

Morphological variability (needles, galbulus) among seven populations of the Juniperus oxycedrus L-species-complex in Algeria

Zakaria Hafsi, Safia Belhadj, Arezki Derridj, Jean-Philippe Mevy, Roger Notonier, Alain Tonetto, Thierry Gauquelin

▶ **To cite this version:**

Zakaria Hafsi, Safia Belhadj, Arezki Derridj, Jean-Philippe Mevy, Roger Notonier, et al.. Morphological variability (needles, galbulus) among seven populations of the Juniperus oxycedrus L-species-complex in Algeria. Revue d'Écologie, 2017, 72 (4), pp.353-373. hal-01681554

HAL Id: hal-01681554
https://hal.science/hal-01681554

Submitted on 19 Apr 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

ÉTUDE DE LA VARIABILITÉ MORPHOLOGIQUE (AIGUILLES, GALBULES) DU COMPLEXE SPÉCIFIQUE *JUNIPERUS OXYCEDRUS* L., LE GENÉVRIER OXYCÈDRE, AU SEIN DE SEPT POPULATIONS D'ALGÉRIE

Zakaria HAFSI*[1], Safia BELHADJ[1], Arezki DERRIDJ[2], Jean-Philippe MEVY[3], Roger NOTONNIER[4], Alain TONETTO[4] & Thierry GAUQUELIN[3]

[1] Département d'Agronomie, Faculté S.N.V. Université « Ziane Achour », Djelfa 17000, Algérie. E-mails: hafsi.zakaria@yahoo.fr; belhadjsafia@yahoo.fr

[2] Laboratoire de Biosystématique végétale, Faculté des Sciences Agronomiques et Biologiques. Université de Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou 15000, Algérie. E-mail: aderridj@yahoo.fr

[3] Equipe Diversité et Fonctionnement : des Molécules aux Ecosystèmes. Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Écologie (IMBE) – UMR CNRS 7263/IRD 237. Aix-Marseille Université, Centre Saint-Charles – Marseille, France. E-mails: jean-philippe.mevy@univ-amu.fr; thierry.gauquelin@imbe.fr

[4] Aix-Marseille Université, Centrale Marseille, CNRS, Fédération Sciences Chimiques Marseille (FR 1739)-PRATIM, 13000, Marseille, France. E-mails: alain.tonetto@univ-amu.fr; roger.notonier@univ-amu.fr.

* Auteur pour la correspondance

SUMMARY.— *Morphological variability (needles, galbulus) among seven populations of the* Juniperus oxycedrus *L. species-complex in Algeria*.— The comparative study of plant polymorphism using plant taxonomic characters is underrated in Algeria, especially for species of the genus *Juniperus* L. The present work has been realized in order to look out for the existence of phenotypic variability among seven natural populations of *Juniperus oxycedrus* L. through a descriptive and comparative analysis of the needles, galbulus and stomata. The epidermal surfaces have also been investigated in order to better characterize this species. Twenty-three quantitative and qualitative morphological characters have been studied. The observation and evaluation of macro and micro-morphological characters have been realized with binocular optical and scanning electronic microscopes. The variance analysis showed that the seven studied populations present a considerable morphological diversity at both intra- and inter-population levels for the variables needles, galbulus and stomata, while the multivariate analysis allowed to separate all the studied populations into distinct groups according to their phenotypic characters, highlighting correlations between the morphological variables and the environmental characteristics. Otherwise, micro-morphological variations have been observed for the epidermal surfaces including a variation in the stomatal density, the size of stomata, the occurrence of epicuticular wax and changes in the epidermal structure.

RÉSUMÉ.— L'étude comparative du polymorphisme des végétaux par le biais des caractères taxinomiques d'un végétal est insuffisamment prise en compte en Algérie, surtout pour les espèces du genre *Juniperus* L. Le présent travail a été réalisé afin de rechercher l'existence d'une variabilité phénotypique dans sept populations naturelles de *Juniperus oxycedrus* L. à l'aide d'une analyse descriptive et comparative des aiguilles, des galbules et des stomates. Les surfaces épidermiques ont été également examinées dans le but de mieux caractériser cette essence. Un total de vingt-trois caractères morphologiques, quantitatifs et qualitatifs, a été étudié. L'observation et l'évaluation des caractères macro- et micro-morphologiques ont été réalisées sous loupe binoculaire, au microscope optique et au microscope électronique à balayage. L'analyse de la variance montre que les sept populations étudiées présentent une diversité morphologique considérable aux niveaux intra- et inter-populationnels pour les variables aiguilles, galbules et stomates, tandis que l'analyse multivariée a permis de séparer l'ensemble des populations étudiées en groupes bien distincts selon leurs caractères phénotypiques en mettant en évidence des corrélations entre les variables morphologiques et les caractéristiques environnementales. Par ailleurs, des variations micro-morphologiques ont été observées pour les surfaces épidermiques, incluant une variation dans la densité stomatique, la taille des stomates, l'occurrence de cire épicuticulaire, et des modifications dans la structure de l'épiderme.

La famille des *Cupressaceae* comprend deux sous-familles, les *Cupressoideae* et les *Callitroideae*, se divisant chacune en trois tribus, qui sont essentiellement de l'hémisphère Nord (Haluk & Roussel, 2000). Elle comporte environ trente genres (Farjon, 2001) ; les plus importants sont *Cupressus* L., *Juniperus* L. et *Callitris* Vent. (Schulz *et al.*, 2005).

Le genre *Juniperus* L., de la tribu des *Junipereae* (Koch), sous-famille des *Cupressoideae*, comprend environ 75 espèces (Adams, 2014a). Il représente le genre le plus diversifié de la famille des *Cupressaceae* (Debazac, 1991). Il a la répartition la plus large, par rapport aux autres genres de 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).

Les espèces de ce genre se développent dans des situations écologiques extrêmes et occupent une place non négligeable dans la végétation méditerranéenne. Elles constituent généralement des éléments pionniers jouant un rôle prépondérant dans la dynamique des groupements préforestiers (Quézel & Médail, 2003). Le genre *Juniperus* L. est bien représenté en Algérie (Maire, 1952 ; Quézel & Santa, 1962). On compte cinq espèces de ce genre, parmi lesquelles deux d'entre elles sont très rares (*J. thurifera* L. et *J. sabina* L.), une rare (*J. communis* L.) et les deux dernières, dans un état de dégradation intense, localisées dans les régions semi-arides et arides (*J. oxycedrus* L. et *J. phoenicea* L.). 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.

