.76	22,94***±22.83	
	3-Vert	56,44±33,76	80,78±20.62	67,78±17.95	69±12.75	70,89±10.32	55,33±21.36	63,11±28.62	66,19***±24.16	
Cire	Face supérieure (Cip)	2-Absence	0	0	0	0	0	0	0	
		2-Présence	100	100	100	100	100	100	100	
	Face inférieure (Cif)	1-Absence	0	0	0	0	0	0	0	
		2-Présence	100	100	100	100	100	100	100	
Forme du galbule (Fg)	1-Arrondie	47,33±17.63	56,78±20.52	61,11±26.41	24,33±20.68	37,33±21.02	53±25.12	43,44±25.05	46,19***±25.09	
	2-Ovoïde	26,89±9.30	31,11±13.34	35,33±25.06	72,67±19.64	52,11±20.96	28,22±16.58	47±23.39	41,90***±24.27	
	3-Allongée	5±6.71	6,22±11.033	1,67±3.13	2,22±4.58	8,78±19.58	11,78±16.88	3±3.95	5,52**±11.58	
	4-Cordiforme	19,44±14.09	5,44±7.24	1,89±3.47	0,78±2.09	1,78±3.79	7±5.770	6,45±14.65	6,11***±10.41	
	5-Falciforme	1,34±3.88	0,45±1.45	0	0	0	0	0,11±0.61	0,27*±1.62	
Forme de la cicatrice blanchâtre sur le galbule (Fci)	1-Triangle	95,56±4.49	89,22±11.77	96±6.09	65±22.00	63,11±18.75	85,57±21.22	93,29±10.38	83,96***±18.95	
	2-Polygones incomplets	2,88±3.69	6,67±9.18	3±4.41	1,11±2.37	17,89±12.49	6,79±21.63	4,79±6.71	6,16***±8.95	
	3-Polygones complets	0,67±1.36	3,89±4.96	0,78±1.68	33,89±21.35	19±15.71	7,07±4.63	1,81±4.53	9,59***±15.77	
	4-Trait unique	0,67±1.36	0	0,11±0.61	0	0	0,57±6.30	0,11±0.61	0,21±*0.87	
	5-Deux traits sécants	0,22±0.85	0,22±0.85	0,11±0.61	0	0	0	0	0,08±NS0.51	
Couleur du galbule (Cg)	1-Brun sombre	5,22±10.16	5,67±8.72	3,29±4.91	41,78±23.79	15,78±25.86	4,89±1.54	2,19±5.71	11,26***±19.57	
	2-Rouge sombre	3,33±7.17	5±5.79	7,82±10.07	28,56±17.89	8±8.60	3,11±8.37	8,59±11.06	9,20***±12.95	
	3-Brun rouge sombre	84,56±16.03	82±15.45	60,33±23.64	20,33±20.12	63±2.56	70,11±7.80	72,33±31.05	64,67***±30.20	
	4-Brun rouge vif	6,89±10.57	7,33±6.63	28,56±20.69	9,33±8.37	13,22±12.24	21,89±14.73	16,89±28.67	14,87***±15.57	

Seuil de signification statistique *, $p < 0,05$; **, $p < 0,01$; ***, $p < 0,001$; NS : Non significatif.

Tableau 23. Valeurs des caractères quantitatifs mesurées pour les aiguilles, les galbules et les stomates (*J. communis* L.)

Caractères	(Moy ± ET ; Min-Max)		
	Irghissen (I)	Ighidhiane (Ig)	Moyenne (espèce) (Test t)
Longueur de l'aiguille en mm (Ln)	11,94±2,10	10,62±2,14	11,28±2,22
	6,46-19,76 ***	5,19-17,88 ***	5,19-19,76 ***
Largeur de l'aiguille en mm (Lr)	1,45±0,20	1,32±0,17	1,39±0,2
	0,90-2,19 ***	0,85-2,07 ***	0,49-2,19 ***
Rapport Longueur/ Largeur de l'aiguille (R)	8,35±1,79	8,13±1,74	8,23±1,77
	4,16-15,56 ***	3,55-14,79 ***	3,55-15,56 ***
Longueur de la partie visible de la nervure médiane de l'aiguille en mm (Lnv)	2,29±1,22	3,02±1,56	2,61±1,43
	0,38-6,64 ***	0,5-8,56 ***	0,38-8,56 *
Longueur du galbule en mm (Lng)	8,20±0,99	7,57±0,79	7,89±0,95
	5,18-11,68 ***	5,4-10,64 ***	5,18-11,68 ***
Largeur du galbule en mm (Lrg)	7,49±0,89	7,26±1,07	7,37±1,01
	4,83-9,95 ***	4,19-9,98 ***	4,19-9,98 **
Rapport Longueur/ Largeur du galbule (Rg)	1,10±0,14	1,06±0,13	1,08±0,14
	0,67-1,75 ***	0,67-1,56 ***	0,67-1,75 *
Poids du galbule en g (Pg)	0,15±0,05	0,11±0,04	0,13±0,05
	0,04-0,29 ***	0,03-0,26 ***	0,03-0,29 ***
Longueur du stomate en µm (Lns)	48,12±6,80	46,06±6,48	47,09±6,71
	28,00-87,90 **	26,10-64,4 ***	26,10 - 87,9 NS
Largeur du stomate en µm (Lrs)	30,79±5,06	29,14±4,67	29,96±4,93
	19,30-49,80 ***	15,90-48,3 ***	15,90 - 49,8 *
Rapport Longueur/ Largeur du stomate (Rs)	1,59±0,27	1,61±0,29	1,60±0,28
	1,02-2,79 ***	1,01-2,68 **	1,01-2,79 ***
Densité stomatique en Stomates/mm ² (Ds)	223,37±83,27	230,91±78,74	227,14±81,04
	73,68-421,05 ***	78,95-447,37 ***	73,68-447,37 NS

Moy, Moyenne ; ET, écart type ; Min, minimum ; Max, maximum ; Seuil de signification statistique *, $p < 0,05$; **, $p < 0,01$; ***, $p < 0,001$; NS : Non significatif.

Tableau 24. Fréquences (%) pour les caractères qualitatifs des aiguilles et des galbules (*J. communis* L.)

Caractères	Variantes	Irghissen (I) (%)	Ighidhiane (Ig) (%)	Moyenne espèce (%)	
Forme de l'aiguille (Fa)	1-Symétrique	82,56±11,80	91,11±6,86	86,83±10,49	
	2-Asymétrique	1-Orienté vers la droite	7,67±7,33	5,78±6,19	6,72±6,79
		2-Orienté vers la gauche	8,67±6,23	3,11±3,27	5,89±5,67
		3-Droit d'un seul côté	1,11±2,37	0	0,56±1,75
Forme de la base de l'aiguille (Fb)	1-Aplatie	2,00±3,11	1,89±2,86	1,94±2,96	
	2-Arrondie	76,33±10,15	84,00±7,13	80,17±9,52	
	3-Arrondie droit d'une seule face	21,67±9,86	14,11±7,09	17,89±9,33	
Forme de l'apex de l'aiguille (Fap)	1-Aigüe	88,56±5,98	85,22±11,93	86,89±9,51	
	2-Elargie	1,00±1,99	14,44±12,14	7,72±10,97	
	3-Rétrécie	10,44±5,52	0,33±1,34	5,39±6,47	
Visibilité de la nervure médiane de l'aiguille (Vn)	1-Visible	46,22±22,30	35,33±28,36	40,78±25,88	
	2- Non visible	53,78±22,30	64,67±28,36	59,22±25,88	
Couleur de l'aiguille (C)	1-Vert très clair	12,44±10,72	8,11±8,91	10,28±10,01	
	2-Vert clair	24,89±12,86	25,89±17,89	25,39±15,45	
	3-Vert	62,67±20,22	66,00±23,69	64,33±21,90	
Cire	Face supérieure (Cip)	2-Absence	0	0	0
		2-Présence	100	100	100
	Face inférieure (Cif)	1-Absence	0	0	0
		2-Présence	100	100	100
Forme du galbule (Fg)	1-Arrondie	54,11±28,99	57,33±25,80	55,72±27,25	
	2-Ovoïde	28,00±15,50	26,67±18,22	27,33±16,78	
	3-Allongée	9,33±12,58	2,44±5,25	5,89±10,17	
	4-Cordiforme	7,11±6,54	13,56±18,51	10,33±14,14	
	5-Falciforme	1,44±2,43	0	0,72±1,85	
Forme de la cicatrice blanchâtre sur le galbule (Fci)	1-Triangle	97,22±5,11	99,0±1,78	98,11±3,90	
	2-Polygones incomplets	0,89±3,27	0,44±1,15	0,67±2,44	
	3-Polygones complets	0,11±0,61	0,33±1,02	0,22±0,84	
	4-Trait unique	1,56±3,00	0,22±0,85	0,89±2,29	
	5-Deux traits sécants	0,22±0,85	0	0,11±0,60	
Couleur du galbule (Cg)	1-Bleu noirâtre sombre	80,00±24,42	93,33±11,31	86,67±20,03	
	2-Bleu noirâtre vif	19,78±24,35	6,22±11,27	13,00±20,02	
	3-Noir sombre	0,11±0,61	0,33±1,34	0,22*±1,04	

Seuil de signification statistique *, $p < 0,05$; **, $p < 0,01$; ***, $p < 0,001$; NS : Non significatif.

Sur les échantillons de la population du littoral (Me) (Fig. 17), des bandes stomatiques plus larges avec une forte densité stomatique (Fig. 17A-D) et des dépôts de cires cuticulaires (Fig. 17B, C & E) ont été observés. Pour les autres populations, différentes caractéristiques ont été observées sur la face adaxiale des feuilles traitées (nettoyées) et non traitées. Des dépôts de cire se présentent sous forme de particules fines autour des stomates (Figs 18A & B ; 20B, D & F ; 21D) ou sous forme de couche mince au niveau de l'épiderme (Figs 18C-D; 20E-F) ainsi que des bandes stomatiques étroites, notamment chez la population M, et des stomates situés au-dessous du niveau de l'épiderme pour les populations B, Ba et Cz (Figs 19A-D; 20A-C, E-F &

21C) ont été enregistrées. Une augmentation de l'espace inter-stomatique (populations Ba) (Fig. 20D) et des cellules épidermiques (populations Ba et Cz) (20C & E; 20D & F) a été également observée ainsi que la présence d'enfoncements visibles dans les bandes stomatiques de part et d'autre de la bande médiane (populations B & Cz) (Fig. 20A, E & F). Dans certains cas, les stomates sont absents et sont remplacés par des cellules épidermiques et regroupés dans des cavités formées par des enfoncements de l'épiderme. Ils sont parfois dispersés au bord de la bande stomatique (cas de la population Cz ; Fig. 20E & F).

Pour *J. communis*, les aiguilles renferment des stomates uniquement sur la face supérieure. Les micrographies de la face adaxiale montrent des épidermes bien structurés comportant des bandes stomatiques, une bande médiane de cellules épidermiques et des dépôts de cires cuticulaires (Fig. 22). Les bandes stomatiques comportent une densité stomatique élevée avec des stomates localisés à un plan supérieur (Se) par rapport à celui de l'épiderme (Fig. 22A et B). La bande médiane enfoncée comporte les deux types de cellules (épidermiques et stomatiques) mais les cellules épidermiques sont plus nombreuses (Fig. 22A et B). La cire se présente soit sous forme d'une couche peu épaisse qui tapisse entièrement l'épiderme soit sous forme de particules fines dispersées ou regroupées (Fig. 22C et D). A certains endroits, celle-ci recouvre même les stomates (Fig. 22 C et D).

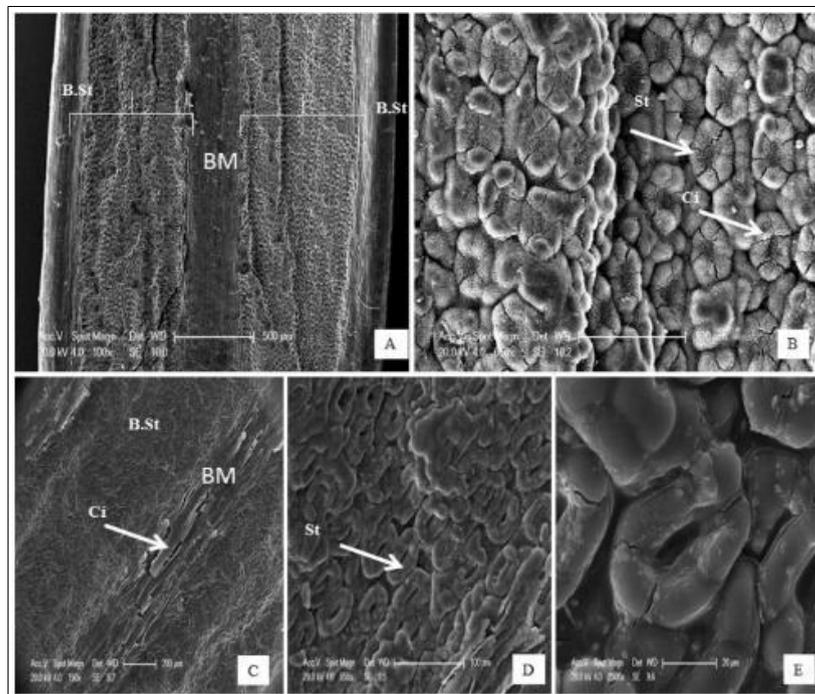


Figure 17.— Micrographies montrant la face adaxiale des feuilles non traitées (A et B) et des feuilles traitées (C-E) de *Juniperus oxycedrus* de la station de Messida (Me) (*sensu* subsp. *macrocarpa*). A et C : Détail montrant de larges bandes stomatiques (B. St) et la bande médiane (BM). B, D et E : détails sur la forme des stomates (St), leur forte densité et les dépôts de cires épicuticulaires (Ci).

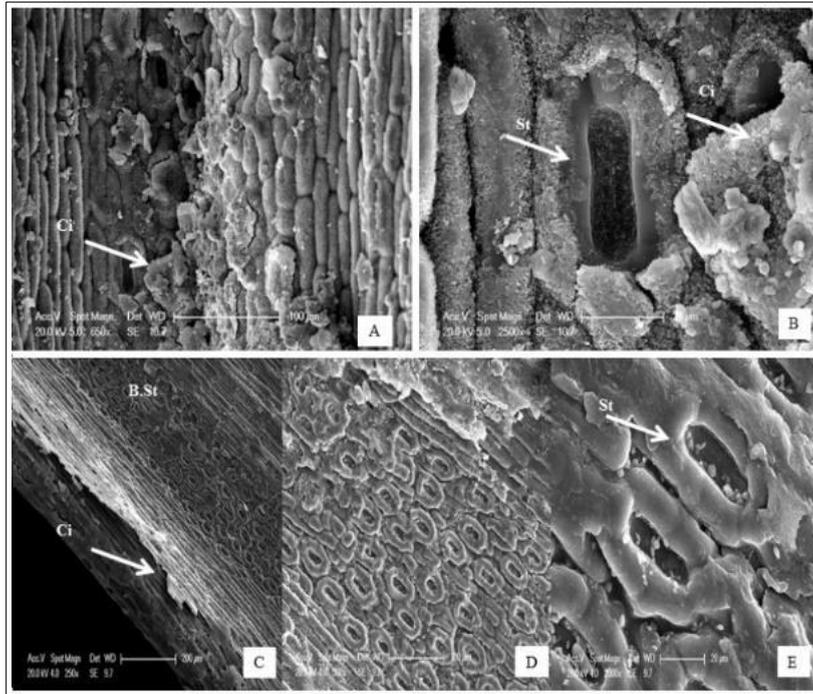


Figure 18.— Micrographies montrant la face adaxiale d’une feuille non traitée (A et B) et d’une feuille traitée (C-E) de *Juniperus oxycedrus* (station Chélia, Ch). Dépôts de cire (Ci) sous forme de particules fines (A, B et E) autour des stomates (A et B) et sous forme de couche (C et D). St : stomates ; B. St : Bandes stomatiques.

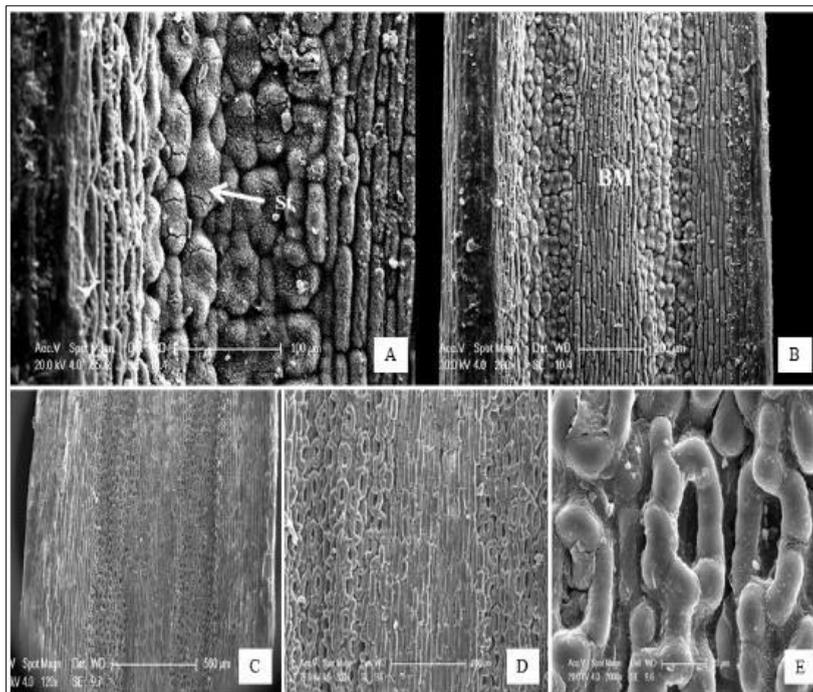


Figure 19.— Micrographies montrant la face adaxiale d’une feuille non traitée (A et B) et d’une feuille traitée (C-E) de *Juniperus oxycedrus* de la station de Djebel Messaad (M), montrant des bandes stomatiques (B. St) étroites et des stomates (St) situés dans un plan inférieur à celui des cellules épidermiques (A-D). Détail de stomates et des dépôts de cire (Ci) (E). BM : Bande médiane de cellules épidermiques.

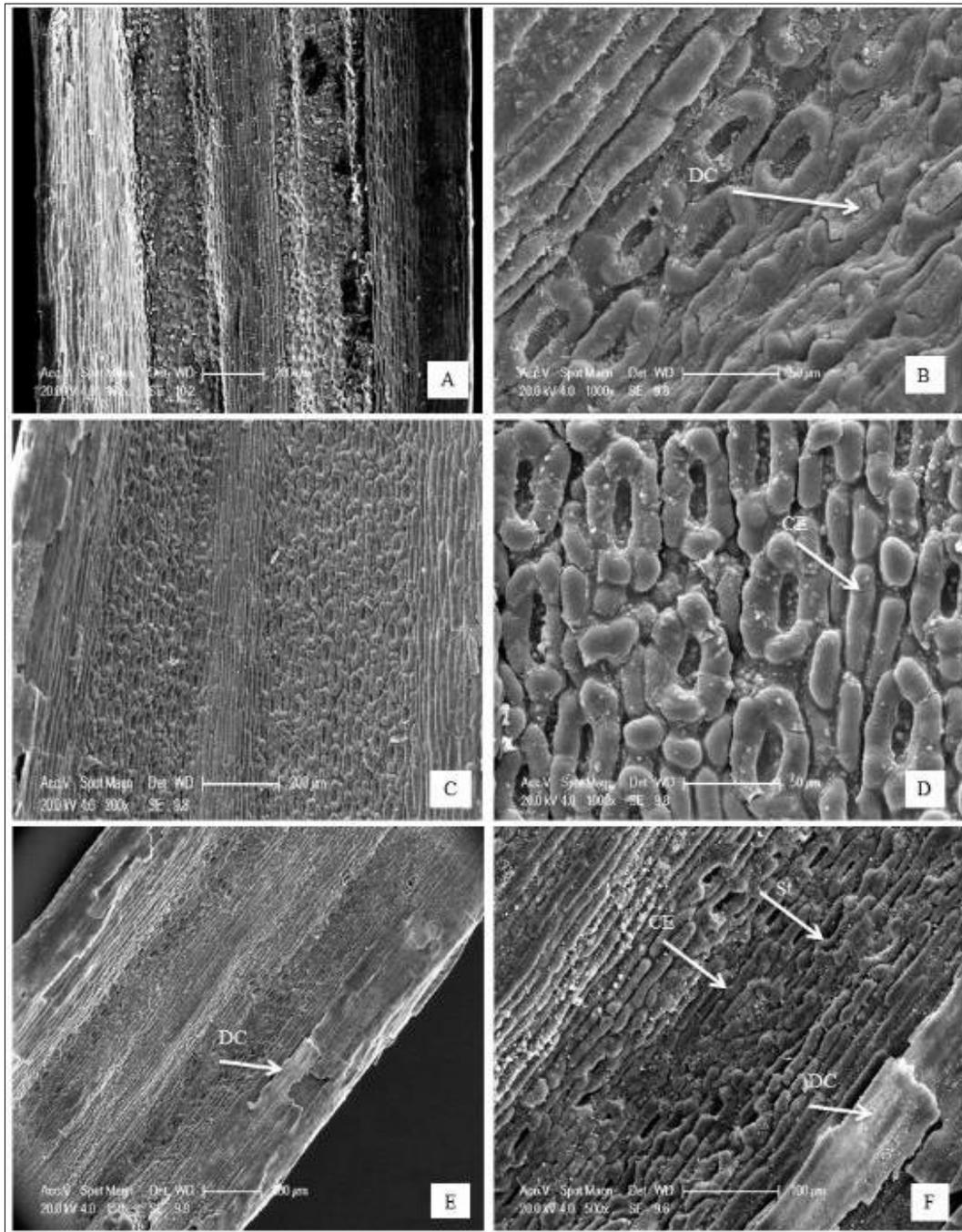


Figure 20.— Micrographies montrant la face adaxiale d'une feuille traitée de *Juniperus oxycedrus*. A et B : station de Boutaleb (B) ; C et D : station de Babor (Ba) ; E et F : station de Chikh Zouaoui (Cz). Stomates situés dans un plan inférieur à celui de l'épiderme (A, B,C,E et F) ; dépôts de cire (DC) au niveau des stomates sous forme de particules fines (B,D et F) et au niveau de l'épiderme sous forme de couche (E et F) ; augmentation de l'espace inter-stomatique (D) et des cellules épidermiques (CE) (D et F) ; présence d'enfoncements visibles dans l'épiderme (A, E et F).

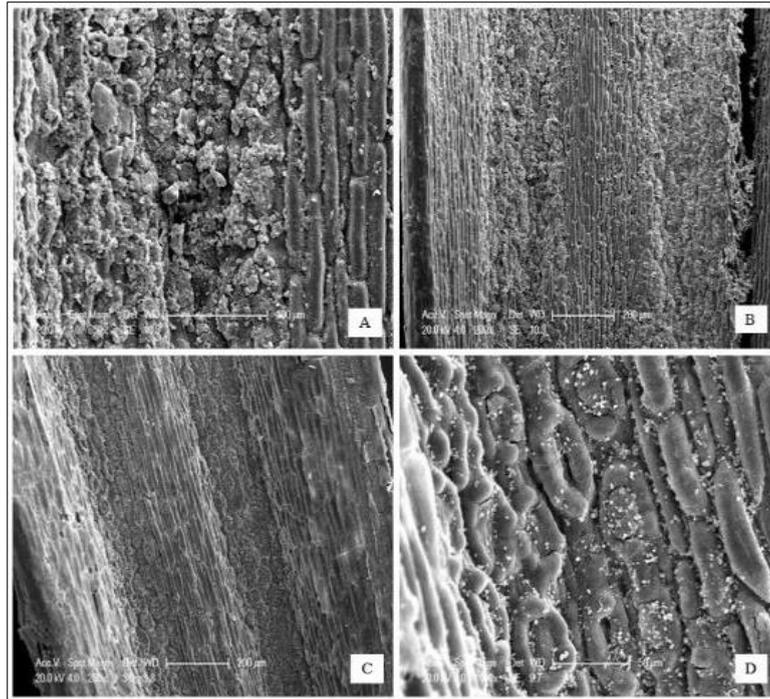


Figure 21.— Micrographies montrant la face adaxiale d’une feuille non traitée (A et B) et d’une feuille traitée (C et D) de *J. oxycedrus* de la station de Gottya (G). Dépôts de cires (DC) au niveau des bandes stomatiques sous forme de cristaux couvrant toute la surface des stomates (A et B) et de particules fines sous forme de poussière (D). Bandes stomatiques au-dessous du niveau de l’épiderme (C).

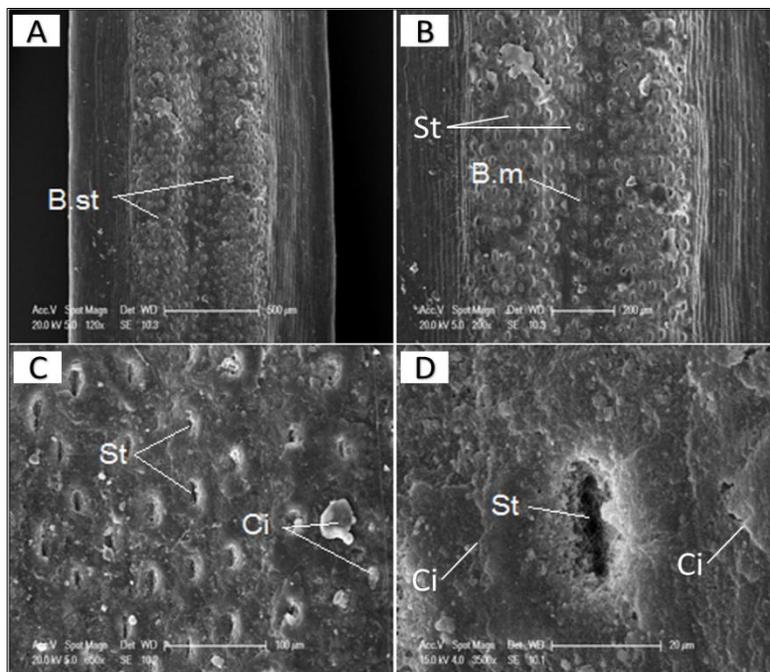


Figure 22.— Micrographies montrant la face adaxiale du feuillage non traité (A, B, C et D) de *J. communis* de la station d’Irghissen (Is). A, deux bandes stomatiques (B.st) étroites avec leurs stomates (St) situés dans un plan inférieur à celui de l’épiderme B, bande médiane (B.m) comportant des cellules stomatiques (St) et épidermiques ; C et D, des dépôts de cire (Ci).

1.2 Analyse de la diversité morphologique

1.2.1 Tests de significativité

Pour *J. oxycedrus*, l'analyse de la variance a un seul facteur concernant les aiguilles, les galbules et les stomates a révélé une différence hautement significative entre les arbres de chacune des stations (variabilité intra-population) et entre les stations (variabilité inter-populations) pour les variables quantitatives, hormis pour la variable « Longueur du stomate (Lns) », où le test s'est révélé non significatif pour la population G (Tableau 21). De même, une différence hautement significative a été enregistrée concernant l'ensemble des variables semi-quantitatives (des pourcentages), à l'échelle inter-populationnelle sauf la forme « deux traits sécants » relative au galbule dont la différence indiquée n'est pas significative (Tableau 22).

A propos de *J. communis*, l'analyse de la variance à un seul facteur, pour l'ensemble des variables quantitatives, est significative entre les arbres (variabilité intra-population). Aussi, le test t de Student s'est révélé significatif au niveau inter-station pour toutes les variables quantitatives étudiées, excepté les deux variables « Longueur (Lns) et densité (Ds) des stomates » (Tableau 23). En ce qui concerne les autres variables semi-quantitatives, aucune différence significative n'a été enregistrée pour les deux tests précédents, excepté pour la couleur « Noir sombre » du galbule à l'échelle inter-stationnelle pour le test t dont le résultat est significatif (Tableau 24).

1.2.2 Tests multivariés

1.2.2.1 Analyse en composantes principales (ACP)

À l'issue de l'analyse en composantes principales (ACP) pour les 12 variables quantitatives mesurées pour *J. oxycedrus* (Fig. 23), le plan factoriel (1x2) formé par la première et la seconde composante totalise une inertie de 75% ; 82,40 % et 72,53%, respectivement pour les aiguilles, les galbules et les stomates. Le cercle de corrélation pour les aiguilles (Fig. 23A1), les galbules (Fig. 23B1) et les stomates (Fig. 23C1) montre que toutes les variables morphologiques étudiées sont parfaitement corrélées avec l'axe 1, excepté les deux variables « Rapport longueur / largeur du galbule (Rg) et longueur du stomate (Lns) ». Pour les aiguilles, les variables « longueur de l'aiguille (Ln) avec sa nervure (Lnv) » et le rapport (R) sont corrélés avec l'indice de continentalité (Ic) lié à l'altitude (Alt), tandis que la largeur de l'aiguille (Lr) est corrélée avec la température minimale (m). Les variables des galbules « Longueur (Lng) ; Largeur (Lng) et Poids (Pg) », sont corrélées avec la température minimale (m) selon un gradient latitudinal et altitudinal décroissant. Pour les stomates, la densité stomatique (Ds), la largeur (Lrs) et le rapport (Rs) sont liés à la continentalité (Ic). Par

conséquent, l'interaction des variables morphologiques avec les variables environnementales, notamment climatiques, a permis de regrouper l'ensemble des 210 arbres des sept populations en trois groupes distincts pour les aiguilles (Fig. 23A2), les galbules (Fig. 23B2) et les stomates (Fig. 23C2) selon leurs bioclimats. Le premier groupe est composé de la population (Me) du littoral et le deuxième englobe les trois populations du subhumide (Ch, Ba et Cz), tandis que le troisième renferme les stations les plus arides (B, G et M). Aussi, chacun des groupes 2 et 3 peut être subdivisé en deux sous-groupes selon le degré de continentalité de sorte que chacune des deux populations Ch et B forme un sous-groupe, surtout pour les galbules (Fig. 23B2) et les stomates (Fig. 23C2).

Pour *J. communis*, les valeurs propres de l'ACP (Fig. 24), indiquent que les deux premières composantes principales (axes 1 et 2) expliquent 87,4%, 90,2% et 84,08% de l'inertie totale pour les aiguilles, les galbules et les stomates. Le cercle de corrélation indique que l'ensemble des variables morphologiques concernant les aiguilles (Fig. 24A1), les galbules (Fig. 24B1) et les stomates (Fig. 24C1), sont corrélés essentiellement à l'axe 2, excepté pour la variable « largeur de l'aiguille (Lr) » (Fig. 8A1). La majorité des variables morphologiques sont liées à l'indice de continentalité thermique (Ic) en fonction du gradient longitudinal (Long), à l'exception, des variables « longueur de la partie visible de la nervure (Lnv) ; le rapport (Rs) et la densité (Ds) des stomates » qui sont faiblement corrélés à l'indice pluviothermique (Q3) liée à l'action latitudinale (Lat).

La projection, des 60 arbres, obtenue par le croisement des variables morphologiques et environnementales, a permis d'identifier deux groupes distincts (Groupe 1, Ig ; groupe 2, I) sur les trois cartes factorielles concernant les aiguilles (Fig. 24A1), les galbules (Fig. 24B2) et les stomates (Fig. 24B3). En plus, l'axe 1 semble exprimer un gradient d'aridité croissant défini à travers le coefficient pluviothermique d'Emberger (Q3). Ce coefficient est lié essentiellement aux précipitations (P), par conséquent, nous avons la station d'Ighidhiane (groupe1) qui se caractérise par son étage per-humide à hiver froid (Q3=94,7 ; P=833,7 mm/ans) alors que l'autre station a le bioclimat humide à hiver froid (Q3=168,8 ; P=1407,1 mm/ans). Concernant l'axe 2, il paraît traduire un stress thermique hivernal ($m < 0$) lié à l'action altitudinale (Alt).

1.2.2.2 Classification hiérarchique ascendante (CHA)

Pour La classification hiérarchique ascendante (CHA), les dendrogrammes obtenus par la méthode de Ward montrent que les sept populations de *J. oxycedrus* se répartissent en quatre groupes principaux pour les aiguilles (Fig. 25A) et les galbules (Fig.25B) et en cinq groupes pour les stomates (Fig.25C).

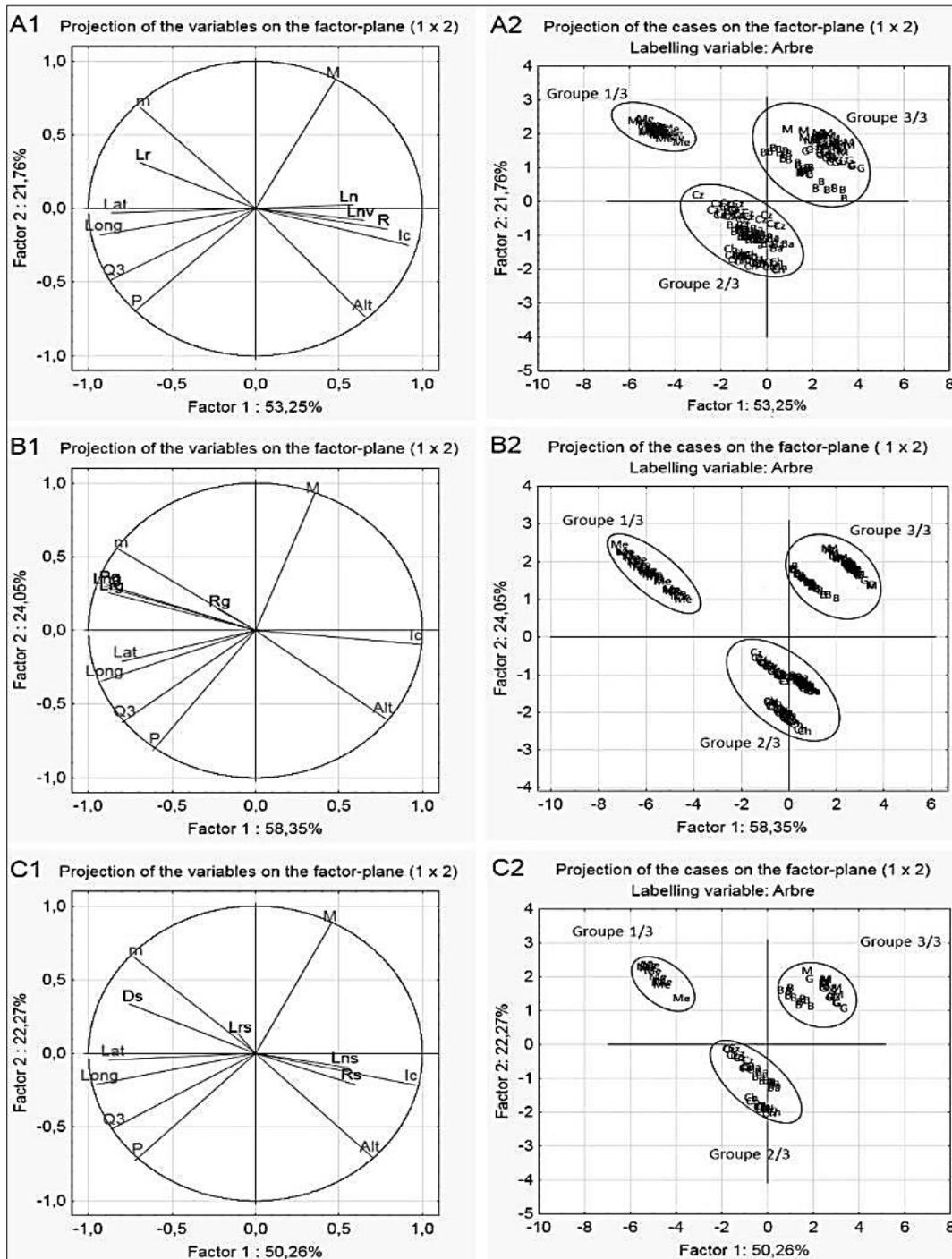


Figure 23.— Cercles de corrélation des variables morphologiques quantitatives et environnementales (A1, B1 et C1) avec les diagrammes de dispersion des 210 arbres (A2, B2 et C2) pour l'analyse en composantes principales concernant les aiguilles, les galbules et les stomates de *J. oxycedrus*.

