# ecologia mediterranea

Vol. 39 (1) – 2013

Revue internationale d'écologie méditerranéenne

*International Journal of Mediterranean Ecology*


## Actes du IVe Colloque international sur le

# Genévrier thurifère

5-8 octobre 2011

Mont-Dauphin et Saint-Crépin

(Hautes-Alpes, France)


Editors: Pr Thierry Gauquelin and Pr Thierry Dutoit



Institut méditerranéen de biodiversité et écologie (IMBE)

*Mediterranean Institute of Biodiversity and Ecology*

Naturalia Publications

*ecologia mediterranea*

Éditeur en chef : Pr Thierry Dutoit

UMR CNRS IRD IMBE
Université d'Avignon, IUT
Site Agroparc, BP 1207
84911 Avignon cedex 09
France

**Comité éditorial**

Dr **James Aronson,** CNRS, Montpellier, France.
Dr **Alex Baumel,** Université Aix-Marseille, France.
Dr **Élise Buisson,** Université Avignon, France.
Dr **Marc Cheylan,** EPHESS, Montpellier, France.
Dr **Cécile Claret,** Université Aix-Marseille, France.
Pr **Thierry Dutoit,** Université Avignon, France.
Dr **Bruno Fady,** INRA, Avignon, France.
Pr **Thierry Gauquelin,** Université Aix-Marseille, France.
Dr **Raphaël Gros,** Université Aix-Marseille, France.
Dr **Frédéric Guiter,** Université Aix-Marseille, France.
Dr **Sandrine Jauffret,** Narges, Marseille, France.
Dr **Ioannis Vogiatzakis,** Open University of Cyprus, Chypre
Pr **Serge Kreiter,** Université Montpellier, France.
Dr **Audrey Marco,** École nationale supérieure du paysage, Marseille, France.
Pr **N.S. Margaris,** University of Mytilène, Grèce.
Pr **Frédéric Médail,** Université Aix-Marseille, France.
Pr **François Mesléard,** Université Avignon – Tour du Valat, France.
Dr **Jérôme Orgeas,** Université Aix-Marseille, France.
Dr **Philippe Ponel,** CNRS, Aix-Marseille, France.
Dr **Roger Prodon,** EPHE, Montpellier, France.
Dr **Isabelle Schwob,** Université Aix-Marseille, France.
Dr **Brigitte Talon,** Université Aix-Marseille, France.
Dr **Éric Vidal,** Université Aix-Marseille, France.

**ISSN 0153-8756**

http://ecologia-mediterranea.univ-avignon.fr

# Instructions aux auteurs

***ecologia mediterranea*** publie des travaux de recherche originaux et des mises au point sur des sujets se rapportant à l'écologie fondamentale ou appliquée des régions méditerranéennes, à l'exception des milieux marins. La revue exclut les articles purement descriptifs ou de systématique. ***ecologia mediterranea*** privilégie les domaines scientifiques suivants : bioclimatologie, biogéographie, écologie des communautés, biologie de la conservation, écologie de la restauration, biologie des populations, écologie génétique, écologie du paysage, écologie microbienne, écologie végétale et animale, écophysiologie, paléoclimatologie, paléoécologie. La revue accepte également la publication d'actes de colloques, d'articles de synthèse, de notes méthodologiques, de comptes rendus d'ouvrages, des résumés de thèses, ainsi que des commentaires sur les articles récemment parus dans ***ecologia mediterranea*.**

Les manuscrits sont soumis à des lecteurs spécialistes du sujet ou aux éditeurs. La décision finale d'accepter ou de refuser un article relève des éditeurs. L'article proposé doit être envoyé en version électronique à thierry.dutoit@univ-avignon.fr (version doc ou rtf). Une fois leur article accepté, les auteurs devront tenir compte des remarques des lecteurs, puis ils renverront leur texte corrigé sous un mois toujours sous format électronique (doc ou rtf). Passé ce délai, la seconde version sera considérée comme une nouvelle proposition. Les illustrations originales seront jointes à l'envoi. Les épreuves corrigées doivent être retournées au secrétariat de la revue sans délai. Les livres et monographies devant être analysés seront envoyés à l'éditeur en chef.

## Texte

Les articles (dactylographiés en double interligne, en format A4) doivent être rédigés de préférence en français ou en anglais. Si l'article soumis n'est pas rédigé en anglais, il est demandé (en plus des résumés) une version anglaise abrégée ainsi qu'une traduction en anglais des titres des figures et tableaux. L'article doit être complet : titres français et anglais, auteur(s) et adresse(s), résumés en français et anglais (au minimum), version anglaise abrégée (si le texte n'est pas en anglais), mots clés, texte, puis remerciements, bibliographie, figures et tableaux. Le texte des articles originaux de recherche devrait normalement comporter quatre parties : introduction, méthodes, résultats, discussion. En ce qui concerne la saisie du texte, il est simplement demandé aux auteurs de distinguer clairement les titres des différents paragraphes. Les titres ne seront pas numérotés. Pour numéroter les sous-titres, éviter les lettres. Attention, l'emploi de mots soulignés est à proscrire. Les noms d'auteurs cités figureront en minuscules dans le texte comme dans la bibliographie. En français, n'utilisez les majuscules que pour les noms propres, sauf exception justifiée. Les ponctuations doubles ( : ; ? ! ) sont précédées d'un espace, contrairement aux ponctuations simples ( , . ). En revanche, toutes les ponctuations sont suivies d'un espace. La mise en forme définitive du texte sera assurée par la revue.

## Auteurs

L'adresse de chaque auteur sera indiquée avec l'adresse courriel de l'auteur pour la correspondance. Dans le cas où la publication est le fait de plusieurs auteurs, il doit être précisé lors du premier envoi la personne à qui doit être retourné l'article après lecture.

## Résumés, mots clés et version abrégée

Les résumés doivent comporter 300 mots au maximum et la version anglaise abrégée 1 000 mots (environ une page). Le nombre de mots clés est limité à six, dans la langue des résumés ; ils ne doivent généralement pas figurer dans le titre.

## Bibliographie

La bibliographie regroupera toutes les références citées et elles seules. Les références seront rangées dans l'ordre alphabétique des auteurs et de façon chronologique. Les abréviations internationales des titres des revues doivent être utilisées (sauf en cas de doute). Vérifier attentivement le manuscrit pour s'assurer que toutes les références citées dans le texte apparaissent bien en bibliographie et inversement.