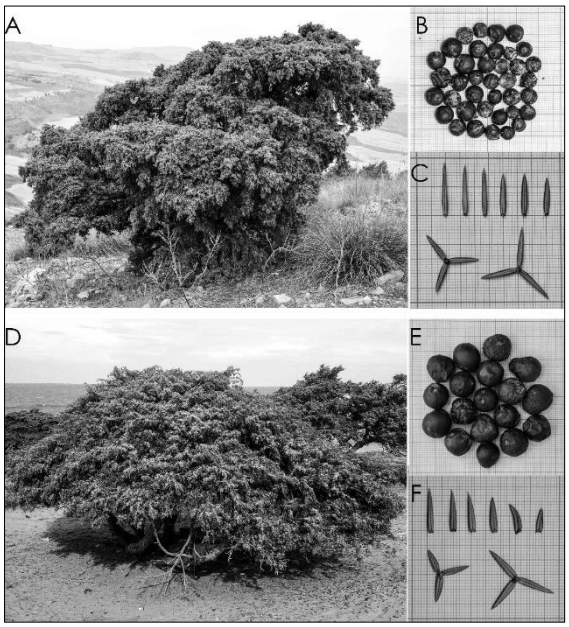


Figure 1.— Photographies montrant l'aspect général de *Juniperus oxycedrus* L. en Algérie. (A-C) subsp. *oxycedrus* dans la station de Chikh Zouaoui : A- allure générale ; B- galbules et C- aiguilles. (D-F) subsp. *macrocarpa* dans la station de Messida : D- allure générale ; E- galbules et F- aiguilles.

Le Genévrier oxycèdre (*J. oxycedrus*) (Fig. 1), sujet de la présente recherche, est appelé Genévrier cade en français ou « *Taga* » en arabe dialectal. C'est une espèce très commune dans le sous-bois et les zones dégradées des régions semi-arides en Algérie. Selon Boudy (1950), Maire (1952) et Quézel & Santa (1962), 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. En outre, ce taxon a un rôle écologique considérable du fait qu'il résiste à la sécheresse (Riou-Nivert, 2001) donc à la dégradation des sols et à la pression anthropique, surtout dans les régions les plus arides. Par ailleurs, il est souvent attaqué par *Arceuthobium oxycedri* (DC.) M. Bieb., une plante

hémiparasite rare de la famille des Santalacées et l'un des principaux parasites obligatoires de plusieurs espèces de la famille des Cupressacées, essentiellement celles du genre *Juniperus* (Ciesla *et al.*, 2004 ; Akkol *et al.*, 2010 ; Gajšek *et al*.,2012).

Du point de vue systématique, cette espèce ne soulève pas, *a priori*, autant d'interrogations que ses congénères (Genévriers commun et nain, Genévrier thurifère, Genévrier de Phénicie) (Lebreton *et al*., 1991). Farjon (2005-2010) et Farjon & Filer (2013) ont subdivisé l'oxycèdre en quatre sous-espèces différentes : 1/ subsp. *macrocarpa* (Sibth. & Sm.) Ball, 2/ subsp. *badia* (H.Gay) Debeaux, 3/ subsp. *transtagana* (Franco) et enfin 4/ subsp. *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 subsp. *macrocarpa* (Sibth. & Sm.) Ball et la subsp. *rufescens* (Link) Asch. & Graebn. Lebreton *et al*. (1998) rapportent que ce dernier taxon dénommé *J. oxycedrus* subsp. *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 1888, 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 (1968), 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.). En Algérie, de nombreuses études ont été effectuées sur l'oxycèdre. 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 *et al.*, 2012), les mono-terpènes et les propriétés anti-oxydantes des aiguilles et des galbules (Fadel *et al.*, 2016). Toutefois, les recherches concernant la micromorphologie des aiguilles des genévriers, ayant trait aux stomates et aux surfaces épidermiques sont inexistantes, à part quelques études à diffusion restreinte, tels que les travaux de Tahanout (2012) sur la variabilité inter-individuelle de la morphologie des aiguilles et de la densité stomatique de *J. oxycedrus* subsp. *rufescens*, d'une seule population du Djurdjura en Grande Kabylie. La variation au niveau des galbules n'a pas été étudiée, malgré l'utilisation de leur morphologie pour séparer les différentes sous-espèces.

L'objectif principal de ce travail est l'étude de la variation phénotypique intra et inter-populations par le biais des caractères morphologiques des aiguilles et des galbules de *J. oxycedrus* d'origine algérienne. L'aspect micro-morphologique a été abordé pour la première fois par l'étude des stomates (taille et densité) et la description des surfaces épidermiques des aiguilles. Cette étude permettra la définition du statut dynamique et morphologique 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. Ce travail permettra aussi de constituer une base de données sur cette espèce (morphotypage) qui pourra contribuer à affiner les caractères pris en considération dans la classification biosystématique 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.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

MATÉRIEL ET SITES D'ÉTUDE

L'étude entreprise porte sur les aiguilles, les galbules ainsi que les stomates de sept populations naturelles algériennes de Genévrier oxycèdre : 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), Gottya (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 et dans les wilayas de

Constantine, Djelfa, M'sila, Sétif (B et Ba) et Khenchela, respectivement. Ces sites d'échantillonnage ont des caractéristiques écologiques différentes (Tab. I, Fig. 2). Les données météorologiques exploitées sont issues des bulletins climatiques mensuels de l'Office National Météorologique (O.N.M.) d'Alger sur une période de 30 ans (1986-2015) pour toutes les stations sauf celles de Khenchela (22 ans). En ce qui concerne l'étagement bioclimatique, nous avons mis en évidence la continentalité thermique des sites d'échantillonnage à travers l'amplitude thermique annuelle moyenne selon Rivas-Martinez (2005a, b) qui est définie comme étant la différence entre les températures moyennes du mois le plus chaud (T max) et celles du mois le plus froid (T min). Cet écart qui augmente avec l'éloignement de la mer (Le Houérou, 2004 ; Mokhtari *et al*., 2013), a une valeur biocritique pour la végétation ligneuse surtout en Algérie (Cote, 1983). Ensuite, nous avons évalué la sécheresse globale de chaque site à travers le quotient pluviothermique d'Emberger modifié par Stewart (1969) qui est spécifique à la région méditerranéenne (Daget, 1977).