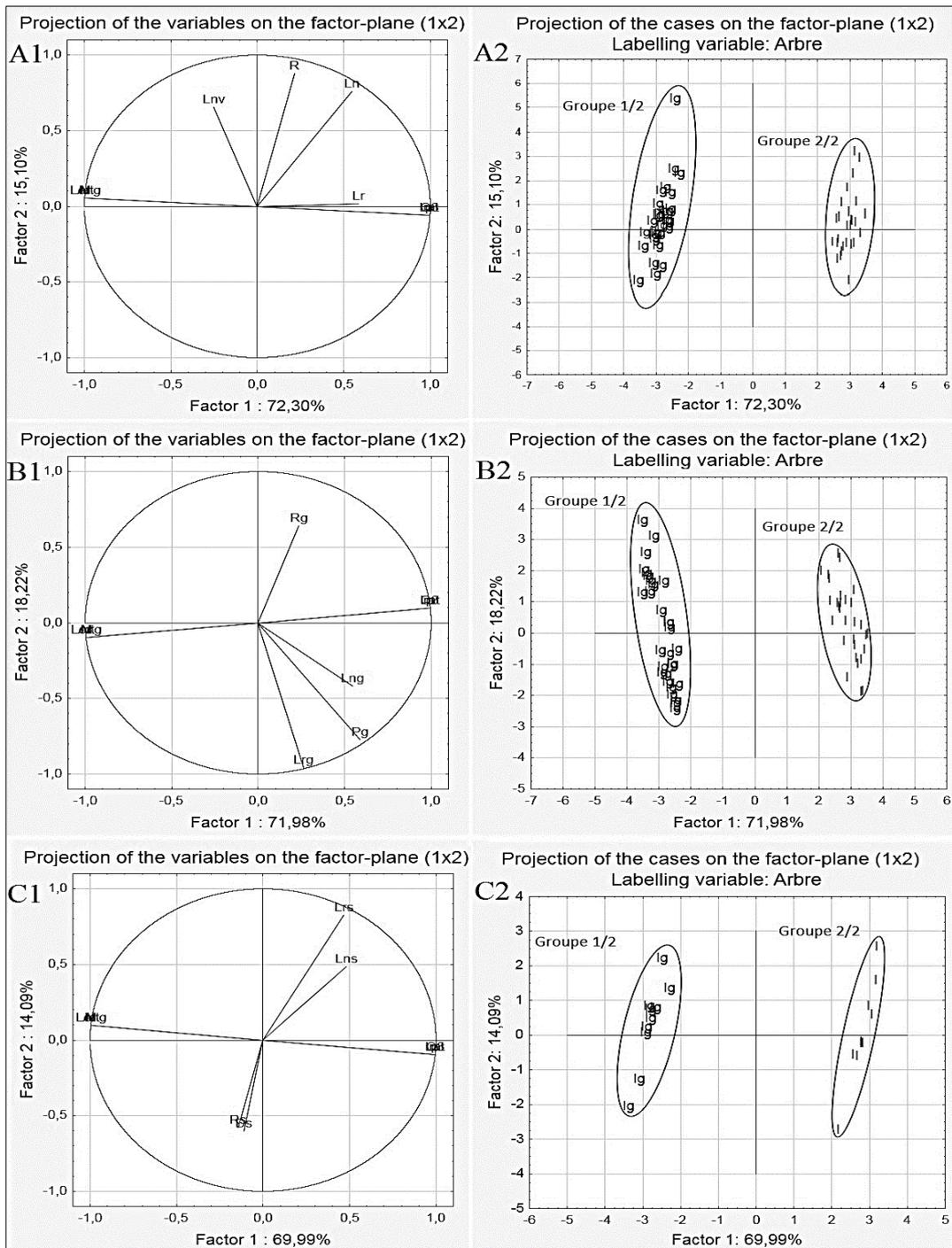


Figure 24.— Cercles de corrélation des variables morphologiques quantitatives et environnementales (A1, B1 et C1) avec les diagrammes de dispersion des 210 arbres (A2, B2 et C2) pour l'analyse en composantes principales concernant les aiguilles, les galbules et les stomates de *J. communis*.

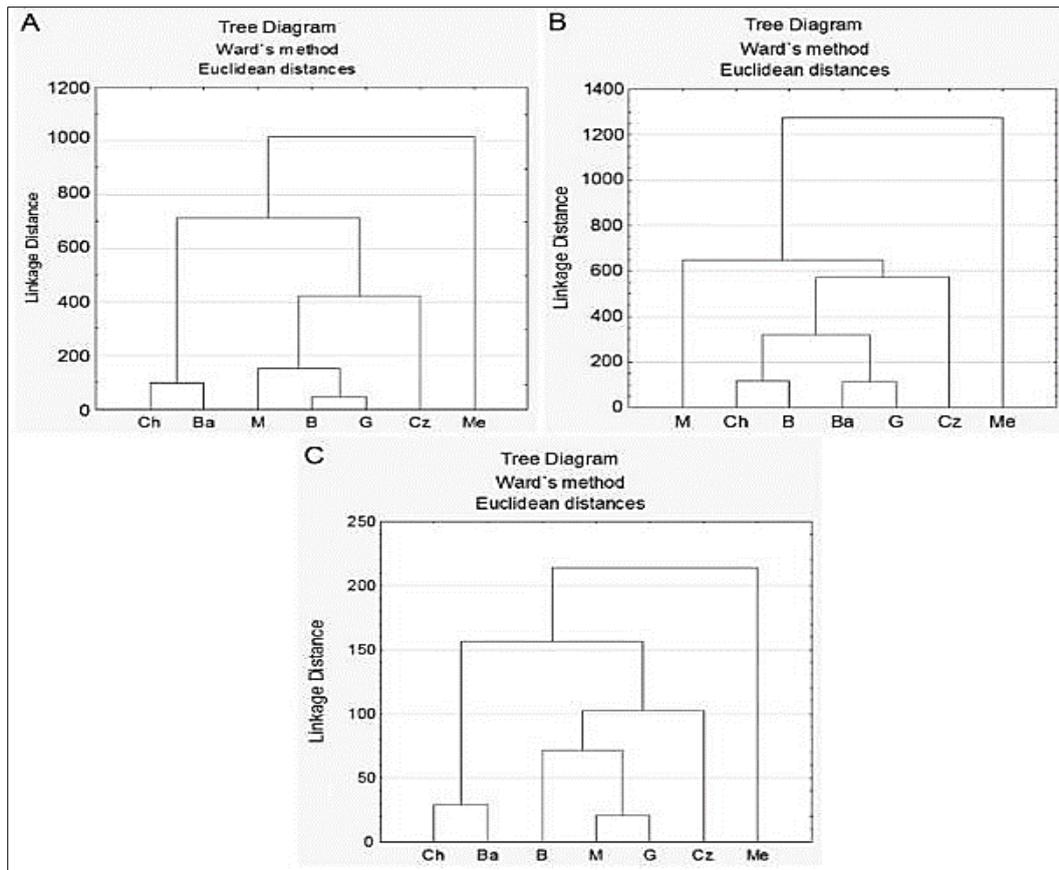


Figure 25.— Dendrogrammes de la classification hiérarchique ascendante appliquée à l'ensemble des sept populations de *J. oxycedrus* concernant les aiguilles (A), les galbules (B) et les stomates (C).

1.2.2.3 Analyse factorielle des correspondances (AFC)

L'AFC pour l'ensemble des 210 arbres des sept populations de *J. oxycedrus* et pour toutes les variables mesurées totalise sur le plan factoriel (1x2) une inertie de 72,68% (Fig. 26A) et 87,43% (Fig. 26C) pour les aiguilles et les stomates, respectivement. Mais pour les galbules, ce sont les deux axes factoriels (1x3) qui ont permis de discriminer les groupes, avec 69 % d'inertie totale (Fig. 26B).

À l'issue de cette analyse, les trois diagrammes de dispersion (Fig. 26) ont montré une nette séparation spatiale des individus surtout ceux des populations M et Cz. Ils ont permis de séparer l'ensemble des arbres donnant ainsi les mêmes groupes que ceux retrouvés sur la CAH (Fig. 25). Les deux premiers groupes (1 et 2) sont homogènes avec la même composition (mêmes populations) pour les aiguilles, les galbules et les stomates. Le premier groupe comprend la population Me du littoral et le deuxième la population Cz sur les trois plans factoriels. Le troisième groupe est représenté par les deux populations Ba et Ch pour les aiguilles et les stomates et par les populations Ba, Ch, B et G pour les galbules. Le quatrième groupe

comprend trois stations (B, G et M) pour les aiguilles. Mais, il s'isole par la population M pour les galbules et B pour les stomates. Les variables discriminantes pour les stomates (la longueur des stomates (Lns), la largeur des stomates (Lrs) et la densité stomatique (Ds)), ont permis de différencier un cinquième groupe qui comporte les deux populations G et M.

Concernant les deux axes factoriels, le premier axe (1) paraît traduire un gradient lié à la continentalité thermique concernant les aiguilles, les galbules et stomates. L'orientation de cet axe oppose les populations qui s'individualisent en fonction des valeurs de I_c croissant, allant de Me (14,3°C) à M (22,4°C) et avec l'action modératrice de l'altitude pour certaines stations (le coefficient de corrélation linéaire entre l'altitude et les valeurs de l'indice I_c est $r = 0,84$). Le second axe semble expliquer l'incidence du stress thermique hivernal ($6,7 > m > -1,5$) qui est lié aussi à l'altitude pour les aiguilles et les galbules (Fig. 26A & B) de manière que l'ensemble des sept populations se répartissent selon la diminution des températures minimales du mois le plus froid (m). Les stations Me, Cz et M avec des températures minimales ($m > 0^\circ\text{C}$) forment un premier ensemble, alors que les autres stations (Ch, Ba, B et G) les plus froides ($m < 0^\circ\text{C}$) forment un second ensemble. Pour les stomates (Fig. 26C), l'axe 2 exprime également un gradient d'aridité croissante en fonction du bioclimat, allant du subhumide tempéré (station Me) au semi-aride (station G).

En ce qui concerne *J. communis*, l'analyse factorielle des correspondances (AFC) a été appliquée à l'ensemble des 60 arbres des deux populations étudiées avec toutes les variables morphologiques mesurées (Fig. 27). Le plan factoriel (1x2) donne une inertie totale de 78,05% (Fig. 27A) et 75,22% (Fig. 27B) et 80,84% (Fig.27C) pour les aiguilles, les galbules et les stomates, respectivement.

La projection de l'ensemble des 60 arbres montre la séparation des individus des deux populations (Irghissen et Ighidhiane) sur les trois cartes factorielles (Fig. 27).

Il semble que l'orientation de l'axe 1 oppose à un gradient d'aridité, caractérisée par le coefficient d'Emberger (Q3) qui est lié essentiellement aux précipitations (P). Pour les aiguilles et leurs stomates, ce gradient est croissant avec une augmentation de la pluviométrie, allant de la station humide Ighidhiane ($Q3=94,7$; $P=833,7$ mm/ans) à la station per-humide Irghissen ($Q3=168,8$; $P=1407,1$ mm/ans). Ce sont les mêmes résultats affichés par l'ACP pour les aiguilles et stomates (Fig. A & C24). Inversement, pour les galbules, il est décroissant avec un affaiblissement des précipitations allant de I (per-humide) à Ig (humide). Aussi, le degré de continentalité thermique (I_c) a joué une action légère de sorte que les deux populations ont le même étage semi-continental mais, elles diffèrent par leurs horizons continentaux (atténué et accentué), respectivement. Concernant le second axe (2), et comme les deux stations ont marqué

Chapitre IV. Résultats & discussions

une certaine constance (concordance), on peut croire que cet axe signifie un gradient lié à l'intensité du froid ($m < 0$).

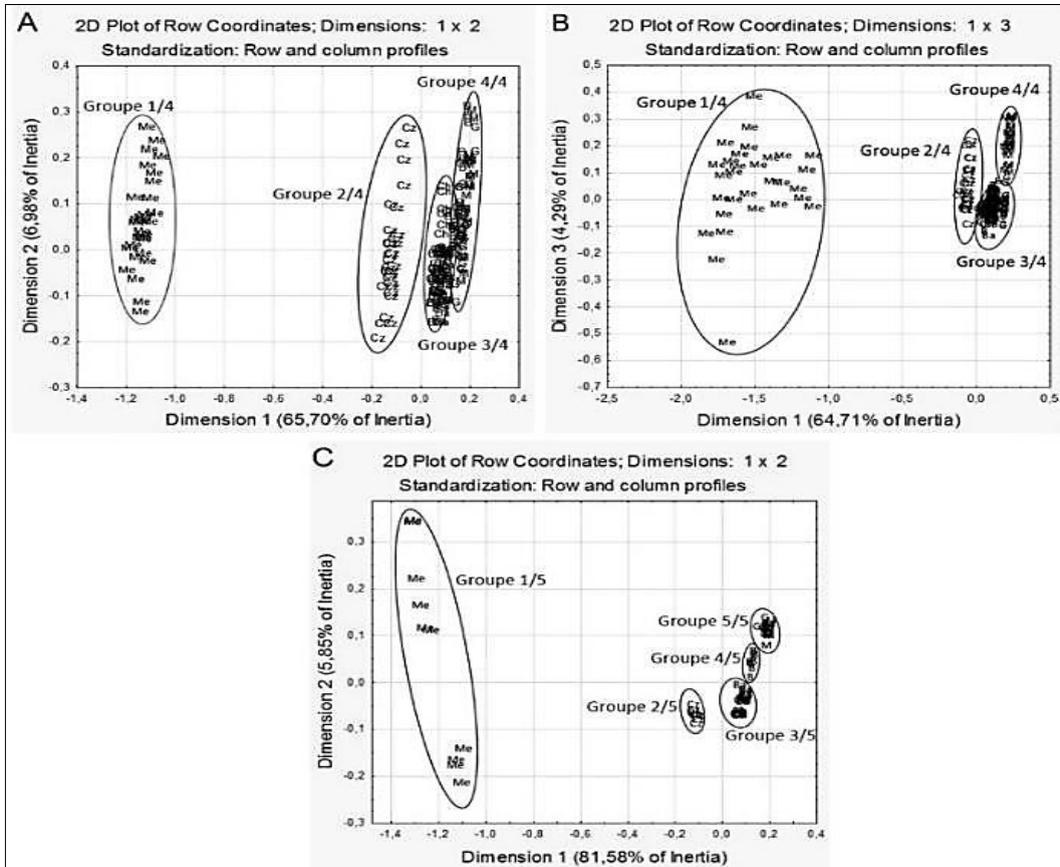


Figure 26.— Cartes de l'analyse factorielle des correspondances (AFC) appliquée à l'ensemble des 210 arbres concernant les aiguilles (A), les galbules (B) et les stomates (C) de *J. oxycedrus*.

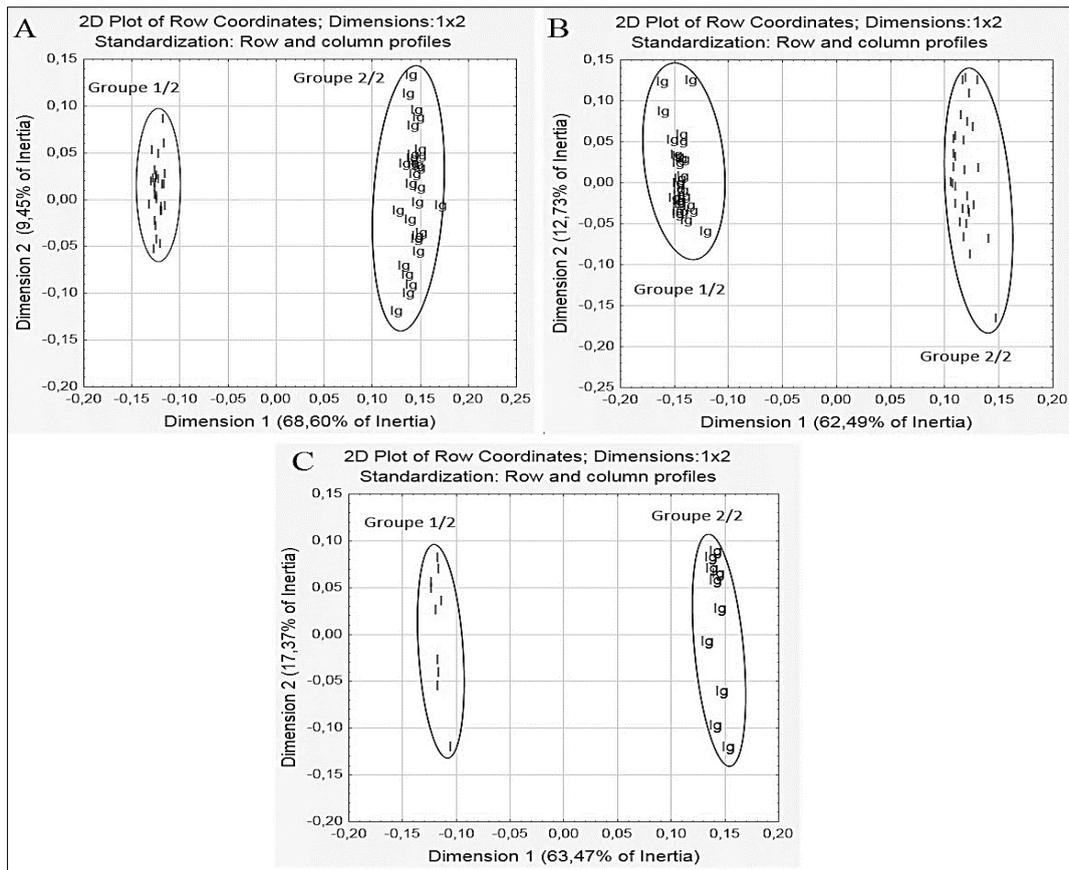


Figure 27.— Cartes de l'analyse factorielle des correspondances (AFC) appliquée à l'ensemble des 60 arbres concernant les aiguilles (A), les galbules (B) et les stomates (C) de *J. communis*.

2. Discussion

Dans cette section nous allons expliquer la variabilité morphologique des deux espèces par l'ajustement entre les pressions sélectives d'ordre abiotique (facteurs environnementaux) et celles d'ordre biotique exercées par des vecteurs biodisséminateurs. Pour ce faire et dans un souci de comparaison, nous avons établi deux tableaux récapitulatifs et comparatifs, de nos résultats, avec la littérature pour les deux espèces (Tableaux 25 et 26). En ce qui concerne l'oxycedre (Tableau 25), nous avons intégré les deux sous-espèces précédemment décrites par Maire (1952) en Algérie, la subsp. *macrocarpa* (recensée sur le littoral) et la subsp. *rufescens* (syn. = *oxycedrus*) (des hautes montagnes). Puis, nous avons calculé des moyennes pour chaque variable mesurée pour les populations Cz, M, G, B, Ba et Ch (*sensu* subsp. *rufescens*) et nous avons pris la population Me comme référence représentant la subsp. *macrocarpa*. En parallèle, nous avons fait entrer la variété *hemisphaerica* subordonnée au *J. communis* en Algérie (Tableau 26) par Maire (1952) et Quézel & Santa (1962).

2.1 Pressions d'ordre abiotique (facteurs environnementaux)

Concernant l'effet du climat, il existe bel et bien un gradient lié à la continentalité thermique que nous pouvons visualiser pour les sept populations étudiées de *J. oxycedrus* sur les plans factoriels des AFC (Fig. 26). Selon Rivas-Martinez (2005a), l'écart thermique ($I_c = T_{max} - T_{min}$) est un facteur d'influence de première grandeur de la répartition de la végétation et par conséquent, sur les frontières de nombreux bioclimats. Donc, selon un gradient continental croissant, la population du littoral Messida représentée par la sous-espèce *macrocarpa* (Maire, 1952 ; Quézel & Santa, 1962), s'isole par son bioclimat eu-océanique accentué ; elle est suivie par la station Cz. Cette dernière se caractérise par une situation limitrophe à celle de Me (semi-continental accentué), les valeurs enregistrées pour les caractères morphologiques semblent proches de celles de la subsp. *macrocarpa* (Fig. 26). S'ensuit la répartition des autres stations, allant du type semi-continental atténué (pour Ch et B) jusqu'à l'accentué (pour Ba, G et M). Pareillement, le stress thermique hivernal semble avoir une influence sur le regroupement des sept populations concernant les aiguilles (Fig. 26A) et les galbules (Fig. 26A) du fait de la concordance entre les stations Me, Cz et M qui se localisent dans des régions à hiver avec $m > 0^\circ \text{C}$ et celles (Ch, Ba, B et G) qui se situent dans des zones à hiver avec $m < 0^\circ \text{C}$. Selon Rivas-Martinez (2005b), le stress thermique hivernal est un facteur limitant pour beaucoup de plantes et communautés végétales. En outre, la xéricité aussi joue un rôle non négligeable surtout pour les caractères quantitatifs (Fig. 26) car l'ensemble des populations se regroupe et ceci est dû probablement à leur présence sur le même étage bioclimatique, allant du bioclimat subhumide (Me, Cz, Ba et Ch) au semi-aride (B, G et M). Aussi, *J. communis* a subi l'effet des contraintes climatiques du fait de la séparation des deux populations étudiées (Irghissen et Ighidhiane) selon le gradient d'aridité (Fig. 27). Le quotient pluviothermique Q_3 fait intervenir deux paramètres essentiels, les précipitations (P) avec l'amplitude thermique annuelle absolue ou extrême ($A_{max} = M - m$) (Stewart, 1969). Plus ce quotient est élevé, plus le climat est plus humide (Dajoz, 1985). Aussi le gradient continental thermique a un effet non négligeable sur ce regroupement allant du semi-continental atténué (Ig) vers l'accentué (I) pour les aiguilles (Fig. 27A) et les stomates (Fig. 27C), et inversement pour les galbules (Fig. 27B).

L'interaction des facteurs climatiques avec les variables phénotypiques a été rapportée par plusieurs auteurs (Gatti, 1970 ; Alyafi, 1978 ; Maley & Parker, 1993) pour de nombreuses espèces. En effet, les végétaux peuvent développer des stratégies adaptatives leur permettant de se maintenir dans leur habitat naturel. Elles se manifestent par des ajustements qui s'opèrent au niveau des feuilles, suivis par des modifications touchant l'ensemble de l'organisme (Chaves

et al., 2003 ; Flexas *et al.*, 2006). Selon Aussenac (1973), des conditions climatiques différentes influencent la dimension, la forme et la structure des aiguilles et même le nombre et la dimension des stomates, chez certaines espèces de résineux. D'autres études ont également mis en évidence l'influence de l'altitude, des températures minima et l'aridité dans la variabilité morphologique chez de nombreuses provenances de *Pistacia atlantica* (Belhadj *et al.*, 2008 ; Ait Said, 2011), chez l'Eucalyptus (Franks, *et al.*, 2009) et chez certaines espèces du genre *Banksia* (Drake *et al.*, 2013). Concernant la couleur des feuilles, les pigments foliaires sont les molécules responsables de la couleur des végétaux (Bousquet, 2007). Ils varient en fonction des espèces et des conditions environnementales (Asner & Martin, 2008), même la structure interne de la feuille est influencée par le climat lumineux (photo-morphogénèse) (Dufour, 1987 ; Ballaré *et al.*, 1987 ; Baranoski & Rokne, 2004 ; Smith, 2000 ; Bousquet, 2007). D'une part, la teneur des pigments chlorophylliens lors d'un stress environnemental (stress hydrique, stress salin et stress au froid en hiver et en été) diminue selon un gradient d'aridité croissant (Kaya *et al.*, 2006 ; Huseynova *et al.*, 2007 ; Degl'Innocenti *et al.*, 2008 ; Laala *et al.*, 2013). D'autre part, certaines espèces contiennent de fortes concentrations en anthocyanes dans l'épiderme d'où une très faible absorption (Maas & Dunlap, 1989). Dans notre cas le feuillage, précisément celui des populations du semi-aride de *J. oxycedrus* (G, B et M), et de l'Atlas saharien (Ig) de *J. communis* où l'on enregistre un déficit hydrique et une extrême irrégularité des précipitations, est d'un vert éclatant. Ceci pourrait s'expliquer par la présence de cire épicuticulaire qui contribue à la protection des pigments chlorophylliens des rayonnements UV en haute altitude. Selon Lodé (1998), les individus d'une même espèce peuvent présenter de grandes différences morphologiques liées à un dimorphisme sexuel, ou une réponse à une pression environnementale. Quelles que soient leurs variations, les traits d'un individu constituent le phénotype qui résulte de l'interaction entre son génotype et les conditions de son environnement.

2.2 Pressions d'ordre biotique (biodissémination par ornithochorie)

Pour le *J. oxycedrus*, les analyses multivariées (Figs 23 & 26), surtout l'analyse factorielle des correspondances, révèlent que la station Cz se trouve chaque fois en position centrale, indice probable de l'origine hybridogène de ses populations constitutives. Maire (1952) et Quézel & Santa (1962) ont adopté ce concept évolutif entre l'essence du littoral (subsp. *macrocarpa*) et celle des montagnes (subsp. *oxycedrus*). D'après ces deux auteurs, il existe dans les montagnes des formes à gros galbules, intermédiaires (de passage) entre ces deux taxons en tenant compte d'un spécimen des monts de Tlemcen localisé par Maire (1952) et qu'il

lui a été impossible de le séparer de la subsp. *macrocarpa*. En plus, la population Cz se trouve en situation semi-continentale à 50 km à vol d'oiseau de la mer et à mi-distance entre les phytodistricts littoraux de la subsp. *macrocarpa* représentées par Me et les phytodistricts continentaux de la subsp. *rufescens* de la station Ch. Aussi, Lebreton *et al.* (1991, 1998) ont signalé l'existence d'hybrides entre ces deux sous-espèces (biochimiquement hétérozygotes) en Méditerranée occidentale (îles des Baléares) et que la dioécie de l'oxycèdre semble participer à ces phénomènes d'hybridation et/ou d'introgession des diverses populations. Le même phénomène pourrait être observé pour *J. communis*, où les individus de cette espèce cohabitent avec ceux de *J. sabina*, plus précisément dans la station d'Aswal. Des auteurs reportent un hybride entre *J. sabina* et *J. communis*, nommé *J. × kanitzii* Csató, en Hongrie en 1886 (Dallimore & Jackson, 1966). Les hybrides entre différentes espèces sont probablement habituels dans les zones de contact entre ces espèces. Il est à noter que la station d'Irghissen a enregistré les valeurs les plus élevées (Tableau 23) concernant quatre caractères quantitatifs « Longueur, largeur ; rapport L/l et poids des galbules » et les plus petites (Tableau 24) pour la Forme du galbule (Fg) et de sa cicatrice blanchâtre (Fci) ainsi que sa couleur (Cg) », ce qui suggère l'existence d'une forme intermédiaire entre ces deux espèces (*J. sabina* et *J. communis*).

Comme les baies des espèces du genre *Juniperus* sont très riches en résine et en huiles essentielles (Adams, 1998), elles fournissent pour les oiseaux biodisséminateurs (grives, merles, etc.) l'énergie nécessaire à la migration printanière (Ryall & Briggs, 2006 ; Rumeu *et al.*, 2009). Par conséquent, des hybridations des sous-espèces peuvent très bien se produire dans ces zones de contact. Cependant, dans les plantes fructifères charnues, les frugivores jouent un rôle important dans l'efficacité de la dispersion des graines sur des microbioclimats disponibles (Schupp, 1993). Cette dispersion augmente le flux de gènes et affecte certainement la structure génétique intra et inter- populations (Ouborg *et al.*, 1999). Les oiseaux représentent le premier vecteur de la dispersion des graines pour de nombreuses espèces végétales, ce qui contribue à leur migration sur de longues distances (Whittaker & Fernández-Palacios, 2007). En outre, de nombreux travaux (Herrera, 1982 ; Debussche, 1988 ; Debussche & Isenmann, 1989 ; Compton *et al.*, 1996 ; Tréca & Tamba, 1997) ont montré que les caractéristiques physiques des fruits charnus (taille, coloration, nombre des graines, etc.) s'expliquent par les pressions sélectives des vertébrés disséminateurs, notamment les oiseaux. D'ailleurs, pour les espèces du genre *Juniperus* L., Grant (1980) a signalé l'effet de la bonne dispersion des graines par ornithochorie sur la variabilité des populations de *Juniperus* en contraste avec celles de *Cupressus*.

En Algérie, le travail de Milla *et al.* (2013) a démontré le comportement trophique des oiseaux sur la diversité des fruits charnus du Sahel algérois incluant *J. phoenicea* subsp.

turbinata (Guss.) Arcang., selon la couleur, le volume et le nombre de graines.

2.3 Comparaison des données recueillies pour les deux espèces dans la littérature

Les résultats obtenus pour les aiguilles et les galbules des deux espèces dans la littérature, sont renseignés dans les tableaux 25 et 26. Pour *J. oxycedrus* (Tableau 25), les valeurs obtenues dans la population de Messida (Me) sont proches de celles enregistrées pour la ssp. *macrocarpa* tandis que les valeurs obtenues pour le reste des populations sont semblables à celles de la ssp. *oxycedrus*. Les travaux de Lebreton *et al.*, (1991, 1998) pour les deux sous-espèces, montrent que les galbules ont une largeur et un poids plus petits par rapport à nos résultats. Inversement, les résultats obtenus par Juan *et al.* (2003) pour quatre populations de la ssp. *macrocarpa* dans le sud-ouest du littoral espagnol, montrent des valeurs plus grandes que celles de notre population (Me). L'étude de Klimko *et al.* (2004), au niveau de trois populations en Italie, révèle chez *macrocarpa* des aiguilles plus grandes et des galbules de même dimension que les nôtres. Klimko *et al.* (2007) ont réalisé une autre étude sur la variabilité morphologique de la sous-espèce *oxycedrus* dans treize provenances de la région méditerranéenne où les valeurs enregistrées pour les aiguilles et les galbules (Ln, Lr, Lng et Lrg) sont plus petites par rapport à l'ensemble de nos populations pour le même taxon. Les travaux effectués sur la ssp. *oxycedrus* par Adams *et al.* (2005) dans l'ouest méditerranéen ainsi que les travaux de Yaltirik *et al.* (2007) et Avci & Zieliński (2008) sur une nouvelle variété de ce taxon en Turquie (var. *spilinanus* Yalt., Eliçin & Terzioglu), et ceux de Brus *et al.* (2011) dans la péninsule des Balkans font état de valeurs plus petites pour les dimensions des aiguilles et des galbules par rapport aux nôtres. En outre, nos résultats se situent dans l'intervalle des valeurs citées par Farjon (2005) et Adams (2014a) pour les aiguilles et les galbules chez les deux sous-espèces. Certains caractères qualitatifs ont été également décrits par de nombreux auteurs comme la forme et la couleur des galbules. Néanmoins, les galbules de la ssp. *macrocarpa* se caractérisent par une forme ovoïde-globulaire ou globulaire, avec une couleur brune ou brun-violacé ou rouge-violacé (Farjon, 2005 ; Adams, 2014a), tandis que l'autre sous-espèce possède des galbules globulaires, de couleur orange, brun ou brun-rougeâtre plus ou moins glauque ou pourpre rougeâtre (Farjon, 2005 ; Yaltirik *et al.*, 2007 ; Avci & Zieliński, 2008 ; Adams, 2014a). Ces résultats restent proches des nôtres concernant la forme des galbules pour la population Me qui est majoritairement arrondie (47,3 %) (*sensu macrocarpa*), ainsi que pour la couleur des galbules des autres populations (*sensu rufescens*) qui varie du brun au rouge sombre.

De nombreux caractères n'ont pas été reportés dans la littérature, tels que les caractères stomatiques et la micromorphologie, la forme de la cicatrice blanchâtre sur les galbules et la

forme de l'apex de l'aiguille. Nous avons donc jugé intéressant d'ajouter ces caractères pour affiner la description des deux taxons. Selon Lesins & Lesins (1979), certaines différences morphologiques peuvent parfois suffire pour la distinction taxinomique. Quelquefois, un seul caractère observable permet de différencier une espèce ou un groupe d'espèces. Concernant les bandes stomatiques, selon Adam (2014b), celles-ci sont généralement enfoncées dans l'épiderme chez *J. oxycedrus (sensu stricto)* qui est restreint aux régions ouest-méditerranéennes. Ce caractère pourrait donc s'avérer utile dans la systématique de l'oxycèdre. Nos résultats, concordant ainsi avec ceux rapportés par la littérature (Tableau 25), mettent en valeur une variabilité des deux sous-espèces du complexe spécifique *J. oxycedrus* décrites dans les différentes régions du monde. Ils suggèrent que, pour les caractères morphologiques étudiés, les sept populations semblent partager un niveau similaire de variation, probablement un même pool de gènes pour ces sous-espèces. Simultanément, l'existence de la nature hybridogène de certaines des populations étudiées pourrait rendre l'identification de l'oxycèdre encore un peu aléatoire. La ssp. *macrocarpa*, tantôt ressemble morphologiquement au taxon décrit par nos soins, tantôt se rapproche du deuxième taxon, la ssp. *rufescens*, mettant en question la SIGNIFICATION du complexe spécifique *J. oxycedrus* en tant que taxons intraspécifiques en Algérie.

Pour *J. communis*, les travaux de Laib (2006) (Tableau 26), menés au niveau de trois stations de la région de Djurdjura (Tala-Guilef, Chalet du Kef et Aswal), font état de valeurs différentes des nôtres, pour les dimensions des aiguilles (Longueur, largeur) enregistrant ainsi des moyennes en mm de 12,19 et 1,41 pour Tala-Guilef ; 11,14 et 1,34 pour Aswal ; 14,19 et 1,51 pour le Chalet du Kef, respectivement. Par contre il n'existe pas de données, pour comparaison, pour le poids des galbules. Pour les dimensions des aiguilles, les valeurs se situent dans l'intervalle signalé par Quézel & Barbero (1989) au Djurdjura concernant la même variété. De même, García et al. (2001) reportent une valeur moyenne du diamètre des galbules, pour la même variété issue de six différents sites en Espagne, plus petite (6,5 et 7,2 mm) par rapport à la nôtre. Par contre, nos résultats sont très proches de ceux rapportés par Maire (1952), Quézel & Santa (1962) et Adams (2014a) concernant les dimensions des aiguilles (Ln ; 11,28 mm et Lr ; 1,39mm), la forme (Arrondie à ovoïde) et la couleur (Bleu noirâtre) des galbules, à l'exception, du caractère « Largeur des galbules (7,37mm) » qui présente une valeur plus grande que celles rapportées par les deux derniers auteurs. Il apparaît clairement que les caractères étudiés pour les deux populations de *J. communis* partagent un niveau similaire de variation phénotypique avec la variété *hemisphaerica* décrite dans les deux grandes flores d'Algérie (Maire, 1952 et Quézel & Santa, 1962).