### Article

Andow D.A., Karieva P., Levin S.A. & Okubo A., 1990. Spread of invading organisms. *J. Ecol*. 4: 177-188.

### Ouvrage

Harper J.L., 1977. *Population biology of plants*. London, Academic Press, 300 p.

### Chapitre d'ouvrage

May R.M., 1989. Levels of organisation in ecology. *In*: Cherret J.M. (ed.), *Ecological concepts*. Oxford, Blackwell Scientific Public: 339-363.

### Actes de conférence

Grootaert P., 1984. Biodiversity in insects, speciation and behaviour in Diptera. *In*: Hoffmann M. & Van der Veken P. (eds), *Proceedings of the symposium on "Biodiversity: study, exploration, conservation"*. Ghent, 18 November 1992: 121-141.

## Citations et renvois appelés dans le texte

Les mots « figures » et « tableaux » annoncés dans le texte sont écrits en toutes lettres et en minuscules. Indiquer le nom d'auteur et l'année de publication (mais indiquer tous les auteurs dans la bibliographie). Exemples : « Since Dupont (1962) has shown that… », or "This is in agreement with previous results (Durand *et al*. 1990 ; Dupond & Dupont 1997)…". Le numéro de page de la citation n'est mentionné que dans le cas où elle est entre guillemets. Si la publication est écrite par plus de deux auteurs, le nom du premier doit être suivi par *et al.*

## Abréviations, nomenclature et mots latins

L'usage d'une abréviation technique doit être précédée de sa signification lors de sa première apparition. Les codes de nomenclature doivent être respectés selon les conventions internationales. Les mots latins doivent être mis en italiques (*et al., a priori,* etc.), et en particulier les noms de plantes ou d'animaux. Lors de la première apparition du nom d'une espèce, il est demandé d'y faire figurer le nom d'auteur (exemple : *Olea europaea* L.).

## Figures et tableaux

Les figures et tableaux (précédés des légendes correspondantes sur une feuille séparée) doivent être remis séparément du texte, prêts à l'impression, sans nécessiter de réduction (donc au maximum : format 16 × 22 cm ou 8 × 22 cm). Tous les documents devant être insérés dans le texte doivent être annoncés, numérotés dans l'ordre croissant et légendés. Les tableaux informatisés ne doivent pas comporter de signes ( : ou | ) pour marquer les colonnes.

## Fichier électronique

Les auteurs reçoivent gracieusement un fascicule de la revue où leur article est paru ainsi qu'une version électronique de leur article pour diffusion.

**ABONNEMENT**
**(contact : ecologia@naturalia-publications.com)**

**1 an = 2 numéros**

| | Abonnement | Frais de port | Total |
|---|---|---|---|
| **France** | **60 €** | **6 €** | **66 €** |
| **Europe** | **60 €** | **12 €** | **72 €** |
| **Monde** | **60 €** | **16 €** | **76 €** |

Abonnement à adresser à :

**SARL Transfaire**
**Immeuble Wanad**
**F-04250 TURRIERS**

| Code banque | Code guichet | numéro de compte | clé RIB |
|---|---|---|---|
| 19106 | 00839 | 13995626000 | 62 |

Domiciliation : CA SISTERON

IBAN : FR76 1910 6008 3913 9956 2600 062
BIC : AGRIFRPP891

# ecologia mediterranea

Revue internationale d'écologie méditerranéenne
*International Journal of Mediterranean Ecology*

Vol. 39 (1) – 2013

Sommaire/*Contents*

Éditorial – *Editorial*
Pr T. Gauquelin (éditeur invité) ..... 5

**Articles originaux – *Original articles***

Le Genévrier thurifère, vieil arbre compagnon de l'homme en Méditerranée occidentale
*The incense juniper, an old and very useful tree for man in western Mediterranean area*
L. Villar ..... 7

Le Genévrier thurifère (*Juniperus thurifera* L.) dans les Aurès, Algérie : considérations générales, cartographie, écologie et groupements végétaux
*Thuriferous Juniper (*Juniperus thurifera *L.) in the Aurès area, Algeria: general considerations, cartography, ecology and plants communities*
Y. Beghami, M. Kalla, E. Vela, M. Thinon, H. Benmessaoud ..... 17

Le Genévrier thurifère (*Juniperus thurifera* L.) dans les Préalpes françaises : étude de l'écologie et de la structure des peuplements
*The Incense juniper (*Juniperus thurifera *L.) in the French pre-Alps: study of the ecology and populations structure*
B. Coussy, L. Garraud, M. Godron ..... 31

Sur les peuplements de Genévrier thurifère (*Juniperus thurifera* L.) en Haut Pallars (Pyrénées centrales, Catalogne). Présentation géobotanique et écologique
*Sobre las comunidades de sabina albar (*Juniperus thurifera *L.) en el Alto Pallars (Pirineo Central catalán). Presentación geobotánica y ecológica*
P. Aymerich, L. Villar ..... 41

Contribution à la connaissance écologique du Genévrier thurifère, comparé aux autres espèces du genre *Juniperus* dans le sud-est de la France continentale
*Contribution to ecological knowledge of Incense juniper in comparison with other species of* Juniperus *in southeast continental France*
P. Lebreton, L. Garraud, J.-M. Genis ..... 55

Gestion et conservation des thuriféraies au Maroc :
cas du Parc national du Toubkal

*Management and conservation of thuriferous stand in Morocco: Toubkal National park case*

A. Ouhammou, M. Hafidi, L. Zarik, S. Khoulassa, A. Boumezzough, R. Duponnois ..... 61

Typification de *Juniperus thurifera* var. *africana* Maire,
délimitation taxonomique et conséquences nomenclaturales
sur le Genévrier thurifère d'Algérie

*Typification of* Juniperus thurifera *var.* africana *Maire, taxonomical delimitation and nomenclatural consequences for the Spanish juniper from Algeria*

E. Vela, P. A. Schäfer ..... 69

Quel avenir pour la thuriféraie pyrénéenne de la montagne de Rié
(Marignac, France), après l'incendie de 2003 ?
Suivi de la structure et de la dynamique de la population

*What future for the thuriferous juniper stand affected by a wild fire in 2003 on the Rié Mountain (Marignac, France)? Monitoring plant population and vegetation*

J. Cambecèdes, P. Samhat, D. Fallour-Rubio, F. Candy, T. Gauquelin ..... 81

Elimination of cone and seed pests by wildfire opened a five-year regeneration window in a non-regenerating incense-juniper (*Juniperus thurifera* L.) stand

*L'élimination des ravageurs des cônes et graines par un incendie accidentel a ouvert une fenêtre de régénération de cinq ans dans un peuplement de* Juniperus thurifera *L. présentant des difficultés de régénération naturelle*

A. Roques, J. Cambecèdes, D. Fallour-Rubio,
J.-P. Raimbault, Ph. Lorme, M.-A. Auger-Rozenberg ..... 89

Rôles potentiels de la symbiose mycorhizienne
dans la conservation des populations méditerranéennes
de Genévrier thurifère (*Juniperus thurifera* L.)