TABLEAU I

Caractéristiques écologiques des stations d'échantillonnage

Station	Altitude (m)	Latitude (Lat)	Longitude (Long)	Exposition	M (C°)	m (C°)	P (mm)	Continentalité		Aridité	
								A (= Ic)	Bioclimats	Q3	Bioclimats
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 Zouaou 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
Djebel 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

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 (2005) en degrés Celsius ; *P*, pluviométrie en mm/an ; *Q*3, quotient pluviothermique d'Emberger modifié par Stewart (1969) (Source : O.N.M., Office national de la météorologie d'Alger).

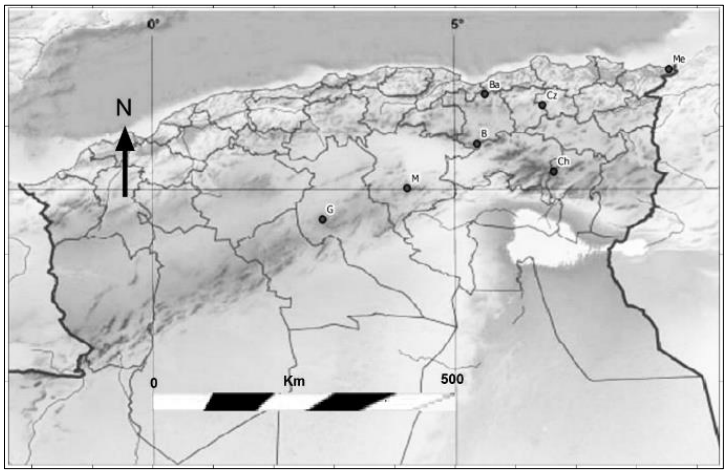


Figure 2.— Localisation des stations algériennes d'échantillonnage : Chikh Zouaoui (Cz) ; Gottya (G) ; Djebel Messaad (M) ; Boutaleb (B) ; Babor (Ba) ; Chélia (Ch) et Messida (Me).

Concernant l'échantillonnage, il a été effectué durant la campagne 2013-2014. Le nombre d'arbustes choisis aléatoirement est de trente pieds par population (un total de 420 arbres). Par la suite trente aiguilles et trente galbules en état de maturité ont été prélevés autour de la couronne de chaque arbre échantillonné (6300 aiguilles et 6300 galbules). Les échantillons sont, ensuite, séchés à l'air libre et conservés au laboratoire jusqu'à leur utilisation. Concernant les stomates, cinq aiguilles par arbuste ont été prélevées sur dix arbustes (parmi ceux déjà échantillonnés pour la première étude) des sept populations (un total de 70 arbres et 350 aiguilles).

MORPHOMÉTRIE

Aiguilles, galbules et stomates

Pour étudier la diversité morphologique de cette espèce, une évaluation de vingt caractères morphologiques (douze quantitatifs et huit qualitatifs), inspirés de plusieurs études (Lebreton *et al.,* 1991 ; Juan *et al.*, 2003 ; Klimko *et al.,* 2004, 2007 ; Brus *et al.,* 2011) a été réalisée pour les aiguilles, les galbules et les stomates (Tab. II). Les caractères mesurés pour les aiguilles et les galbules ont été effectués à l'aide d'un pied à coulisse à l'œil nu et/ou en utilisant un stéréoscope Optika (grossissement 40x). Concernant les stomates, ils ont été évalués par la méthode de l'impression épidermique sous microscope optique (grossissement 400x) relié à un ordinateur à l'aide d'un logiciel d'analyse d'images (Motic Images Plus 2.0). 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 1750 champs et 1750 stomates ont été examinés, chaque champ ayant une surface de 400 mm^2.

TABLEAU II

Caractères morphologiques étudiés pour les aiguilles, les galbules, les stomates et les surfaces épidermiques

Organe	Caractère morphologique
Aiguille	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 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 droit d'une face unique
	Forme de l'apex de l'aiguille (Fap) : 1-Aigu ; 2-Élargi ; 3-Rétréci
	Couleur de l'aiguille (C) : 1-Vert très clair ; 2-Vert clair ; 3-Vert
	Cire : 1-Face supérieure (Cip) ; 2-Face inferieure (Cif) ; (1- Absence ; 2- Présence)
Galbule	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 le galbule (Fci) : 1-Triangle ; 2-Polygones incomplets ; 3-Polygones complets ; 4-Trait unique ; 5-Deux traits sécants
	Couleur du galbule (Cg) : 1-Brun sombre ; 2-Rouge sombre ; 3-Brun rouge sombre ; 4-Brun rouge vif
Stomate	Longueur du stomate en µm (Lns)
	Largeur du stomate en µm (Lrs)
	Rapport (Longueur/ Largeur) du stomate (Rs)
	Densité stomatique (Ds) (stomates/mm^2)
Épiderme	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)

Surface épidermique

Pour l'étude des surfaces épidermiques, des aiguilles ont été examinées au microscope électronique à balayage (FEI/Philips XL-30 Field Emission ESEM) (six aiguilles par population). Trois aiguilles 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. Les échantillons ainsi préparés peuvent être observés à différents grossissements et des photographies numériques ont été prises à différentes échelles. L'agencement des stomates (leur situation par rapport à la surface de l'épiderme supérieur de l'aiguille (S) et leur orientation par rapport à la nervure principale (Os)) et l'occurrence de cire sur les deux faces de l'aiguille (Ci) ont été étudiés (Tab. II).