Chapitre IV. Résultats & discussions

Tableau 25. Comparaison de quelques résultats obtenus pour les aiguilles et les galbules de *Juniperus oxycedrus* L. dans la littérature

Caractères	Aiguille				Galbule			
	Longueur (mm)	Largeur (mm)	Longueur (mm)	Largeur (mm)	Poids (g)	Forme	Couleur	
subsp. macrocarpa	Lebreton <i>et al.</i> (1991) (France)	-	-	-	12,9	0,65	-	-
	Lebreton <i>et al.</i> (1998) (Grèce)	-	-	-	12,8	0,86	-	-
	Juan <i>et al.</i> (2003) (Espagne)	-	-	-	15,23 (-16,37)	1,36 (-1,94)	-	-
	Klimko <i>et al.</i> (2004) (Italie)	11,65	2,02	15,52	14,52	-	-	-
	Farjon (2005)	-	-	-	(12-) 15-23	-	Ovoïde-globulaire ou globulaire	Brun, brun-violacé ou rouge-violacé,
	Adams (2014a)	12-20	2-2,5	-	12-18	-	Globulaire	Rouge violacé
subsp. rufescens (=oxycedrus)	Amaral Franco (1986) (Espagne)	8-15	1-1,5	-	8-10	-	-	-
	Lebreton <i>et al.</i> (1991) (France)	-	-	-	8,8	0,285	-	-
	Lebreton <i>et al.</i> (1998) (Turquie)	-	-	-	7,9	0,195	-	-
	(Chypre)	-	-	-	-	0,165	-	-
	Adams <i>et al.</i> (2005) (Ouest méditerranéen : Maroc, Portugal, Espagne et France)	14,4 (-15,0)	1,28 (-1,27)	-	-	-	-	-
	Farjon (2005)	6-25	1,1-2	-	6-13	-	-	Orange, brun rougeâtre plus ou moins glauque
	Klimko <i>et al.</i> (2007) (Ukraine, Grèce, Bosnie, Croatie, Espagne, France et Maroc)	13,84	1,55	9,05	9,01	-	-	-
	Yaltirik <i>et al.</i> (2007) var. <i>spilinanus</i> (Turquie)	6-10	1-1,5	-	-	-	Globulaire	Brun rougeâtre
	Avci <i>et al.</i> (2008)	12	-	-	8,6	-	-	Brun
	Brus <i>et al.</i> (2011) (Péninsule des Balkans)	-	2-3	8,32	8,98	-	-	-
	Adams (2014a)	15-20	-	-	6-12	-	Globulaire	Rouge brunâtre, pourpre rougeâtre, glauque
Nos résultats	Population Me (<i>sensu</i> subsp. <i>macrocarpa</i>)	15,26	2,19	15,18	14,55	1,28	Arrondie, Ovoïde ou cordiforme	
	Le reste des populations (Cz, G, B, M, Ba et Ch) (<i>sensu</i> subsp. <i>rufescens</i>)	16,84	1,77	10,21	10,37	0,47	Arrondie ou Ovoïde	Brun rouge sombre
	Espèce (Ensemble des populations)	16,61	1,83	10,92	10,97	0,58		

Tableau 26. Comparaison de quelques résultats obtenus pour les aiguilles et les galbules de *J. communis* L. var. *hemisphaerica* dans la littérature.

Caractères		Aiguille				Galbule			
		Longueur (mm)	Largeur (mm)	Longueur (mm)	Largeur (mm)	Poids (g)	Forme	Couleur	
var. hemisphaerica	Maire (1952)	≥ 10	1-2	-	6-9	-	Globuleux ou ovoïde	Bleu noir	
	Quézel & Santa (1962)	-	-	-	5-7	-	-	Bleu ou noir bleuâtre	
	Quézel & Barbero (1989) (Algérie)	8-20	1,3-2	-	-	-	-	-	
	García <i>et al.</i> (2001) (Espagne)	-	-	-	6,5-7,2	-	-	-	
	Laib (2006) (Algérie)	Tala-Guilef	12,19	1,41	-	-	-	-	-
		Chalet du Kef	11,19	1,34	-	-	-	-	-
		Aswal	14,19	1,51	-	-	-	-	-
Adams (2014a)	4-12(20)	1,3-2	-	4-7	-	Globulaire ou sub-globulaire	Noire brunâtre, Glauque		
Nos résultats	Populations I et Ig (Algérie)	11,28	1,39	7,89	7,37	0,13	Arrondie, Ovoïde	Bleu noirâtre (sombre-vif)	

B. Etude de la variabilité morphologique (ramules, galbules) au sein des espèces de la section *Sabina* : *J. phoenicea* L. ; *J. thurifera* L. & *J. sabina* L.

1. Résultats

1.1 Analyse morphométrique

1.1.1 Ramules et galbules

Pour les variables quantitatives des ramules de *J. phoenicea* (Tableau 27), la station de Boutaleb a enregistré les moyennes les plus élevées pour la longueur de la ramification principale (30,14mm), le nombre de ramifications primaires (11,39), la longueur et le nombre d'écaillés de la ramification basale (12,90mm et 51,88 écaillés). Contrairement, à Dhayat Belkhir où les valeurs sont les plus petites sauf pour les trois caractères concernant l'épaisseur de la ramification finale (0,64mm) et basale (0,65mm) et le nombre d'écaillés sur 5mm de la ramification finale (20,67 écaillés). Cependant, la station de Djebel Messaad se situe en position intermédiaire pour la majorité de ses caractères. En ce qui concerne les variables quantitatives des galbules (Tableau 29), les moyennes enregistrées sont les petites au niveau de la station de M (Lng : 8,27mm ; Lrg : 7,56mm ; Rg : 1,10 et Pg : 0,34g) alors que celles des deux autres stations (B et D) se rapprochent pour les mêmes variables. Chez l'espèce, les galbules pèsent moyennement 0,42g avec une dimension Lng x Lrg de 8,83 x 7,97mm. Le tableau 28 montre l'analyse descriptive des caractères qualitatifs relatifs aux ramules et galbules. Pour la forme et la couleur, les ramules ont une forme unique « cylindrique ou subcylindrique » au sein des trois populations avec dominance de la couleur verte (93,19%) chez l'espèce. Néanmoins, la station D se démarque par la couleur verte avec 84,89 % tandis que les deux autres stations ont marquées des valeurs plus élevées et proches (96,11% à B et 98,56% à M). Les autres couleurs observées ont des proportions beaucoup plus faibles. En ce qui concerne la forme des galbules, deux formes majoritaires ont été rencontrées dans chaque station : arrondie (avec 50,66% à D ; 39,11% à M et 45,55% à B) et ovoïde (avec 34,10% à D ; 24,56% à B et 22,89% à M). Il en est de même pour l'espèce : arrondie (45,10%) et ovoïde (27,19%) avec la couleur rougeâtre qui est dominante (57,26%). En outre, la forme "polygone complet" de la cicatrice des galbules ; elle représente le pourcentage le plus élevé pour l'espèce avec une moyenne de 38,52% et des variations de 46,89%, 41,78% et 26,88%, ont été notées par station entre M, B et D, respectivement. A propos de la nature de l'épicarpe, les galbules sont en totalité durs dans la station D et M, mais, mous dans l'autre station.

Concernant les variables quantitatives (Tableau 29) du *J. thurifera*, les moyennes enregistrées pour les ramules et les galbules sont plus importantes au niveau de la station Zana

excepté pour les trois variables « épaisseur (ERf : 0,87mm) et nombre d'écailles sur 5 mm (NERf : 15,26 écailles) de la ramification finale et rapport (Rg : 0,23) du galbule » où leurs valeurs sont les plus petites. Chez les deux autres stations T'kout et Tafrent, un rapprochement de valeurs s'est révélé clairement, à travers la majorité de leurs caractères avec des variations minimales. En plus, la station de Tafrent a enregistré les valeurs les plus petites pour les variables relatives à la dimension (Long x Larg ; 7,69x 7,68 mm) et poids (Pg ; 0,15 g) des galbules (Tableau 29). Pour les variables qualitatives (Tableau 30), les ramules se caractérisent par une forme unique «Tétragone», c'est-à-dire, à quatre angles au niveau intra et inter-populationnelle. Mais, pour la couleur, une variation nette du vert clair à vert foncé a été démontrée par station « T'kout (vert clair ; 52,33%), Tafrent (73,33%) et Zana (vert ; 52, 56%) », avec une dominance du vert foncé pour l'espèce (48,04%). En ce qui concerne la forme des galbules, deux formes majoritaires ont été rencontrées pour les deux stations T'kout et Zana : arrondie (avec 41,89 % à K et 32,56 % à Z) et ovoïde (avec 46,89 % à K et 51 % à Z). Pareillement pour l'espèce avec les proportions (48,26 % et 37,81 %), respectivement. La station de Tafrent s'isole par la forme arrondie dominante (70,33%). En outre, la présence de la cicatrice blanchâtre a été enregistrée pour l'espèce. Pour la nature de l'épicarpe, les galbules sont entièrement mous pour l'espèce. Pour la couleur des galbules, le noir bleuâtre a marqué le pourcentage le plus élevé chez l'espèce (54,41%) avec une variation par station, noir bleuâtre à K (44,67 %) et surtout à T (91%) et noir à Z (41,78%).

Pour les ramules de *J. sabina* (Tableaux 31 et 32), les valeurs les plus élevées ont été enregistrées à la station d'Aswal, pour les variables quantitatives suivantes : longueur de la ramification basale (9,69mm), son épaisseur (0,96mm) et nombre d'écailles (28,39), l'épaisseur (0,88mm) et le nombre d'écailles sur 5 mm de la ramification finale (15,75). Pour le reste des variables, longueur de la ramification principale (LRp), nombre de ramifications primaires (NRp) et secondaires basales (NRSb), elles sont les plus grandes à la station Issig-Issig (22,55mm ; 7,49 et 0,74), respectivement. En ce qui concerne les variables qualitatives (forme et couleur de la ramule), seule la forme « cylindrique ou subcylindrique » a été enregistrée par station. La dominance du vert foncé au niveau intra et inter-populations, a été signalée aussi avec 65,18% pour l'espèce. Concernant, les caractères relatifs aux galbules (Tableaux 31 et 32) de la population Aswal (la seule échantillonnée), les moyennes indiquées pour de la longueur, la largeur, le rapport le poids donnent les valeurs suivantes : 6,43mm ; 6,35mm ; 1,03 et 0,08 mg, respectivement. Aussi, cette population se caractérise par des galbules mous, sans cicatrices blanchâtres sur leurs enveloppes, de forme cordiforme (34,33%) ou allongée (28,55%) et de couleur dominante « noir bleuâtre (72,72%) ».

Chapitre IV. Résultats et discussions

Tableau 27. Valeurs des caractères quantitatifs mesurées pour les feuilles et les galbules (*J. phoenicea* L.).

Organes	Caractères	Moy ± ET ; (Min-Max) CV			
		Dhayat Belkhir (D)	Dj. Messaad (M)	Boutaleb (B)	Moyenne
Feuille	Longueur de la ramification principale en mm (LRp)	25,37***±5,27 (12,57-48,95)20,77	27,60***±6,87 (5,91-48,41)24,87	30,14±5,79 (9,65-46,93)19,22	27,71***±6,32 (5,91-49)22,81
	Nombre de ramifications primaires (NRp)	9,80***±2,61 (3-21)26,60	10,04***±2,77 (3-23)27,56	11,39***±2,71 (4-21)23,81	10,41***±2,78 (3-23)26,74
	Longueur de la ramification basale en mm (LRb)	9,81***±3,58 (2,45-24,72)36,55	12,50***±4,94 (1,61-29,12)39,53	12,90***±4,38 (2,83-32,22)33,98	11,73***±4,55 (1,61-32,22)38,76
	Épaisseur de la ramification basale en mm (ERb)	0,56***±0,05 (0,47-0,89)8,11	0,55***±0,02 (0,47-0,60)4,00	0,54***±0,02 (0,42-0,65)4,37	0,55***±0,03 (0,42-0,90)6,00
	Nombre de ramifications secondaires basales (NRSb)	0,49***±0,74 (0-3)150,07	0,58***±0,82 (0-3)141,63	0,45***±0,70 (0-3)157,39	0,51***±0,76 (0-3)149,63
	Nombre d'écailles sur la ramification basale (NERb)	43,49***±15,12 (4-96)34,76	49,70***±18,41 (8-124)37,04	51,88***±17,57 (12-148)33,88	48,36***±17,45 (4-148)36,09
	Épaisseur de la ramification finale en mm (ERf)	0,65***±0,04 (0,41-0,95)5,95	0,63***±0,02 (0,58-0,7)3,52	0,64***±0,03 (0,37-0,69)4,08	0,64***±0,03 (0,37-1,00)4,79
	Nombre d'écailles sur 5mm de la ramification finale (NERf)	20,67***±3,86 (12-40)18,69	20,02***±4,21 (12-32)21,04	18,51***±3,71 (12-32)20,02	19,73***±4,03 (12-40)20,44
Galbule	Longueur du galbule en mm (Lng)	9,15***±1,03 (6-12,69)11,27	8,27***±1,35 (5,01-12,73)16,29	9,09***±0,98 (6,26-13,03)10,78	8,83***±1,20 (5,01-13)13,58
	Largeur du galbule en mm (Lrg)	8,16***±1,03 (5,20-11,83)12,61	7,56***±1,28 (4,54-11,12)16,99	8,21***±0,89 (6-11,73)10,79	7,97***±1,12 (4,54-11,08)14,02
	Rapport (Longueur/ Largeur) du galbule (Rg)	1,13***±0,11 (0,77-1,58)9,36	1,10***±0,10 (0,78-1,68)9,09	1,11***±0,10 (0,71-1,59)9,06	1,11***±0,10 (0,71-1,7)9,23
	Poids du galbule en g (Pg)	0,46***±0,16 (0,11-1,80)34,00	0,34***±0,16 (0,10-0,98)48,26	0,45***±0,11 (0,18-1,04)24,60	0,42***±0,15 (0,1-1,8)37,22

Moy, Moyenne ; ET, écart type ; Min, minimum ; Max, maximum ; CV, coefficient de variation ; Seuil de signification statistique *, $p < 0,05$; **, $p < 0,01$; ***, $p < 0,001$; NS : Non significatif.

Chapitre IV. Résultats et discussions

Tableau 28. Fréquences (%) pour les caractères qualitatifs des feuilles et des galbules (*J. phoenicea* L.).

Organes	Caractères	Variantes	Dhayat Belkhir (D) %	Dj. Messaad (M) %	Boutaleb (B) %	Moyenne %	
Feuille	Forme du ramule (Fr)	1- Cylindrique ou subcylindrique	100	100	100	100	
		2- Tétragone	0	0	0	0	
		3- Aplatie	0	0	0	0	
	Couleur du ramule (Cr)	1- Vert clair	10,11±8,86	0	2,78±6,32	4,30±7,55	
		2- Vert	84,89±11,34	98,56±6,71	96,11±7,38	93,19±10,49	
		3- Vert foncé	5,00±8,83	1,44±6,71	1,11±3,20	2,52±6,82	
Galbule	Forme du galbule (Fg)	1- Arrondie	50,67±23,33	39,11±24,18	45,56±26,44	45,10±24,87	
		2- Ovoïde	24,56±15,57	22,89±16,23	34,10±28,47	27,19±21,30	
		3- Allongée	8,10±7,15	2,78±7,83	1,67±4,18	4,19±7,09	
		4- Cordiforme	16,67±13,98	35,22±23,19	18,67±19,23	23,51±20,72	
		5- Falciforme	0	0	0	0	
	Forme de la cicatrice sur l'enveloppe du galbule (Fci)	1- Présence	1- Triangle	16,56±11,66	11,00±12,60	16,78±11,86	14,78±12,21
			2- Trait unique	9,67±7,99	7,78±8,46	3,56±5,10	7,00±7,69
			3- Deux traits parallèles	22,33±11,81	13,33±10,50	15,00±8,34	16,89±10,93
			4- Polygone complet	26,88±15,76	46,89±17,09	41,78±19,33	38,52±19,25
			5- Polygone incomplet	23,78±10,78	10,89±7,83	11,22±9,41	15,30±11,09
			6- Asymétrique	0	9,00±12,90	11,44±9,13	6,81±10,29
	2- Absence		0,78±2,58	1,11±3,31	0,22±0,85	0,70±2,47	
	Nature de l'épicarpe du galbule (Ng)	1- Dur	100	100	-	33,33±47,40	
		2- Mou	0	-	100	66,67±47,40	
Couleur du galbule (Cg)	1- Brun	36,11±17,18	7,22±16,02	15,44±18,10	19,59±20,88		
	2- Rouge	37,78±16,55	73,00±19,74	61,00±19,06	57,26±23,47		
	3- Brun rouge sombre	25,89±20,15	19,67±16,89	23,23±19,21	22,93±18,76		
	4- Brun rouge vif	0,22±0,85	0,11±0,61	0,33±1,02	0,22±0,84		

Chapitre IV. Résultats et discussions

Tableau 29. Valeurs des caractères quantitatifs mesurées pour les feuilles et les galbules (*J. thurifera* L.)

Organes	Caractères	Moy ± ET ; (Min-Max) CV			
		T'kout (K)	Tafrent (T)	Zana (Z)	Moyenne
Feuille	Longueur de la ramification principale en mm (LRp)	20,08***±3,87 (5,82-34,34)19,29	20,4***±74,27 (7,57-36,09) 20,85	24,18±***5,20 (9,22-39,97) 21,50	21,58***±4,84 (5,82-39,97) 22,45
	Nombre de ramifications primaires (NRp)	6,40***±1,91 (2-15)29,86	6,50***±1,99 (2-13) 30,61	7,73***±2,56 (1-18) 33,16	6,88***±2,26 (1-18) 32,80
	Longueur de la ramification basale en mm (LRb)	8,65**±3,39 (1,66-21,23)39,17	8,28***±3,09 (1,01-19,91) 37,30	9,70***±3,78 (1,35-21,18) 39,00	8,88***±3,48 (1,01-21,23) 39,23
	Épaisseur de la ramification basale en mm (ERb)	0,98***±0,12 (0,35-1,5)11,98	0,95***±0,12 (0,5-1,31) 12,39	1,01***±0,13 (0,62-1,47) 12,49	0,98***±0,12 (0,35-1,5) 12,52
	Nombre de ramifications secondaires basales (NRSb)	0,52***±0,90 (0-4)171,64	0,50***±0,84 (0-4) 167,39	0,96***±1,09 (0-4) 113,86	0,66***±0,97 (0-4) 146,96
	Nombre d'écailles sur la ramification basale (NERb)	30,28***± 11,55 (6,00-76) 38,24	28,69***±9,85 (6-62) 34,33	32,31*±12,02 (2-7) 37,20	30,41**±11,27 (2-76) 37,08
	Épaisseur de la ramification finale en mm (ERf)	0,92***±0,12 (0,23-1,29) 12,80	0,83***±0,14 (0,31-1,29) 16,89	0,87***±0,17 (0,43-1,47) 19,29	0,87***±0,15 (0,23-1,47) 16,90
	Nombre d'écailles sur 5mm de la ramification finale (NERf)	16,69***±3,90 (6-30) 23,36	16,42***±4,01 (2-28) 24,44	15,26***±3,61 (6-3) 23,66	16,12***±3,89 (2-30) 24,15
	Galbule	Longueur du galbule en mm (Lng)	7,70***±0,96 (4,77-10,37) 12,44	7,69***±0,91 (4,66-10,56) 11,87	8,06***±0,90 (4,12-10,92) 11,13
Largeur du galbule en mm (Lrg)		7,88***±1,09 (4,76-11,50) 13,89	7,68***±1,12 (4,88-11,25) 14,63	8,74***±1,26 (4,15-12,59) 14,36	8,1***±1,25 (4,15-12,59) 15,40
Rapport (Longueur/ Largeur) du galbule (Rg)		0,98***±0,08 (0,63-1,30) 8,14	1,01***±0,10 (0,6-1,32) 9,85	0,93***±0,09 (0,69-1,26) 9,22	0,97***±0,09 (0,6-1,32) 9,73
Poids du galbule en g (Pg)		0,18***±0,08 (0,04-0,54) 44,03	0,15***±0,07 (0,04-0,47) 45,71	0,23***±0,09 (0,04-0,57) 40,24	0,19***±0,09 (0,04-0,57) 46,75

Moy, Moyenne ; ET, écart type ; Min, minimum ; Max, maximum ; CV, coefficient de variation ; Seuil de signification statistique *, $p < 0,05$; **, $p < 0,01$; ***, $p < 0,001$; NS : Non significatif.

Chapitre IV. Résultats et discussions

Tableau 30. Fréquences (%) pour les caractères qualitatifs des feuilles et des galbules (*J. thurifera* L.)

Organes	Caractères	Variantes	T'kout (K) %	Tafrent (T) %	Zana (Z) %	Moyenne %
Feuille	Forme du ramule (Fr)	1- Cylindrique ou subcylindrique	0	0	0	0
		2- Tétragone	100	100	100	100
		3- Aplatie	0	0	0	0
	Couleur du ramule (Cr)	1- Vert clair	52,33±23,75	2,56±3,78	19,89±10,04	24,93±25,53
		2- Vert	4,44±6,63	24,11±13,32	52,56±12,21	27,04±22,70
		3- Vert foncé	43,22±26,12	73,33±13,87	27,56±11,24	48,04±26,29
Galbule	Forme du galbule (Fg)	1- Arrondie	41,89±17,46	70,33±24,61	32,56±12,02	48,26±24,59
		2- Ovoïde	46,89±14,22	15,56±12,42	51,00±15,19	37,81±21,09
		3- Allongée	10,00±12,69	4,33±6,68	15,22±11,99	9,85±11,57
		4- Cordiforme	1,22±2,83	8,11±10,82	1,22±3,44	3,52±7,43
		5- Falciforme	0	1,56±5,59	0	0,52±3,27
	Forme de la cicatrice sur l'enveloppe du galbule (Fci)	1- Présence	100	100	100	100
		2- Absence	0	0	0	0
	Nature de l'épicarpe du galbule (Ng)	1- Dur	0	0	0	0
		2- Mou	100	100	100	100
	Couleur du galbule (Cg)	1- Noir bleuâtre vif	44,67±31,2	91±25,37	27,56±21,65	54,41±37,5
		2- Noir bleuâtre sombre	25,89±16,67	9±25,37	30,67±12,30	21,85±20,9
		3- Noir	29,44±26,1	0	41,78±24,13	23,74±26,88

Chapitre IV. Résultats et discussions

Tableau 31. Valeurs des caractères quantitatifs mesurées pour les feuilles et les galbules (*J. sabina* L.).

Organes	Caractères	Moy ± ET ; (Min-Max) CV		
		Aswal (A)	Issig-Issig (Is)	Moyenne (Test t)
Feuille	Longueur de la ramification principale en mm (LRp)	22,12***±3,89 (7,78-36,3) 17,59	22,55***±4,27 (9,53-38,05) 18,92	22,34±4,09 (7,78-38,05) 18,30
	Nombre de ramifications primaires (NRp)	7,42±***1,91 (3-16,0) 25,75	7,49***±1,98 (3-14) 26,5	7,45±1,95 (3-16) 26,13
	Longueur de la ramification basale en mm (LRb)	9,69**±3,41 (2,66-22,23) 35,22	9,34***±3,08 (2,01-20,91) 32,96	9,51±3,25 (2,01-22,23) 34,20
	Épaisseur de la ramification basale en mm (ERb)	0,96***±0,12 (0,33-1,35) 12,25	0,93***±0,12 (0,48-1,29) 12,85	0,95***±0,12 (0,33-1,35) 12,64
	Nombre de ramifications secondaires basales (NRSb)	0,66*±0,88 (0-4) 133,93	0,74***±0,95 (0-4) 128,73	0,70±0,92 (0-4) 131,38
	Nombre d'écailles sur la ramification basale (NERb)	28,39***±11,55 (4-74) 40,67	26,61***±9,69 (4-6) 36,41	27,50±10,69 (4-74) 38,88
	Épaisseur de la ramification finale en mm (ERf)	0,88***±0,12 (0,2-1,26) 13,22	0,8***±0,14 (0,28-1,26) 17,76	0,84***±0,14 (0,2-1,26) 16,20
	Nombre d'écailles sur 5mm de la ramification finale (NERf)	14,75***±3,90 (4-28) 26,46	14,33***±4,03 (0-26) 28,15	14,54***±3,97 (0-28) 27,33
	Galbule	Longueur du galbule en mm (Lng)	6,43***±0,81 (4,37-9,14)12,56	-
Largeur du galbule en mm (Lrg)		6,35***±0,90 (3,90-9,51)14,17	-	-
Rapport (Longueur/ Largeur) du galbule (Rg)		1,03NS±0,20 (0,56-1,64)19,64	-	-
Poids du galbule en g (Pg)		0,08***±0,01 (0,03-0,13)17,62	-	-

Moy, Moyenne ; ET, écart type ; Min, minimum ; Max, maximum ; CV, coefficient de variation ; Seuil de signification statistique *, $p < 0,05$; **, $p < 0,01$; ***, $p < 0,001$; NS : Non significatif.

Chapitre IV. Résultats et discussions

Tableau 32. Fréquences (%) pour les caractères qualitatifs des feuilles et des galbules (*J. sabina* L.).

Organes	Caractères	Variantes	Aswal (A) %	Issig-Issig (Is) %	Moyenne %
Feuille	Forme du ramule (Fr)	1- Cylindrique ou subcylindrique	100	100	100
		2- Tétragone	0	0	0
		3- Aplatie	0	0	0
	Couleur du ramule (Cr)	1- Vert clair	12,5±10,87	7,38±6,37	9,94±9,20
		2- Vert	25,0±13,19	24,76±15,93	24,88±14,49
		3- Vert foncé	62,5±20,94	67,86±19,53	65,18±20,24
Galbule	Forme du galbule (Fg)	1- Arrondie	6,96±7,88	-	-
		2- Ovoïde	21,36±14,80	-	-
		3- Allongée	28,55±21,06	-	-
		4- Cordiforme	34,33±15,01	-	-
		5- Falciforme	8,80±6,51	-	-
	Forme de la cicatrice sur l'enveloppe du galbule (Fci)	1- Présence	0	-	-
		2- Absence	100	-	-
	Nature de l'épicarpe du galbule (Ng)	1- Dur	0	-	-
		2- Mou	100	-	-
	Couleur du galbule (Cg)	1- Noir bleuâtre	72,79±27,72	-	-
		2- Noir Violâtre	26,61±27,46	-	-
		3- Noir	0,60±1,06	-	-

1.1.2 Surfaces épidermiques et micromorphologie

L'examen des surfaces épidermiques au MEB révèle des morphoprocessus adaptatifs concernant les trois espèces étudiées. Les écailles des trois espèces étudiées sont amphistomatiques, parfois hypo-stomatiques. Des dépôts de cires sont présents sur les deux surfaces épidermiques. L'épiderme de la face supérieure (côté extérieur de l'écaille) possède de nombreux stomates (S), de moins de 50 µm de diamètre (Fig. 28A et C), visibles ((Fig. 28A et B) ou très peu (Fig. 28D et F) qui se localisent, près de la base de l'écaille (Fig. 28B, D et F). La face inférieure (côté interne de l'écaille) est bien structurée, elle comporte essentiellement : 1/ deux bandes stomatiques étroites (Bs) avec des stomates (S) disposés en ligne ou dispersés et séparés par une série de cellules épidermiques qui forment une nervure médiane visible (N), prolongée de la base de l'écaille vers l'apex. 2/ une marge (Fm) finement denticulée, parfois entière. 3/ un apex astomatique (dépourvu de stomates).

Pour *J. phoenicea*, les écailles ont une taille moyenne et variable, d'environ (1-2 x 0,5-1 mm). Elles sont disposées en deux rangs opposés, décussées, fortement imbriquées à la base, de forme ovale à rhomboïdale, à pointe non libre, subaigüe (Figs. 30A et F ; 31G). La surface dorsale est souvent bombée (convexe) et sillonnée (Figs 30A ; 31G), munie quelquefois d'un sommet aplati, encastré au milieu par un enfoncement bien visible (Fig. 30B & F) et orné d'une glande (Pg) ou une tache de nature cireuse, peu allongée ou arrondie, moins de 0,5 mm de long (Fig. 30B, C, D, E et F). La marge (Fm) possède des denticulations régulières et très fines (Fig. 31G et H). L'apex (Fa) est de forme obtuse (Figs. 29G), parfois subaigüe (Fig. 30B, E et F). Les stomates (S) sont petits (moins de 50 µm), sous forme des glandes ovales, visibles (Fig. 31J), parfois couverts entièrement de cire (Fig. 29H, I et K). Ils constituent deux groupes ou bandes étroites (Bs) et par bande, ils sont centraux ou bien situés trop près du bord de l'écaille, disposés en ligne, entre trois à quatre rangées, d'environ 15-25 stomates/bande (Fig. 31H). La bande médiane (Bm) des cellules épidermiques s'incline en amont pour former une petite nervure (N), prolongée de la base vers l'apex et bien visible à la base de l'écaille (Fig. 31H). En outre, la cire cuticulaire (Ci) se trouve soit sous forme de particules fines dispersées autour des stomates (Fig. 31J) ou bien fortement condensées (cas de la station de Dhayat Belkhir, la plus aride (Fig. 31K), soit sous forme d'une couche plus ou moins fine tapissant l'épiderme entier et les stomates (Fig. 31L).

Concernant *J. thurifera*, les écailles ont une plus grande taille (1,5-2 x 0,5-1 mm). Elles sont disposées en deux rangs opposés, décussées et imbriquées à la base, de forme (Fe) unique « rhomboïdale », mais à pointe libre, aigüe (Fig. 32A et B). La surface dorsale est concave (non bombée comme celle des autres espèces), sillonnée et dépourvue de glandes

cireuses (Fig. 32A, B et E). La marge (Fm) est entière, rarement denticulée (Fig. 32C et D).

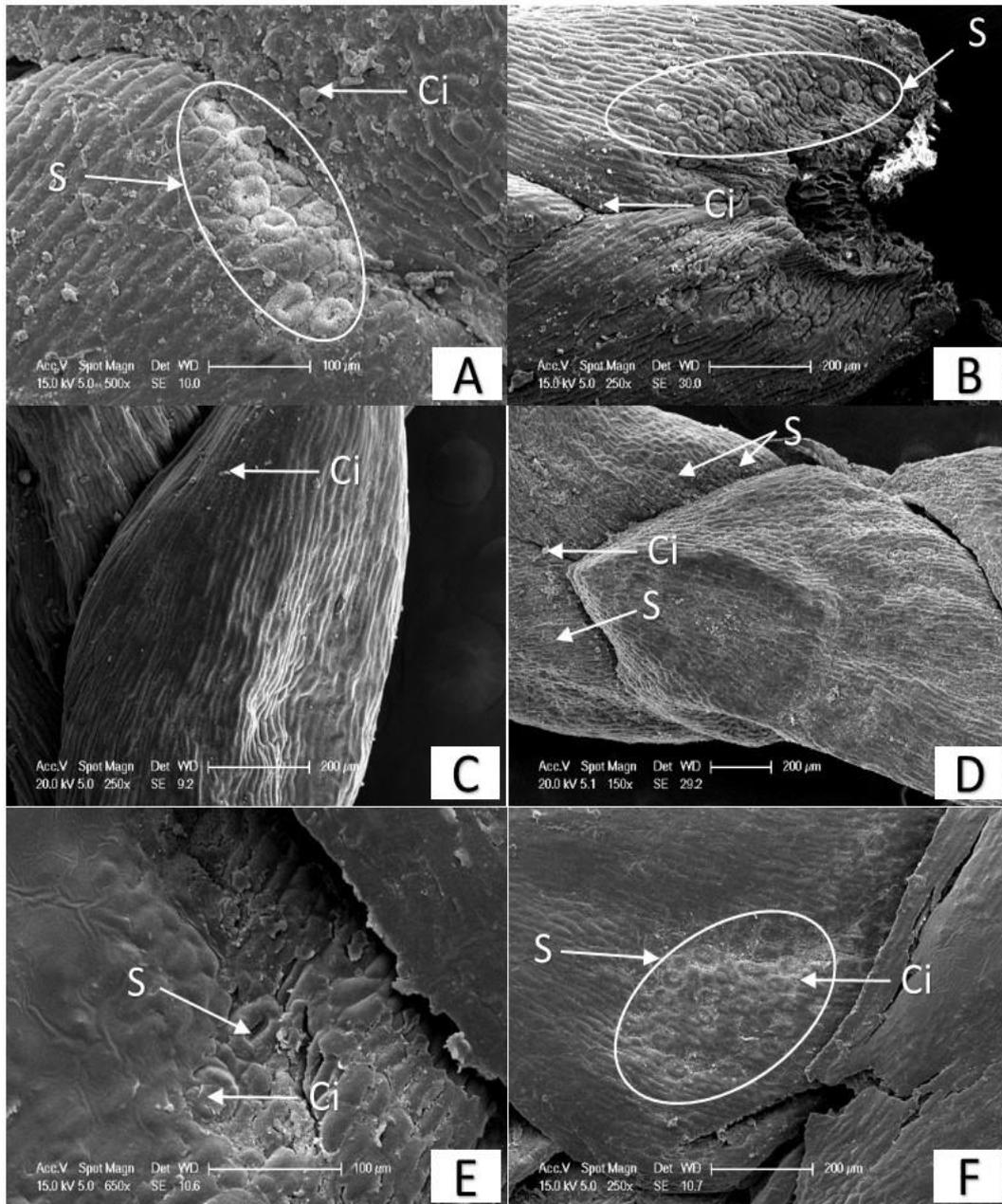


Figure 28. — Micrographies (A-F) montrant l'épiderme de la face supérieure (externe) chez les trois espèces : *J. phoenicea* (A et B) ; *J. thurifera* (C et D) et *J. sabina* (E et F). S : stomates ; Ci : cire.

L'apex (Fa) est de forme assez aigüe par rapport aux deux autres espèces (Fig. 32B et D). Les stomates (S) de plus de 50 μm et sous forme de glandes ovales, (Fig. 32H), visibles ou non (Fig. 32C et F) ; ils constituent deux groupes ou bandes étroites (Bs) (Fig. 32D) et par bande, ils sont centraux, disposés en ligne, entre trois à quatre rangées, d'environ 10-15 stomates/bande (Fig. 32F).