*Mycorrhizal symbiosis potentialities to improve the management performances of* Juniperus thurifera *L. populations in Mediterranean areas*

H. Sanguin, S. Khoulissa, L. Zarik, H. Gryta, A. Boumezzough,
L. Ouahmane, M. Hafidi, A. Ouhammou, Y. Prin, B. Dreyfus,
J. Cambecèdes, L. Miché, T. Gauquelin, R. Duponnois ..... 99

Effect of age and planting site on survival and growth of seedlings
of *Juniperus thurifera* L.

*Effet de l'âge et du site de plantation dans la survie et la croissance des plants de* Juniperus thurifera *L.*

L. F. Benito-Matías, N. Herrero Sierra, J. L. Nicolás, J. L. Peñuelas Rubira..... 109

Essais de régénération artificielle du Genévrier thurifère
(*Juniperus thurifera* L.)

*Trials of artificial regeneration of Incense juniper (*Juniperus thurifera L.*)*

A. Ferradous, M. Alifriqui, M. Hafidi, R. Duponnois ..... 115

Acariens et insectes ravageurs de deux cupressacées menacées au Maroc : le Genévrier thurifère et le cyprès de l'Atlas

*Mites and insect pests of two cupressaceae threatened in Morocco: thuriferous juniper and Atlas cypress*

M. A. El Alaoui El Fels, A. Yart, A. Roques, Y. Arjouni, S. El Mercht, M. A. Rozenberg, A. Romane ..... 123

Bryoflore épiphyte des Genévriers thurifères dans les Alpes françaises

*Epiphytic bryophyte flora of Incense juniper in the French Alps*

T. Legland, L. Garraud, V. Hugonnot ..... 129

Toponimia relacionada con sabinas y enebros (Gén. *Juniperus*) en la España peninsular. Primera aproximación

*Première approche à la toponymie basée sur les genévriers (Gen.* Juniperus*) en Espagne péninsulaire*

L. Villar, M. Sanz ..... 137

Plasticité phénotypique de l'expression sexuelle de *Juniperus phoenicea* L. dans les gorges de l'Ardèche (France)

*Phenotypic plasticity of gender expression of* Juniperus phoenicea *L. in the "Gorges de l'Ardèche" (France)*

J.-P. Mandin ..... 155

Ecological characterization of the *Juniperus excelsa* stands in Lebanon

*Caractérisation écologique des peuplements de* Juniperus excelsa *au Liban*

B. Douaihy, G. Restoux, N. Machon, M. Bou Dagher-Kharrat ..... 169

Distribution area of *Juniperus oxycedrus* L. in Central Spain (Madrid)

*Distribution de* Juniperus oxycedrus *L. dans la région de Madrid (Espagne)*

F. Allende Álvarez, P. De las Heras Puñal, P. Fernández-Sañudo, N. López Estébanez, M. J. Roldán Martín ..... 181

Phytodiversity of the remnants of Canarian endemic juniper woodlands on El Hierro, Canary Islands

*La phytodiversité dans les rémanents de la forêt endémique de genévrier d'El Hierro, îles Canaries*

A. Romo, M. Salvà-Catarineu ..... 191

Contribution à l'amélioration de la germination chez une endémique forestière du Maroc, le cyprès de l'Atlas

*Contribution to the improvement of germination among a forest endemic of Morocco, the Atlas cypress*

Y. Arjouni, M. A. El Alaoui El Fels, S. El Mercht, A. Abou Sy, F. El Wahidi, A. Romane, A. Roques, A. Yart ..... 201

Contribution à l'étude de la production en pépinière de jeunes plants chez une espèce forestière endémique du Haut Atlas (*Cupressus atlantica* Gaussen)

*Contribution to the production normalization of high quality seedlings of endemic forest specie in the High Atlas (*Cupressus atlantica *Gaussen)*

F. El Wahidi, M. A. El Alaoui El Fels ..... 209

Revue indexée dans Pascal-CNRS et Biosis.

*Journal indexed in PASCAL-CBRS and Biosis*

*http://ecologia-mediterranea.univ-avignon.fr/*

**Remerciements – *Acknowledgments***

Le comité éditorial de la revue remercie les collègues qui ont participé à ce numéro pour leurs conseils, corrections et avis.

*The editorial committee thanks the colleagues who have participated in this volume for their advices, corrections and opinions.*