ANALYSE STATISTIQUE

La normalité des données a été vérifiée à l'aide du test de Kolmogorov Smirnov. Les statistiques élémentaires ont été calculées à l'échelle intra et inter-populations. L'analyse de la variance à un seul facteur a été abordée pour comparer les variables quantitatives et les variables semi-quantitatives exprimées en pourcentage. Une analyse en composantes principales (ACP) a été appliquée pour les variables quantitatives relatives aux aiguilles, aux galbules, aux stomates avec les variables environnementales du tableau I. Par la suite, une classification ascendante hiérarchique (CAH) été réalisée pour visualiser les groupes de populations pour les aiguilles, les galbules et les stomates. En outre, une analyse factorielle des correspondances (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 par l'AFC 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). L'ensemble de ces tests a été effectué à l'aide des programmes STATISTICA 10 et R 3.2.4.

RÉSULTATS

MORPHOMÉTRIE

Aiguilles, galbules et stomates

Pour les aiguilles (Tab. III & IV), 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.

TABLEAU III

Valeurs des caractères quantitatifs mesurées pour les aiguilles, les galbules et les stomates

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

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.

TABLEAU IV

Fréquences (%) pour les caractères qualitatifs des aiguilles et des galbules

Caractères	Variantes		Messida (Me)	Chikh Z, (Cz)	Messaad (M)	Gottya (G)	Boutaleb (B)	Babor (Ba)	Chélia (Ch)	Moyenne Espèce (%)
	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±11,99	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	0
		2-Présence	100	100	100	100	100	100	100	100
	Face inférieure (Cif)	1-Absence	0	0	0	0	0	0	0	0
		2-Présence	100	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±**NS**0,51
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,

Pour les galbules (Tab. III & IV), 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%) dominent.

Pour les stomates (Tab. III), 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 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.

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) 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 3-7). Sur les échantillons de la population du littoral (Me) (Figure 3), des bandes stomatiques plus larges avec une forte densité stomatique (Figure 3A-D) et des dépôts de cires cuticulaires (Fig. 3B, 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 4A & B ; 6B, D & F ; 7D) ou sous forme de couche mince au niveau de l'épiderme (Figs 4C-D ; 6E-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 5A-D ; 6A-C, E-F & 7C) ont été enregistrées. Une augmentation de l'espace inter-stomatique (populations Ba) (Fig. 6D) et des cellules épidermiques (populations Ba et Cz) (6C & E ; 6D & 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. 6A, 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. 6E & F).

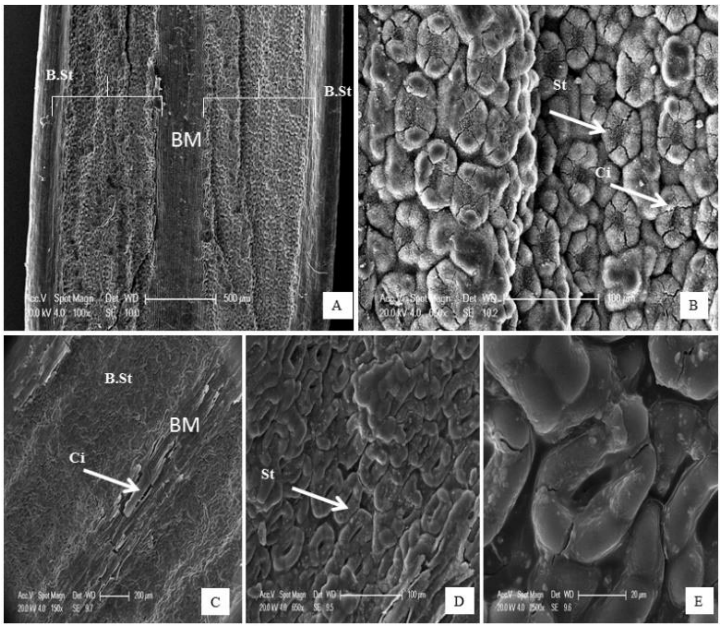


Figure 3.— Micrographies montrant la face adaxiale des feuilles non traitées (A et B) et des feuilles traitées (C-E) de *Juniperus oxycedrus* de la station de Messida (Me) (*sensu* subsp. *macrocarpa*). A et C : Détail montrant de larges bandes stomatiques (B.St) et la bande médiane (BM). B, D et E : détails sur la forme des stomates (St), leur forte densité et les dépôts de cires épicuticulaires (Ci).

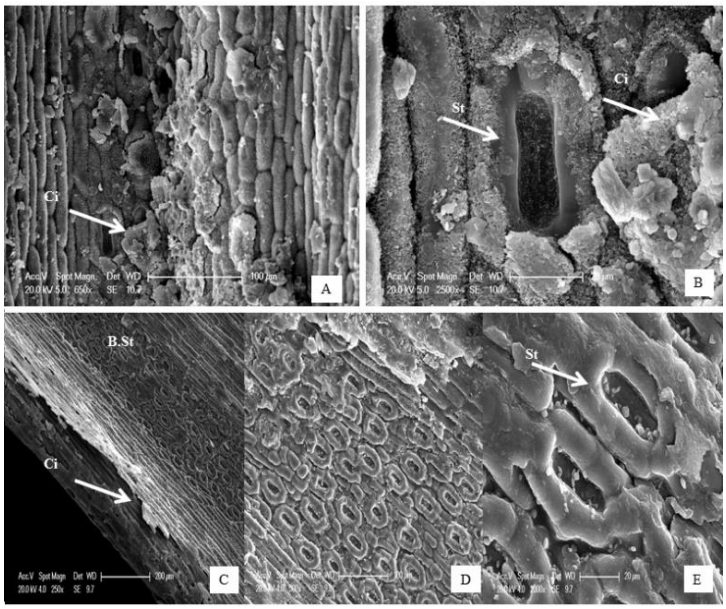


Figure 4.— Micrographies montrant la face adaxiale d'une feuille non traitée (A et B) et d'une feuille traitée (C-E) de *Juniperus oxycedrus* (station Chélia, Ch). Dépôts de cire (Ci) sous forme de particules fines (A, B et E) autour des stomates (A et B) et sous forme de couche (C et D). St: stomates; B.St: Bandes stomatiques.