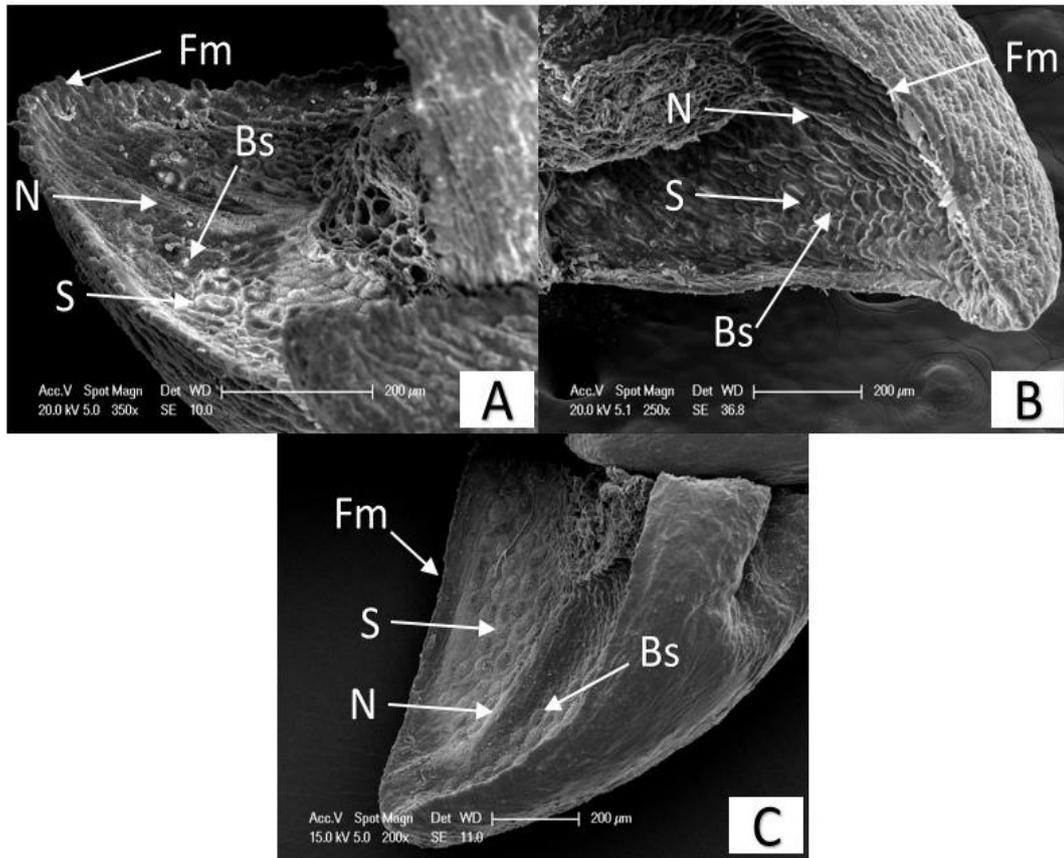


Figure 29. — Micrographies (A-C) montrant l'épiderme de la face interne chez les trois espèces : *J. phoenicea* (A) ; *J. thurifera* (B) et *J. sabina* (C) avec deux bandes stomatiques (Bs), séparées au milieu par une série de cellules épidermiques, formant une nervure médiane (N) prolongée de la base vers l'apex et une marge (Fm) finement denticulée ou entière.

La bande médiane (Bm) des cellules épidermiques s'incline en amont pour former une nervure médiane (N), prolongée de la base vers l'apex, visible à la base de l'écaille (Fig. 32D, E et F). La cire (Ci) se trouve sous forme de particules fines dispersées autour des stomates (Fig.32D, F et G), de couche mince tapissant l'épiderme et les cellules stomatiques (cas de la station de T'kout, la plus aride, Fig. 32H).

Quand à *J. sabina*, les écailles ont la plus petite taille par rapport aux autres espèces (0,5-1,2 x 0,5-1 mm) (Fig. 33A). De même, elles sont disposées en deux rangs opposées, décussées et imbriquées à la base, de même forme (Fe) (ovale à rhomboïdale) que celles de *J. thurifera*, parfois à pointe libre, subaigüe (Fig. 33A, C, E et H). La surface dorsale est bombée ou aplatie avec un enfoncement visible, sillonnée (Fig. 33A, B, C et E), munie quelque fois d'une glande (Pg) cireuse, arrondie, moins de 0,2 mm de long (Fig. 33A, D et H). La marge (Fm), comme chez *J. phoenicea*, possède des denticulations régulières, mais plus fines (Fig. 33H et I).

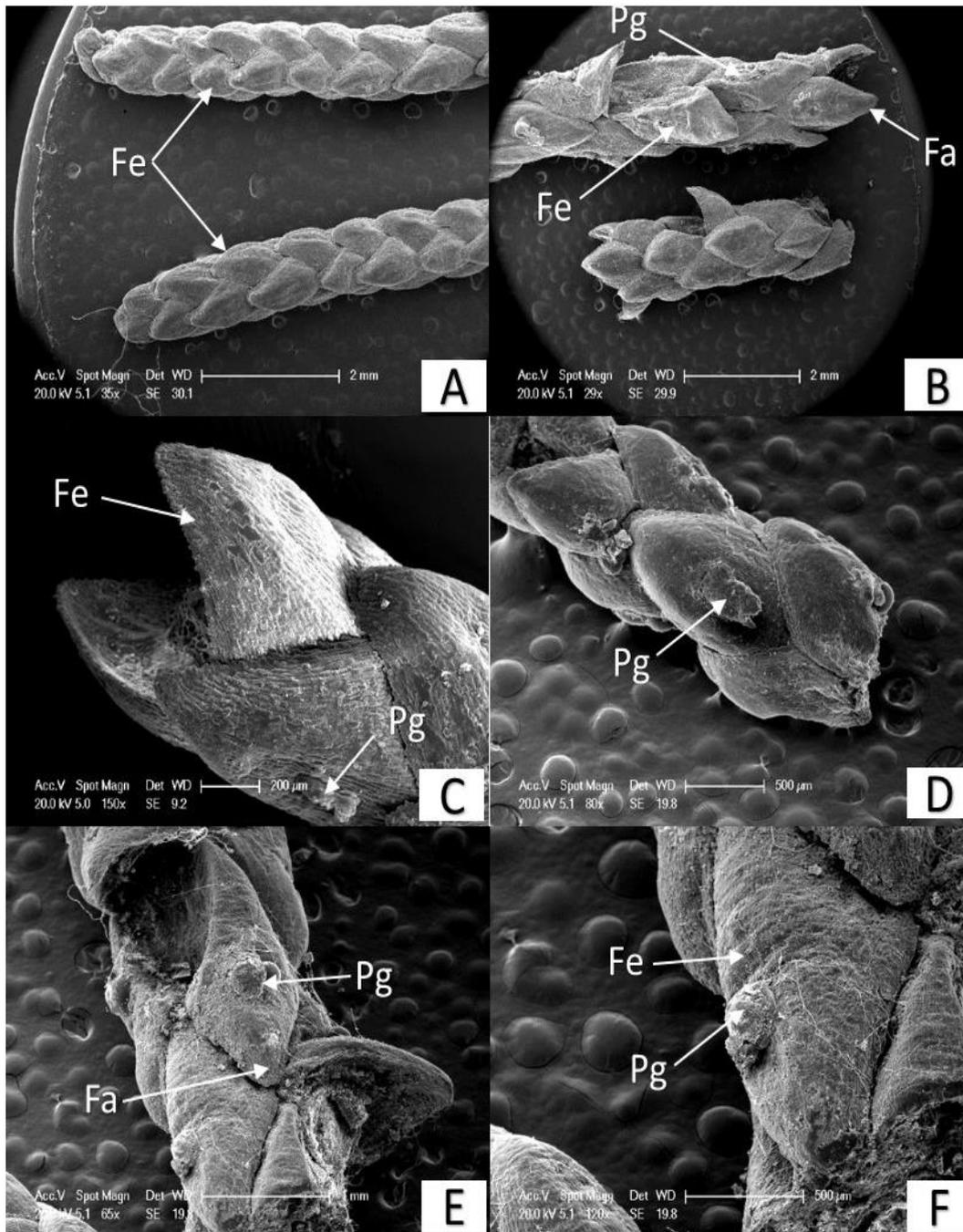


Figure 30. — Micrographies (A-D) montrant le feuillage de *J. phoenicea*. (A) : station de Dj. Messaad ; (B et C) : station de Boutaleb ; (D-F) : station de Dhayat Belkhir. A, écailles (Fe) disposées en quatre rangées et imbriquées à la base ; B, forme rhomboïdale (Fe) des écailles ; C-F, présence de glandes cireuses au revers (Pg) sur la face dorsale ; B et E, apex (Fa) de forme subaigüe ; F, sommet dorsale (Fe) aplati et plié au milieu.

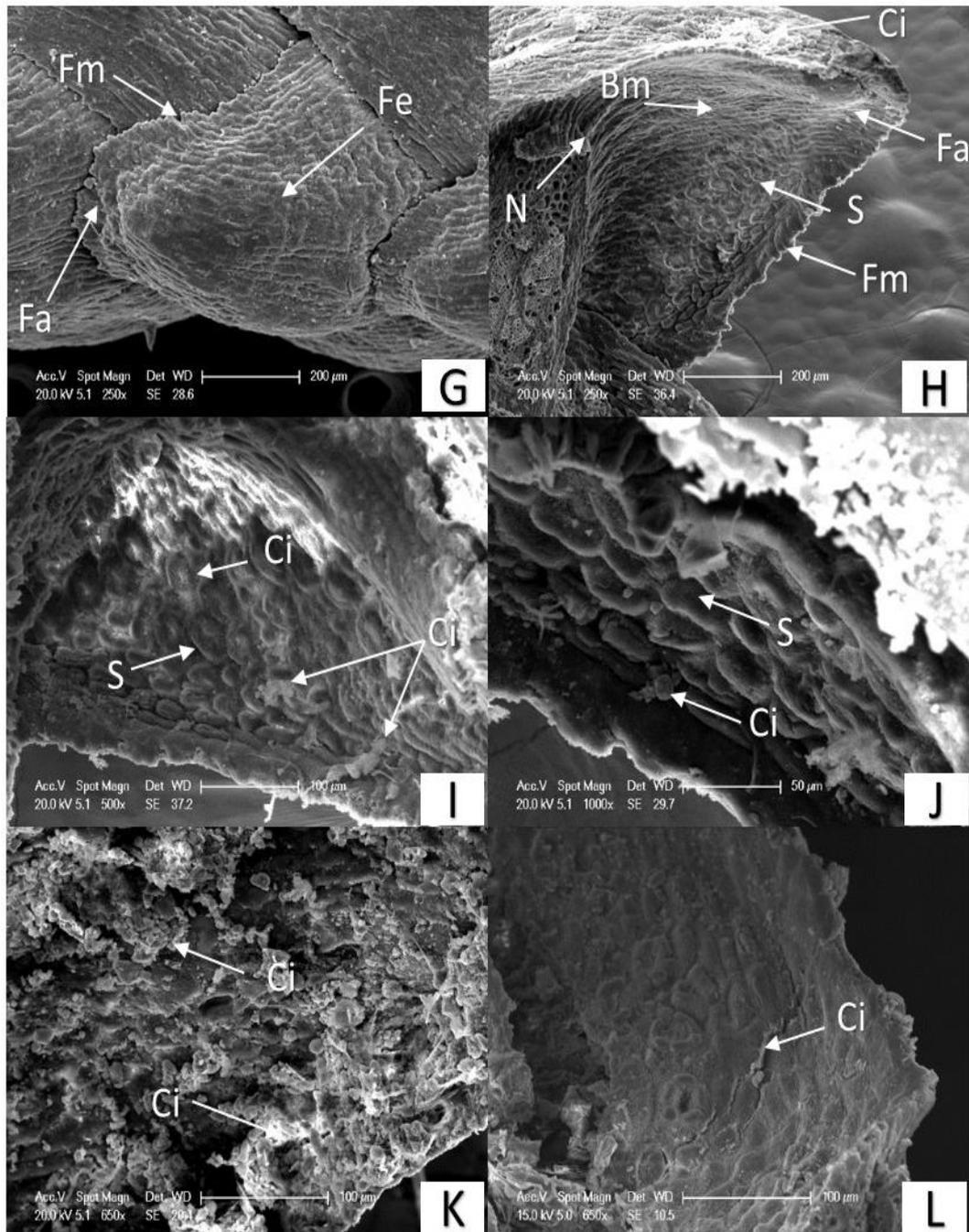


Figure 31. — Micrographies (A-D) montrant le feuillage de *J. phoenicea*. (G) : station de Dj. Messaad ; (H) : station de Boutaleb ; (C-F) : station de Dhayat Belkhir. G, écailles de forme ovale (Fe) ; G et H, marge avec denticulations (Fm) régulières et fines; G et H, apex (Fa) obtus, dépourvu de stomates; H, deux bandes stomatiques étroite (Bs) séparée par une bande médiane épidermique (Bm); J, stomates (S) sous forme des glandes ovales, disposés en ligne; H, présence d'une petite nervure médiane (Vs) à la base; J et K, particules fines de cire (Ci) ; L, couche de cire (Ci) tapissant les stomates.

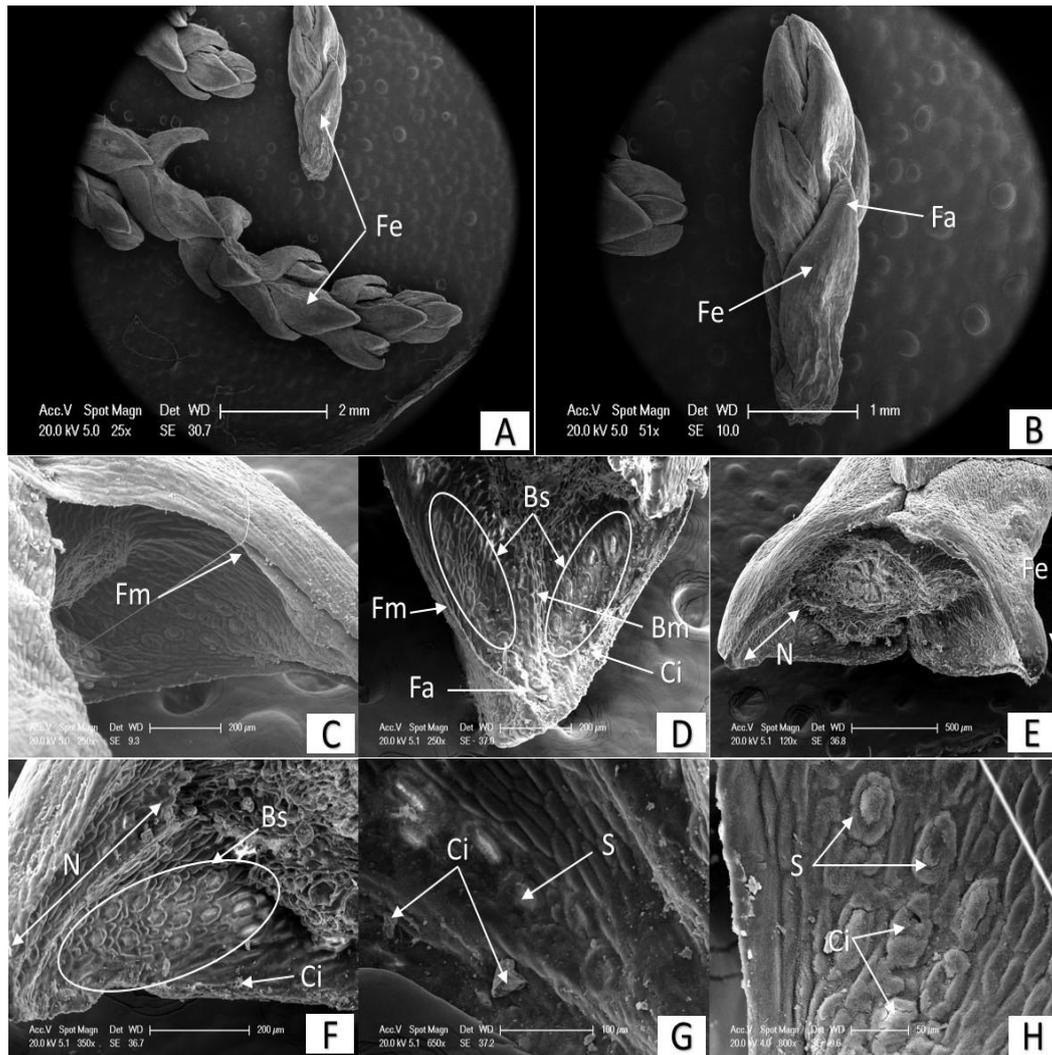


Figure 32. — Micrographies (A-H) montrant le feuillage de *J. thurifera*. (A, C et H) : station de Tafrent ; (B, D, E, F et G) station de T'kout. A et B, écailles (Fe) disposées en deux rangs opposés, imbriquées à la base ; (B) forme rhomboïdale, à pointe libre (Fe) ; A, B et E, surface dorsale concave et dépourvue de stomates (Pg) ; C et D, marge (Fm) entière, rarement denticulée ; B et D, apex astomatique de forme aiguë ; H, stomates visibles, plus de 50 μm de long ; D et F, deux bandes stomatiques séparées par une bande médiane de cellules épidermiques. D, F, G et H, dépôts de cire (Ci).

L'apex (Fa) est de forme obtuse à subaiguë (Fig. 33F et G). Les stomates (S), comme chez *J. phoenicea*, sont petits (moins de 50 μm), ovales, (Fig. 33J), visibles ou recouverts de cire (Fig. 33F et G) ; ils constituent deux bandes étroites (Bs) (Fig. 33F). Par bande, ils sont centraux, disposés en ligne, entre trois à quatre rangées (15-25 stomates/bande) (Fig. 33F). La bande médiane (Bm) s'incline, également, en amont pour former une nervure médiane (N), prolongée de la base vers l'apex, visible à la base de l'écaille (Fig. 32F, G et H). La cire épicuticulaire se rencontre soit sous forme de particules fines dispersées autour des stomates (Fig. 32I, J et L), ou sous forme de couche mince (Fig. 33L).

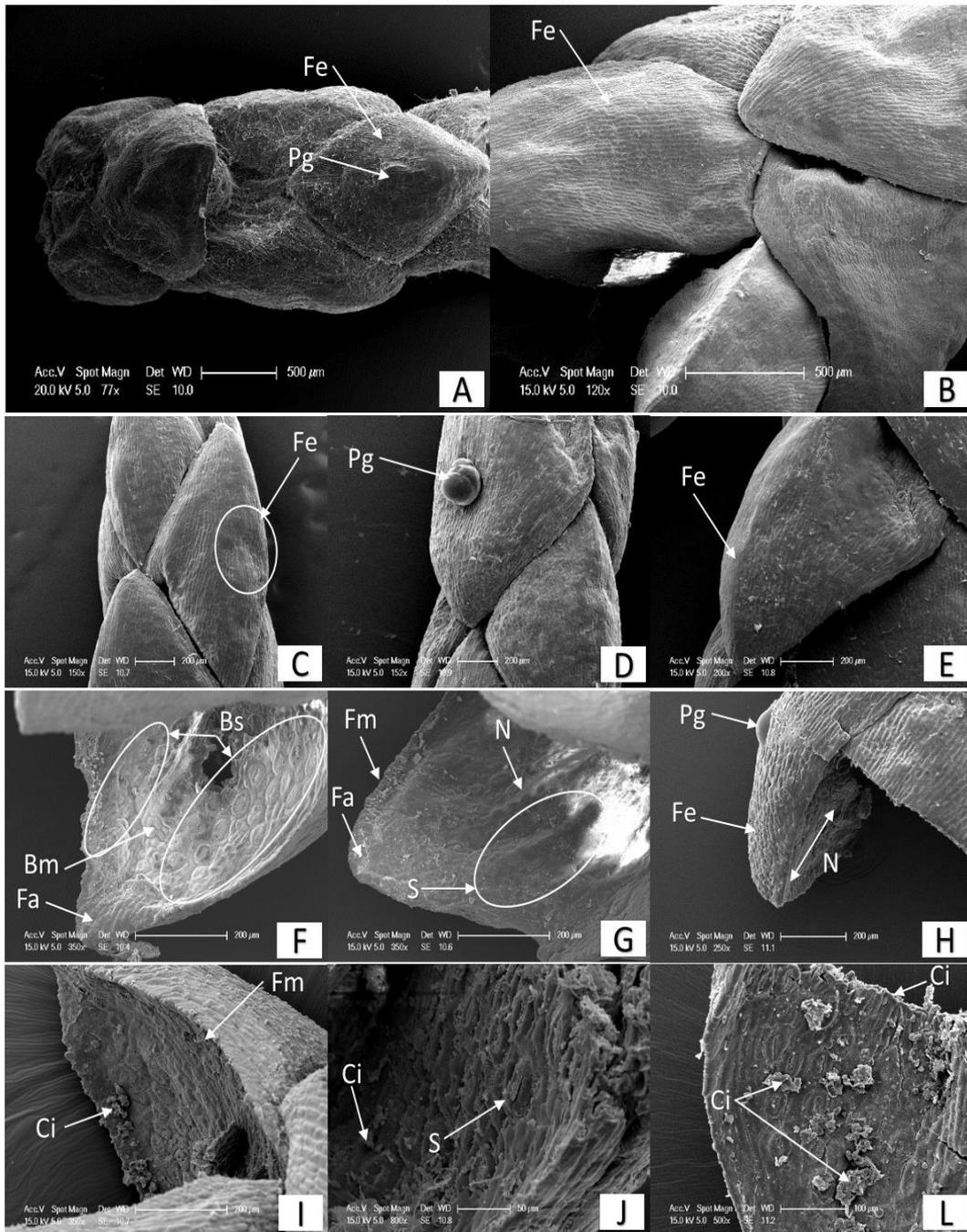


Figure 33. — Micrographies (A-H) montrant le feuillage de *J. sabina*. A, écailles (Fe) disposées en deux rangs opposés, imbriquées à la base ; A et C, forme rhomboïdale (Fe), à pointe libre ; H, forme ovale (Fe) ; C et E, surface dorsale bombée ou aplatie avec un enfoncement visible, sillonnée ; D et H, glande cireuse (Pg), arrondie, moins de 0,2 mm du long ; F et G, apex astomatique de forme obtuse à subaiguë (Fa) ; F, deux bandes stomatiques séparées par une bande médiane de cellules épidermiques ; J et H, stomates visibles, moins de 50 μm de long ; I, L et I, dépôts de cire (Ci).

1.2 Analyse de la diversité morphologique

1.2.1 Tests de significativité

Chez *J. phoenicea* et *J. thurifera*, l'analyse de la variance à un seul facteur (Tableaux 27 et 29) pour les variables quantitatives (ramules et galbules) a révélé des différences significatives entre les arbres (variabilité intra-population) et entre les trois populations (variabilité inter-population). Pour *J. sabina* (Tableau 31), par contre des différences hautement significatives entre les arbres des populations, ont été relevées, excepté pour le rapport L/l du galbule pour Aswal. A l'échelle inter-populations, des différences hautement significatives ont été enregistrées uniquement pour les variables « Epaisseur de la ramification finale (ERf) et basale (ERb), Nombre d'écailles sur 5mm de la ramification finale (NERf) » par le test de Student. Les variables semi-quantitatives exprimées en pourcentages (Tableaux 28, 30 et 32) ont enregistrées des différences non significatives au niveau intra et inter-populations chez les trois espèces.

1.2.2 Tests de corrélation

Les corrélations entre des différentes variables quantitatives relatives aux ramules et galbules sont illustrées dans le tableau 33 pour chacune des trois espèces étudiées. Pour *J. phoenicea*, des corrélations très hautement significatives (0,001) sont enregistrées entre la longueur de la ramification basale et son nombre d'écaille ($r = 0,91$) ; la longueur du galbule et sa largeur ($r = 0,83$) ainsi que le poids du galbule avec ses dimensions (longueur; $r = 0,78$ et largeur; $r = 0,76$, respectivement), entre l'épaisseur de la ramification basale et la finale ($r = 0,48$) et la longueur de la ramification principale avec le nombre des ramifications primaires ($r = 0,47$). De même des corrélations hautement significatives ($0,21 \leq r \leq 0,37$) sont enregistrées entre les variables des ramules et des galbules de *J. thurifera* ; elles sont principalement entre la longueur de la ramification principale avec la largeur ($r = 0,37$) et le poids ($r = 0,36$) du galbule. Pour les ramules, une corrélation très hautement significative ($\geq 0,50$) entre la longueur de la ramification principale avec les deux caractères « longueur des ramifications primaires ($r = 0,58$) et longueur de la ramification basale ($r = 0,61$) ». Il en est de même entre la longueur de la ramification basale et le nombre d'écailles ($r = 0,62$) et l'épaisseur de la ramification basale et celui de la ramification finale ($r = 0,75$). En ce qui concerne les galbules, nous avons des corrélations plus fortes, positives et très hautement significatives entre la longueur du galbule et sa largeur ($r = 0,82$) ainsi que son poids avec ses dimensions (longueur x largeur ; $0,80 \times 0,94$). Aussi, le rapport L/l du galbule est corrélé négativement avec sa largeur ($r = -0,68$) et son poids ($r = -0,59$).

Chapitre IV. Résultats et discussions

Tableau 33. Corrélations entre les variables quantitatives mesurées relatives aux ramules et galbules des trois espèces.

Sp.	Variables quantitatives	LRp	NRp	LRb	ERb	NRSb	NERb	ERf	NERf	Lng	Lrg	Rg	(Pg)
<i>J. p.</i>	Longueur de la ramification principale	1,00	0,47***	0,23*	0,06	0,01	0,19	0,08	-0,01	-0,12	-0,18	0,15	-0,02
	Nombre de ramifications primaires		1,00	-0,24*	-0,09	0,10	-0,20	0,10	-0,06	-0,07	-0,10	0,06	-0,11
	Longueur de la ramification basale			1,00	0,06	0,15	0,91***	-0,03	0,17	-0,10	-0,17	0,14	-0,10
	Épaisseur de la ramification basale				1,00	0,08	0,02	0,48***	0,15	-0,06	-0,08	0,03	-0,01
	Nombre de ramifications secondaires basales					1,00	0,11	0,15	-0,03	-0,10	-0,18	0,15	-0,10
	Nombre d'écaillés sur la ramification basale						1,00	-0,05	0,17	-0,05	-0,12	0,14	-0,06
	Épaisseur de la ramification finale							1,00	0,13	-0,00	-0,03	0,06	0,02
	Nombre d'écaillés sur 5mm de la ramification finale								1,00	-0,12	-0,03	-0,14	-0,11
	Longueur du galbule									1,00	0,83***	0,22*	0,78***
	Largeur du galbule										1,00	-0,35***	0,76***
	Rapport (Longueur/ Largeur) du galbule											1,00	-0,02
	Poids du galbule												1,00
<i>J. t.</i>	Longueur de la ramification principale	1,00	0,58***	0,61***	0,08	0,39***	0,29**	-0,14	-0,41***	0,25*	0,36***	-0,26	0,37***
	Nombre de ramifications primaires		1,00	0,09	0,07	0,44***	0,20*	-0,02	-0,08	0,16	0,29**	-0,29**	0,25*
	Longueur de la ramification basale			1,00	0,11	0,32**	0,62***	-0,11	-0,33**	0,21*	0,27**	-0,18	0,32**
	Épaisseur de la ramification basale				1,00	0,27*	0,02	0,75***	-0,18	0,02	0,15	-0,21*	0,16
	Nombre de ramifications secondaires basales					1,00	0,15	0,01	-0,19	0,05	0,19	-0,24*	0,19
	Nombre d'écaillés sur la ramification basale						1,00	-0,05	0,31**	0,31**	0,30**	-0,12	0,31**
	Épaisseur de la ramification finale							1,00	0,02	0,05	0,09	-0,10	0,12
	Nombre d'écaillés sur 5mm de la ramification finale								1,00	0,04	-0,08	0,15	-0,09
	Longueur du galbule									1,00	0,82***	-0,14	0,80***
	Largeur du galbule										1,00	-0,68***	0,94***
	Rapport (Longueur/ Largeur) du galbule											1,00	-0,59***
	Poids du galbule												1,00
<i>J. s.</i>	Longueur de la ramification principale	1,00	0,26	0,39	-0,33	0,38	0,08	-0,30	0,10	0,21	0,02	0,08	0,11
	Nombre de ramifications primaires		1,00	0,26	-0,23	0,34	0,36	-0,21	0,08	0,48	0,36	-0,08	0,56*
	Longueur de la ramification basale			1,00	0,16	0,63**	0,37	-0,03	-0,30	-0,02	-0,30	0,23	-0,27
	Épaisseur de la ramification basale				1,00	0,07	-0,40	0,88***	-0,59*	-0,02	-0,38	0,31	-0,35
	Nombre de ramifications secondaires basales					1,00	0,40	0,03	-0,02	0,06	-0,46	0,45	-0,39
	Nombre d'écaillés sur la ramification basale						1,00	-0,32	0,43	0,15	-0,10	0,20	-0,00
	Épaisseur de la ramification finale							1,00	-0,39	0,18	-0,29	0,32	-0,17
	Nombre d'écaillés sur 5mm de la ramification finale								1,00	0,04	0,07	-0,03	0,08
	Longueur du galbule									1,00	-0,06	0,49	0,44
	Largeur du galbule										1,00	-0,89***	0,87***
	Rapport (Longueur/ Largeur) du galbule											1,00	-0,56*
	Poids du galbule												1,00

Sp., espèce ; *J. p.*, *J. phoenicea* L. ; *J. t.*, *J. thurifera* L. ; *J. s.*, *J. sabina* L. ; Seuil de signification statistique *, $p < 0,05$; **, $p < 0,01$; ***, $p < 0,001$

En ce qui concerne la liaison entre des variables des relatives aux ramules avec celles des galbules pour *J. sabina*, une seule corrélation significative et positive ($r = 0,56$) a été enregistrée entre le nombre des ramifications primaires (NRp) et le poids du galbules (Pg). Pour les ramules, des corrélations significatives ($\geq 0,50$) ont été enregistrées entre la longueur de la ramification basale (LRb) avec son nombre d'écaïlles (NERb) ; l'épaisseur de la ramification basale (ERb) avec l'épaisseur (ERf) et le nombre d'écaïlle sur 5 mm de la ramification finale (NERf). Quant aux galbules, la largeur (Larg) est corrélée fortement avec le rapport (Rs) et le poids (Pg) avec des valeurs de r (-0,89 et 0,87 ; respectivement). Aussi, le rapport (Rg) et le poids (Pg) du galbule sont corrélés entre eux ($r = 0,56$).

1.2.3 Tests multivariés

1.2.3.1 Analyse factorielle multiple (AFM)

Pour *J. phoenicea*, le plan factoriel (1x2) de l'AFM explique une inertie totale de 45,53% et 76,14%, pour les ramules et les galbules, respectivement (Fig. 34). Le carrée de liaison pour les ramules (Fig. 34A1) et les galbules (Fig. 34B1) montrent la qualité de représentation de chaque groupe actif de variables quantitatives (morphologiques, Gc1 et environnementales, Gc2). Pour les ramules (Fig. 34A1), le groupe de variables morphologiques (Gc1) fournit grandement des coordonnées avec la deuxième dimension alors que le groupe des variables environnementales (Gc2) contribue uniquement à la première. Concernant les galbules (Fig. 34B1), l'équilibre entre les contributions des deux groupes de variables (Gc1 et Gc2) apparaît de façon parfaite.

Le cercle de corrélation révèle que l'ensemble des variables quantitatives relatives aux ramules (Fig. 34A2) sont corrélées plus ou moins avec les deux dimensions de manière que les variables «épaisseur de la ramification basale (Erb) et finale (Erf) ; nombre d'écaïlles sur la ramification finale (NERf) et nombre de ramifications secondaires basales (NRSb)» sont essentiellement liées aux facteurs thermiques (indice de continentalité thermique « Ic » et celui de thermicité « It »). Simultanément, les deux variables « longueur de la ramification principale (LRp) et nombre des ramifications primaires (NRp) » sont inclinées vers les gradients ombriques ou pluviaux (indice de continentalité pluviale « G », indices ombrothermiques estival « Ios » et annuel « Ioa »). Quant aux galbules (Fig. 34B2), leurs variables « longueur (Lng) ; largeur (Lrg) et poids (Pg) » contribuent fortement à la deuxième dimension. Elles sont reliées nettement aux facteurs pluviaux précédents (indices : G, Ios et Ioa) avec l'action positive des facteurs géographiques (altitude et de latitude et longitude). L'examen de la projection des arbres a permis de séparer les trois populations en deux

groupes distincts pour les ramules (Fig. 34A3) et les galbules (Fig. 34B3). Ce sont les mêmes groupes séparés par les dendrogrammes (Fig. 34A4 & 34B4) de la classification hiérarchique de leurs composantes principales (CHAC). L'orientation des deux axes (1 et 2) oppose un gradient d'aridité croissant sauf pour les galbules (Fig. 34B3) dont l'axe 2 exprime une certaine stabilité pour les deux groupes séparés (1 et 2). Cette aridité est définie par la combinaison entre les facteurs thermiques (indice de thermicité, I_t) et pluviaux (indice ombrothermique annuel, I_{oa}) selon le concept de Rivas-Martinez (2005a). Cela a permis d'englober les deux populations (D et M) dans le premier groupe avec leurs thermo et ombro-types semblables (Termoméditerranéen et Semi-aride), respectivement. L'autre population B qui représente le deuxième groupe, diffère par son étage bioclimatique Mésoméditerranéen ($I_t = 323$) de type sec ($I_{oa} = 2,9$). La continentalité thermique semble avoir un effet non négligeable du fait que la station (B) s'isole par son caractère semi-continental atténué ($I_c = 20,8^\circ\text{C}$).

Pour les trois populations de *J. thurifera* (90 arbres), l'analyse factorielle multiple (AFM) donne une inertie totale de 56,74% et 76,17% sur les deux premières dimensions (1x2) concernant les ramules et les galbules, respectivement (Fig. 35). Concernant les deux graphiques relatifs aux ramules (Fig. 35A1) et galbules (Fig. 35B1), les deux groupes de variables quantitatives (morphologiques, Gc1 et environnementales, Gc2) ont des coordonnées rapprochées sur les deux dimensions (1x2). Le cercle de corrélation pour les ramules (Fig. 35A2) et les galbules (Fig. 35B2) révèle que, l'ensemble des variables quantitatives ont une forte corrélation à la première dimension. A l'exception, des deux variables relatives aux ramules « Epaisseur la ramification basale (ERb) et celle de la ramification finale (ERf) » sont corrélées à la deuxième dimension ; elles sont liées à l'indice de continentalité thermique « I_c » et la moyenne des températures maximales « M ». En parallèle, les deux variables « nombre d'écailles sur 5mm de la ramification finale (NERf) et rapport du galbule (Rg) » sont liées à l'action de la longitude (Long) ». En plus, la majorité des variables corrélées à la première dimension, sont également liées à un gradient latitudinal (Lat) et altitudinal (Alt).