Dr Swanni ALVARADO, Université d'Avignon, France
Pr Wadi BADRI, Université Hassan II, Casablanca, Maroc
Dr Christine BALLINI, Université Aix-Marseille, Marseille, France
Dr Alex BAUMEL, Université Aix-Marseille, Marseille, France
Pr Gilles BONIN, Université Aix-Marseille, Marseille, France
Dr Anne BOUSQUET-MÉLOU, Université Aix-Marseille, Marseille, France
Dr Jocelyne CAMBECEDES, CBNP, Bagnères-de-Bigorre, France
M. Pascal CHONDROYANNIS, CBNA, Gap, France
Dr Robin DUPONNOIS, IRD, Montpellier, France
Dr Bruno FADY, INRA, Avignon, France
Pr Catherine FERNANDEZ, Université Aix-Marseille, Marseille, France
Dr François FROMARD, CNRS-Ecolab, Toulouse, France
M. Luc GARRAUD, CBNA, Gap, France
Dr Didier GENIN, IRD-LPED, Marseille, France
Dr Charles GERS, CNRS-Ecolab, Toulouse, France
Dr Jean-Pierre HEBRARD, CNRS-IMBE, Marseille, France
Pr Guy JALUT, Université Paul Sabatier, Toulouse, France
Dr Isabelle LAFFONT-SCHWOB, Université d'Aix-Marseille, Marseille, France
Dr François LEFÈVRE, INRA, Avignon, France
M. Jean-Paul MANDIN, Société botanique de l'Ardèche, Chassiers, France
Dr Damien MARAGE, AgroParisTech-ENGREF, Nancy, France
Dr Audrey MARCO, École nationale supérieure du paysage, Marseille, France
Dr Vicente MAZIMPAKA, Université autonome de Madrid, Madrid, Espagne
Dr Jean-Philippe MEVY, Université Aix-Marseille, Marseille, France
Dr Nicolas MONTÈS, Université Aix-Marseille, Marseille, France
Dr Elena ORMENO, CNRS-IMBE, Marseille, France
Dr Philippe PONEL, CNRS-IMBE, Marseille, France
Dr Bernard PRÉVOSTO, IRSTEA, Aix-en-Provence, France
Dr Roger PRODON, EPHE-CEFE, Montpellier, France
Dr Éric RIGOLOT, INRA, Avignon, France
Dr Sévastianos ROUSSOS, IRD-IMBE, Marseille, France
Dr Jean-Marie SAVOIE, École d'ingénieurs de Purpan, Toulouse, France
Dr Brigitte TALON, Université Aix-Marseille, Marseille, France
Dr Régine VERLAQUE, CNRS-IMBE, Marseille, France
Dr Bruno VILA, Université Aix-Marseille, Marseille, France
Dr Luis VILLAR, IPE-CSIC, Jaca, Espagne

© ecologia mediterranea

Fabrication : Transfaire, 04250 Turriers

Imprimé en Europe

# Éditorial – *Editorial*

Pr Thierry GAUQUELIN
Éditeur invité
*Guest Editor*

*ecologia mediterranea*, dont nous tenons chaleureusement à remercier son éditeur en chef, Thierry Dutoit, a accepté d'héberger, dans un numéro spécial, les actes du IVe colloque international consacré au Genévrier thurifère, qui s'est déroulé du 5 au 8 octobre 2011 à Saint-Crépin et Mont-Dauphin, dans les Hautes-Alpes.

Quatre-vingt-cinq chercheurs, venus des deux rives de la Méditerranée et du reste de l'Europe (Liban, Maroc, Algérie, Tunisie, Espagne, Suisse, Pologne) se sont retrouvés pour la quatrième fois autour de recherches menées sur le Genévrier thurifère.

Quatre thématiques principales : biogéographie, systématique, germination et physiologie, usages et gestion, ont été abordées.

Ce colloque a montré que le Genévrier thurifère est réellement une espèce partagée au sud et au nord de la Méditerranée… et presque à l'est. La participation des collègues marocains, algériens, libanais, espagnols a également confirmé le caractère circum-méditerranéen de cette espèce et les questions qu'elle pose aussi bien en termes de recherche fondamentale que de gestion et de préservation. Il a aussi permis une approche pluridisciplinaire, des sciences humaines et sociales aux sciences biologiques. Si souvent prônée aujourd'hui, cette multidisciplinarité a été effective à Mont-Dauphin et Saint-Crépin et constitue donc un exemple réussi dans une perspective d'approche en écologie globale. Ce colloque a notamment été le lieu de confrontations entre des préoccupations de gestion sylvicole, pastorale, patrimoniale par les collectivités locales, les gestionnaires forestiers dont l'ONF, et des préoccupations de recherche plus fondamentales. Il a montré combien les uns et les autres sont demandeurs de ces échanges en temps réel, permettant une réactivité très forte. C'est pour toutes les raisons évoquées ci-dessus qu'aucune autre revue ne semblait alors mieux appropriée qu'*ecologia mediterranea* pour publier les résultats de ces travaux.

Nous sommes sûrs ainsi que toutes ces données relevant de l'écologie fondamentale, des sciences forestières, de la conservation et des sciences humaines et sociales trouveront, rassemblées dans ce présent volume spécial, une accessibilité facilitée et une large diffusion.

La publication de ces actes est aussi l'occasion de remercier une nouvelle fois les organisateurs de ce colloque : la communauté de communes du Guillestrois, la mairie de Saint-Crépin, la mairie de Mont-Dauphin, l'ONF, l'IMEP (aujourd'hui IMBE), le Conservatoire botanique national alpin et AgroParisTech, de même que les partenaires financiers : l'Union européenne, l'État, la région PACA, le conseil général des Hautes-Alpes et la communauté de communes du Guillestrois, l'IRD et l'Université de Provence.

# Le Genévrier thurifère, vieil arbre compagnon de l'homme en Méditerranée occidentale

## *The incense juniper, an old and very useful tree for man in western Mediterranean area*

Luis VILLAR

Instituto Pirenaico de Ecología, IPE-CSIC. Apdo. 64. E-22700 Jaca (Huesca)

E-mail : lvillar@ipe.csic.es

**Résumé**

*Du fait de son caractère héliophile,* Juniperus thurifera *L. a pu, dans la Méditerranée occidentale, s'implanter dans les milieux ouverts libérés par les changements climatiques tertiaires et quaternaires. Située dans des territoires surtout calcaires à climat continental, entre 200 et 3 150 m d'altitude, son aire de répartition est fragmentée (Afrique du Nord, péninsule Ibérique, Pyrénées, Alpes du Sud-Est et Corse) et on a qualifié les communautés qu'il individualise de communautés relictuelles.*

*Ayant « vécu » les incendies accidentels, l'action des herbivores sauvages, des parasites ou symbiontes divers, le « genévrier en arbre » était « préadapté » à l'intervention de l'homme. Résistant à l'élagage et à l'action directe des troupeaux, il a apporté en effet un repère, un abri, des terrains pour la chasse, l'énergie pour se chauffer, des produits pour se guérir, du bois d'œuvre imputrescible, des outils, des pâturages et terres, des plantes mellifères, etc. Ainsi maîtrisé, il a forgé un paysage agro-sylvo-pastoral qui s'est maintenu pendant des siècles, basé soit sur l'autarcie soit sur la transhumance.*

*Jusqu'aux années 1960, les peuplements de Genévrier thurifère ont régressé, voire ont été décimés, mais, en Espagne, au cours des dernières cinquante années, notre arbre récupère et se densifie… D'abord la déprise rurale et les services forestiers, puis les scientifiques, finalement les politiques de conservation ont contribué à la protection des thuriféraies, surtout en Europe…*