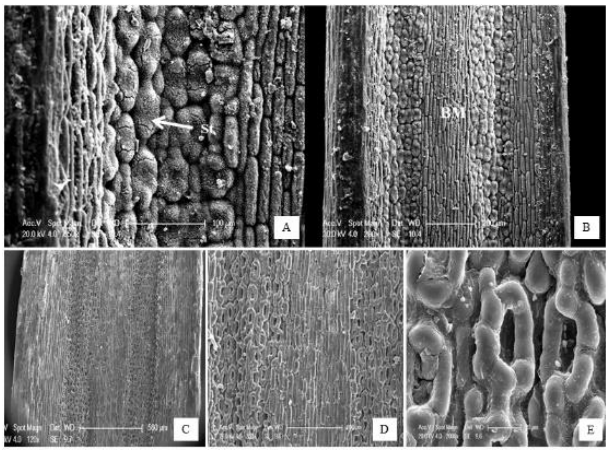


Figure 5.— Micrographies montrant la face adaxiale d'une feuille non traitée (A et B) et d'une feuille traitée (C-E) de *Juniperus oxycedrus* de la station de Djebel Messaad (M), montrant des bandes stomatiques (B.St) étroites et des stomates (St) situés dans un plan inférieur à celui des cellules épidermiques (A-D). Détail de stomates et des dépôts de cire (Ci) (E). BM: Bande médiane de cellules épidermiques.

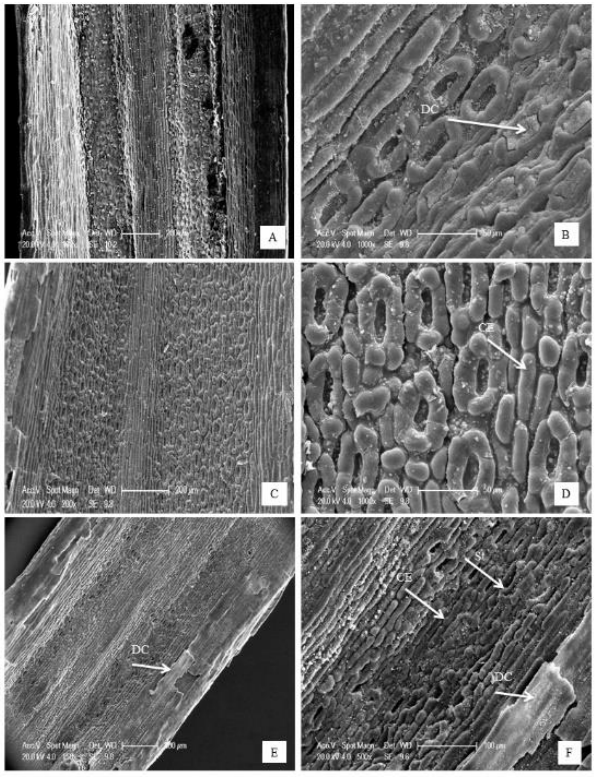


Figure 6.— Micrographies montrant la face adaxiale d'une feuille traitée de *Juniperus oxycedrus.* A et B: station de Boutaleb (B) ; C et D: station de Babor (Ba) ; E et F: station de Chikh Zouaoui (Cz). Stomates situés dans un plan inférieur à celui de l'épiderme (A, B,C,E et F) ; dépôts de cire (DC) 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).

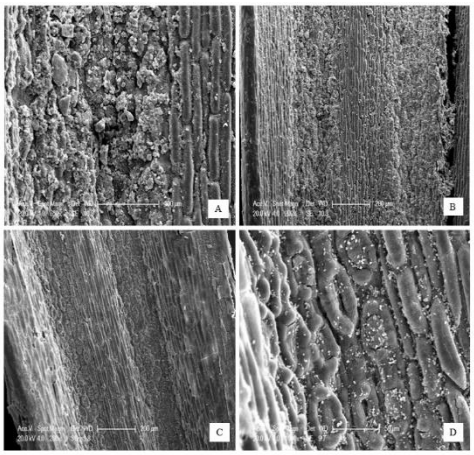


Figure 7.— Micrographies montrant la face adaxiale d'une feuille non traitée (A et B) et d'une feuille traitée (C et D) de *Juniperus oxycedrus* de la station de Gottya (G). Dépôts de cires (DC) au niveau des bandes stomatiques sous forme de cristaux couvrant toute la surface des stomates (A et B) et de particules fines sous forme de poussière (D). Bandes stomatiques au-dessous du niveau de l'épiderme (C).

ANALYSE STATISTIQUE

L'analyse de la variance pour les variables quantitatives concernant les aiguilles, les galbules et les stomates a révélé une différence hautement significative entre les arbres de chaque station (variabilité intra-population) et entre les stations (variabilité inter-populations) pour les variables quantitatives étudiées, hormis pour la variable « Longueur du stomate (Lns)», où le test s'est révélé non significatif pour la population G (Tab. III). De même, une différence hautement significative a été enregistrée via ce test (ANOVA) 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 (Tab. IV).

À l'issue de l'analyse en composantes principales (ACP) pour les 12 variables quantitatives (Fig. 8), 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. 8A1), les galbules (Fig. 8B1) et les stomates (Fig. 8C1) montre que toutes les 12 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)» qui ont enregistré une très faible corrélation. Alors que 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. Puis, les variables stomatiques, la largeur du stomate (Lrs) et le rapport (Rs) sont reliés à la continentalité (Ic) et de même pour la densité stomatique.

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. 8A2), les galbules (Fig. 8B2) et les stomates (Fig. 8C2) selon leurs bioclimats et qu'on peut visualiser sur les trois cartes factorielles. 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. 8B2) et les stomates (Fig. 8C2).