Les digrammes de la projection des 90 arbres des trois populations étudiées ont montré une nette séparation de trois groupes pour les ramules (Fig. 35A3) et deux pour les galbules (Fig. 35B3). Ils ont permis de voir les mêmes groupes que ceux retrouvés sur la classification hiérarchique ascendante de leurs composantes principales (CHAC), respectivement

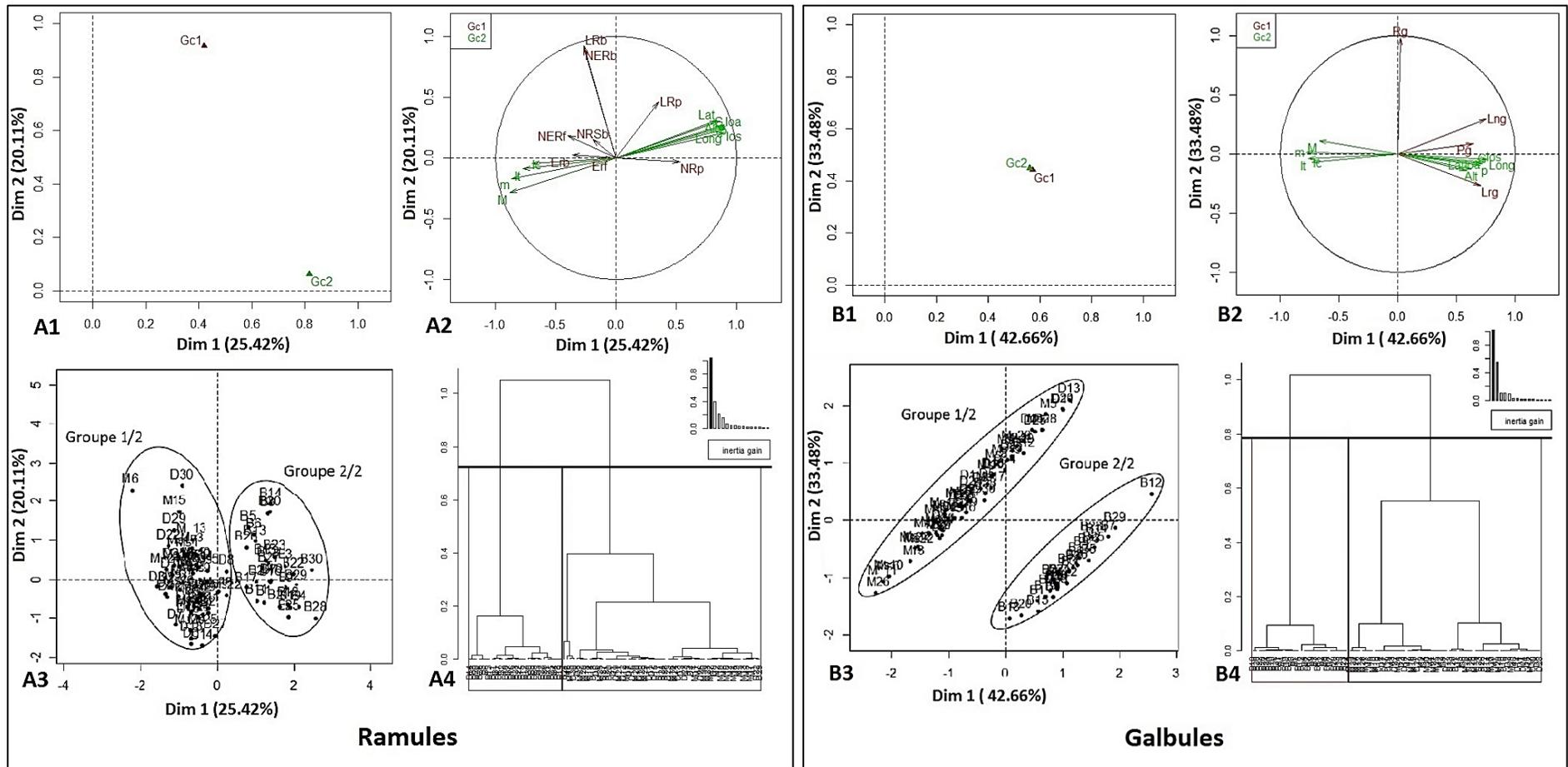


Figure 34. — Analyses factorielles multiples (AFM) des variables morphologiques quantitatives (Gc1) et environnementales (Gc2) concernant les ramules et les galbules de *J. phoenicea* L. : Carrés de liaison des groupes de variables (A1 et B1) ; Cercles de corrélation des variables (A2 et B2) ; Diagrammes de dispersion des 90 arbres (A3 et B3) ; Dendrogrammes de la classification hiérarchique sur composantes principales (A4 et B4).

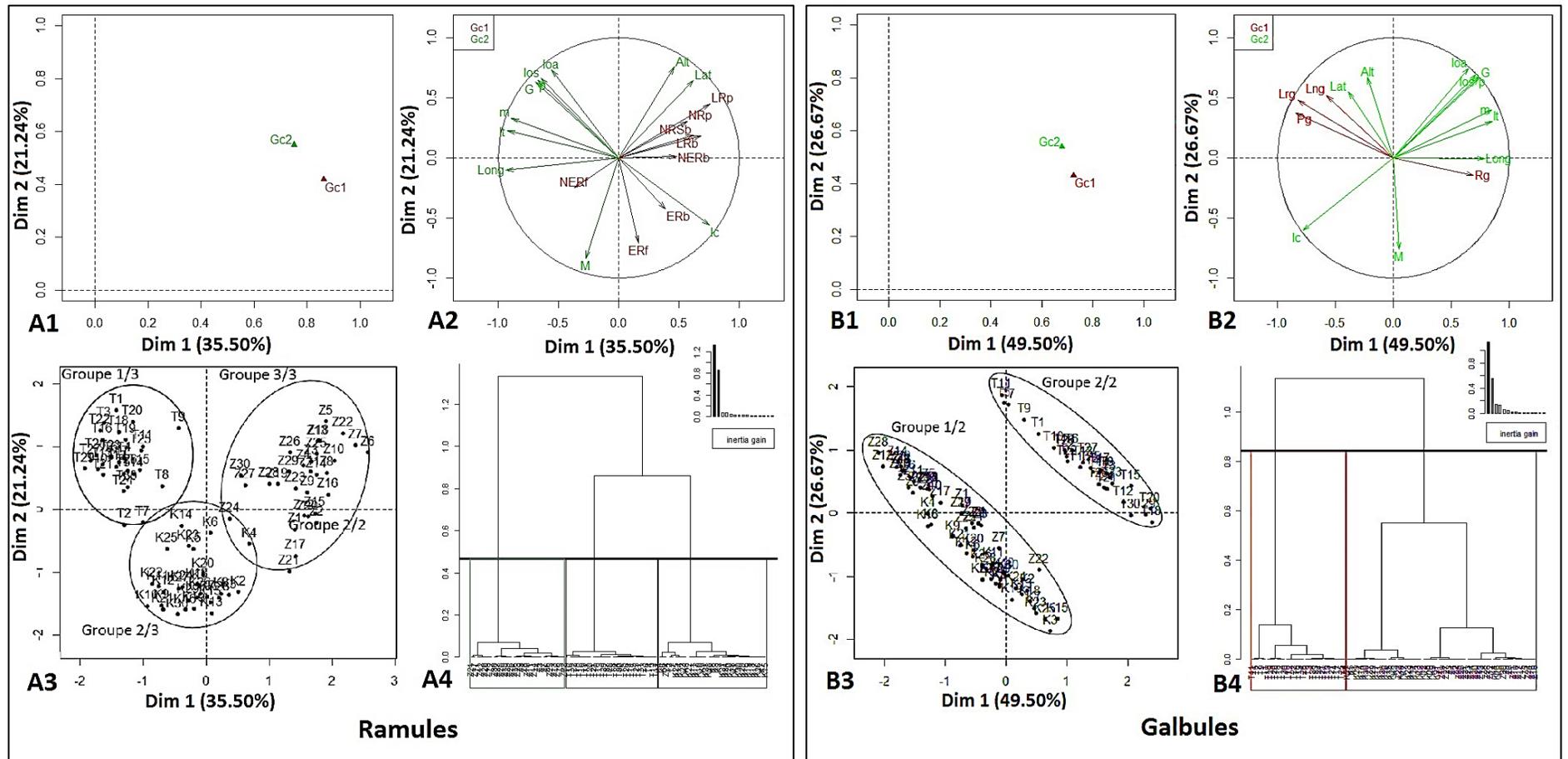


Figure 35. — Analyses factorielles multiples (AFM) des variables morphologiques quantitatives (Gc1) et environnementales (Gc2) concernant les ramules et les galbules de *J. thurifera* L. : Carrés de liaison des groupes de variables (A1 et B1) ; Cercles de corrélation des variables (A2 et B2) ; Diagrammes de dispersion des 90 arbres (A3 et B3) ; Dendrogrammes de la classification hiérarchique sur composantes principales (A4 et B4).

Le premier axe sur la carte factorielle relative aux ramules paraît traduire un gradient lié à la sécheresse globale caractérisée à travers l'indice de thermicité de Rivas-Martinez (2005b) du fait que les trois populations ou groupes s'individualisent en fonction des valeurs de « It » décroissantes, allant de T (288) à Z (223,5). Pour les galbules, le même axe oppose un gradient lié à la continentalité pluviale définie par l'angle de Gams modifié. La répartition des deux groupes (K et Z) et (T) se fait en fonction des valeurs de « G » croissantes, allant du domaine climatique moyen (premier groupe, K et Z) vers l'externe (deuxième groupe, T). Le second axe semble expliquer un gradient croissant lié aux facteurs ombriques (indice ombrothermique annuelle et estival ; angle de Gams modifié) qui sont liés essentiellement aux précipitations (P). La succession des trois populations se fait en fonction des valeurs croissantes d'Ioa, Ios, G et P, allant de la population K vers Z.

L'analyse factorielle multiple (AFM) pour *J. sabina* ne concerne que les ramules (Fig. 36). A travers ce test, les deux dimensions (1x3) ont permis une meilleure interprétation des individus et des variables. Par conséquent, les valeurs propres expliquent 50,52 % de l'inertie totale. Ensuite, la latitude (Lat) et l'indice de continentalité thermique (Ic) ont été supprimés du groupe de variables environnementales en raison de la variance qui est nulle (valeurs identiques) pour les deux populations. La carrée de liaison (Fig. 36A1) montre que les variables morphologiques (Gc1) ont des coordonnées sur les deux dimensions 1 et 3, alors que les variables environnementales (Gc1) ne correspondent qu'à l'axe 3. Autrement-dit, la dimension 3 est commune pour les deux groupes actifs. La projection des variables (Fig. 36A2) indique que l'épaisseur de la ramification basale (ERb) et de la finale (ERf) ainsi que le nombre d'écaïlles sur la ramification basale (NERb) sont liées aux facteurs thermoclimatiques caractérisés essentiellement par l'indice de thermicité de Rivas-Martinez « It » avec l'action de la longitude (Long). Alors que les deux variables, longueur de la ramification principale (LRp) et nombre des ramifications secondaires basales (NRSb) sont corrélées aux facteurs ombroclimatiques (indices ombrothermiques « Ios et Io » ; angle de continentalité de Gams modifiée « G ») qui sont liées à l'altitude (Alt).

La projection des individus (56 arbres) obtenue par l'interaction des variables morphologiques et environnementales, montre deux groupes distincts Is (groupe 1) et A (groupe 2) que l'on retrouve sur le dendrogramme de la CHAC (Fig. 36A4). A l'issue de la carte factorielle, le premier axe signifie un gradient lié essentiellement aux facteurs bioclimatiques (notamment pluviométrie). Le regroupement des deux populations (Issig-Issig, Is et Aswal, A) se fait par l'affaiblissement de la continentalité pluviale et de l'aridité avec l'effet de l'altitude (Alt), c'est-à-dire, les valeurs des indices ombrothermiques « Ios et

Ioa » et de l'angle de continentalité de Gams modifiée « G » sont décroissantes de la station perhumide inférieur (Issig-Issig) vers l'humide supérieur (Aswal). Par contre, l'indice de thermicité (It) augmente en allant du Supra au Mésoméditerranéen, respectivement. Concernant l'autre axe, il paraît traduire la continentalité thermique (Ic=A) liée à l'action latitudinale (Lat) car les amplitudes thermiques ($A = T_{max} - T_{min}$) pour les deux stations sont identiques.

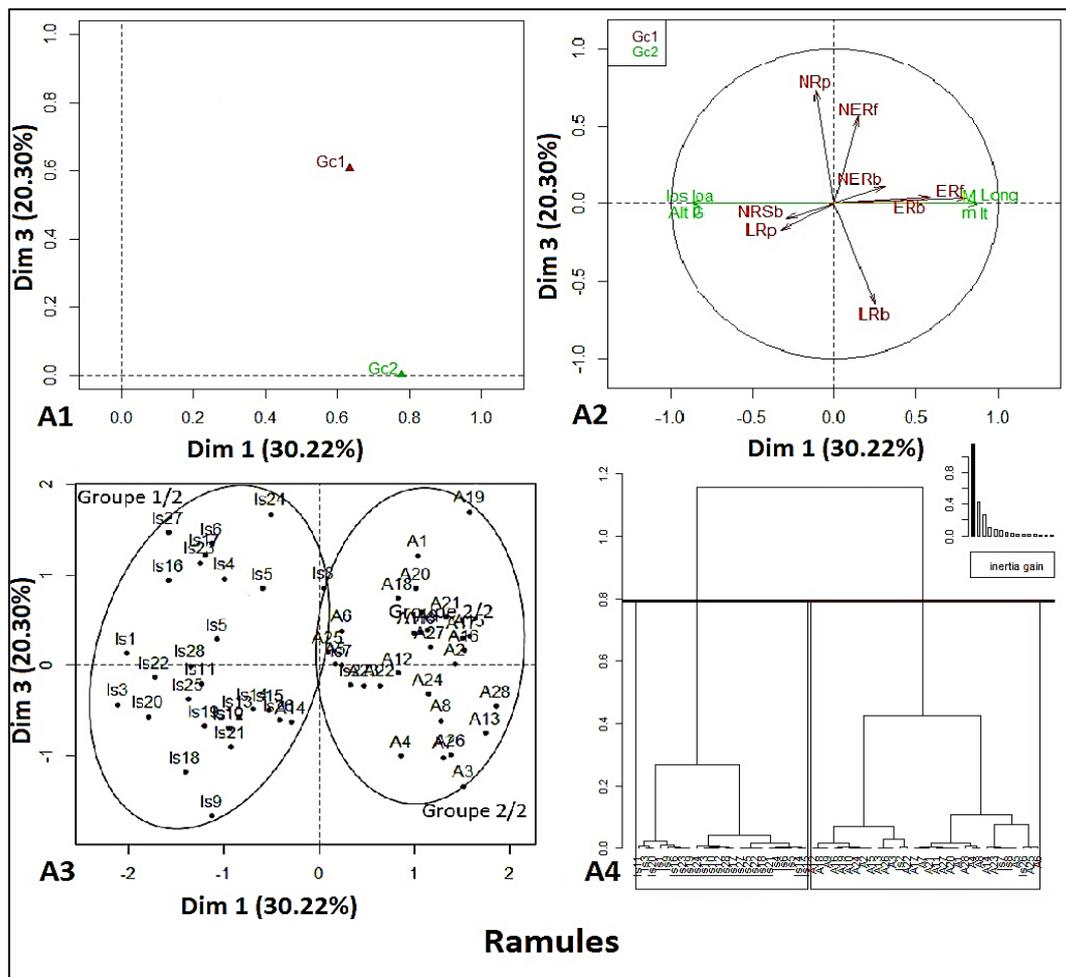


Figure 36. — Analyses factorielles multiples (AFM) des variables morphologiques quantitatives (Gc1) et environnementales (Gc2) concernant les ramules de *J. sabina* L. : Carré de liaison des groupes de variables (A1) ; Cercle de corrélation des variables (A2) ; Diagramme de dispersion des 60 arbres (A3) ; Dendrogramme de la classification hiérarchique sur composantes principales (A4).

1.2.3.2 Analyse factorielle des correspondances (AFC)

A l'issue de l'analyse factorielle de correspondances (Fig. 37), pour *J. phoenicea*, le plan factoriel (1x2) donne une inertie de 84,29 % et 59,98 % de la variation totale pour les

ramules et les galbules, respectivement. La carte factorielle a permis d'avoir un regroupement homogène pour les ramules (Fig. 37A1) et les galbules (Fig. 37B1). Aussi, on retrouve les mêmes résultats sur les dendrogrammes de la CHAC (Fig. 37A2 et B2), respectivement. Le premier groupe comporte la population (B) tandis que le deuxième (M et D) s'isole du reste. L'orientation de l'axe (1) oppose un gradient ombroclimatique lié essentiellement à l'aridité. La station B s'isole par sa faible aridité (sec supérieur, $I_{oa} = 2,9$), alors que les deux autres (M et D) se rassemblent en fonction de leur xéricité élevées (semi-aride supérieur) avec des valeurs plus petites de I_{oa} (1,8 et 1,7 ; respectivement). Simultanément, l'axe (2) contribue à un gradient thermoclimatique défini à travers la continentalité thermique du fait que les deux stations (M et D) se différencient par leur caractère commun (subcontinental accentué) avec des valeurs de I_c élevées (22,4 et 21,4 °C, respectivement) et en allant vers la station B du semi-continental ($I_c = 20,8^\circ\text{C}$).

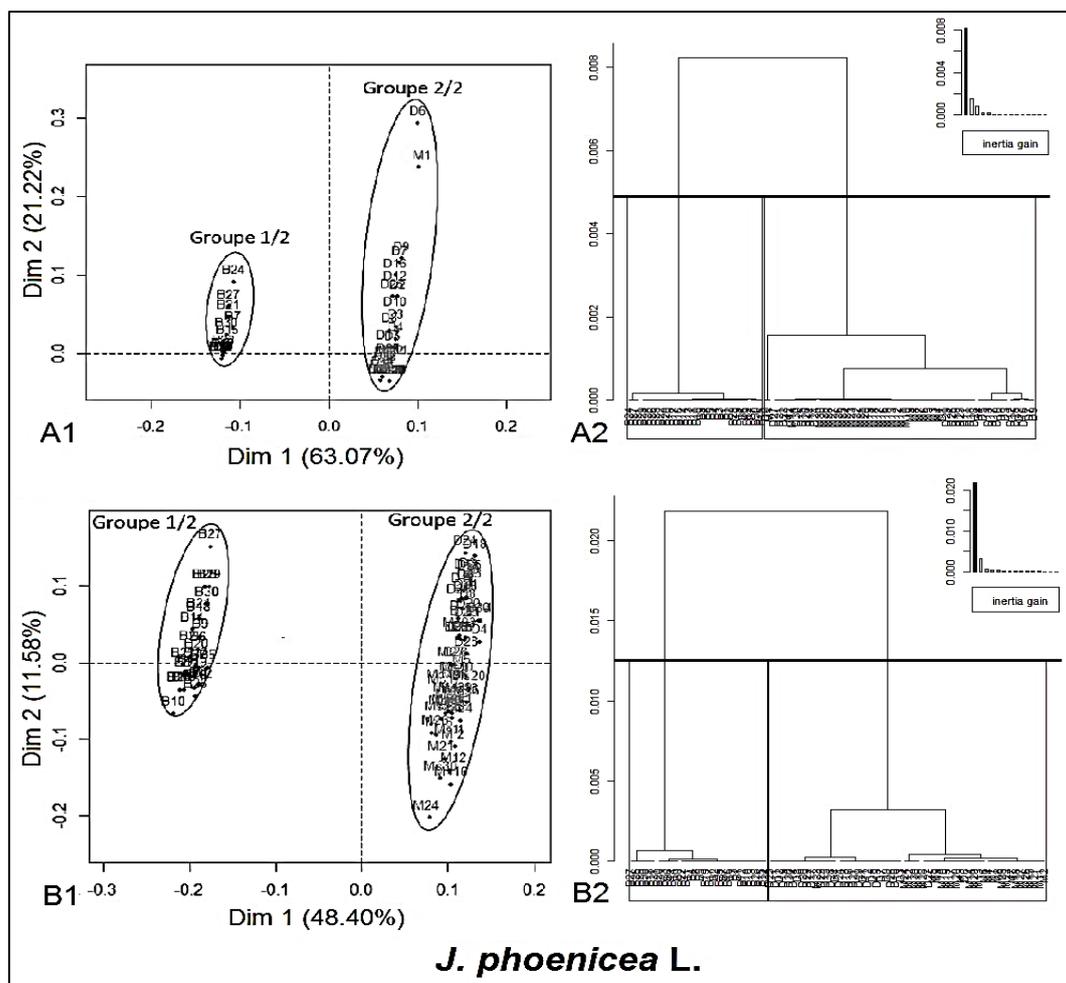


Figure 37.— Analyses factorielles des correspondances (AFC) pour les variables qualitatives réduites de *J. phoenicea* L. : ramules (A1, A2) et galbules (B1 et B2).

Pour *J. thurifera*, les valeurs propres expliquent 50.52% de l'inertie totale (Fig. 38). Les deux cartes factorielles de l'AFC avec les dendrogrammes de la CHAC ont montré également une séparation semblable de deux groupes pour les ramules (Fig. 38A1 et A2) et les galbules (Fig. 38B1 et B2). Le premier groupe comporte les populations (K et Z) ; il peut être subdivisé en deux sous-groupes (K) et (Z). En même temps, le deuxième se sépare par la population (T). En ce qui concerne les deux axes (ramules et galbules), le premier oppose un gradient d'aridité et de continentalité. Les deux groupes s'individualisent d'une part en fonction des valeurs croissantes de l'indice de thermicité (I_t) et de l'angle de continentalité pluviale « G », allant du Méso-méditerranéen supérieur et externe moyen pour le groupe (K et Z) vers l'horizon inférieur ($I_t = 288$) et accentuée ($G = 45$) pour la station de T. Puis, le second axe, définit un gradient altitudinal décroissant (Alt). Les trois populations (Z, T et K) se succèdent selon l'orientation de cet axe en considérant l'abaissement en altitude qui peut jouer un rôle modérateur.

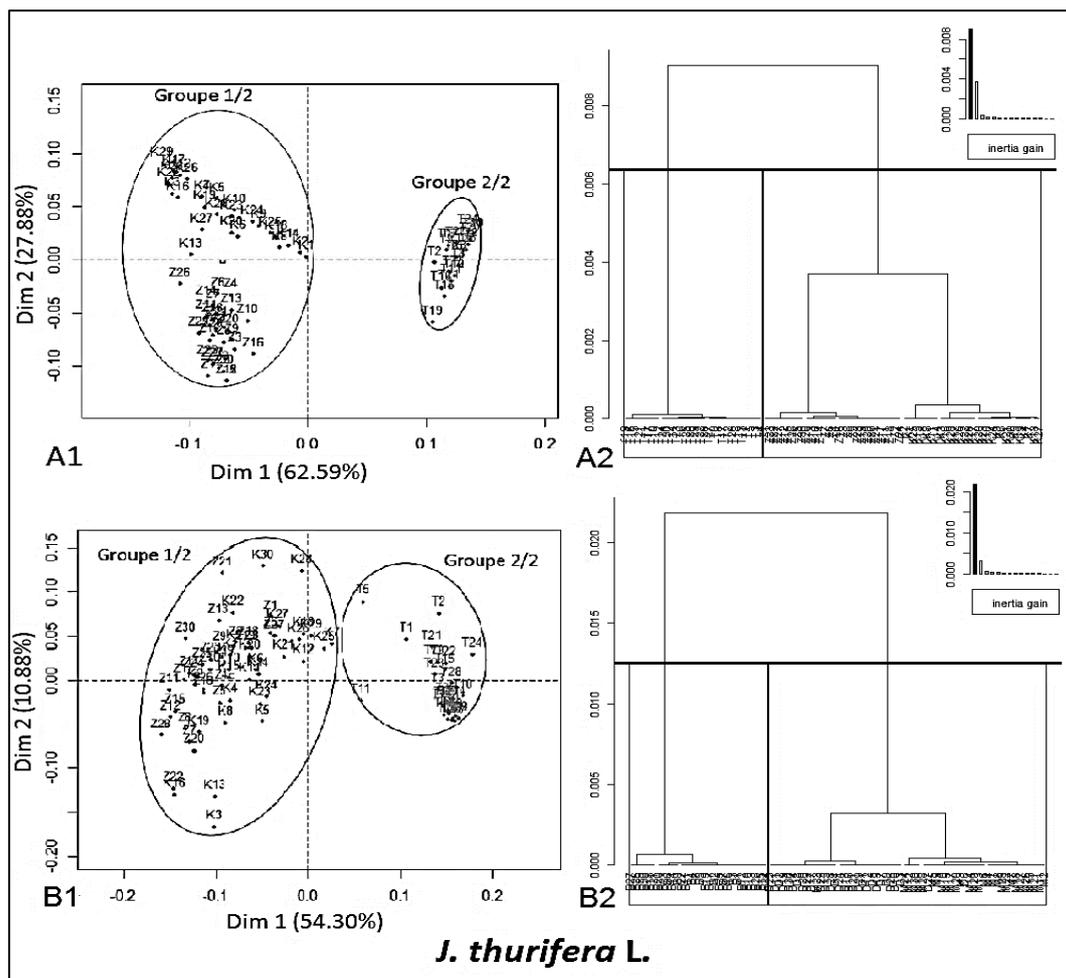


Figure 38.— Analyses factorielles des correspondances (AFC) pour les variables qualitatives réduites de *J. thurifera* L. : ramules (A1, A2) et galbules (B1 et B2).

En ce qui concerne les deux variables qualitatives « forme (Fr) et couleur du ramule (Cr) » de *J. sabina*, les valeurs obtenues (Tableau 32) se rapprochent à l'échelle intra-populationnelle (une seule forme cylindrique avec dominance de la couleur vert foncé), c'est à dire, les caractères qualitatifs ont enregistré une stabilité par station avec des variations minimales presque négligeables. Cela explique que les facteurs ombro et thermo-climatiques n'ont pas une influence, et par conséquent, nous avons jugé que cette analyse n'est pas nécessaire.

2. Discussion

Cette section reprend l'ensemble des résultats obtenus sur les trois espèces étudiées de la section *Sabina*. Elle débat essentiellement l'effet des facteurs géographiques (altitude, latitude et longitude) et climatiques (thermiques et ombriques) sur les caractères phénotypiques étudiées. Ensuite, nous avons fait une étude comparative (Tableaux 34 et 35) pour quelques résultats obtenus dans la littérature.

2.1 Pressions d'ordre abiotique (facteurs géographiques et climatiques)

L'hétérogénéité exprimée pour toutes les variables morphologiques relatives aux ramules et galbules concernant les différentes populations des trois espèces de la section *Sabina* peut s'expliquer par la combinaison de facteurs thermo et ombro-climatiques des stations d'échantillonnage ainsi que leurs caractéristiques géographiques. Selon Rivas-Martinez (2005a), la délimitation des étages bioclimatiques se fait en fonction des facteurs thermoclimatiques et des facteurs ombroclimatiques. En plus, de nombreux auteurs (Angot, 1906 ; Gorczynski, 1920 ; De Martonne, 1923 ; Gams, 1932 ; Emberger, 1955 ; Daget, 1968 ; Rivas martinez, 2005a), ont essayé de développer des corrélations maximales possibles entre la végétation potentielle et les valeurs quantitatives du climat, en adoptant de nouveaux concepts (paramètres et indices climatiques et biogéographiques). Cela permet une expression plus simple de la notion végétation-climat. Aussi, d'après Collin (2001), les altitudes et les latitudes extrêmes atteintes par les plantes supérieures sont révélatrices des adaptations permettant à certaines espèces de résister au froid.

En ce qui concerne nos résultats (Figs 34-38), les plans factoriels de l'analyse multivariée (AFM et AFC) pour les populations étudiées des trois espèces montrent qu'il existe effectivement des gradients liés à la continentalité (thermique et pluviale) et à l'aridité ou la sécheresse (globale et estivale). Suivant un gradient de continentalité et d'aridité, la population de Boutaleb de *J. phoenicea* qui forme un groupe, s'isole par son étage

mésoméditerranéen ($I_t = 323$) de type sec ($I_{oa} = 2,9$) et par son caractère semi-continentale atténué ($I_c = 20,8^\circ\text{C}$). Les deux autres populations (D et M) constituant le deuxième groupe se caractérisent par l'aridité la plus élevée (termoméditerranéen et semi-aride) ainsi que leur caractère subcontinental accentué avec des valeurs de I_c de 22,4 et 21,4°C. Pareillement, le stress thermique hivernal (m) lié à l'action altitudinal (Alt) semble avoir une influence sur la répartition de cette espèce (le coefficient de corrélation linéaire entre l'altitude « Alt » et les valeurs de « m » est $r = -0,83$) de manière que la station B la plus froide ($m \leq 0$) se discrimine de l'ensemble des autres stations (D-M) avec ($m \geq 0$).

Il est en de même pour le **thurifère**, la séparation des trois populations en deux groupes se fait en allant du mésoméditerranéen supérieur « It » et externe moyen « G » pour les deux populations du premier groupe (K et Z) vers l'horizon inférieur ($I_t = 288$) et accentuée ($G = 45$) pour le deuxième groupe (station de T). Sauf, pour les caractères quantitatifs où le premier groupe (K et Z) se subdivise en deux ensembles ou sous-groupes (K) et (Z) en fonction de leurs ombrotypes (sec et subhumide, respectivement). Cette répartition s'explique par l'intensité du froid (m) reliée à l'action médiatrice de la longitude « Long » (le coefficient de corrélation linéaire entre la longitude « Long » et les valeurs de « m » est $r = 0,88$) car les deux populations « K et Z » représentent le groupe le plus froid avec des valeurs de m les plus petites (-2,5 et -3,3, respectivement).

Pour *J. sabina*, la discrimination des arbres de ses deux populations (Is et A) se fait en fonction de l'aridité avec l'effet modérateur de l'altitude (Alt) en allant du perhumide ($I_{oa} = 13,3$) et sépraméditerranéen ($I_t = 213$) pour de la station « Is » la plus froide ($m = -2,1$) vers l'humide ($I_{oa} = 11$), mésoméditerranéen ($I_t = 11$) de la station A.

Le polymorphisme ou la diversité des espèces se définit par le biais des caractères taxonomiques, qui sont des traits individuels ou des propriétés d'un végétal, susceptibles d'être mesurés. Ainsi, deux individus de la même espèce n'auront pas nécessairement les mêmes traits morphologiques (Bidault, 1971 ; Metro, 1975). En plus, le maintien des parties aériennes (notamment les feuilles) pendant les périodes défavorables, est compensé par la présence d'un ensemble de dispositifs morphologiques et anatomiques (Ozenda, 2000). Cependant, il est souvent difficile de distinguer quantitativement la contribution des facteurs environnementaux et génétiques à la variation phénotypique (Willmore *et al.*, 2007). En effet, les interactions abiotiques entre les composantes de l'environnement et la plasticité phénotypique de nombreuses espèces végétales ont été signalées par plusieurs auteurs (Aussenac, 1973 ; Hsiao, 1973 ; Alyafi, 1978 ; Ehleringer, 1980). Selon Mingfei *et al.* (2011), les traits morphologiques des espèces de conifères varient de manière adaptative en fonction des

variables géographiques et climatiques. D'après Barboni *et al.* (2004), les plantes privilégient différents traits fonctionnels de manière à minimiser l'impact de la sécheresse. D'autres travaux ont montré également des stratégies adaptatives suivant des facteurs géographiques et climatiques concernant le feuillage chez certaines espèces de résineux (Aussenac, 1973) ; chez le pin d'Alep (Leyton & Juniper, 1963 ; Baig & Tranquillini, 1976 ; Calamassi, 1986) ; chez le gommier rouge (Bagchi *et al.*, 1990) et chez le pistachier de l'Atlas (Belhadj *et al.*, 2008 ; El Zerey-Belaskri & Benhassaini, 2016). Il en est de même chez le Karité pour lequel Maranz & Wiesman (2003) ont montré que la dimension de ses fruits et ses graines, suit un gradient climatique dans la région subsaharienne. Egalement, les résultats de Gil *et al.* (2002) montrent une relation positive entre la dimension des cônes du pin des Canaries en fonction de l'altitude. Ainsi, Mingfei *et al.*, (2011) pour l'espèce *Pinus tabuliformis* Carr. ont noté que la variabilité des caractères phénotypiques des cônes et des graines est due principalement aux conditions climatiques ou géographiques plutôt que génétiques.

Concernant la couleur des feuilles, les pigments foliaires sont les molécules responsables de la couleur des végétaux (Bousquet, 2007). Selon plusieurs auteurs la répartition de l'équipement pigmentaire incluant les chloroplastes dans la feuille résulte d'une adaptation des végétaux aux conditions environnementales notamment lumineuses (Ballaré *et al.*, 1987 ; Smith, 2000 ; Baranoski & Rokne, 2004 ; Bousquet, 2007 ; Asner & Martin, 2008). En outre, de nombreuses études (Reich *et al.*, 1996 ; Xiao, 2003) chez les espèces de la famille des *Pinaceae* ont montré que la variation intraspécifique des traits de feuilles est influencée par des facteurs climatiques plutôt que génétiques. Lors d'un stress environnemental (stress hydrique, stress salin et stress thermique), la fréquence en chloroplastes diminue suivant un gradient d'aridité croissant (Kaya *et al.*, 2006 ; Huseynova *et al.*, 2007 ; Degl'Innocenti *et al.*, 2008 ; Laala *et al.*, 2013). Néanmoins, les feuilles se sont adaptées à l'éclairement solaire qui leur fournit l'énergie nécessaire à la photosynthèse, c'est-à-dire, la répartition, entre réflectance et transmittance, de l'énergie non absorbée dépend de la structure interne de la feuille (Bousquet, 2007). Cet éclairement provoque de grandes variations dans sa répartition spatiale et temporelle qui sont traduites par des adaptations morphologiques et biochimiques (Collin, 2001). Dans notre cas, l'intensité de la couleur verte du feuillage augmente suivant un gradient d'aridité décroissant. Ce qui traduit en outre une fréquence plus élevée en chloroplastes (dominance du vert et du vert foncé) notamment pour les stations moins arides (B pour le phénicie et T pour le thurifère). Ainsi, les variations de la couleur sont minimales lorsque les conditions climatiques sont proches (cas de A et Is pour *J. sabina*). En outre, la présence d'une couche protectrice de cire épicuticulaire

plus épaisse pour les populations D et K, permet à *J. phoenicea* et *J. thurifera* d'éviter d'être soumises en continu à l'éclairement solaire. Cette couche de cire permet la protection de l'intérieur de la feuille d'une évaporation excessive d'eau (Eglinton & Hamilton, 1967 ; Campbell, 1995).

En outre, les espèces xérophiles possèdent généralement des stomates uniquement sur leur face inférieure pour limiter les pertes en eau dont l'essentiel se fait à travers les stomates de la face supérieure exposée à la lumière (Meidner & Mansfield, 1968, Nikolopoulos *et al.*, 2002). C'est le même cas pour nos trois taxons qui sont classés comme xérophiles à très forte résistance à la sécheresse et adaptés aux conditions de vie extrêmes. Le changement des conditions environnementales pourrait entraîner des modifications dans la répartition des végétaux et leurs adaptations extrêmement variées (sélection de caractéristiques biologiques adaptées) constitueront un élément clef de leur survie (Collin, 2001).