*Même si notre connaissance sur la biologie ou l'écologie de l'espèce s'est bien enrichie, seront présentées ici quelques données et réflexions sur les lacunes autour du Genévrier thurifère.*

**Mots clés :** communautés de *Juniperus thurifera*, dynamique face à l'homme, lacunes de connaissance.

**Abstract**

*Being a heliophilous species,* Juniperus thurifera *L. profited and colonized the open environment coming from the Tertiary and Quaternay climatic changes. Widespread over continental territories, mainly on limestone, between 200 and 3150 m a.s.l., it shows a fragmented area (N-Africa, Iberian Peninsula, Pyrénées, SE Alpes and Corsica). Biogeographically, it's also defining 'relictic' communities.*

*Suffering along the times accidental fires, wild herbivours pressure, parasitic and symbiotic plant and animal, this tree was "pre-adapted" to the human exploitation. Resistant to prune – in many cases a pollard tree – and to the action of herds, it constituted a toponymical reference, harbor, a hunting area, offered firewood and timber very resistant to the open air, medicinal products, pasture and cultivated lands, plants for bees, etc. Along centuries, the result was an agro-silvo-pastoral landscape which supported an autarchic or transhumant system. Moreover, old cultural regulations assured their stability.*

*Nevertheless, until the 60's of the XXth century, the* J. thurifera *populations were more or less intensively cleared or destroyed. Fortunately enough, after this moment, these forests began to recover and increased their density, especially in Spain. First because of the rural abandonment, after because of the forest services interventions and finally due to the scientific and conservation policies we can contemplate a general protection of these special tree communities, mainly in Europe.*

*It's true that along the last times many works on its biology and ecology were carried out and published, but in this speech I would like to present some data and reflections on the gaps of knowledge around the incense juniper.*

**Keywords:** *Juniperus thurifera* communities, dynamics and ecology against human action, gaps of knowledge.

## Introduction

Le Genévrier thurifère, *Juniperus thurifera* L. (Cupressaceae), est un arbre endémique de quelques pays riverains de la Méditerranée : Algérie, Maroc, Espagne, France (Corse comprise) et Italie. Mais cette essence extraordinaire est avant tout une gymnosperme. Cela signifie qu'elle appartient à un des embranchements taxonomiques les plus anciens du globe, apparu au Paléozoïque, précisément au Dévonien, il y a 300 millions d'années. Néanmoins, son épanouissement évolutif s'est produit au cours du Mésozoïque, principalement au Jurassique, il y a 150 millions d'années, période où 10 000 espèces environ de gymnospermes se sont différenciées. Cette importante diversité a été plus tard affectée par les événements géologiques et changements climatiques divers jusqu'au point de perdre 90 % de ses effectifs. Il ne reste plus aujourd'hui que 1 000 espèces vivantes de gymnospermes (Ruiz de la Torre 2006) et c'est à juste titre que le professeur Gaussen (1968) parlait dans ses ouvrages monographiques des « gymnospermes actuelles et fossiles ». Encore plus surprenant, aujourd'hui nous pouvons ajouter à ces deux sous-groupes celui des « fossiles vivants », l'un des derniers, découvert en 1994 aux antipodes, étant le *Wollemia nobilis*, Araucariacée des Blue Mountains, près de Sydney (Australie) (Woodford 1997).

Le genre *Juniperus* quant à lui semble être issu d'une souche tropicale, puisqu'il inclut des espèces habitant les îles de la Caraïbe et les Canaries, voire l'Afrique subsaharienne. Plus tard, au cours de son évolution, ce genre 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). Ainsi, la partie occidentale du bassin, surtout la péninsule Ibérique et les îles Canaries, a été considérée comme un haut lieu de biodiversité, sans doute le plus riche de l'Europe concernant la flore (Davis *et al.* 1994). Les données présentées au tableau 1 viennent illustrer le nombre total approximatif de plantes vasculaires des pays concernés et les espèces endémiques correspondantes.

C'est précisément dans ce cadre biogéographique très spécial que se situe l'aire de répartition morcelée de ce « Genévrier en arbre » dont on a qualifié de reliques non seulement l'espèce mais aussi les communautés qu'il individualise. Héliophile comme ses frères, il 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, 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 telles que le manque d'eau temporaire du sol, la sécheresse atmosphérique ou encore les écarts thermiques diurnes et saisonniers prononcés. C'est surtout dans les moyennes ou hautes montagnes que l'on trouve ses formations s'étalant entre 250 et 3 150 m d'altitude.

## Les traces anciennes des *Juniperus*... et de l'homme dans la péninsule Ibérique

D'après les études paléoécologiques synthétisées par Carrión *et al.* (2010), le genre *Juniperus* en Espagne est enregistré depuis le Pléistocène moyen, soit entre 2,6-0,8 millions d'années BP. Ainsi, par exemple, au gisement d'Atapuerca (Burgos, Castille, à 900 m d'altitude) ont été identifiés des pollens de Cupressacées déposés il y a 256 000 ans. Et

**Tableau 1 – Plantes vasculaires en Méditerranée occidentale, nombre total, et endémiques. Chiffres approximatifs (d'après Médail et Quézel, 1999).**

| Pays | Nombre total d'espèces | Nombre d'espèces endémiques |
|---|---|---|
| Algérie | 3 150 | 320 |
| Maroc | 4 200 | 900 |
| Portugal | 2 600 | 114 |
| Espagne (Péninsule, Baléares, Canaries) | 8 000-9 000 | 1 300-1 500 |
| France | 5 000-6 000 | 900 |
| Italie | 5 600 | 730 |

c'est justement là que l'on a découvert, au Pléistocène inférieur, le restes de l'*Homo antecessor*, peut-être le plus ancien hominidé d'Europe (Bermúdez de Castro *et al.* 1997). Même si la similarité de leurs grains de pollen ne permet pas de séparer les différentes espèces de *Juniperus*, il est à remarquer que très probablement les premières populations de nos ancêtres méditerranéens ont pu contempler diverses formations de conifères parmi lesquelles celle à genévriers.