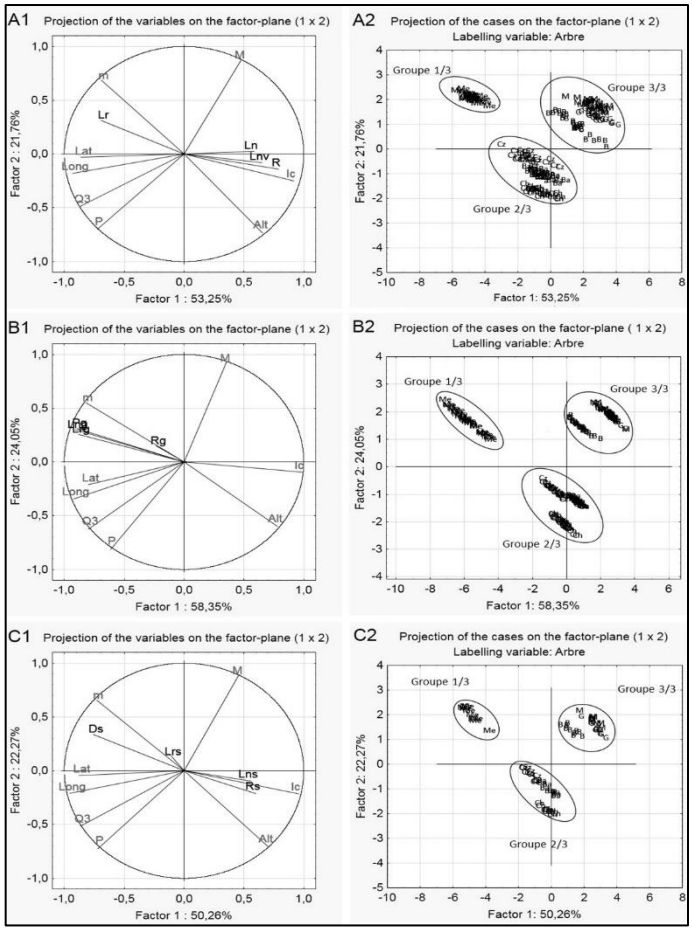


Figure 8.— Cercles de corrélation des variables morphologiques quantitatives et environnementales (A1, A2 et A3) avec les diagrammes de dispersion des 210 arbres (B1, B2 et B3) pour l'analyse en composantes principales concernant les aiguilles, les galbules et les stomates de *Juniperus oxycedrus.*

Concernant la classification hiérarchique ascendante (CHA), les dendrogrammes obtenus par la méthode de Ward montrent que les sept populations se répartissent en quatre groupes principaux pour les aiguilles (Fig. 9A) et les galbules (Fig. 9B) et en cinq groupes pour les stomates (Fig. 9C). L'analyse factorielle des correspondances (AFC) pour l'ensemble des 210 arbres des sept populations étudiées et pour toutes les variables mesurées totalise sur le plan factoriel (1x2) une inertie de 72,68 % (Fig. 10A) et 87,43 % (Fig. 10C) 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. 10C). À l'issue de cette analyse, les trois diagrammes de dispersion (Fig. 10) 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. 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.

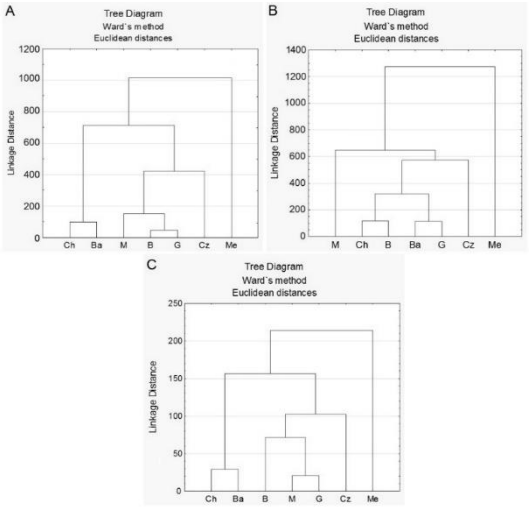


Figure 9.— Dendrogrammes de la classification hiérarchique ascendante appliquée à l'ensemble des sept populations concernant les aiguilles (A), les galbules (B) et les stomates (C).

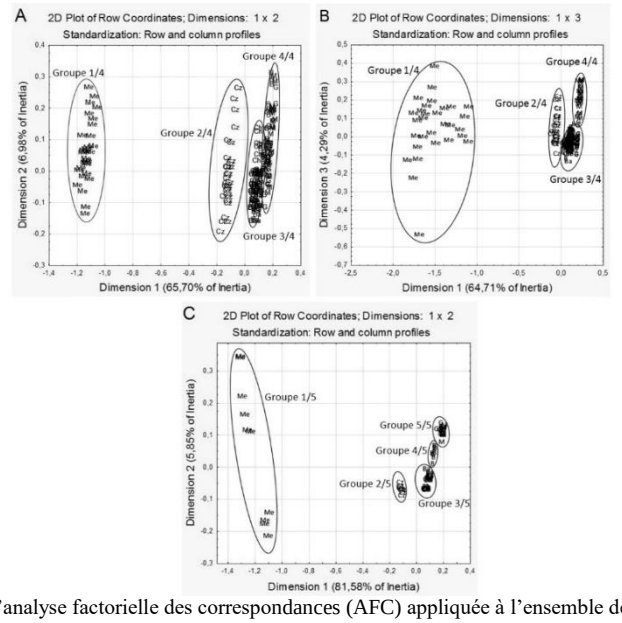


Figure 10.— Cartes de l'analyse factorielle des correspondances (AFC) appliquée à l'ensemble des 210 arbres concernant les aiguilles (A), les galbules (B) et les stomates (C) de *Juniperus oxycedrus.*

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 Ic 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 Ic 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. 8A & 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°C) forment un premier ensemble, alors que les autres stations (Ch, Ba, B et G) les plus froides (m < 0°C) forment un second ensemble. Pour les stomates (Fig. 8C), 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).