2.2 Comparaison des données recueillies pour les trois espèces dans la littérature

La variabilité phénotypique des feuilles écaillées et des galbules des trois espèces de la section *Sabina* est bien documentée (Tableaux 34 et 35). L'étude d'Arista & Ortiz (1995) sur le genévrier de **phénicie** en Espagne (Parc naturel de la Sierra de Grazalema) révèle que les valeurs enregistrées pour les galbules (longueur x largeur) de la variété *turbinata* (7,5 x 8,8mm) se rapprochent des nôtres, tandis que, celles de la variété *phoenicea* sont plus petites (6 x 5,8mm). Les travaux de Mazur *et al.* (2003, 2010 et 2015) sur la variabilité morphologique de plusieurs populations (Espagne, Maroc, Italie, Portugal et Grèce) des variétés *phoenicea* et *turbinata* montrent des valeurs plus grandes au niveau intra et inter-populations par rapport à nos résultats concernant les deux variables relatives aux ramules "épaisseur (0,64mm) et nombre d'écailles sur la ramification finale (19,73 écailles)" pour l'espèce. Pareillement, l'ensemble des populations des deux variétés (Espagne, Maroc, Italie, Portugal et Grèce) marquent des valeurs plus grandes aux nôtres pour les dimensions des galbules à l'exception, pour deux populations d'Espagne (Huesca, Teruel) (sensu var. *phoenicea*) pour lesquelles leurs valeurs sont proches des nôtres. L'étude de Medini *et al.* (2016) sur la variation intraspécifique sur le phénicie pour huit stations tunisiennes (4 continentales et 4 côtières) montrent que la taille des galbules est plus grande que celles de nos galbules. L'étude effectuée pour la même espèce par Lebreton & Pérez de Paz (2001) montre que les galbules de l'Atlantique (Iles Canaries) ont un poids presque semblable (0,44g) alors que ceux de la Méditerranée orientale (Crète et Chypre) sont plus légers (0,34 ; 0,29 g, respectivement). Il en est de même en Jordanie (Shoback) d'après Al-Ramamneh *et al.*

(2012) avec un poids moyen (0,25g). En outre, nos résultats se situent dans l'intervalle des valeurs citées par Farjon (2005) et Adams (2014a) pour les galbules chez la sous-espèce *phoenicea* (5-9 ; 7-11 mm).

Concernant la forme et la couleur des galbules notamment chez la subsp. *phoenicea*, ils sont de forme arrondie (sphérique) à globuleuse (ou sub-) et de couleur brun rouge ou rouge sombre (Maire, 1952 ; Farjon, 2005 ; Adams, 2014a). Ces résultats restent proches des nôtres par rapport à la variété *turbinata* qui se caractérise de plus par la forme subturbinée des galbules avec la couleur brun jaunâtre (Maire, 1952 ; Farjon, 2005-2010 ; Adams, 2014a). D'après Maire (1952), la forme des ramules de *J. phoenicea* est cylindrique ou subcylindrique. C'est la même forme trouvée pour l'ensemble de nos populations (Tableau 31). En outre, le même auteur a subdivisé la variété *eu-phoenicea* (M. & We.) (Sensu *phoenicea*) du milieu continental en trois formes selon le durcissement du péricarpe des galbules : la f. *sclerocarpa* (M. & W.) à galbules durs ; la f. *mollis* (M. & We.) à galbules mous ainsi que la f. *megalocarpa* (Maire) à gros galbules et mous (10-15 mm). Dans notre cas, la population de Boutaleb (B) est caractérisée par des galbules mous, alors que les stations D et M ont des galbules durs. Ceci probablement est dû aux facteurs géographiques ou climatiques car la station (B) diffère par ses caractéristiques écologiques spécifiques (aridité, continentalité, stress thermique hivernal et haute altitude). Si on se rapporte aux critères de classification, tout porte à croire, que la population (B) représente la forme *mollis* et les populations D et M la forme *sclerocarpa*.

Il semble que les mesures morphologiques enregistrées chez les trois populations du *J. phoenicea* du milieu continental concordent avec celles rapportées dans la littérature (Tableau 34). D'un côté, elles correspondent à la ssp *turbinata* pour certains caractères et d'un autre côté, à la ssp *phoenicea* pour d'autres caractères. Cela montre que l'organisation intraspécifique citée par Maire (1952) et Quézel & Santa (1962) pour les populations algériennes de la région steppique en tant que ssp *phoenicea*, n'est pas absolue et reste encore discutable. En plus, les deux sous-espèces (*phoenicea* et *turbinata*) ont été rencontrées récemment dans les mêmes localités (cas de Tlemcen) durant nos campagnes d'échantillonnage. L'étude effectuée par Adams *et al.* (2006a) montre l'existence de la subsp. *turbinata* dans la région continentale (Haut Atlas marocain). Il en est de même en Algérie, Adams *et al.* (2014) ont confirmé sa présence dans la région d'El Bayadh (Algérie). Par conséquent, il n'est pas exclu que des introgressions des sous-espèces peuvent très bien se produire dans ces zones de contact et s'expliquent par les pressions sélectives des vertébrés disséminateurs (Notamment les oiseaux), tout comme pour l'oxycèdre. Selon Adams &

Demeke (1993), l'hybridation chez les espèces de *Juniperus* pourrait être responsable des problèmes taxonomiques dans certains groupes. Le comportement trophique des oiseaux sur la diversité des fruits charnus du Sahel algérois incluant *J. phoenicea* subsp. *turbinata*, selon la couleur, le volume et le nombre de graines, tels que rapportés par les travaux de Milla *et al.* (2013).

Les travaux de Gauquelin *et al.* (1988) sur *J. thurifera*, montre que la subsp. *africana* (populations du Maroc) se caractérise par des galbules mesurant entre 6,6 et 7,4 mm et pèsent 0,10-0,21g. La subsp. *thurifera* (populations européennes) varie selon l'origine : var. *hispanica* (5,6-9,6 mm et 0,09-0,31g) ; var. *gallica* (7,8-8,8 mm ; 0,13-0,23g) et var. *corsicana* (0,12-0,26 mm et 0,12-0,26g, respectivement) (Tableau 35). Les valeurs obtenues montrent que les populations algériennes se trouvent en position intermédiaire ; elles ont des galbules plus grands (8,1 mm) et plus lourds (0,19g) par rapport à celles du Maroc (ssp. *africana*). Simultanément, elles se rapprochent de la sous-espèce *thurifera*, avec des valeurs extrêmes (min-max) différentes pour la largeur (4,15-12,59 mm) et le poids (0,04-0,57g) pour lesquelles nos galbules atteignent (12,59 mm et 0,57 g). Cette grande étendue (4,15-12,59 mm) pour la largeur moyenne (8,1 mm) des galbules englobe l'intervalle mentionné par tous les auteurs du tableau 14 (Maire, 1952 ; Quézel & Santa, 1962 ; Farjon, 2005-2010 et Adams, 2014a). L'étude de Vela & Schäfer (2013) sur la taxonomie et la biogéographie intraspécifique de cette espèce fait état de valeurs proches pour la largeur des galbules chez la subsp. *thurifera* d'Espagne (8,65 mm) et de France (8,48mm) et des valeurs plus petites chez la subsp. *africana* en Algérie (6,95 mm) et au Maroc (6,52 mm). Ainsi, l'étude de Romo & Boratyński (2007) donne la même position voisine des populations algériennes à la ssp. *thurifera* de sorte que les valeurs indiquées (7-12mm) sont proches des nôtres, et inversement pour l'autre sous espèce (*africana*) dont les valeurs sont plus petites (5-6mm). Le thurifère est caractérisé par des ramules de forme tétragone ou quadrangulaire à 4 angles par rapport à ses congénères (*J. phoenicea* et *J. sabina*) qui ont la forme cylindrique ou subcylindrique (Maire, 1952 ; Quézel & Santa, 1962 ; Farjon, 2005-2010 et Adams, 2014a). Pour nos populations, nous avons enregistré la même forme tétragonale. Les galbules, sont essentiellement de forme globuleuse ou subglobuleuse et de couleur noir bleuâtre ou violâtre (Maire, 1952 ; Quézel & Santa, 1962 ; Farjon, 2005-2010 et Adams, 2014a). Ces données concordent avec les nôtres, excepté pour le noir violâtre, qui n'existe pas, du fait que cette couleur représente un stade avant la maturité, pour nos populations. Les études morphométriques incluant cette espèce pour les populations algériennes (Gauquelin *et al.* 1988 ; Vela & Schäfer, 2013) se sont basées sur un nombre limité de spécimens d'herbiers. Cependant, il faut souligner que

ces études n'incluent pas un caractère morphologique bien distinctif pour les populations algériennes des Aurès illustrées par des planches de l'herbier de Maire (1926) qui sont conservées à Montpellier (MPU) et consultables en ligne (www.herbier-mpu.org/hv). Selon Beghami *et al.* (2013), le modèle taxonomique proposé par Gauquelin *et al.* (1988) pour le sous-ensemble européen n'est pas totalement satisfaisant. Les données obtenues chez les trois populations étudiées du thurifère algérien pourraient rendre son identification encore un peu moins aléatoire. Elles rendent compte d'un statut intermédiaire dans lequel les populations algériennes se distinguent (taille et poids des galbules) des populations marocaines et se rapprochent du taxon européen décrits pour les mêmes caractères. Cela suppose la distinction morphologique d'un troisième sous-ensemble (thurifère algérien sensu var. *aurasiaca*) tel que décrit par Vela & Schäfer (2013).

Très peu d'études morphométriques, sont disponibles, sur le genévrier sabine. Les données citées par Maire (1952), Farjon (2010) et Adams (2014a) font état de valeurs proches des nôtres pour la largeur moyenne des galbules (6,35mm) (Tableau 35). Pour les variables qualitatives, cette espèce est la seule qui a des galbules dépourvus de cicatrices blanchâtres sur leurs enveloppes (Tableau 35). Selon Quézel et Santa (1962) et Farjon (2010), la forme des ramules est subcylindrique à quadrangulaire ; elle est semblable à celle de nos taxon qui est cylindrique ou subcylindrique sachant que la forme quadrangulaire est notée uniquement chez le thurifère (Tableau 12). La forme des galbules de nos populations est cordiforme ou allongée et différent de celles évoquées par les auteurs du tableau 35.

Chapitre IV. Résultats et discussions

Tableau 34. Comparaison de quelques résultats obtenus pour l'espèce *J. phoenicea* dans la littérature.

Caractères		Ramules			Galbules					
		Nombre d'écailles sur 5 mm de la ramification finale	Épaisseur de la ramification finale (mm)	Longueur (mm)	Largeur (mm)	Rapport	Poids (g)	Forme	Couleur	
Subsp. <i>phoenicea</i>	Maire (1952)	-	-	-	-	-	-	Subglobuleuse, arrondis	Brun rouge brillant	
	Arista & Ortiz (1995) (Espagne, Sierra de Grazalema)	-	-	6	5,8	-	-	-	-	
	Lebreton & Pérez de Paz (2001)	-	-	-	-	-	0,34	-	-	
		Grèce (Crète)	-	-	-	-	-	-	-	
		Chypre	-	-	-	-	-	0,29	-	
		Canaries	-	-	-	-	-	0,44	-	
	Mazur <i>et al.</i> (2003) (Espagne, Huesca)	27,74	1,04	8,32	9,11	0,90	-	-	-	
	Mazur <i>et al.</i> (2010)	23,86	0,71	10,85	10,62	1,02	-	-	-	
		Maroc (Haut-Atlas, Agouti)	25,36	0,78	7,83	8,45	0,93	-	-	
		Espagne (Teruel)	-	-	-	-	-	0,25	-	
	Al-Ramamneh <i>et al.</i> (2012) (Jordanie, Shoback)	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Farjon (2005)	-	-	-	-	-	-	Globuleuse, subglobuleuse	Brun rouge à noir violacé	
Adams (2014a)	-	-	-	5-9	-	-	Sphérique à globuleuse	Rouge sombre		
Mazur <i>et al.</i> (2015) (Espagne, Huesca et Teruel)	26,30	0,90	8,06	8,77	1,06	-	-	-		
Medini <i>et al.</i> (2016) (Tunisie)	-	-	10,57	10,12	1,05	-	-	-		
	Makther	-	-	9,51	8,85	1,07	-	-		
	J. Mansour	-	-	-	-	-	-	-		
Subsp. <i>turbinata</i>	Maire (1952)	-	-	-	-	-	-	Ovoïde ou subturbinée	Brun rouge Brillant	
	Arista & Ortiz (1995) (Espagne, Sierra de Grazalema)	-	-	7,9	8,8	-	-	-	-	
	Mazul <i>et al.</i> (2003)	25,53	0,90	10,14	8,76	1,04	-	-	-	
		Espagne (Andalousie)	24,74	1,04	8,58	9,11	1,04	-	-	
		Portugal (Estrémadure)	-	-	9-11	12-14	-	-	Subglobuleuse à ovoïde	Brun jaunâtre
	Farjon (2005-2010)	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Mazur <i>et al.</i> (2010)	21,84	0,74	10,07	9,98	1,01	-	-	-	
		Maroc (Kenitra)	24,67	0,75	10,01	10,04	1,00	-	-	
		Portugal (Peniche)	22,05	0,74	9,93	8,56	1,17	-	-	
		Italie (Crotone)	-	-	-	7-11	-	-	Sphérique, subturbinée	Rouge sombre
	Adams (2014a)	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Mazur <i>et al.</i> (2015)	27,34	0,77	10,72	10,12	1,06	-	-	-	
	Italie (Sicile)	24,35	0,86	10,59	10,25	1,04	-	-		
	Grèce (Paliouri et Kyparissia)	-	-	10,79	10,1	1,07	-	-		
Medini <i>et al.</i> (2016) (Tunisie, Rimel)	-	-	-	-	-	-	-	-		
Nos résultats	Ensemble des populations (D, M et B) Algérie	19,73	0,64	8,83	7,97	1,11	0,42	Arrondie à ovoïde	Rouge, Brun rouge sombre	

Chapitre IV. Résultats et discussions

Tableau 35. Comparaison de quelques résultats obtenus pour l'espèce *J. thurifera* et *J. sabina* dans la littérature.

Caractères		Ramules			Galbules		
		Forme du ramule	Largeur (mm)	Poids (g)	Forme	Couleur	
Subsp. <i>africana</i>	Maire (1926-1952), Afrique	Tétragone	6-8	-	Subglobuleuse	Bleu noir à pruine bleuâtre	
	Quèzel & Santa (1962)	Tétragone	6-8	-	-	Bleu noir ou brun noir, à pruine bleuâtre	
	Gauquelin <i>et al.</i> (1988), Maroc	-	6,6-7,4	0,10-0,21	-	-	
	Farjon (2005-2010)	Quadrangulaire	7-8	-	Globuleuse, sub-globuleuse	Noir bleuâtre, Noir violâtre	
	Romo & Boratyński (2007), Maroc	-	5-6 (7)	-	-	-	
	Vela & Schäfer (2013) Algérie (Aurès) Maroc	-	6,95	-	-	-	
		-	6,82	-	-	-	
	Adams (2014a), Maroc	Quadrangulaire	7-8	-	-	Noir violâtre	
Subsp. <i>thurifera</i>	Maire (1926), Europe	-	8-11	-	-	-	
	Gauquelin <i>et al.</i> (1988)	Var. <i>hispanica</i> , Espagne	-	5,6-9,6	0,09-0,31	-	-
		Var. <i>gallica</i> , France	-	7,8-8,8	0,13-0,23	-	-
		Var. <i>corsicana</i> , Corse	-	7,5-8,7	0,12-0,26	-	-
	Romo & Boratyński (2007)	-	7-12	-	-	-	
	Vela & Schäfer (2013)	Espagne	-	8,65	-	-	-
		France (Alpes)	-	8,48	-	-	-
	Adams (2014a), Europe	Quadrangulaire	8-12	-	-	Noir violâtre	
Nos résultats	Ensemble des populations (K, T et Z) de l'Aurès (Algérie)	Tétragone	8,1 (4,15-12,59)	0,19 (0,04-0,57)	Arrondie, ovoïde	Noir bleuâtre	
Caractères		Ramule		Galbule			
		Forme du ramule	Longueur (mm)	Largeur (mm)	Forme	Couleur	
<i>J. sabina</i> L.	Maire (1952)	-	-	5-9	Globuleuse, subglobuleuse	ou ovoïde- Bleu noir à pruine bleuâtre	
	Quèzel & Santa (1962)	Subcylindrique	-	-	-	-	
	Adams <i>et al.</i> (2006)	Var. <i>arenaria</i>	-	-	-	Bilobé	-
		Var. <i>mongolensis</i>	-	-	-	Globuleuse	-
	Farjon (2010)	Subcylindrique à quadrangulaire	-	4-8	-	Irrégulière (globuleuse)	Marron violâtre, Noir brunâtre ou bleuâtre
	Adams (2014a)	-	5-8	5-9	-	Irrégulière, globuleuse	Violet bleuâtre à noirâtre, souvent glauque
Nos résultats	Ensemble des populations (A et Is) du Djurdjura (Algérie)	Cylindrique ou subcylindrique	6,43 (4,37-9,14)	6,35 (3,9-9,51)	Cordiforme, Allongée	Noir bleuâtre à violâtre	

Conclusion

Le présent travail donne un postulat global sur la diversité intraspécifique des espèces du genre *Juniperus* en Algérie. Nous avons recherché la variabilité à l'échelle macro et micro morphologique en utilisant des variables quantitatives et qualitatives des feuilles, des galbules ainsi que celles des stomates et des surfaces épidermiques.

De l'étude physique et climatique des différentes stations d'échantillonnage, il en ressort que ces espèces présentent, en Algérie, une grande amplitude climatique allant du semi-aride au hyper-humide, ce qui leur confère une grande plasticité et une résistance aux conditions environnementales locales dans lesquelles elles évoluent. Il en ressort également, de nos prospections sur le terrain, des données recueillies dans la littérature et auprès des services des forêts, que ces formations subissent une dégradation intense et régressive, traduisant un état préoccupant des formations forestières et pré-forestières, en Algérie. Les forêts occupées par les genévriers, traduisent un état de dégradation ultime des forêts primaires de pin d'Alep, de cèdre et de chênes. Celles-ci deviennent clairsemées en formations ouvertes, entrecoupées par de nombreux vides et en état de lutte continue contre des facteurs de dégradation de différentes origines. Cette situation doit nous encourager à affronter ce problème et trouver des solutions radicales le plutôt possible, afin d'inverser la tendance, du moins dans l'Atlas tellien.

Des phénomènes d'épistasie et de déterminisme épigénétique ont été observés dans les différentes localités, échantillonnées et non échantillonnées, concernant le comportement physiologique de l'espèce et le polymorphisme qui en résulte, notamment la période de maturation des galbules, celle-ci se traduit par une précocité dans les localités les plus chaudes traduisant un froid hivernal de plus en plus doux (m) même si la tendance bioclimatique de deux ou plusieurs populations est la même.

L'analyse de la variance, pour la majorité des variables quantitatives étudiées chez les différentes espèces étudiées, a révélé des différences hautement significatives entre les sujets des différentes populations des espèces étudiées (variabilité intra- et inter-populations) dont nous allons résumer les résultats les plus pertinents :

- Les populations étudiées se discriminent en différents groupes selon leurs bioclimats. Le gradient continental et le stress thermique hivernal ainsi que les précipitations, relatifs à l'effet modérateur de l'altitude, influent sur la variation phénotypique des espèces étudiées. Dans les zones de contact, les populations limitrophes, suivent un morphoprocessus résultant des phénomènes d'hybridation produit par ornithochorie. L'existence de plusieurs morphotypes (écotypes) plaide en faveur d'un déterminisme épigénétique. Les formes intermédiaires de passage (hybrides), observés rendent également compte d'un déterminisme génétique. Un travail de coopération visant une collection renfermant un nombre d'échantillons plus large, de différentes origines (Nord-Africaine, européenne et américaine) serait plus que nécessaire afin de procéder à la vérification de l'existence de sous-espèces décrites au préalable dans les flores d'Algérie. Dans un deuxième temps, l'utilisation d'outils plus performants dans l'identification des sous espèces est envisageable ;
- L'examen morphométrique a permis d'inclure de nouvelles caractéristiques descriptives pour l'ensemble des espèces telles que la forme de la cicatrice blanchâtre pour les galbules, la forme de la base et l'apex des aiguilles et des écailles et la densité stomatique. Ces caractéristiques rarement prises en considération peuvent servir à renforcer les critères de classification infra-générique et infra-spécifique.

A la question, est ce que les formations à genévriers sont plus déterminées par le climat ou par l'action anthropique ? à laquelle nous devons répondre en prenant en compte ces deux facteurs plus sérieusement dans l'étude de la génétique et la dynamique des populations des genévriers. A ce stade, on peut se permettre une réflexion...il apparaît véritablement que les juniperaies se comportent comme des formations végétales dont les pressions de sélection biotiques et abiotiques constituent des facteurs critiques dans leur variabilité morphologique, ce qui permet de les classer en tant qu'espèces de forte résistance aux différentes pressions environnementales (sécheresse et froid), ce qui permet d'envisager leur exploitation, et plus particulièrement, *J. oxycedrus*, *J. phoenicea* et *J. thurifera*, dans la lutte contre la désertification et la dégradation des sols dans les régions les plus arides, ainsi que la conservation du *J. communis* qui favorise le développement des jeunes semis de cèdre et de *J. sabina* en créant un microclimat favorable à leur régénération.

En perspective, il en ressort que la variabilité génétique et morphologique des populations algériennes du genre *Juniperus* reste encore mal élucidée, du fait de la complexité des phénomènes à l'origine de cette variabilité, ce qui ouvre des voies de recherches plus poussées et à l'exploration d'autres approches complémentaires en collaboration avec le consortium de chercheurs, des autres pays, afin de définir une méthodologie de travail commune, adaptée à chaque site, et faciliter l'échange de matériel génétique, comme il a été convenu lors de la réunion sur les genévriers, le 25-27 septembre 2017, à l'université d'Aix- Marseille (France), qui a rassemblé plus de 40 chercheurs, d'une quinzaine de pays. Selon Vela (2007) et Vela & Schäfer (2013), une synthèse globale dans un esprit de taxonomie intégratrice ne pourra pas voir le jour tant que les différentes approches complémentaires (morphologie, biochimie, génétique) n'auront pas été explorées pour l'ensemble des taxons et/ou écotypes géographiques de l'ensemble de l'aire de répartition de l'espèce.

Au niveau local, il serait intéressant d'envisager d'autres traits taxonomiques au niveau d'autres organes (fleurs, graines et pollen) des genévriers. Pour l'oxycèdre, il est pertinent d'inclure les stations forestières du littoral ouest-algérien qui représentent la sous-espèce *macrocarpa* (Aïn Témouchent, Mostaganem, Tlemcen, El-Taref). Une étude complémentaire, portant sur le dosage des pigments des aiguilles ainsi que des galbules, est souhaitable afin d'apporter des éléments de réponse concernant la variation de ce caractère. De très belles junipérais ont été observées lors de nos campagnes d'échantillonnage en Algérie pour lesquelles aucune étude n'a été entreprise jusqu'à ce jour. Elles subissent de fortes pressions anthropozoïques et il serait donc intéressant et utile de déterminer la part de ce facteur dans la variation phénotypique à l'échelle des individus composant les différentes populations afin de définir le statut morphologique et biosystématique de ces populations.

Références bibliographiques

- ABBASSEN, Z. (2015).- Diversité du peuplement entomologique de *J. communis* subsp. *hemisphaerica* et *J. oxycedrus* subsp. *rufescens* de la forêt de Tigounatine (Tikjda à Djurdjura). Mémoire de Magister. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou. 118p.
- ABDESSEMED, K. (1981).- *Le cèdre de l'Atlas (Cedrus atlantica Manetti) dans le massif de l'Aurès et du Belezma -Etude phytosociologie, problème de conservation et d'aménagement*. Thèse de doctorat, University d'Aix-Marseille. 199p.
- ABDESSEMED, K. (1984).- Les problèmes de la dégradation des formations végétales dans l'Aurès (Algérie). Première partie : La dégradation, ses origines et ses conséquences. *Forêt méditerranéenne*. 6(1) : 19-26.
- ABDESSEMED, K. (1985).- Les problèmes de la dégradation des formations végétales dans l'Aurès (Algérie). Deuxième partie : Les mesures à prendre. *Forêt méditerranéenne*. 7 (1) : 43-52.
- ADAMS, R.P. (1993). - *Juniperus* in : Flora of North America. Vol. 2. Pteridophytes and Gymnosperms. pp. 412-420, Nancy R. Morin, Ed. Oxford University Press, NY. 475.
- ADAMS, R.P., (1996). - Comparison of the leaf essential oil of *Juniperus phoenicea*, *J. phoenicea* subsp. *eu-mediterraneale* and *J. phoenicea* var. *turbinata* (Guss.) Parl. *J. Essent. Oil. Res*, 371p.
- ADAMS, R.P. (1998).- The leaf essential oils and chemotaxonomy of *Juniperus* sect. *Juniperus*. *Biochem. Syst. Ecol.*, 26: 637-645.
- ADAMS, R.P. (2000).- Systematics of *Juniperus* section *Juniperus* based on leaf essential oils and RAPD DNA fingerprinting. *Biochem. Syst. Ecol.*, 28: 515-528.
- ADAMS, R.P. (2004).- *Junipers of the world: the genus Juniperus*. 3^{ème} Ed., Canada : Trafford Publishing Co.
- ADAMS, R.P. (2008).- Taxonomy of *Juniperus communis* in North America : Insight from variation in nrDNA SNPs. *Phytologia*. 90(2):181-197.
- ADAMS, R.P. (2013). - *Juniperus communis* var. *kellei*, a new variety from North America. *Phytologia*. 95(3): 215-221.
- ADAMS, R.P. (2014a). - *Junipers of the World: the genus Juniperus*. Trafford Publishing Co., Bloomington.
- ADAMS, R.P. (2014b). - Morphological comparison and key to *Juniperus deltoides* and *J. oxycedrus*. *Phytologia*, 96: 58-62.
- ADAMS, R.P. & DEMEKE, T. (1993).- Systematic relationships in *Juniperus* based on random amplified polymorphic DNAs (RAPDs). *Taxon*. 42: 553-572.
- ADAMS, R.P., PANDEY, N., REZZI, S. & CASANOVA, J. (2002).- Geographic variation in the Random Amplified Polymorphic DNAs (RAPDs) of *Juniperus phoenicea*, *J. p.* var. *canariensis*, *J. p.* subsp. *eu-mediterranea*, and *J. p.* var. *turbinata*. *Biochem. Syst. Ecol.* 30: 223-229.
- ADAMS, R.P., MUMBA, L.E., JAMES, S.A., PANDEY, R.N., GAUQUELIN, T. ET BADRI W. (2003).- Geographic variation in the leaf essential oils and DNA fingerprints (RAPDs) of *Juniperus thurifera* L. from Morocco and Europe. *J. Ess. Oil Res.* 15: 148-154.
- ADAMS, R.P., MORRIS, J.A, PANDEY, R.N. & SCHWARZBACH, A.E. (2005). - Cryptic speciation between *Juniperus deltoids* and *J. oxycedrus* (*Cupressaceae*) in the Mediterranean. *Biochem. Syst. Ecol.*, 33: 771-787.
- ADAMS, R. P., NGUYEN, S. & ACHAK, N. (2006a). - Geographic variation in *Juniperus phoenicea* (*Cupressaceae*) from the Canary Islands, Morocco and Spain based on RAPDs analysis. *Phytologia*. 88(3):270-278.
- ADAMS, R.P., NGUYEN, S. & LIU, J. (2006b). - Geographic variation in the leaf essential

- oils of *Juniperus sabina* and var. *arenaria*. *J. Ess. Oil Res.* 18:497-502.
- ADAMS, R.P. & SCHWARZBACH, A.E. (2006). - A new variety of *Juniperus sabina* from Mongolia: *J. sabina* var. *mongolensis*. *Phytologia*. 88 (2): 179-185.
- ADAMS, R.P., SCHWARZBACH, A.E., NGUYEN, S., MORRIS, J. A. & LIU, J.Q. (2007). - Geographic variation in *Juniperus sabina* L., *J. sabina* var. *arenaria* (E. H. Wilson) Farjon, *J. sabina* var. *davurica* (Pall.) Farjon and *J. sabina* var. *mongolensis* R.P. Adams. *Phytologia*. 89(2):153-166.
- ADAMS, R.P. & SCHWARZBACH, A.E. (2012). - Taxonomy of *Juniperus* section *Juniperus*: Sequence analysis of nrDNA and five cpDNA regions. *Phytologia*. 94 (2): 280-297.
- ADAMS, R.P. & SCHWARZBACH, A.E. (2013). - Phylogeny of *Juniperus* using nr DNA and four cp DNA regions. *Phytologia*. 95: 179-187.
- ADAMS, R. P. & THORNBURG, D. (2010).- A review of seed dispersal in *Juniperus*. *Phytologia*. 92 (3):424-434.
- ADAMS, R. P., ARISTA, M., BORATYNSKI, A., HOUARI, H. H., LESCHNER, H., LIBER, Z., MINISSALE, P., SCIANDRELLO, S. & MATARACI, T. (2014).- Geographic variation in the leaf essential oil of *Juniperus turbinata* from throughout its range in the Mediterranean. *Phytologia*. 96(3): 149-158.
- ADAMS, R.P., SCHWARZBACH, A.E. & TASHEV, A.N. (2016).- Chloroplast capture by a new variety, *Juniperus sabina* var. *balkanensis* R. P. Adams and A. N. Tashev, from the Balkan peninsula: A putative stabilized relictual hybrid between *J. sabina* and *ancestral J. thurifera*. *Phytologia*. 98(2): 100-111.
- ADAMS, R.P., BORATYNSKI, A., MATARACI, T., TASHEV, A. N. & SCHWARZBACH, A. E. (2017). - Discovery of *Juniperus sabina* var. *balkanensis* R.P. Adams and A.N. Tashev in southwestern Turkey. *Phytologia*. 99: 22-31.
- ARISTA, M. & ORTIZ, P.L., (1995).- *Juniperus phoenicea* subsp. *turbinata* en la Sierra de Grazalema. *Acta Bot. Malac.* 20: 303-304.
- AIT SAID, S. (2011).- *Stratégies adaptatives de deux espèces du genre Pistacia (P. lentiscus et P. atlantica Desf.) aux conditions d'altitude, de salinité et d'aridité : Approches morpho-anatomiques, phytochimiques et écophysiologicals*. Thèse de doctorat en sciences biologiques. Université de Tizi-Ouzou.
- AKKOL, E.K., ORHAN, I., KARTAL, M & YEŞİLADA, E. (2010).- Bioactivity guided evaluation of anti-inflammatory and antinociceptive activities of *Arceuthobium oxycedri* (D.C.) M. Bieb. *J. Ethnopharmacol.*, 128: 79-84.
- ALIFRIQUI, M., M'HIRIT, O., MICHALET, R. & PELTIER, JP. (1995).- Variabilité des précipitations dans le Haut Atlas occidental marocain. *Le climat*. 13 (1) :11-28.
- AL-RAMAMNEH, E.D, DURA, S. & NIDAL DARADKEH, N. (2012).- Propagation physiology of *Juniperus phoenicea* L. from Jordan using seeds and in vitro culture techniques: Baseline information for a conservation perspective. *African Journal of Biotechnology*. 11(30): 7684-7692.
- ALYAFI, J. (1978).- New characters differentiating *Pistacia atlantica* subspecies. *Conservatoire et Jardin Botaniques de Genève. Candollea*, 33: 201-206.
- AMARAL-FRANCO, J. (1986).- *Juniperus* L. Pp 181-188 In : S. Castroviejo, M. Lainz, G. Lopez Gonzalez, P. Montserrat, F. Munoz Garmendia, J. Paiva & L. Villar (eds.), *Flora Iberica*, vol. 1. Real Jardin Botanico, CSIC, Madrid.
- A.N.D.I. (2013).- Monographie des wilayas. Agence nationale de développement de l'investissement.
- ANGOT, A. (1906).- Etude sur le régime pluviométrique de la méditerranée. *C.R. Congr. Soc. Sav.* : 120-134.
- ANTOINE, F. (1857).- *Die Kupressineengattungen Arceuthos, Juniperus, und Sabina*. Wien, 16p.