À une date plus proche et un peu plus à l'est, en Aragon méridional, García-Prieto (2011) vient de montrer qu'il y a 120 000 ans – au début de l'interglaciaire Riss Würm –, autour de la Laguna del Cañizar (près de Villarquemado, Teruel, à 1 000 m d'altitude), le pollen de *Juniperus* était fréquent, accompagné d'*Artemisia* et d'un peu de *Pinus*, cet assemblage caractérisant une ambiance que l'on peut qualifier de steppe froide. Plus tard, au Tardiglaciaire, principalement entre 12 000 et 10 000 ans BP, la température s'adoucit et les précipitations augmentent parallèlement ; on s'éloigne alors des conditions de la steppe et cela facilite l'arrivée d'autres essences et arbustes plus thermophiles, ponctuellement ou sous une forme envahissante. Ensuite l'Holocène, notre période actuelle « douce et relativement stable », s'est installé et a laissé derrière les glaciations pléistocènes (García Antón *et al.* 2002).

Par ailleurs, une grande faune de mammifères s'est développée au Pléistocène avec une coïncidence plus ou moins longue avec les peuplements de *Juniperus*. Il s'agissait d'équidés, mammouths et mastodontes, bisons, rhinocéros, ours des cavernes, loups, tigres, etc. Mais la plupart de ces espèces se sont éteintes du fait principalement des changements climatiques. Seuls quelques chevaux sauvages appelés « encebros » ont persisté dans le sud-est de la péninsule depuis 30 000 ans jusqu'à la période historique (fin XVI^e^-début XVII^e^ siècle) ainsi que les peintures rupestres ou la toponymie en témoignent. Parfois, les gisements les plus riches en restes de grands mammifères se trouvent au centre de l'aire de répartition des genévriers – spécialement *J. thurifera* – à Torralba et Ambrona, province de Soria. Sans doute cette coévolution avec les grands herbivores a pu forcer notre Cupressacée à réaffirmer sa résistante à l'élagage, une fois qu'elle avait déjà acquis la condition de plante fourragère. Rappelons que ses rameaux sont broutés par les herbivores notamment en plein hiver en l'absence d'autres espèces plus digestibles et qu'aujourd'hui ce sont surtout les chèvres qui mangent les extrémités des rameaux les plus tendres.

Certains auteurs ont ainsi émis une très intéressante hypothèse en considérant que la première « ouverture » des junipéraies aurait été produite par ces herbivores le long de leurs déplacements à la recherche d'herbe et d'eau ou tout simplement des terrains moins froids (Montserrat & Villar 1972).

Étant d'autre part un arbre pluricentenaire à croissance très lente, on peut comprendre comment des plantes épiphytes comme les mousses et les lichens s'y installent, comment certains oiseaux symbiotes mangent ses galbules et contribuent à sa dissémination et comment il doit résister à l'attaque des insectes parasites ou de divers prédateurs (Roques *et al.* 1984). C'est le cas d'une petite mouche, le Diptère *Etsuhoa thuriferae* M. Skuhravá (Blasco-Zumeta 2000) décrite en 1995 et connue seulement sur le Genévrier en arbre. Elle est pour le moment endémique de l'Espagne et sa piqûre provoque sur les rameaux les plus jeunes une galle bien connue des bergers car particulièrement consommée par les chèvres et les moutons. « On dirait qu'ils cherchent les *cucos* (larves) » déclarait un berger de Monterde, à Teruel (Monesma 2010).

Ces considérations autour de l'histoire de notre arbre montrent qu'il a pu à la fois surmonter un climat assez extrême ou oscillant, parfois ponctué d'incendies accidentels, et à la fois résister à l'action des divers animaux, grands et petits, en établissant des relations symbiotiques avec eux. D'une part, les caractéristiques fixées par la sélection naturelle, puis les modifications induites en partie par les grands mammifères auraient « préadapté » notre Genévrier à l'intervention de l'homme et de ses herbivores. En effet, au moins dans la péninsule Ibérique, l'expansion néolithique de l'homme il y a des milliers d'années semble avoir suivi les « écosystèmes du thurifère » depuis le Nord (Burgos) jusqu'à l'Est en Valence-Murcie (Fernández Casas, comm. orale). Au début ces impacts auraient été lents ou modérés, plus tard massifs voire destructifs.

## De la steppe arborée au paysage sylvatique, sylvo-pastoral et agro-sylvo-pastoral

D'abord chasseurs-cueilleurs, les premiers groupes humains ont réussi à se déplacer à partir de refuges multiples s'affranchissant ainsi des changements climatiques et de végétation (péri-, inter- ou postglaciaires). Plus concrètement, tout laisse à penser qu'ils suivaient les animaux qu'ils chassaient çà et là dans les steppes arborées à genévriers et pins ou dans certaines forêts dont celles à Genévrier thurifère des montagnes moyennes. Aux alentours des reposoirs commencèrent à se développer des clairières herbeuses, de même qu'au niveau de terrains affectés par les incendies d'abord naturels puis provoqués.

L'agriculture venue de l'Est (6 000-9 000 ans BP) a permis le sédentarisme et a conduit à la division des terroirs en deux parties, celle des bas-fonds ou versants pas trop raides que l'on labourait et celle plus haute, à climat plus froid, non labourée. Dans la première (appelée *campo*), non loin des habitations, la pression humaine était constante avec l'action des équidés, ovins et chèvres, l'extraction de bois, la recherche d'un abri sous le vent, ou d'une ombre. Dans la seconde (appelée *páramo*), l'usage était plus extensif par un système d'élevage transhumant. Pour beaucoup de villages haut ibériques, notamment au Duché de Medinaceli (Soria) à la fin du Moyen Âge, réussir à obtenir la propriété de la junipéraie était indispensable pour accéder à l'indépendance de la noblesse. La forêt restait alors communale et son exploitation très réglementée, tant elle contribuait à la survie du groupe humain et de ses troupeaux, dans un système que l'on peut retrouver encore dans les Atlas marocains (Ouhammou 1986). Par contre à Albarracín (Teruel) un groupe de villages partageait des ressources communes (appelées *Montes Universales*) tout en gardant des ressources privatives pour chacun. C'est encore le cas du « Sabinar de Monterde », récemment déclaré Sic, qui couvre 14 400 ha appartenant aux communes de Cella, Gea, Monterde et Torres.

Dans les cas les plus équilibrés, on arrivait à un pâturage parsemé d'arbres appelé *dehesa* avec très peu d'arbustes. Au contraire, dans les matorrals secondaires riches en romarin on produisait du miel et les abeilles profitaient aussi des fleurs de sainfoin cultivé sur les meilleures terres.