TABLEAU V

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 *et al*, (1991) (France)	-	-	-	12,9	0,65	-	-
	Lebreton *et al* (1998) (Grèce)	-	-	-	12,8	0,86		-
	Juan *et al*, (2003) (Espagne)	-	-	-	15,23 (-16,37)	1,36 (-1,94)	-	-
	Klimko *et al*, (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 *et al*, (1991) (France)	-	-	-	8,8	0,285	-	-
	Lebreton *et al*, (1998) (Turquie)	-	-	-	7,9	0,195	-	-
	Lebreton *et al*, (1998) (Chypre)	-	-	-	-	0,165	-	-
	Adams *et al*, (2005) (Ouest méditerranéen : Maroc, Portugal, Espagne et France)	14,4 (-15,0)	1,3 (-1,27)	-	-	-	-	-
	Farjon (2005)	6-25	1,1-2	-	6-13	-	-	Orange, brun rougeâtre plus ou moins glauque
	Klimko *et al*, (2007) (Ukraine, Grèce, Bosnie, Croatie, Espagne, France et Maroc)	13,84	1,55	9,05	9,01	-	-	-
	Yaltirik *et al*, (2007) var, *spilinanus* (Turquie)	6-10	1-1,5	-	-	-	Globulaire	Brun rougeâtre
	Avci *et al*, (2008)	12	-	-	8,6	-	-	Brun
	Brus *et al*, (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 (*sensu* subsp, *macrocarpa)*	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) (*sensu* subsp, *rufescens*)	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		

DISCUSSION

Dans cette section nous allons expliquer la variabilité morphologique du complexe spécifique *Juniperus oxycedrus* L. 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 un tableau récapitulatif et comparatif, de nos résultats, avec la littérature pour *Juniperus oxycedrus* (Tab. V), en intégrant 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). 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*.

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 sur les plans factoriels des AFC (Fig. 8). Selon Rivas-Martinez (2005b), l'écart thermique (Ic = Tmax - Tmin) 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. 8). 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. 8A) et les galbules (Fig. 9A) du fait de la concordance entre les stations Me, Cz et M qui se localisent dans des régions à hiver avec m > 0° C et celles (Ch, Ba, B et G) qui se situent dans des zones à hiver avec m < 0° 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. 8) 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).

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) (Ballaré *et al*., 1987 ; Baranoski *et al.*, 2004 ; Bousquet, 2007 ; Smith *et al.*, 2010). 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 (G, B et M), 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.

PRESSIONS D'ORDRE BIOTIQUE (BIODISSÉMINATION PAR ORNITHOCHORIE)

Les analyses multivariées (Figs 8 & 10), 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 (Tab. I) 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'introgression des diverses populations.

Comme les baies des espèces du genre *Juniperus* L. 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 fruitières 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 ; Treca & 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 le *Juniperus phoenicea* subsp. *turbinata* (Guss.) Arcang., selon la couleur, le volume et le nombre de graines.

COMPARAISON DES DONNÉES RECUEILLIES POUR L'ESPÈCE DANS LA LITTÉRATURE

Les résultats obtenus pour les aiguilles et les galbules de *Juniperus oxycedrus* L. dans la littérature, renseignés dans le tableau V, montrent que les valeurs obtenues dans la population de Messida (Me) sont proches de celles enregistrées pour la subsp. *macrocarpa* tandis que les valeurs obtenues pour le reste des population sont semblables à celles de la subsp. *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 subsp. *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 subsp. *oxycedrus* par Adams *et al.* (2005) dans l'ouest méditerranéen ainsi que les travaux de Yaltirik *et al.* (2007) et Avci *et al.* (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 subsp. *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 *et al.*, 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 macarocarpa*), 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 évalués ou 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 du *Juniperus oxycèdre* L.

Nos résultats, concordant ainsi avec ceux rapportés par la littérature (Tab. V), mettent en valeur une variabilité des deux sous-espèces du complexe spécifique *Juniperus oxycedrus* L. 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 subsp. *macrocarpa*, tantôt ressemble morphologiquement au taxon décrit par nos soins, tantôt se rapproche du deuxième taxon, la subsp. *rufescens*, mettant en question la signification du complexe spécifique *Juniperus oxycedrus* L. en tant que taxons intraspécifiques en Algérie.

CONCLUSION

Les résultats obtenus lors de cette étude révèlent un polymorphisme intra et inter-populationnel important au niveau des organes étudiés en confirmant l'existence de deux sous-espèces de *Juniperus oxycedrus* L. généralement bien distinctes. Les sept populations étudiées se distinguent en différents groupes selon leurs bioclimats. Les facteurs environnementaux, essentiellement le gradient continental et le stress thermique hivernal, relatifs à l'effet modérateur de l'altitude, influent sur la variation phénotypique de l'espèce *J. oxycedrus*. L'analyse des données montre également, pour certaines populations limitrophes, la présence d'un morphoprocessus résultant des phénomènes d'hybridation produite par ornithochorie.

Cette étude a aussi permis d'inclure de nouvelles caractéristiques descriptives pour *J. oxycedrus* telles que la forme de la cicatrice blanchâtre pour les galbules, la forme de la base et l'apex des

aiguilles, et la densité stomatique. La population de Messida (subsp. *macrocarpa*) présente des galbules plus grands, de couleur brun-rouge sombre ; les aiguilles sont plus larges et présentent une forte densité stomatique sur la face supérieure. Ces caractéristiques rarement prises en considération peuvent servir à renforcer les critères de classification biosystématique et interspécifique. En plus, cette grande variation phénotypique chez les différentes populations met en évidence la résistance et l'adaptation de l'espèce (*J. oxycedrus*) aux différentes contraintes environnementales, ce qui permet d'envisager son exploitation dans la lutte contre la désertification et la dégradation des sols dans les régions les plus arides. En effet, la répartition de cette espèce, depuis les dunes littorales jusqu'aux limites sahariennes, pourrait traduire une plasticité évolutive liée à l'adaptation aux conditions environnementales locales.

En perspective, il serait intéressant d'élargir ce travail en incluant d'autres stations forestières, particulièrement celles du littoral ouest-algérien et celles des stations les plus arides (versant méridional de l'Aurès). Une étude complémentaire, portant sur le dosage des pigments des aiguilles ainsi que des galbules, est également souhaitable afin d'apporter des éléments de réponse concernant la variation de ce caractère.

De très belles junipéraies 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.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient les services des forêts (les subdivisions et les conservations des forêts) des différentes régions où ils ont mené leur expérimentation, pour leur aide et orientation (transport, accès au terrain) durant la période d'échantillonnage. Ils tiennent également à exprimer leur gratitude à tous les relecteurs anonymes qui ont contribué à améliorer le contenu du présent article.

RÉFÉRENCES

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. (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., MORRIS, J.A, PANDEY, R.N. & SCHWARZBACH, A.E. (2005).— Cryptic speciation between *Juniperus deltoides* and *J. oxycedrus (Cupressaceae*) in the Mediterranean. *Biochem. Syst. Ecol.*, 33: 771-787.