- ANTOINE, F. & KOTSCHY T. (1854).- *Arceuthos*, Antoine et Kotschy. Skofitz, Botan. Wochenbl. 4 (31): 249-250.
- APARICIO, J.M. & URIBE ECHEBARRÍA, P.M. (2006). - *Juniperus* × *palancianus*, nuevo híbrido de la provincia de Castellón. *Toll Negre*. 8 : 5-8.
- ASNER, G.P. & MARTIN, R.E. (2008).- Spectral and chemical analysis of tropical forests: scaling from leaf to canopy levels. *Remote Sens. Envir.*, 112: 3958-3970.
- AUSSENAC, G. (1973).- Effets de conditions microclimatiques différentes sur la morphologie et la structure anatomique des aiguilles de quelques résineux. *Ann. Sci. For.*, 30: 375-392.
- AVCI, M. & ZIELIŃSKI, J. (2008).- *Juniperus oxycedrus* f. *yaltirikiana* (Cupressaceae): A new form from NW Turkey. *Phytol. Balcanica*, 14: 37-40.
- AXELROD, D.I. (1987). - The late Oligocene Creede flora, Colorado. University of California, *Publications in Geological Sciences*. 130: 1-235.
- BACHA, M. E., Nedjimi, B, Ararem, A. & Beladel B. (2016).- Seasonal variation of selected trace elements in rare endemic species Thuriferous Juniper growing in the Aurès Mountains of Algeria. *J. For. Res.* DOI 10.1007/s11676-016-0320-4.
- BACHIR-RAHO, G., OTSMANE, M. & SEBAA, F. (2017). - Antimicrobial activity of essential oils of *Juniperus phoenicea* from North Western Algeria. *Journal of Medicinal Botany*. 1: 01-07.
- BAGCHI, S.K., JOSHI, D.N. & RAWAT, D.S. (1990).- Variation in seed size of Acacia species, *Silvae Genetica*, 39 (3-4): 107-110.
- BAGNOULS, F. & GAUSSEN, H. (1953). - Saison sèche et indice xéothermique. *Bull. Soc. Hist. Toulouse* (88). Pp : 3-4 et 139-239.
- BAGNOULS, F. & GAUSSEN, H. (1957).- Les climats biologiques et leur classification. *Annales de Géographie*, 66° année. 335:193-220.
- BAHRIA, A. (2016).- *La processionnaire du pin Thaumetopoea pytiocompa schiff dans un peuplement de Pinus halepensis dans la forêt domaniale de Chettabah (Constantine)*. Mémoire d'ingénieur. Université Mentouri de Constantine. Pp : 39-41.
- BAIG, M.N. & TRANQUILLINI, W. (1976). Studies on upper timberline: morphology and anatomy of Norway spruce (*Picea abies*) and stone pine (*Pinus cembra*) needles from various habitat conditions. *Can. J. Bot.*, 54 :1622-1632.
- BALLAIS, J.L. (1981).- *Recherches géomorphologiques dans les Aurès (Algérie)*. Thèse de doctorat d'état. Université de Paris I. 572p.
- BALLARÉ, C.L., SANCHEZ, R.A., SCOPEL, A.L., CASAL, J.J. & GHERSA, C.M. (1987).- Early detection of neighbour plants by phytochrome perception of spectral changes in reflected sunlight. *Plant, Cell Envir.*, 10: 551-557.
- BARANOSKI, G.V.G. & ROKNE, J.G. (2004).- *Light interaction with plants. A computer graphics perspective*. Horwood Publishing, Chichester.
- BARBERO, M., LEBERTON, P. ET QUEZEL, P. (1994).- Sur les affinités bio systématiques et phytosociologiques de *Juniperus thurifera* L. et *Juniperis excelsa*. Bieb., *Ecol. Medit.* 20 (3/4) :21-37.
- BARBONI, D., HARRISON, S.P., BARTLEIN, P.J., JALUT, G., NEW, M., PRENTICE, I.C., SANCHEZ-GONI, M. F., SPESSA, A., DAVIS, B. & STEVENSON, A.C. (2004). Relationship between plant traits and climate in the Mediterranean region: A pollen data analysis. *J. Veg. Sci.* 15: 635-646.
- BEGHAMI, Y. (2013).- *Ecologie et dynamique de la végétation de l'Aurès : analyse spatio-temporelle et étude de la flore forestière et montagnarde*. Thèse de doctorat en sciences agronomiques. Université Mohamed Khider de Biskra. 194p.
- BEGHAMI, Y., KALLA, M., VELA, E., THINON, M. & BENMESSAOUD, H. (2013). - Le Genévrier thurifère (*Juniperus thurifera* L.) dans les Aurès, Algérie: considérations

- générales, cartographie, écologie et groupements végétaux. *Ecologia mediterranea*. 39 (1):17-30.
- BEKHECHI, C., ATIK-BEKKARA, F., CONSIGLIO, D., BIGHELLI, A. & TOMI, F. (2012). -Chemical variability of the Essential Oil of *Juniperus phoenicea* var. *turbinata* from Algeria. *Chemistry & biodiversity*. 9 (12): 2742–2753.
- BELHADJ, S., DERRIDJ, A., AUDA, Y., GERS, C. & GAUQUELIN, T. (2008).- Analyse de la variabilité morphologique chez huit populations spontanées de *Pistacia atlantica* en Algérie. *Botany*, 86: 520-532.
- BENMESSAOUD, (2010).- *Etude de la vulnérabilité a la désertification par des méthodes quantitatives numériques dans le massif des Aurès (Algérie)*. Thèse de doctorat en sciences. Université Hadj Lakhdar de Batna. Pp: 7-36.
- BENSEGUENI-TOUNSI, L. (2001).- *Étude "in vitro" de l'effet antibactérien et antifongique de : Inula viscosa, Lawsonia inermis, Asphodelus microcarpus, Aloe vera, Juniperus oxycedrus*. Thèse de Magister, Université de Constantine.
- BENTOUATI, A. (2006).- *Croissance, productivité et aménagement des forêts de pin d'Alep (Pinus halepensis M.) du massif d'Ouled-Yakoub (Khenchela-Aurès)*. Thèse de doctorat en sciences agronomiques. Université Hadj Lakhdar de Batna. Pp : 10-24.
- BENYACCOUB, S. (1993). - *Ecologie de l'avifaune forestière nicheuse de la région d'El-Kala (Nord-Est Algérien)*. Thèse de doctorat : Sciences biologiques fondamentales et appliquées, psychologie : Université de Dijon. 280p.
- BENYACCOUB, S., LOUANCHI, M. & BABA AHMED, R. (1998). - *Plan directeur de gestion du Parc National d'El Kala et du complexe des zones humides*. Projet GEF (Global Environment Facility) - Banque Mondiale, 220 p. + 28 cartes.
- BENZECRI, J.P. (1973). - *L'analyse des données*. Tome 1 et 2. Dunod, Paris.
- BIDAULT, M. & GUINOCHET, M. (1971).- *Variation et spéciation chez les végétaux supérieurs : notions fondamentales de systématique moderne*. Doin, Paris. 145p.
- B.N.E.F., (1983).- *Etude d'aménagements forestières du massif du Senalba Gharbi (wilaya Djelfa)*. Bureau nationale des études forestières. Blida. 71p.
- B.N.E.F. (1984).- *Plan d'aménagement de la zone des Ouled-Yakoub et des Béni-Oudjana (40.000 ha)*. Ministère de l'Hydraulique de l'Environnement et des Forêts. RADP. 62 pages + annexes.
- BNEDER. (1981).- *Etude d'inventaire des terres et forêts de l'Algérie du Nord*.
- BNEDER. (2010).- *Etude de classement de la cédraie de Beni Oudjana et d'Ouled Yagoub en parc national dans la Wilaya de Khenchela*.
- BOREL, A. & POLIDORI J.L. (1983).- Le genévrier thurifère (*Juniperus thurifera* L.) dans le parc national du Mercantour (Alpes Maritimes). *Bull. Soc. Bot. Fr.*, 130 : 227-242.
- BOUBOU, M. (2007).- *Contribution de classification non supervisée via des approches pré topologiques et d'opinion*. Thèse de doctorant en statistique-informatique. Université Claude Bernard, Lyon 1. pp : 19-69.
- BOUDY, P. (1952). - *Guide du forestier en Afrique du Nord*. Ed. La maison Rustique. Paris.
- BOUNAR, R. (2014). - *Etude des potentialités biologiques, cartographie et aménagement de la chaîne des Babors dans la démarche du développement durable*. Thèse de doctorat en sciences. Université Ferhat Abbas Sétif-1. 178p.
- BOUSQUET, L. (2007).- *Mesure et modélisation des propriétés optiques spectrales et directionnelles des feuilles*. Thèse de doctorat de 3^{ème} Cycle en Physique. Université Paris 7.
- BOUXIN, G. (2016).- *Analyse statistique des tableaux de relevés de végétation. Recherche d'adéquation entre les données de végétation et les techniques statistiques, au moyen d'exemples*. Éditions Universitaires Européennes.

- BOUYAHYAOU, A , BAHRI, F , ROMANE, A , HÖFERL, M , WANNER, J , SCHMIDT, E. , JIROVETZ, L. (2016). - Antimicrobial Activity and Chemical Analysis of the Essential Oil of Algerian *Juniperus phoenicea*. *Natural Product Communications*. 11(4):519-522.
- BOUZABATA, A & HADEF, Y. (2009).- Variability of the Yield and the Chemical Composition of Essential Oils of *Juniperus Phoenicea* L. coming from two regions of Algeria. *TJMPNP*. 2: 1–9.
- BOZUKOV, V., UTESCHER, T., IVANOV, D., TSENOV, B., ASHRAF, A.R. & MOSBRUGGER, V. (2011). - New results for the fossil macroflora of the Beli Breg Lignite Basin, West Bulgaria. *Phytol. Balcan.*,17 (1): 3-19.
- BRUS, R., BALLIAN, D., ZHELEV, P., PANDZA, M., BOBINAC, M., ACEVSKI, J., RAFTOYANNIS, Y. & JARNI, K. (2011).- Absence of geographical structure of morphological variation in *Juniperus oxycedrus* L. subsp. *oxycedrus* in the Balkan Peninsula. *Eur. J. Forest. Res.*, 130: 657-670.
- CALLEN, G. (1976).- *Les conifères cultivés en Europe*. Vol.1., Ed. Baillière.
- CALAMASSI, R. (1986).- Caractérisation de quelques provenances de *Pinus halepensis* Mill., sur la base de la structure anatomique et morphologique des aiguilles. *Ann. Sci. For.*, 43(3) :281-298.
- CAMPBELL, N.A. (1995). - *Biologie*. De Boeck-Wesmal. Bruxelles. 1190p.
- CARRIERE, E.A. (1855).- *Traité général des conifères ou Description de toutes les espèces et variétés de ce genre aujourd'hui connues, avec leur synonymie, l'indication des procédés de culture et de multiplication qu'il convient de leur appliquer*. Paris, Chez l'Auteur. [Online] Available : <http://www.archive.org/>.
- CASSIN, P. (1999).- *Analyse des données et des panels des données*. Ed. De Boeck. Paris, Bruxelles.
- C.F.D. (2013).- *Rapport de la Conservation des forêts de la wilaya de Djelfa*.
- C.F.M. (2014).- *Rapport de la Circonscription de Djebel Messaad*. Conservation des forêts de la wilaya de M'sila.
- CHAVES, M.M., MAROCO, J.P. & PEREIRA, J.S. (2003).- Understanding plant responses to drought from genes to the whole *Funct. Plant Biol.*, 30: 239-264.
- CIESLA, W.M., GEILS, B.W. & ADAMS, R.P. (2004).- *Hosts and geographic distribution of Arceuthobium oxycedri*. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Fort Collins, CO.
- COLLIN, P.- (2001).- L'adaptation au milieu chez les plantes vasculaires - Plant adaptations to environmental conditions. *L'Année Biologique*. 40: 21-42.
- COMPTON, S.G., CRAIG, A.J.F.K. & WATERS, I.W.R. (1996).- Seed dispersal in an African fig tree: birds as high quantity low quality dispersers. *J. Biogeogr.*, 23: 553-563.
- CONRAD, M. (1986). - Essai sur la répartition de *Juniperus thurifera* L. en Corse, en 1985-1986. *Le Monde des Plantes*. 423-424: 1-2.
- GREUTER, W. (1991). - Botanical diversity, endemism, rarity, and extinction in the Mediterranean area: an analysis based on the published volumes of Med-Checklist. *Bot. Chron.* 10: 63–79.
- COTE, M. (1983).- *L'espace algérien, les prémices d'un aménagement*. Ed. OPU, Alger.
- COTE, M. (2003).- *L'Aurès une montagne typiques. Société d'étude et de recherche sur l'Aurès antique*, revue annuelle N° 1, Paris. Pp : 17-32.
- COUTELLE, A. (1979).- *Géologie de Sud et de la Grande Kabylie et des Babors d'Akbou*. Thèse de doctorat es Sciences Naturelles, Université de Bretagne Occidentale, 567p.
- DAGET, P. (1968).- Quelques remarques sur le degré de continentalité des climats de la région holarctique. *C.E.P.E. - C.N.R.S.*, Montpellier, 12 p.

- DAGET, P. & CAVIDES, E. (1984).- Les climats méditerranéens du Chili : contribution pour une nouvelle synthèse. *Bull. Soc. Bot. Fr., Actual. Bot.* 131 (2-4) : 205-212.
- DAHMANE, D., DOB ; T. & CHELGHOUM, C. (2015).- Chemical composition of essential oils of *Juniperus communis* L. obtained by hydrodistillation and microwave-assisted hydrodistillation. *J. Mater. Environ. Sci.* 6 (5) : 1253-1259.
- DAJOZ, R. (1985).- *Précis d'écologie*. Ed. Bordas, Paris, 505p.
- DALLIMORE, W. & JACKSON, A.B. (1966). - *A Handbook of Coniferae and Ginkgoaceae*, 4th edn. Arnold, London, UK.
- DALLIMORE, W., JACKSON, A.B. & HARRISON, S.G. (1967). - *A handbook of Coniferae and Ginkgoaceae*, 4th Ed. New York: St. Martin's Press. Xix, 729p.
- DEBAZAC, E.F. (1991).- *Manuel des conifères*. 2^e éd., ENGREF, Nancy.
- DE BELAIR, G. (1990). - *Structure, fonctionnement et perspectives de gestion de quatre éco-complexes lacustres et marécageux (El Kala, Est algérien)*. Thèse de doctorat, Univ. Montpellier 2, Université des sciences et techniques du Languedoc. 326 p.
- DEBORAH, M.F. & JOSEPH, A.T. (1995). - *Ecology, diversity and sustainability of the Middle Rio Grande Basin*. Fort Collins, Colorado: United States Dept. of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station. Pp. 95-132.
- DEBRACH, J. (1953).-Notes sur les climats du Maroc occidental. *Maroc médical*, 342: 1122-1134.
- DEBUSSCHE, M. (1988).- La diversité morphologique des fruits charnus en Languedoc méditerranéen : Relations avec les caractéristiques biologiques et la distribution des plantes et avec les disséminateurs. *Acta. Oecol. Gener.*, 9: 37-52.
- DEBUSSCHE, M. & ISENMANN, P. (1989).- Fleshy fruit characters and the choices of bird and mammal seed dispersers in a Mediterranean region. *Oikos*, 56: 327-338.
- DEGL'INNOCENTI, E., GUIDI, L., STEVANOVIC, B. & NAVARI, F. (2008).- CO₂ fixation and chlorophyll a fluorescence in leaves of *Ramonda serbica* during a dehydration-rehydration cycle. *J. Plant Physiol.*, 165: 723-733.
- DJEBAILI, S. (1984). *Steppe Algérienne phytosociologie et écologie*.Ed. Office des Publications Universitaires. Alger, p159.
- DJELLOUL, R. (2014).- Cartographie des champignons au niveau du Parc National d'El Kala (Nord Est Algérien). Thèse de doctorat. Université Badji Mokhtar d'Annaba. 260p.
- DOB, T., DAHMANE, D. & CHELGHOUM, C. (2008).- Chemical Composition of the Essential Oil of *Juniperus phoenicea* L. from Algeria. *The Journal of essential oil research*. 20(1): 15-20.
- DOROFEEV, P.I. (1962).- On the Pliocene flora of Bashkiria. *Botanicheskii Zhurnal* .47: 787-801.
- DRAKE, L.P., FROEND, R.H. & FRANKS, P.J. (2013).- Smaller, faster stomata: scaling of stomatal size, rate of response, and stomatal conductance. *J. Exper. Bot.*, 64: 495-505.
- DUFOUR, L. (1887).- *Influence de la lumière sur la forme et la structure des feuilles*. Thèse de doctorat. Faculté des sciences de Paris. Éd. Masson, Paris.
- DUMOLARD, P. (2011).- Données géographiques, analyse statistique multivariée. Lavoisier, Paris.
- DUPLAN, L. (1952).- *La région de Bougie*. Publ. XIX^e Congrès Géologique International. Alger. Monographie Régionale. 1^{ER} Série Algérie 195. 17p.
- DUPONT, F. & GUIGNARD, J.L. (2007).- *Botanique systématique moléculaire*.14^{ème}. Edition. Pp : 56-57.
- EGLINTON, G. & HAMILTON, R. (1967). - Leaf epicuticular waxes. *Science*.156: 1322-1335.

- EHLERINGER, J. (1980).- Leaf morphology and reflectance in relation to water and temperature stress, in Adaptation of plants to water and high temperature stress. (eds Turner N. C., Kamen P. J.). Wiley Interscience. New York. pp. 295-308.
- 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(4):577-89.
- EMBERGER, L. (1930).- Sur une formule applicable en géographie botanique. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris.* 19 : 389-390.
- EMBERGER, L. (1943).- Les limites de l'aire de végétation méditerranéenne en France. *Bull. Soc. Hist. Nat.* 78 (3) : 159-180.
- EMBERGER, L. (1955).- Une classification biogéographique des climats. *Rev. Trav. Labo. Bot. Géol. Zool. Fac. Sci., Montpellier.* 7 : 1-43.
- EMBERGER L. (1968).- *Les plantes fossiles dans leurs rapports avec les végétaux vivants : (éléments de Paléobotanique et de morphologie comparée)*. Ed. Masson et Cie., Paris.
- EMBERGER, L. (1971).- *Travaux de botanique et d'écologie*. Ed Masson. Paris. Pp : 291-301.
- ENDLICHER, S. (1847).- *Synopsis Coniferarum. Sangalli Apud Scheitlin & Zollikofer.* pp.8-31.
- ESCOFIER, B. & PAGÈS, J. (2008).- *Analyses factorielles simples et multiples ; objectifs, méthodes et interprétation*. Dunod, Paris.
- FADEL, H., BENAYACHE, F. & BENAYACHE, S. (2016).- Antioxidant properties of four Algerian medicinal and aromatic plants *Juniperus oxycedrus* L., *Juniperus phoenicea* L., *Marrubium vulgare* L. and *Cedrus atlantica* (Manetti ex Endl). *Der Pharmacia Lettre*, 8 (3): 72-79.
- FARJON, A. (2001).- *World checklist and bibliography of conifers*. 2nd ed. Royal Botanic Gardens, Kew.
- FARJON, A. (2005).- *A monograph of Cupressaceae and Sciadopitys*. Royal Botanic Gardens Press. Kew, London.
- FARJON, A. (2010).- *A handbook of the world's conifers*. Vol .2. Brill, Leiden & Boston.
- FARJON, A. & FILER, D. (2013). - *An atlas of the world's conifers: An analysis of their distribution, biogeography, diversity and conservation status*. Brill, Boston & Leiden.
- FAURIE, C., FARRA, C. & MEDORI, P. (1980).- *Écologie*. Éd. Baillière J.-B., Paris.
- FLANDRIN, J. (1952). -*La chaîne du Djurdjura*. XIXème Congrès Géologique International. Alger. Monographies Régionales. 1ère série. 19. 48p.
- FLEXAS, J., BOTA, J., GALMÉS, J., MEDRANO, H. & RIBAS-CARBO, M. (2006).- Keeping a positive carbon balance under adverse conditions: responses of photosynthesis and respiration to water stress. *Physiol. Plant.*, 127: 343-352.
- FOUDIL-CHERIF, Y. & YASSAA, N. (2012).- Enantiomeric and non-enantiomeric monoterpenes of *Juniperus communis* L. and *Juniperus oxycedrus* L. needles and berries determined by HSSPME and enantioselective GC/MS. *Food Chem.*, 135: 1796-1800.
- FRANCO, J.A. (1962).- Taxinomie du genévrier commun. *Bol. Soc. Broteriana.* 36: 101-120.
- FRANKS, P.J., DRAKE, P.L., & BEERLING, D.J. (2009).- Plasticity in maximum stomatal conductance constrained by negative correlation between stomatal size and density: An analysis using *Eucalyptus globulus*. *Plant Cell Envir.*, 32: 1737-1748.
- FRONTIER, S., PICHOD-VIALE, D., LEPRÉTRE, A., DAVOULT, D. & LUCZAK, CH. (2004).- *Ecosystèmes, Structure, Fonctionnement, Evolution*. 3ème édition. Ed. Dunod. Paris, 549p.
- GAJŠEK, D., JARNI, K. & BRUS, R. (2012).- Infection patterns and hosts of *Arceuthobium oxycedri* (DC.) M. Bieb. In Slovenia. *For. Path.*, 43:185-192.
- GARCÍA D., ZAMORA, R., JOSÉ M. GÓMEZ, J.M. & HÓDAR, J.A. (2001). *Frugivory at*

- Juniperus communis depends more on population characteristics than on individual attributes.* Journal of Ecology. 98:639-647.
- GATTI, F. (1970). "Il riconoscimento di alcune provenienze di *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco, in base alle caratteristiche anatomiche degli aghi" (with Engl. summary: Identification of some provenances of *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco, through anatomical characters of needles). *Annali dell' Istituto Sperimentale per la Selvicoltura, Arezzo*. 1:325-339.
- GAUQUELIN, T. (1999). *Le Génévrier thurifère (Juniperus thurifera), une espèce emblématique des Monegros*. In: a. Melic & j. Blasco-zumeta (eds.), *Manifesto científico por los Monegros. Volumen monográfico del Boletín de la Sociedad Entomológica aragonesa* : 107-110.
- GAUQUELIN, T. (2006). *Les Génévriers du monde et du bassin occidental de la Méditerranée : diversité, stabilité, expansion, régression*. In : Garcia Gonzalez D. (coord.), *Actas des III Coloquio Internacional sobre los sabinares y enebrales (Género Juniperus) : ecología y gestión Forestal sostenible*. Soria 24 a 26 de Mayo de 2006. Madrid, Junta de Castilla y Leon y Comunidad de Madrid, Tomo I : 25-32.
- GAUQUELIN, T., HASSANI, M.I. & LEBRETON, P. (1988). -Le Génévrier thurifère, *Juniperus thurifera* L. (Cupressacées) : Analyse biométrique et biochimique ; propositions systématiques. *Ecol.Medit*. 14 : 31-42.
- GAUQUELIN, T. & LEBRETON, P. (1998)- Systématique de *Juniperus thurifera* L.: le cas de la population pyrénéenne de la Montagne de Rié (Haute Garonne, France). *Bot. Soc. bot. Fr.* 5 : 105-109.
- GAUQUELIN, T., BERTAUDIÈRE, V., MONTES, N., BADRI, W. & ASMODÉ, J.F. (1999).- Endangered stands of *Thuriferous juniper* in the western Mediterranean basin: Ecological status, Conservation and Management. *Biodivers. Conserv.* 8 (11) : 1479-1498.
- GAUQUELIN, T., BERTAUDIÈRE, V., CAMBECÈDES, J. & LARGIER, G. (2003).- Le génévrier thurifère (*Juniperus Thurifera* L.) dans Les Pyrénées : Etat de conservation et perspectives. *Acta Bot. Barc.*, 49: 83-94
- GAUSSEN, H. (1968a).- La résistance à la sécheresse des arbres xérophiles. *Revue Forestière Française*. 1 : 15-19.
- GAUSSEN, H. (1968b). *Les Gymnospermes actuelles et fossiles, Fasc. X : les Cupressacées*. Faculté des sciences, Toulouse, 326 p.
- GAUSSEN, H., LEROY, J-F. & OZENDA, P. (1982).- *Précis de botanique*. Vol 2. *Végétaux supérieures*. 2^{ème} édition Masson, Paris.
- GHANEM, M. (2010).- Etude climatique en moyenne montagne méditerranéenne : le cas de la localité de Midelt dans le haut bassin versant de la Moulouya (Maroc) pour des fins bio-écologiques. *Quad. Bot. Amb. Appl.* 21: 165-187.
- GHARZOULI, M. (1989).- *Contribution à l'étude de la végétation de la chaîne des Babors*. Thèse de Magister, I.N.E.S. de Biologie, Sétif, 235p.
- GHARZOULI, R. & DJELLOULI, Y. (2005).- Diversité floristique de la Kabylie des Babors (Algérie). *Sécheresse*. 16 (3) : 217-23.
- GIL, L., CLIMENT, J., NANOS, N., MUTKE, S., ORTIZ, I. & SCHILER, G. (2002).- Cone morphology variation in *Pinus canariensis*. *Plant Syst Evol.* 235: 35-51.
- GORECKI, S., (1989). - La Microscopie électronique à Balayage, Apport des électrons rétrodiffusés et de l'analyse X par dispersion d'énergie. *Rev. Fr. Histotechnol.*, 2(1) : 23-30.
- GOTTFRIED, G.J. (1987). - *Regeneration of pinyon*. In: Everett, R.L., compiler, *Proceedings, Pinyon-juniper conference; 1986 January 13-16; Reno, NY*. Gen. Tech. Rep. INT-215. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Research Station. pp. 249-254.

- GOTTFRIED, G.J. (1989). - *Silvics and Silviculture in the Southwestern Pinyon-Juniper Woodlands* in: Southwestern pinyon-juniper woodland workshop; 1989 May 8-11; Santa Fe, NM. Santa Fe, NM: Society for Range Management, New Mexico Section. 18p.
- GRANT, V. (1980).- Gene flow and the homogeneity of species populations. *Biol. Zbl.*, 99: 157-169.
- GUIT, B. (2015).- *Croissance et état sanitaire des peuplements de Pin d'Alep (Pinus halepensis mill.) dans le massif forestier de Sénalba (région de Djelfa)*. Thèse de doctorat en Sciences Agronomiques. École nationale supérieure d'agronomie El-Harrach. Alger. 108p.
- HALUK, J.P. & ROUSSEL, C. (2000).- Caractérisation et origine des tropolones responsables de la durabilité naturelle des Cupressacées. Application potentielle en préservation du bois. *Ann. For. Sci.*, 57 : 819-829.
- HARRINGTON MICHAEL, G. (1987). - *Characteristics of 1 year-old natural pinyon seedlings*. Res. Note RM 477. Fort Collins, CO: U.S., Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station. 4p.
- HERBST, J.R. (1978). - *Physical properties and commercial Uses of western juniper*. General Technical Report PNW-74. Pp. 169-177.
- HERRERA, C.M. (1982).- Seasonal variation in the quality of fruits and diffuse coevolution between plants and avian dispersers. *Ecology*, 63: 773-785.
- HSIAO, T. (1973). Plant reponses to water stress. *Ann. Rev. Plant Physiology*. 24 : 519-570.
- Hilu, K.W. & Randall, J.L. (1984).- Convenient method for studying grass leaf epidermis. *Taxon*, 33(3): 413- 415.
- HUSEYNOVA, I.M., SULEYMANOV, S.Y. & ALYEV, J.A. (2007).- Structural-functional state of thylakoid membranes of wheat genotypes under water stress. *Biochim. Biophys. Acta*, 1767: 869-875.
- HUSSON, F ; LE, S. & PAGES, J. (2009).- *Analyse des données avec R*. Presses Universitaires de Rennes. 224p.
- IPGRI, (1997).- *Descripteurs du caroubier (Ceratonia siliqua L.)*. Institut international des ressources phylogénétiques, Rome, Italie, 91p.
- IPGRI, (1997).- *Descripteurs du pistachier (Pistacia vera L.)*. Institut international des ressources phylogénétiques, Rome, Italie, 53p.
- IZARD, M., CASANOVA, H., DEVAU, B. & PAUTOU, G. (1985).- Continentalité et notion de zone interne dans les Pyrénées. *Oecol. Gener.* 6 (4) : 317-344.
- JALUT, G., ESTEBAN A., GAUQUELIN, T., AUBERT S., IGLESIAS, M., BOUCHETTE, A. & BELET, J.M. (2000).- *Rôle du Genévrier thurifère dans la mise en place de la couverture forestière du sud de l'Europe à la fin du dernier épisode glaciaire*. In : GAUQUELIN T., ASMODÉ J.F. & LARGIER G. (EDS.), *Le Genévrier thurifère (Juniperus thurifera L.) dans le bassin occidental de la Méditerranée : systématique, écologie, dynamique et gestion*. Actes du colloque international de Marignac (Haute-Garonne), 26-27 septembre 1997. Paris, O NF, coll. « Les dossiers forestiers ». 6 : 160-170.
- JAMESON, D.A & JOHNSEN JR., T.N. (1964). - Ecology and control of alligator juniper. *Weeds*. 12 : 140-142.
- JOHNSEN J.R., T.N. (1962). - One-seed juniper invasion of northern Arizona grasslands. *Ecological Monographs*. 32: 187-207.
- JOHNSEN, J.R., T.N & ALEXANDER, R.R. (1974).- *Juniperus L. Juniper*. In: Seeds of woody plants in the United States. Agric. Handb. 450. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. Pp. 460-469.
- JUAN, R., PASTOR, J., FERNANDEZ, I. & DIOSDADO, J.C. (2003). - Relationships between mature cone traits and seed viability in *Juniperus oxycedrus L. subsp. macrocarpa* (Sm.) Ball (*Cupressaceae*). *Acta Biol. Cracov.*, 45: 69-78.

- KADIK, B. (1983).- *Contribution à l'étude du Pin d'Alep (Pinus halepensis Mill.) en Algérie : écologie, dendrométrie et morphologie*. Thèse de doctorat ; 313p.
- KADIK, B. (1986). - Contribution à l'étude du pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) en Algérie. Écologie, dendrométrie et morphologie. Ed. O.P.U, Alger, Algérie. 581p.
- KADIK, L. (1984).- *Phyto-écologie des formations à pin d'Alep (Pinus halepensis Mill.) du Sénalba Chergui et Gharbi*. Thèse de doctorat 3^{ème} cycle. USTHB. 281p + annexes.
- KAYA, C., TUNA, A.L. & ALVES, A.A.C. (2006).- Gibberellic acid improves water deficit tolerance in maize plants. *Acta Physiol. Plant.*, 28: 331-337.
- KILANI, S., ABDELWAHED, A. & BEN AMMAR, R. (2008).- Chemical Composition of the Essential Oil of *Juniperus phoenicea* L. from Algeria. *Journal of essential oil*. 20: 695-700.
- KLIMKO, M., BORATYNSKA, K., MONTSERRAT, J.M., DIDUKH, Y., ROMO, A., GOMEZ, D., KLUZA-WIELOCH, M, MARCYSIAK, K. & BORATYNSKI, A. (2007).- Morphological variation of *Juniperus oxycedrus* subsp. *Oxycedrus* (*Cupressaceae*) in the Mediterranean region. *Flora- Morphol., Distrib., Funct. Ecol. Plants*, 202: 133-147.
- KLIMKO, M., BORATYNSKA, K., BORATYNSKI, A. & MARCYSIAK, K. (2004).- Morphological variation of *Juniperus oxycedrus* subsp. *macrocarpa* (*Cupressaceae*) in three Italian localities. *Acta Soc. Bot. Pol.*, 73: 113-119.
- KVAČEK, Z. (2002). - A new juniper from the Palaeogene of Central Europe. *Feddes Repertorium*. 113 : 492–502.
- KUMAR, P., BHATT, R.P., SINGH, L., CHANDRA, H.S. & PRASAD, R., (2010).- Identification of Phytochemical Content and Antibacterial Activity of *Juniperus Communis* Leaves, *International Journal of Biotechnology and Biochemistry*. 6: 87-91.
- LAALA, A., RACHED-KANOUNI, M. & ALATOU, D. (2013).- Les variations thermiques saisonnières et leurs impacts sur le comportement écophysologique des semis de pin d'Alep. *Eur. Sci. J.*, 9 (24): 143-153.
- LAFFITTE, R. (1939). *Etude géologique de l'Aurès (Algérie)*. Thèse de Doc. Es-Sciences Nat. Univ. Paris, 484 p.
- LAIB, H. (2006).- Contribution à l'étude de la variabilité inter-individuelle et inter-stationnelle de la morphologie des aiguilles et du pollen de *Juniperus communis* subsp. *hemisphaerica* au Djurdjura.
- LAKEHAL, Z. & MECHARI, A. (2010).- *Contribution à l'étude de la démo-écologie des peuplements des vers de terre dans la forêt domaniale de Chettabah dans la région d'Ain-Smara (Wilaya de Constantine)*. Mémoire d'ingénieur. Université Mentouri de Constantine. Pp : 25-32.
- LAOUER, H. (1995).- *Contribution à l'étude des plantes médicinales du massif du Boutaleb (phytomasse de *Rosmarinus tournefortii* de Noé, effet de l'altitude et de l'exposition sur la composition des huiles essentielles*. Mémoire de magistère. Université Ferhat Abas de Sétif.
- LASZLO, P., (2000).- *Le savoir des plantes*. Ed. Ellipses. Paris.128p.
- LEBART, L., MORINEAU, A. & PIRON, M. (2006).- Statistique Exploratoire Multidimensionnelle. 4^e Ed., Dunod, Paris.
- LEBOURGEOIS, F. (2010).- *Cours de bioclimatologie à l'usage des forestiers*. École nationale du génie rural des eaux et des forêts. Institut des sciences et industries du vivant et de l'environnement. 243p.
- LEBRETON, P., (1983). - Nouvelles données sur la distribution au Portugal et en Espagne des sous-espèces du genévrier de phénicie. (*Juniperus phoenicea* L.). *Agron. Lusit.*, 42:55-62.
- LEBRETON, P., THIVEND, S. (1981).- Sur une sous-espèce du genévrier de phénicie " *Juniperus phoenicea* L., définie à partir de critères biochimiques. *Nat. Monspeliensia Ser. Bot.*, 47 :1–12.

- LEBRETON, P., BAYET, C. & MURACCIOLE, M. (1991).- Le statut systématique du genévrier oxycède *Juniperus oxycedrus* L. *Cupressacées* : Une contribution d'ordre biochimique et biométrique. *Lazaroa*, 12: 21-42.
- LEBRETON, P., PÉREZ DE PAS, P.L. & BARBERO, M. (1998).- Étude systématique du sous-genre *Oxycedrus* (section *Oxycedroides*) du genre *Juniperus* (Cupressaceae). *Ecol. Mediter.*, 24 (21) : 53-61.
- LEBRETON P. & PEREZ de PAZ, P.L., (2001).- Définition du Genévrier de Phénicie (*Juniperus* aggr. *phoenicea*), reconsidéré à ses limites biogéographiques : Méditerranée orientale (Crète et Chypre) et Atlantique (Iles Canaries). *Bull. mens. Soc. linn. Lyon*, 70(4) : 73-92.
- LE HOUEROU, H.N. (1959).- *Recherches écologiques et floristiques sur la végétation de la Tunisie Méridionale*, 2 vols, Mémoire Hors-Série N°6. Institut de Recherches Sahariennes, Université d'Alger, Algérie.
- LE HOUÉROU, 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.
- LEROY, M. (2002).- La mesure au sol de la température et des précipitations. *La Météorologie*. 39: 52-56.
- LESINS, K.A. & LESINS, I. (1979).- *Genus Medicago* (Leguminosae): *A taxogenetic study*. Junk W. ed., The Hague, Boston & London.
- LEYTON, L. & JUNIPER, B.E., (1963). - Cuticle structure and water relations of pines needles. *Nature*, 198: 770-771.
- LINNAEUS, C. (1753).- *Species plantarum, exhibentes plantas rite cognitatas, ad genera relatas, cum differentiis specificis, nominibus trivialibus, synonymis selectis, locis natalibus, secundum systema sexuale digestas*. Tomus II. Holmiae, Impensis Laurentii Salvii. pp. 1038-1040. [Online] Available: <http://gallica.bnf.fr/>.
- LODÉ, T. (1998).- *Cours de génétique des populations*. Éditions Ellipses.
- MAAS, S.J. & DUNLAP, J.R. (1989).- Reflectance, transmittance, and absorptance of light by normal, etiolated, and albino corn leaves. *Agron. J.*, 81: 105-110.
- MADOU, A. & GEHU, J. M. (1999).- Etat de la végétation dans la forêt du Boutaleb : Mont du Hodna, Algérie. *Forêt méditerranéenne*. 20 (4): 162-168.
- MAERKI, D. & FRANKIS M.P. (2015). *Juniperus drupacea* in the Peloponnese (Greece). Trip report and rang map, with notes on phenology, phylogeny, paleontology, history, types and use. *Bull. CCP* 4 (1) : 5-34.
- MAIRE, R. (1926). - *Contribution à l'étude de la flore de l'Afrique du Nord*, Fascicule 10. *Bull. Soc. Hist. Nat.Afr. N.*, 17: 125-126
- MAIRE, R. (1952).- *Flore de l'Afrique du Nord*. Encyclopédie biologique. Volume 1. Éd. Paul Le Chevalier, Paris.
- MALEY, M. & PARKER, W. (1993).- Phenology variation in cone and needle characters of *Pinus banksiana*. *Can. J. Bot.*, 71: 43-51.
- MAO, K., HAO, G., LIU, J., ADAMS, R.P. & MILNE, R.I. (2010).- Diversification and biogeography of *Juniperus* (Cupressaceae): variable diversification rates and multiple intercontinental dispersals. *New Phytol.*, 188: 254-272.
- MARANZ, S. & WIESMAN, Z. (2003). - Evidence for indigenous selection and distribution of the shea tree, *Vitellaria paradoxa*, and its potential significance to prevailing parkland savanna tree patterns in sub-Saharan Africa, north of the equator, *J. Biogeogr.* 30:1505–1516.
- MARRE, A., QUINIF, I., LAHONDERE, J.C., VILA, J.M. (1977).- Le relief karstique et la géologie du versant nord du Djebel Zouaoui (Constantine, Algérie). *Méditerranée*. 29 (2) : 45-54.