Progressivement, depuis l'époque romaine à nos jours, le paysage agro-sylvo-pastoral actuel s'est mis en place dans le système ibérique. C'est sans doute ainsi que Pline d'abord et l'Écluse plus tard (1576) l'ont rencontré non loin de Segovia (au centre de l'Espagne), avec des Genévriers thurifères gigantesques encore bien conservés, par exemple à Hornuez. Il faut dire que la distinction entre cette espèce et le Genévrier de Phénicie n'était pas encore claire à ce moment-là pour les auteurs. Deux siècles plus tard, Linné (1753) décrivait les deux espèces et Asso (1784) les caractérisait sur la base de leur usage populaire : « Thuriferam pecus depascitur hyberno tempore, phoeniceam non item », c'est-à-dire : le Thurifère est mangé par le bétail en hiver, et non le Genévrier de Phénicie. Dans ce système mixte, les paysans ont pratiqué un élagage très varié de même que, dans certains endroits, une exploitation forestière occasionnelle.

En résumé, en Espagne pendant des siècles et jusqu'aux années 1980, vingt ans après la mécanisation agraire, les effectifs du Genévrier thurifère ont subi une réduction importante, la mise en culture des terres pierreuses ou de parcours ayant ainsi conduit au passage des formations continues à des structures forestières en mosaïque ou même en lambeaux.

## La situation actuelle : abandon de terres labourées et récupération

Au cours de la seconde moitié du XXe siècle, l'industrialisation de notre pays a été concomitante de l'abandon rural et de la prédominance progressive de la vie urbaine. Les terres marginales peu productives ou à sols pierreux n'étaient déjà plus labourées et de moins en moins pâturées. Ainsi, il y a plus de cinquante ans, un processus de récupération a démarré spontanément pour *Juniperus thurifera*. En effet, notre arbre compagne faisant preuve d'une grande rusticité s'est densifié partout, que ce soit sous forme de peuplements purs ou en mélange avec diverses espèces de chênes et de pins, en fonction de la nature du terrain ou de l'altitude. Le Genévrier thurifère a été capable de reconquérir non seulement

les anciennes terres de parcours mais aussi les champs abandonnés. Seuls les incendies naturels ou provoqués ont retardé voire stoppé cette expansion, en favorisant l'installation d'autres espèces à croissance plus rapide telles que les pins (*Pinus nigra* subsp. *salzmannii*, *P. halepensis*, etc.) ou les chênes.

Mais heureusement à cette époque-là, autour des années 1980, les services forestiers puis ceux de l'environnement, se basant sur les études scientifiques, se sont attachés à conserver les thuriféraies, tout en considérant leur caractère relique et endémique, surtout après l'intégration de l'Espagne à l'Union européenne le 1er janvier 1986. De plus, les nouvelles lois et les facilités permettant de délimiter des espaces protégés ou d'établir des listes rouges, que ce soit à l'échelle régionale, nationale ou européenne, ont permis de mieux cerner le rôle écologique et l'intérêt patrimonial de ces formations. Ainsi, par exemple, l'arbre est protégé en Aragon, Castille-La Manche, Madrid ou Murcie et presque toutes les junipéraies constituent des habitats d'interêt communautaire (HIC) dans le cadre du réseau Natura 2000, ce qui implique d'ailleurs une cartographie des habitats et une gestion conservatoire. En Espagne, la carte forestière et les inventaires forestiers nationaux terminés au début du XXIe siècle évoquent une surface à plus de 75 000 ha, mais ce chiffre est sous-estimé. Pour Oria de Rueda (2002), le domaine des thuriféraies se rapprocherait des 125 000 ha, étant donné que la seule province de Soria compte 35 000 ha de ces formations, celle de Burgos 24 000 ha et l'ensemble des trois provinces d'Aragon 40 000 ha (Escudero & Franchés 2004). À titre illustratif, le tableau 2 donne les surfaces estimées pour les différents pays de son aire de répartition.

**Tableau 2 – Extension approximative des formations à *Juniperus thurifera* L. (chiffres approximatifs).**

| Pays | ha |
|---|---|
| Algérie | ? |
| Maroc | 31 000 |
| Espagne (Péninsule) | plus de 125 000 |
| France Alpes | 63 000 |
| France Pyrénées | 56 + 659 |
| France Corse | 1 000 |
| Italie (Alpes) | 1 500 |

## Connaissances et méconnaissances autour du Genévrier thurifère

Des études, des thèses d'État ou projets de recherche, une série de colloques dédiés spécifiquement à cet arbre, ainsi que plusieurs centaines de communications publiées sur des sujets les plus divers constituent une base solide de connaissances concernant le Genévrier thurifère.

Ainsi, nos connaissances sur le développement et la reproduction de cette essence ou sur ses communautés ont bien progressé, mais elles restent partielles. Dans l'avenir, d'un point de vue pluridisciplinaire, il convient d'approfondir le volet écophysiologique, de manière notamment à mieux comprendre la réponse de ce Genévrier au changement climatique actuel. D'autres aspects méritent aussi d'être encore précisés.

D'abord la taxonomie : 260 ans après la description de *J. thurifera*, sa variabilité intraspécifique ne semble pas définitivement acquise. En effet, une nouvelle sous-espèce *orocantabrica* Rivas-Mart., T. E. Díaz & Penas [*cf. Itinera Geobotanica* 18(2) : 487 (2011)], vient d'être décrite pour distinguer les populations du nord de l'Espagne. Aussi Vela & Gauquelin nous proposent de séparer une partie des populations nord-africaines sous le nom de var. *aurasiaca*. Également, il y a cinq ans, l'hybride entre *J. thurifera* et *J. phoenicea* L. a été découvert à l'est de l'Espagne et décrit sous le nom de *J.* × *palancianus* par J. M. Aparicio et P. M. Uribe-Echebarría [*cf. Toll Negre* 8 : 6 (2006)]. Enfin, puisqu'un autre hybride possible de la sect. *Sabina* a vu la lumière récemment [*J. phoenicea* subsp. *phoenicea* × *J. sabina* L. : *J.* × *herragudensis* J. M. Aparicio & P. M. Uribe-Echebarría, *cf. Mainhardt* 60: 84 (2008)], l'hybride entre notre arbre et *J. sabina* est sans doute à rechercher soit dans la partie orientale de l'Espagne soit peut-être dans les Alpes. Pendant la visite de terrain à la junipéraie de Saint-Crépin, quelques exemplaires observés par L. Garraud pourraient correspondre à cet hybride…