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 écophysiologiques*. Thèse de doctorat en sciences biologiques. Université de Tizi Ouzou.

AKKOL, E.K., ORHAN, I., KARTAL, M & YEŞILADA, E. (2010).— Bioactivity guided evaluation of anti-inflammatory and antinociceptive activities of *A rceuthobium oxycedri* (D.C.) M. Bieb. J. *Ethnopharmacol*., 128: 79-84.

ALYAFI, J. (1978).— New characters differentiating *Pistacia atlantica* subspecies. *Conservatoire et Jardin Botaniques de Genève. Candollea*, 33: 201-206.

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.

AVCI, M. & ZIELIŃSKI, J. (2008).— *Juniperus oxycedrus* f. *yaltirikiana* (Cupressaceae): A new form from NW Turkey. *Phytol. Balcanica*, 14: 37-40.

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.

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.

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 Magister, Université de Constantine.

BOUDY, P. (1950).— *Guide du forestier en Afrique du Nord*. Tome IV, Paris.

BOUSQUET, L. (2007).— *Mesure et modélisation des propriétés optiques spectrales et directionnelles des feuilles.* Thèse de doctorat de 3ème 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.

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.

CASSIN, P. (1999).— *Analyse des données et des panels des données*. Ed. De Boeck. Paris, Bruxelles.

CHAVES, M.M., MAROCO, J.P. & PEREIRA, J.S. (2003).— Understanding plant responses to drought from genes to the whole plant. *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.

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.

COTE, M. (1983).— *L'espace algérien, les prémices d'un aménagement.* Ed. OPU, Alger.

DAGET, P. (1977).— Le bioclimat méditerranéen, caractères généraux, méthodes de classification. *Végétation*, 34: 1-20.

DEBAZAC, E.F. (1991).— *Manuel des conifères*. 2e éd., ENGREF**,** Nancy.

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).— CO_2 fixation and chlorophyll a fluorescence in leaves of *Ramonda serbica* during a dehydration-rehydration cycle. *J. Plant Physiol*., 165: 723-733.

DOB, T., DAHMANE, D. & CHELGHOUM, C. (2008).— Essential oil composition of *Juniperus oxycedrus* growing in Algeria. *Pharmaceut. Biol*., 44: 1-6.

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.

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. 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.

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.

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.

GAJŠEK, D., JARNI, K. & BRUS, R. (2012).— Infection patterns and hosts of *Arceuthobium oxycedri* (DC.) M. Bieb. in Slovenia. *For. Path*., 43:185-192.

GATTI, F. (1970).— Il riconoscimento di alcune provenienze di *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco en base alle caratteristiche anatomiche degli aghi. *Ann. Inst. Sper. Silvicolt.* (1): 327-341.

GRANT, V. (1980).— Gene flow and the homogeneity of species populations. *Biol. Zbl.*, 99: 157-169.

Gaussen, H., 1968.— *Les Gymnospermes actuelles et fossiles, Fasc. X : les Cupressacées*. Faculté des Sciences, Toulouse.

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.

HERRERA, C.M. (1982).— Seasonal variation in the quality of fruits and diffuse coevolution between plants and avian dispersers. *Ecology*, 63: 773-785.

HUSEYNOVA, I.M., SULEYMANOV, S.Y. & ALYEV, J.A. (2007).— Structural-functional state of thylakoid membranes of weat genotypes under water stress. *Biochim. Biophys. Acta*, 1767: 869-875.

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.

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.

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.

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.

LAALA, A., RACHED-KANOUNI, M. & ALATOU, D. (2013).— Les variations thermiques saisonnières et leurs impacts sur le comportement écophysiologique des semis de pin d'Alep. Eur. Sci. J., 9 (24): 143-153.

LEBRETON, P., BAYET, C. & MURACCIOLE, M. (1991).— Le statut systématique du genévrier oxycèdre *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.

LE HOUÉROU, H.N. (2004).— An agro-bioclimatic classification of arid and semi-arid lands in the isoclimatic Mediterranean zones. *Arid Land Res. Manage*., 18: 301-346.

LESINS, K.A. & LESINS, I. (1979).— *Genus* Medicago *(*Leguminosae*): A taxogenetic study*. Junk W. ed., The Hague, Boston & London.

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.

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.

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.

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.

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.

QUÉZEL, P. & MÉDAIL, F. (2003).— *Écologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen.* Editions scientifiques et médicales, Elsevier SAS.

QUÉZEL, P. & SANTA, S. (1962).— *Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales*. Tome 1. Éd. CNRS, Paris.

RIVAS-MARTINEZ, S., (2005a).— *Avances en Geobotánica*. Discurso apertura curso 2005. Real Acad. Farmacia. Madrid.

RIVAS-MARTINEZ, S. (2005b).— Mapa de series, geoseries y geopermaseries de vegetación de España. *Memoria del mapa de vegetación potencial de España*. Partie I. Pp : 10-12. [online] Available: http://www.globalbioclimatics.org.

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.

SCHULZ, C., KNOPF, P. & STÜTZEL, T. (2005).— Identification key to the Cypress family (*Cupressaceae*). *Feddes Repert.*, 116: 96-146.

SCHUPP, E.W. (1993).— Quantity, quality and the effectiveness of seed dispersal by animals. *Vegetatio*, 107/108: 15-29.

SMITH, H. (2000).— Phytochromes and light signal perception by plants – an emerging synthesis. *Nature*, 407 : 585-591.

STEWART, P. (1969).— Quotient pluviothermique et dégradation biosphérique. *Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord*, 59: 23-36.

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.

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.

YALTIRIK, F., ELIÇIN, G. & TERZIOGLU, S. (2007).— *Juniperus oxycedrus* L. subsp. *oxycedrus* var. *spilinanus* Yalt., Eliçin & Terzioglu: A new variety from Turkey. *Turk. J. Bot.*, 31: 37-40.

WHITTAKER R.J. & FERNÁNDEZ-PALACIOS, J.M., (2007).— *Island biogeography. Ecology, evolution and conservation.* Oxford University Press Inc., New York.