- MATET/ CENEAP. (2008). - Etude relative à la caractérisation et la délimitation des zones de montagne et des massifs montagneux du Djurdjura. Rapport de la deuxième phase (N°2). Analyse prospective de l'état des lieux du massif. 217p.
- MAZARI, K., BENDINERAD, N., BENKHECHI, C. & FERNANDEZ, X. (2010). - Chemical Composition and Antimicrobial Activity of Essential Oil Isolated from Algerian *Juniperus phoenicea* L. and *Cupressus sempervirens* L., *Medicinal Plants Research*. 4(10): 959–964.
- MAZUR, M., BORATYNSKA, K., MARCYSIAC, K., GOMEZ, D., TOMASZEWSKI, D., DIDUKH, J., BORATYNSKI, A. (2003). - Morphological variability of *Juniperus phoenicea* (Cupressaceae) from three distant localities on Iberian Peninsula. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*. 72 (1): 71-78.
- MAZUR, M., KLAJBOR, K., KIELICH, M., SOWINSKA, M., ROMO, A., MONTSERRAT, J.M. & BORATYŃSKI A. (2010). - Intra-specific differentiation of *Juniperus Phoenicia* in the western Mediterranean region revealed in morphological multivariate analysis. *Dendrobiology*. 63:21-31.
- MAZUR, M., MINISSALE, P., SCIANDRELLO, S., BORATYNSKI, A. (2015).- Morphological and ecological comparison of populations of *Juniperus turbinata* Guss. and *J. phoenicea* L. from the Mediterranean region. *Plant Biosystems*. 1-10.
- MÉDAIL, F. & DIADEMA, K. (2009).- Glacial refugia influence plant diversity patterns in the Mediterranean Basin. *Journal of Biogeography*. 36: 1333–1345.
- MEDIOUNI, K. & YAHI, N. (1989).- Etude structurale de la série du cèdre à Aït-Ouabane Djurdjura. *Forêt méditerranéenne*. 9 (2) :103-111.
- MEDIOUNI K., DJELLOULI, Y., DAHMANI, M., MULLER, M. & SAHBI, A. (1994).- Contribution à l'étude de la répartition des genévriers de *phoenicea* et *sabina* dans le Djurdjura. 103-106.
- MEDDOUR, R. (2010).- *Bioclimatologie, phytogéographie et phytosociologie en Algérie exemple des groupements forestiers et pré forestiers de la Kabylie Djurdjuréenne*. Thèse de doctorat en foresterie. Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou. 398 p.
- MEDINI, H., KHOUJA, M.L., CHEMLI, R. & HARZALLAH-SKHIRI F. (2016).- Intraspecific variation and morphometric analysis of *Juniperus phoenicea* L. branches and cones from Tunisia. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences*. 4 (V-Suppl.).
- MEIDNER, H. & MANSFIELD, T.A., (1968). - *Physiology of Stomata*. McGraw-Hill, London.
- MEEUWIG, R.O. & BASSETT, R.L. (1983). - *Pinyon juniper*. In: *Silvicultural systems for the major forest types of the United States*. Agric. Handb. 445. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service: 84-86.
- METRO, A., (1975). - *Terminologie forestière*. Collection de 154 Terminologie forestière multilingue. N°2 Association française des eaux et forêts. Conseil international de la langue française. 432p.
- MICHALET, R., (1991).-Nouvelle synthèse bioclimatique des Milieux méditerranéens. Application au Maroc septentrional. *Rev. Ecol. Alp.*, Grenoble. (1) : 59-80.
- MICHALET, R. (1994).- Quantification de la continentalité relative en climat méditerranéen : Application du système de Gams (1932) au Maroc septentrional. *Revue Valdôtaine d'Histoire Naturelle*. Sup. au (48) : 237-245.
- MILLA, A., DOUMANDJI, S. & VOISIN, J.-F. (2013).- *La dissémination des graines par les oiseaux. Comportement trophique des oiseaux et diversité des fruits charnus*. Unpubl. MS.
- MINGFEI, J., XIAOWEI, Z., ZHIQIANG, W., QIANG, Z & JIANMING, D. (2011).- Intra-versus inter-population variation of cone and seed morphological traits of *Pinus tabulaeformis* carr. in northern china: impact of climate-related conditions. *Polish Journal*

- of Ecology*. 59 (4): 717-727.
- MOKHTARI, N., MRABET, R., LEBAILLY, P. & BOCK, L. (2013).- Spatialisation des bioclimats, de l'aridité et des étages de végétation du Maroc. *Rev. Mar. Sci. Agron. Vét.*, 2: 50-66.
- MONTERRAT P. & VILLAR L. (1972).- El endemismo ibérico. Aspectos ecológicos y fitotopográficos. *Bol. Soc. Broteriana*. 46 (2^e série) : 503-527
- MORINEAU A., ALUJA-BANET T. (1998).- L'Analyse en Composantes Principales. CISIA, Paris.
- MUGNOSSA, G., SCARASCIA, H., PIUSSI, P. & RADAGLOU, K., (2000). - Forests of the Mediterranean region: Gaps in Knowledge and research needs. *For. Ecol. Manag.*, 132: 97-109.
- NAKACHE, J.P. & CONFAIS, J. (2005).- Approche pragmatique de la classification : arbres hiérarchiques. Editions Technip, Paris. 257p.
- NEGRU, A.G., (1972).- *Rannesarmskaia flora severovostoka Moldavii*. Kishinev, Moldova: Shtiintsa Press.
- Nikolopoulos D., Liakopoulos G., Drossopoulos I. & Karabourniotis, G. (2002).- The relationship between anatomy and photosynthetic performance of heterobaric leaves. *Plant Physiol*. 129: 235-243.
- OBERT, D. (1974).- Phases tectoniques mésozoïques d'âge antécénomanien dans les Babors (Tell nord sétifien, Algérie). *B.S.G.F.* (7) 26 : 171-176.
- O.N.T.F. (1979).- *Plan d'aménagement de la forêt domaniale de Beni-Imloul, Série Tafrent*. Office national des travaux forestiers. Direction du grand projet Aurès, Batna. Pp : 1-20.
- O.N.T.F. (1982).- *Plan d'aménagement de la forêt domaniale du massif Chélia, Série Chélia*. Office national des travaux forestiers. Direction du grand projet Aurès, Batna. Pp: 1-20.
- OUBORG, N.J., PIQUOT, Y. & VAN GROENENDAEL, J.M. (1999).- Population genetics, molecular markers and study of dispersal in plants. *J. Ecol.*, 87: 551-568.
- OUELMOUHOUB, S. (2005).- Gestion multi-usage et conservation du patrimoine forestier : cas de subéraies du Parc National d'El- Kala (Algérie). Thèse de master en sciences. Ins. Agr. Médi. de Montpellier. 127p.
- OUHAMMOU, A., HAFIDI, M., ZARIK, L., KHOULASSA, S., BOUMEZZOUGH, A. & DUPONNOIS, R. (2013).- Gestion et conservation des thuriferaies au Maroc : cas du Parc national du Toubkal. *Ecologia mediterranea*. 39 (1) :61-68.
- OZENDA, P. (1966). - *Perspectives nouvelles pour l'étude phytogéographique des Alpes du Sud*. Doc. Carte végét. Alpes, Grenoble, I. 198p.
- OZENDA P., (1991). *Les organismes végétaux 2. Végétaux supérieurs*. Edition Masson, Paris.
- OZENDA P., (2000). - Les végétaux : organisation et diversité biologique. 2^e Ed. Dunod. Paris. 516p.
- PAGÈS, J. (2002). – Analyse factorielle des données mixtes. *Rev. Statistique Appliquée*. L(4) :5-37.
- PAGÈS, J. (2013).- *Analyse factorielle multiple avec R*. EDP sciences, Paris. 253p.
- PAGNEY, P. (1976). - *Les climats de la terre*. Editions Masson, Paris.
- PALAMAREV, E. (1967).- Über den Charakter und das geologische Alter der Fossilflora in dem Talbecken von Brežani. *Izv. Bot. Inst. (Sofia)*, 17: 91-133 (in Bulgarian).
- PEPELJNJAK, S., KOSALEC, I., KALOERA, Z. & BLAEVIL, N. (2005).- Antimicrobial activity of juniper berry essential oil (*Juniperus communis* L., *Cupressaceae*), *Acta Pharm. Journal*, 55, 417-422.
- PILGER, R. (1926). - *Coniferae*. In: Engler, A.: Die natürlichen Pflanzenfamilien nebst ihren Gattungen und wichtigeren Arten insbesondere der Nutzpflanzen. -Leipzig: Engelmann.
- PILGER, R. (1931). - Die Gattung *Juniperus* L. *Mitt. Deutsch. Dendrol. Ges.* 43 : 255–269.

- POUGET M., (1980).- *Les relations sol végétation dans les steppes Sud Algéroises*. Ed. O.R.S.T.O.M., Paris., 555 productions méditerranéennes. G.-P. Maisonneuve et Larose. 502p.
- QUENEY, P. (1974). - *Eléments de météorologie*. Ed. Masson et Cie, Paris, 300p.
- QUÉZEL, P. (1980).- *Biogéographie et écologie des conifères sur le pourtour méditerranéen. Actualité d'écologie forestier ; sol, flore, faune. Formations permanentes en écologie et biologie*. Edition Pesson, Paris. Pp : 205-282.
- QUÉZEL, P. & BARBERO, M. (1989).- La formation à genévriers rampants du Djurdjura (Algérie). Leur signification écologique. Dynamique et syntaxonomique dans une approche globale des cédraies kabyles. *Lazaroa*. 11: 85-99.
- QUÉZEL, P. & SANTA, S. (1962).- *Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales*. Tome 1. Éd. CNRS, Paris.
- QUÉZEL, P. & GAST, M. (1998).- Genévrier, *Encyclopédie berbère*, 20. *Gauda-Girrei*, Aix-en-Provence, Edisud. Pp : 3016-3023.
- QUÉZEL, P. & MÉDAIL, F. (2003).- *Écologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen*. Editions scientifiques et médicales, Elsevier SAS.
- RAMADE, F. (2003).- *Éléments d'écologie fondamentale*. Ed. Dunod, Paris, 690p.
- RAMDANI, M., LOGRADA, T., SILINI, H., ZERAIB, A., CHALARD, P., FIGUEREDO, G., BOUCHAALA, M. & ZERRAR, S. (2013).- Antibacterial Activity of Essential oils of *Juniperus phoenicea* from Eastern Algeria. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*. 3 (11): 022-028.
- RAMEAU, J.C., MANSION, D. & DUME, G., (2008).- *Flore forestière française*. Institut pour le développement forestier. Volume 3. Paris.
- RAO, C. R. (1964). – The use and interpretation of principal component analysis in applied research. *Sankhya serie A*. 26: 329-357.
- REICH, P.B., OLEKSYN, J., MODRZYNSKI, J. & TJOELKER, M.G. (1996). - Evidence that longer needle retention of spruce and pine populations at high elevations and high latitudes is largely a phenotypic response. *Tree Physiol*. 16: 643–647.
- RIOU-NIVERT, P. (2001). - *Les résineux, Connaissance et reconnaissance*. Tome 1. 2e Ed. Institut pour le développement forestier, Paris.
- RIVAS-MARTINEZ, S., (2005a).- *Avances en Geobotánica*. Discurso apertura curso 2005. Real Acad. Farmacia. Madrid.
- RIVAS-MARTINEZ, S. (2005b).- Mapa de series, geoserias y geopermaseries de vegetación de España. *Memoria del mapa de vegetación potencial d'España*. Partie I. Pp : 10-12. [Online] Available : <http://www.globalbioclimatics.org>.
- RIVAS-MARTINEZ, S., WILDPRET, W. & FEREZ DE PAZ, P.L. (1993).- Datos sobre *Juniperus phoenicea* aggr. (*Cupressaceae*). *Itinera. Geobot*. 7: 509-512.
- ROMO, A. & BORATYNSKI, A. (2007).- Nomenclatural note on *Juniperus thurifera* subsp. *Africana* (*Cupressaceae*). *Ann. Bot. Fennici*. 44: 72-75.
- RONCO, JR., FRANK, P. (1990). - *Pinus edulis Engelm. Piñon*. In: Burns, R. M.; Honkala, B. H., tech. coords. *Silvics of North America*, Vol. 1 Conifers. Agric. Handb. 654. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. Pp. 327-337.
- RUMEU, B., PADILLA, D. & NOGALES, M. (2009).- The key role of a Ring Ouzel *Turdus torquatus* wintering population in seed dispersal of the endangered endemic *Juniperus cedrus* in an insular environment. *Acta Ornithol.*, 44: 199-204.
- RYALL C. & BRIGGS K. (2006).- Some factors affecting foraging and habitat of Ring Ouzels *Turdus torquatus* wintering in the Atlas Mountain of Morocco. *Bull. ABC*, 13: 60-74.
- SAADALLAHA., BELHAI. D., DJELLIT. H. & SEDDIK. N. (1996).- Coulissage dextre entre zones interne et externe des Maghrébines, et structuration en fleur de la dorsale calcaire de Djurdjura (Algérie). *Geodinamica Acta*. (Paris). 9 (4) :177-188.

- SAUVAGE, C. (1963).- *Etages bioclimatiques*. Atlas du Maroc, sect. II, pl. N°6b, 1 carte et 2 cartons couleur, notice explic. 44p.
- SCHIRNER M., (2004). *Huiles essentielles : Description et utilisation de plus 200 huiles essentielles et huiles végétales*. Guy Trédniel Editeur. Paris. 56 p.
- SCHOENBERGER, A. (1970). - *Etude de la végétation de l'Aurès oriental*. FAO. Projet-Algérie 15. 20p.
- SCHUPP, E.W. (1993).- Quantity, quality and the effectiveness of seed dispersal by animals. *Vegetatio*, 107/108: 15-29.
- SEIGUE, (A. 1985). *La forêt circumméditerranéenne et ses problèmes*. Collections techniques agricoles et productions méditerranéennes. Editions G.P et Maisonneuve et Larose, Paris V.
- SELTZER, P., (1946).- *Le climat de l'Algérie*. Inst. Météo. Et de Phs. Du globe d'Algérie. Ed. Carbonel. Algérie.
- S.E.R.T.F/ D.G.F. (2009).- *Etude d'aménagement et de développement forestier de la forêt domaniale de Boutaleb (w. de Sétif)*. Société d'étude et de réalisation des travaux forestiers. Direction générale des forêts. 135p.
- SMITH, H. (2000).- Phytochromes and light signal perception by plants – an emerging synthesis. *Nature*, 407 : 585-591.
- SPACH, M.E. (1841).- *Histoire naturelle des végétaux : Phanérogames*. Dixième tome, Paris, Librairie encyclopédique de Roret. Pp. 305-323. [Online] Available : <http://gallica.bnf.fr/>.
- STEFANOV, B. & JORDANOV, D. (1935). - Studies of the Pliocene flora of the Plain of Sofia (Bulgaria). *Abh. Bulg. Akad. Wiss.* 29: 3-150.
- STEWART, P. (1969).- Quotient pluviothermique et dégradation biosphérique. *Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord*, 59: 23-36.
- STRAUS, A., (1952). - Beiträge zur Pliocänflora von Willershausen III. *Palaeontographica*, B 93: 1-44.
- STURGES, A.H. (1926). - The Choice of a Class Interval. *Journal of the American Statistical Association*. 153 (21): 65-66.
- SUNDSETH, (2010).- *La région méditerranéenne, berceau de l'Europe, Natura 2000 dans la région méditerranéenne*. Office des publications de l'Union européenne, Luxembourg. p3.
- TABEAUD, M. (1998).- *La climatologie générale*. 3eme Ed. D'Armand Colin. Paris.
- TAHANOUT, M. (2012).- *Contribution à l'étude de la variabilité inter-individuelle de la morphologie des aiguilles et de la densité stomatique de Juniperus oxycedrus subsp. rufescens à Tigounatine (Tikjda, Djurdjura)*. Mémoire d'Ingénieur d'État. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.
- TALEB, S.M., (2007).- Biodiversité et dynamique des formations à *Juniperus thurifera*, *Juniperus phoenicea* et *Juniperus commun* au Maroc. Centre de recherche forestière, 13ème journée nationale de biodiversité, Maroc, p24.
- TEUSCHER, E., ANTON, R. & LOBSTEIN, A. (2005).- *Plantes aromatiques : épices, aromates, condiments et huiles essentielles*. Tec et Doc éditions, Paris.
- TERRAB, A., SCHONSWETTER, P., TALAVERA, S., VELA, E. & STUESSY, T.F. (2008). Range-wide phylogeography of *Juniperus thurifera* L., a presumptive keystone species of western mediterranean vegetation during cold stages of the Pleistocene. *Molecular Phylogenetics and Evolution*. 48: 94-102.
- TOUMI, A. (2011).- Inventaire et cartographie de *Juniperus sabina* L. au niveau du parc national du Djurdjura. Mémoire d'ingénieur d'état en sciences agronomiques. Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou. 56p + annexes.
- TOUMI, A. (2015).- *Etude structurale et cartographique de Juniperus communis et Juniperus sabina au Djurdjura*. Mémoire de Magister en sciences agronomiques. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou. 50p.

- TOURNEFORT, P. (1694).- *Éléments de botanique ou méthode pour connaître les plantes*. Tome 3, Paris, imprimerie royale. Pp. 314-316. [Online] Available : <https://books.google.fr>.
- TRÉCA, B. & TAMBA, S. (1997).- Rôle des oiseaux sur la régénération du ligneux *Boscia senegalensis* (Pers.) Lam. en savane sahélienne au nord Sénégal. *Rev. Ecol. (Terre et Vie)*, 52: 239-260.
- U.I.C.N. (2001).- *Etude d'Élevage et du pastoralisme au sein du Parc National de Belezma (Genévrier Thurifère)*. Union Internationale pour la Conservation de la Nature.
- VELA, E. (2007). Révision taxonomique de l'ophrys de Marseille (*Orchidaceae*), *Ophrys aranifera* subsp. *massiliensis* (Viglione & Véla) comb. nova : un essai de systématique intégratrice. *Candollea*. 62 : 109-122.
- VELA, E. & SCHÄFER, P.A. (2013). Typification de *Juniperus thurifera* var. *africana* Maire, délimitation taxonomique et conséquences nomenclaturales sur le Genévrier thurifère d'Algérie. *Ecologia mediterranea*. 39 (1) : 69-80.
- VIERS, G., (1968).- *Éléments de climatologie*. Nathan. Paris.
- VILLAR, L. (2013).- Le Genévrier thurifère, vieil arbre compagnon de l'homme en Méditerranée occidentale. *ecologia mediterranea*. 39 (1) : 7-16.
- VILLENEUVE, G.O. (1980).- *Glossaire de météorologie et de climatologie*. 2ème Ed. Presses de l'université Laval, Canada.
- WEBER, D.J, GANG, D, HALLS, S. & NELSON D.L. *Juniper Decline in Natural Bridges National Monument and Canyonlands National Park* In: ROUNDY, B.A.; MCARTHUR, E.D., HALEY, J.S. & MANN, D.K. (1995).- *Proceedings: Wildland shrub and arid land restoration symposium*; 1993 October 19-21; Las Vegas, NV. Gen. Tech. Rep. INT-GTR-315. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Research Station. pp. 258-262.
- WESTERFIELD, R.R. (2009).- *Extension Consumer Horticulturist-Ornamentals*. UGA Cooperative Extension, Circular 956. University of Georgia. 3p.
- WHITE, F. (1986). - *La végétation de l'Afrique*. Edition d' Ostom-Unesco.
- WHITTAKER R.J. & FERNÁNDEZ-PALACIOS, J.M., (2007).- *Island biogeography. Ecology, evolution and conservation*. Oxford University Press Inc., New York.
- WILLMORE, K.E., YOUNG M.N. & RICHTSMEIER, J.T. (2007).- Phenotypic variability: Its component, measurement and underlying developmental processes. *Evol. Biol.* 34: 99–120.
- WOLFE, J.A. (1964). Miocene floras from Fingerrock Wash, southwestern Nevada. *US Geological Survey Professional Paper*. 454 -N: 1-36.
- XIAO, Y. (2003). - Variation in needle longevity of *Pinus tabulaeformis* forests at different geographic scales – *Tree Physiol.* 23: 463–471.
- YALTIRIK, F., ELIÇIN, G. & TERZIOGLU, S. (2007).- *Juniperus oxycedrus* L. subsp. *oxycedrus* var. *spilinanus* Yalt., Eliçin & Terzioğlu: A new variety from Turkey. *Turk. J. Bot.*, 31: 37-40.
- ZEREG, S. (2007). - *Diagnostic écologique, mise en valeur et conservation des Junipérais de Juniperus phoenicea de la région de Djerma (nord-est du parc national de Belezma, Batna)*. Thèse de magister. Université El Hadj Lakhdar. Batna. 176p.
- ZERAIB, A., RAMDANI, M., BOUDJEDJOU, L., CHALARD, P. & FIGUREDIO, G. (2013). - Characterization and chemosystematics of Algerian thuriferous juniper (*Juniperus thurifera* L.). *Journal of Applied Botany and Food Quality*. 87: 249-255.
- ZERAIB, A., RAMDANI, M., BOUDJEDJOU, L., CHALARD, P. & FIGUREDIO, G. (2014). - Chemical composition and antibacterial activity of *Juniperus thurifera* L. essential oils. *J. Bio Sci. Biotech.* 3(2): 147-154.

Annexes

Tableau 1. Types et sous-types de continentalité thermique selon Rivas-Martinez (2005a)

Types	Sous-types	A ou Ic (°C)
Hyperocéanique (0-11 C°)	Ultra-hyperocéanique accentué	0-2
	Ultra-hyperocéanique atténué	2-4
	Eu-hyperocéanique accentué	4-6
	Eu-hyperocéanique atténué	6-8
	Sub-hyperocéanique accentué	8-10
	Sub-hyperocéanique atténué	10-11
Océanique (11-21 C°)	Semi-hyperocéanique accentué	11-13
	Semi-hyperocéanique atténué	13-14
	Eu-océanique accentué	14-16
	Eu-océanique atténué	16-17
	Semi-continental accentué	17-19
	Semi-continental atténué	19-21
Continental (21-66 C°)	Sub-continental accentué	21-24
	Sub-continental atténué	24-28
	Eu-continental accentué	28-37
	Eu-continental atténué	37-46
	Hyper-continental accentué	46-56
	Hyper-continental atténué	56-66

Tableau 2. Types et sous-types de continentalité thermique selon Debrach (1953)

Types	A max (°C)
Climat insulaire	$M - m < 15^{\circ}\text{C}$
Climat littoral	$15^{\circ}\text{C} < M - m < 25^{\circ}\text{C}$
Climat semi-continental	$25^{\circ}\text{C} < M - m < 35^{\circ}\text{C}$
Climat continental	$M - m > 35^{\circ}\text{C}$

Tableau 3. Domaines climatiques définis au Maroc septentrional selon Michalet (1991-1994)

Domaine climatique	Variante	Valeur de l'angle de continentalité α
Externe	Externe accentué	$\alpha < 38^{\circ}$
	Externe moyen	$38^{\circ} < \alpha < 50^{\circ}$
	Externe atténué	$50^{\circ} < \alpha < 63^{\circ}$
Intermédiaire	Intermédiaire	$63^{\circ} < \alpha < 74^{\circ}$
Interne	Interne atténué	$74^{\circ} < \alpha < 80^{\circ}$
	Interne accentué	$\alpha > 80^{\circ}$

Tableau 4. Valeurs d'It et Itc selon Rivas-Martinez (2005a)

A (°C)	Ci	Itc	Valeur maximale
$A \leq 8$	$C0 = 10 (8 - A)$	It+ C0	$C0 = - 80$
$18 < A \leq 21$	$C1 = 5 (A - 18)$	It+ C1	$C1 = + 15$
$21 < A \leq 28$	$Ci = C1 + C2 ; C2 = 15 (A - 21)$	It+ C1+C2	$C2 = + 105$
$28 < A \leq 46$	$Ci = C1 + C2 + C3 ; C3 = 25 (A - 28)$	It+ C1+C2+C3	$C3 = + 450$
$46 < A \leq 65$	$Ci = C1 + C2 + C3 ; C4 = 30 (A - 46)$	It+ C1+C2+C3+C4	$C4 = + 570$

Tableau 5. Types de thermotypes selon Rivas-Martinez (2005a)

Thermotypes	Horizons ou niveaux	Abréviation	It ou Itc	10Tp : (A >21, Itc < 120)
Inframéditerranéen	Inferieur	imei	515-580	> 2600
	Supérieur	imes	450-515	2400-2600
Termoméditerranéen	Inferieur	tmei	400-450	2250-2400
	Supérieur	tmes	350-400	2100-2250
Mésoméditerranéen	Inferieur	mmei	285-350	1800-2100
	Supérieur	mmes	220-285	1500-1800
Sépraméditerranéen	Inferieur	smei	150-220	1200-1500
	Supérieur	smes	(120)-150	900-1200
Oroméditerranéen	Inferieur	omei	-	675-900
	Supérieur	omes	-	450-675
Crioroméditerranéen	Inferieur	cmei	-	100-450
	Supérieur	cmes	-	1-100
Glacial	Inferieur	gme	-	0

Tableau 6. Types d'ombrotypes selon Rivas-Martinez (2005a)

Ombrotypes	Horizons ou niveaux	Abréviation	IOA
Ultra-hyper-aride	Inferieur	Uhai	0.0-0.1
	Supérieur	Uhas	0.1-0.2
Hyper-aride	Inferieur	Hai	0.2-0.3
	Supérieur	Has	0.3-0.4
Aride	Inferieur	Ari	0.4-0.7
	Supérieur	Ars	0.7-1.0
Semi-aride	Inferieur	Sai	1.0-1.5
	Supérieur	Sas	1.5-2.0
Sec	Inferieur	Sei	2.0-2.8
	Supérieur	Ses	2.8-3.6
Sub-humide	Inferieur	Sui	3.6-4.8
	Supérieur	Sus	4.8-6.0
Humide	Inferieur	Hui	6.0-9.0
	Supérieur	Hus	9.0-12.0
Per-humide	Inferieur	Hhi	12.0-18.0
	Supérieur	Hhs	18.0-24.0
Ultra-Per-humide	Inferieur	Uhu	> 24.0

Résumé

En Algérie, les espèces du genre *Juniperus* L., constituent un immense réservoir de biodiversité du fait qu'elles présentent une grande amplitude climatique allant du semi-aride au hyper-humide, ce qui leur confère une grande plasticité évolutive et une résistance aux conditions environnementales locales dans lesquelles elles évoluent.

Dans le but de mieux caractériser les espèces de ce genre, répertoriées en Algérie (deux en aiguilles : *J. oxycedrus* L. et *J. communis* L. et trois en écailles : *J. phoenicea* L., *J. thurifera* L. et *J. sabina* L.) et connaître leurs comportements adaptatifs vis-à-vis de l'environnement, la variabilité phénotypique a été évaluée à l'échelle intra et inter-populations, à l'aide d'une analyse descriptive et comparative des feuilles et des galbules de chaque espèce. La variation micro-morphologique a été abordée par l'étude des stomates et des surfaces épidermiques.

Les échantillons ont été prélevés sur dix-sept populations naturelles pour l'ensemble de ces espèces. Le nombre d'arbres choisis aléatoirement est de trente pieds par population. Sur l'aspect quantitatif et qualitatif, l'observation par la microscopie à différentes échelles (loupe binoculaire, microscope optique et électronique à balayage), a permis d'analyser vingt-quatre caractères morphologiques pour les espèces en aiguilles et vingt-six pour celles en écailles.

Les résultats obtenus pour les feuilles, les galbules et les stomates ont fait l'objet d'une analyse statistique. Pour chacune de ces espèces, l'analyse de la variance montre que les populations étudiées présentent une diversité morphologique considérable au niveau intra- et inter-populationnel, tandis que l'analyse multivariée effectuée a permis de séparer l'ensemble des populations étudiées en groupes distincts. Cette variabilité s'explique, en partie, par les facteurs environnementaux (continentalité, sécheresse et stress thermique) des différentes populations naturelles. Des variations micro-morphologiques ont été observées, également, au niveau des surfaces épidermiques, incluant une variation des stomates (densité et forme), de la cire épicuticulaire (aspect et occurrence) et de la structure de l'épiderme. Par ailleurs, dans les zones de contact, la présence des phénomènes d'hybridation produite par ornithochorie effectivement s'impose notamment chez les deux espèces les plus répandues, *J. oxycedrus* et *J. phoenicea*, faisant apparaître de nouvelles formes intermédiaires, rendant ainsi la description des espèces, non aisée.

Enfin, il apparaît que les juniperaies se comportent comme des formations végétales dont les pressions de sélection biotiques et abiotiques constituent des facteurs critiques dans leur variabilité morphologique, ce qui permet d'envisager leur exploitation dans la lutte contre la désertification et la dégradation des sols. Ainsi, il serait intéressant de prendre en compte les nouvelles caractéristiques descriptives enregistrées dans cette étude, afin de renforcer les critères de classification de ces espèces.

Mots-clés. *Juniperus*, morphologie, variabilité, populations, feuilles, galbules, stomates, épiderme, Algérie.

Abstract

In Algeria, species of the genus *Juniperus* L., constitute a huge reservoir of biodiversity because they have a large climatic amplitude ranking from semi-arid to hyper-humid, which gives them a great evolutionary plasticity and a resistance to the environmental conditions in which they evolve.

In order to better characterize species of this genus, listed in Algeria (two with needles: *J. oxycedrus* L. and *J. communis* L. and three with scales: *J. phoenicea* L., *J. thurifera* L. and *J. sabina* L.) and to know their adaptive behaviors towards the environment, the phenotypic variability has been assessed at the intra and inter-population levels, using a descriptive and comparative analysis of the leaves and galbulus of each species. The micro-morphological variation has been addressed by study of the stomata and epidermal surfaces.

The samples have been collected from seventeen natural populations for all of these species. The number of trees chosen randomly is thirty feet per population. On the quantitative and qualitative aspect, the observation by microscopy at different scales (binocular loupe, optical and scanning electron microscope) has been allowed to analyze twenty-four morphological characters for species with needles and twenty-six for those with scales.

The results obtained for the leaves, galbulus and stomata have been the subject of a statistical analysis. For each of these species, the variance analysis showed that the studied populations present a considerable morphological diversity at both intra- and inter-population levels, while the multivariate analysis allowed to separate all the studied populations into distinct groups. This variability can be explained, in part, by the environmental factors (continentality, drought and heat stress) of the different natural populations. A micro-morphological variations have been also observed in the epidermal surfaces, including stomatal variation (density and form), epicuticular wax (aspect and occurrence) and epidermal structure. Otherwise, in the contact zones, the presence of the hybridization phenomena produced by ornithochory is necessary particularly for the two most common species, *J. oxycedrus* and *J. phoenicea*, revealing new intermediate forms, rendering also the description of the species uneasy.

Finally, it appears that juniperaies behave like plant formations whose biotics and abiotics selection pressures are critical factors in their morphological variability, which makes it possible to consider their exploitation in the fight against desertification and soil degradation. Thus, it would be interesting to take into account the new descriptive characteristics recorded in this study, in order to reinforce the classification criteria of these species.

Keywords. *Juniperus*, morphology, variability, populations, leaves, galbulus, stomata, epidermis, Algeria.

ملخص:

تشكل انواع جنس العرعر (لينبوس) في الجزائر مخزونا هائلا للتنوع البيولوجي، نظرا لسعتها المناخية الكبيرة، فهي تتوزع من المناخ شبه الجاف إلى جد الرطب، مما يعطيها مرونة تطورية كبيرة ومقاومة للظروف البيئية التي نشأت فيها.

لذا من أجل وصف أنواع هذا الجنس المدرجة في الجزائر (نوعان إبريان: العرعر الشريبي والعرعر الشائع وثلاثة حرشفية: العرعر الفينيقي، العرعر البخوري والعرعر الأبهل) ومعرفة سلوكياتهم التكيفية تجاه البيئة، تمت دراسة التنوع المورفولوجي على المستويين الداخلي والخارجي للمجموعات السكانية، من خلال تحليل وصفي ومقارن للأوراق والأشجار لكل من هذه الأنواع. أيضا، تم تناول الاختلاف الميكرومورفولوجي عبر دراسة المسامات والأسطح البشروية للأوراق.

ولهذا تم جمع عينات لسبع عشر مجموعة سكانية طبيعية لكل من هذه الأنواع عن طريق اختيار ثلاثين شجرة بطريقة عشوائية من كل مجموعة. بعد ذلك، مكنت الملاحظة المجهرية من الناحية الكمية والنوعية وعلى مستويات مختلفة (المجهر الكبير، الضوئي والإلكتروني الماسح) من تحليل أربعة وعشرين متغيرا مورفولوجيا متعلقة بأنواع العرعر الإبرية وستة وعشرين بالنسبة لأنواعه الحرشفية.

النتائج المتحصل عليها بالنسبة للأوراق، الثمار والمسامات تم تحليلها إحصائيا حيث اظهر تحليل التباين لكل نوع من هذه الأنواع اختلافا مورفولوجيا كبيرا على المستويين الداخلي والخارجي للمجموعات السكانية، في حين سمح التحليل متعدد المتغيرات بفصل جميع هذه المجموعات الى أخرى متميزة. يفسر هذا التنوع من جهة بالعوامل البيئية (القارية، والجفاف والإجهاد الحراري) التي تميز مختلف المجموعات السكانية الطبيعية. كما تمت ملاحظة اختلافات ميكرومورفولوجية في بشرة الأوراق، بما في ذلك من تغير في المسامات (الكثافة والشكل) وفي شمع البشرة (المظهر والتواجد) وكذا في بنية هذه الأخيرة. علاوة على ذلك، وفي مناطق الاتصال، يعتبر وجود ظواهر التهجين التي تنتجها العصافير عاملا حتميا خاصة عند النوعين الأكثر شيوعا، العرعر الشريبي والفينيقي مما كشف عن وجود أشكال وسيطة جديدة تجعل من الصعب وصف هذه الأنواع.

وأخيرا، يبدو أن انواع العرعر تتصرف كتشكيلات نباتية تلعب فيها الضغوط الانتقائية الحيوية وغير الحيوية عوامل حاسمة في اختلافاتها المورفولوجية، مما يسمح باستغلالها في مكافحة التصحر وتدهور التربة. ومن المهم أيضا، ان تؤخذ الخصائص الوصفية الجديدة المسجلة في هذه الدراسة بعين الاعتبار، لتعزيز معايير تصنيف هذه الأنواع.

الكلمات الرئيسية: العرعر، المورفولوجيا، التنوع، المجموعات السكانية، الأوراق، الثمار، المسامات، البشرة، الجزائر.