En ce qui concerne la chorologie, quelques découvertes notables ces dernières années méritent notre attention. Trois nouvelles provinces de l'Espagne où *Juniperus thurifera* a été recensé sont à ajouter, Avila (Oria de Rueda 2002), La Rioja (Arizaleta *et al.* 2008)

et Lleida (Aymerich 2007). Cette dernière est la plus remarquable puisque la première dans les Pyrénées espagnoles et la plus inattendue, s'agissant de la Catalogne, territoire bien étudié. Sans doute la moindre pression humaine a permis à ces arbres d'atteindre leur âge adulte et de fructifier permettant ainsi de les distinguer du Genévrier de Phénicie au côté duquel ils étaient passés inaperçus (Aymerich & Villar 2013). De nouvelles localités sont aussi venues compléter, dans les provinces de Navarra et Huesca, quelques points de son aire dans la dépression de l'Èbre. Parfois, il s'agit de pieds isolés ou de petits groupes, dernier témoin d'anciens peuplements périphériques, mais très fragiles face aux incendies pastoraux.

Il est vrai que d'un point de vue biogéographique ces nouvelles localités sont précieuses, mais encore faudra-t-il connaître la genèse de l'espèce ainsi que ses voies de migration, ses expansions ou rétractions afin de mieux comprendre son aire de répartition discontinue. Des nouvelles méthodes à appliquer comme l'Adn du pollen, la présence et la filiation de parasites exclusifs, etc. pourront dresser les liens entre les différentes populations des Alpes, des Pyrénées centrales et des monts Cantabriques, ce qui n'est pas facile pour le moment (Aymerich & Villar 2013). Cependant, sur la base des données chorologiques et biogéographiques et en observant la dynamique actuelle de nombreux groupements, on peut suggérer la possible existence çà et là de refuges dans des stations rocheuses à partir desquelles le Genévrier aurait gagné du terrain, colonisant d'abord les sols pierreux puis d'autres plus profonds.

Une meilleure connaissance des sols des thuriféraies serait la bienvenue. On sait que la même forêt peut s'étendre sur des terrains acides et basiques mais que, dans le centre de son aire ibérique, 94 % des populations se développent sur un substrat calcaire voire gypseux (Alonso & Sánchez 2006). Ces auteurs signalent en plus comment quelques formations ont colonisé certains paléosols qui se sont formés sous un climat plus sec et plus froid que l'actuel. D'autre part, en Espagne, comme ailleurs, la faune et plus généralement la biodiversité de ces sols est mal connue et peut sans doute réserver des surprises, par exemple des Collemboles ibéro-nord-africains nouveaux ou encore des vers de terre très rares.

D'un point de vue bioclimatique, il est à noter que l'espèce s'épanouit dans les domaines méso- et supra-méditerranéens, débordant un peu vers l'oro-méditerranéen, mais toujours dans des nuances continentales. Il s'agit de climats secs, parfois semi-arides, oscillant entre les 340 mm/an de précipitations à Zaragoza (à 220 m d'altitude) et 936 mm à Barrios de Luna, dans la province de León (1 033 m d'altitude) avec normalement les maximums équinoxiaux et une irrégularité interannuelle accentuée. À souligner les gelées hivernales (l'arbre peut résister à – 25 ºC), les forts écarts thermiques saisonniers de plus de 40 ºC, l'évapotranspiration importante, due à l'aridité, le vent et l'intense insolation, et finalement les fréquents orages estivaux avec grêle et foudre (Rivas-Martínez & Rivas-Sáenz 2012). Pour s'adapter à ces contraintes écologiques fortes, notre Genévrier arborescent montre généralement un développement racinaire très grand par rapport à son houppier. D'autre part, si sa croissance radiale habituelle est lente (1-1,5 mm/an), il peut arriver à la multiplier par trois en profitant de deux ou de plusieurs périodes favorables au printemps, en été ou en automne (Camarero 2006). Ainsi, concernant sa longévité et sa croissance, il adopte la stratégie K, mais sporadiquement pour des courtes périodes, il s'oriente vers une stratégie R. Concernant les organes reproducteurs, les pieds mâles adultes produisent une grande quantité de pollen, soit un véritable nuage appelé *cierna*. Pour les pieds femelles, ils peuvent atteindre jusqu'à 200 kg de galbules et cela peut se produire tous les deux ans (Montesinos 2007). La germination des graines est meilleure après le passage par le tube digestif des oiseaux – du genre *Turdus* surtout – qui les ingèrent avec les galbules (Santos & Tellería 1994), mais elle s'avère encore meilleure sous le couvert des vieux exemplaires femelles (Montesinos *et al.* 2007) qu'en dehors.

En ce qui concerne l'écophysiologie, on sait que certains individus se protègent par une couche de cire autour de l'épiderme foliaire, sans pour autant connaître le mécanisme précis permettant ainsi d'économiser l'eau et d'éviter une forte transpiration… là le thurifère garde encore le secret.

Aussi faut-il se demander quelle va être la réaction de ces groupements forestiers face à l'augmentation de la température moyenne et la diminution prévue des précipitations. Une élévation des étages de végétation est à attendre (Fernández-González *et al.* 2005) et cela impliquerait, dans nos montagnes à affi-

nité méditerranéenne, la progression en altitude du mésoméditerranéen et la réduction du supraméditerranéen… Sous ce scénario, *Juniperus thurifera* devrait profiter de sa capacité importante à coloniser les sols pierreux soumis à la cryoturbation sous une atmosphère plus sévère. Alors, en considérant sa dynamique récente et le grand nombre de stations favorables tant édaphiquement que climatiquement, notre arbre aurait une forte capacité d'expansion (Alonso 2008 ; García López *et al.* 2005). Cependant, Montesinos (2007) pense que sa capacité reproductive serait limitée à long terme. En revanche, aux niveaux altitudinaux plus bas, la concurrence avec les diverses espèces de chêne et de pin serait plus importante et une situation défavorable pour le Genévrier est un scénario possible. Si le changement est graduel, sans doute l'arbre trouvera néanmoins sa place et une fois de plus il gagnera de nouvelles stations rocheuses ou bien – ce qui n'est pas négligeable en Espagne – il pourra résister sur les terrains gypseux, un milieu extrême qu'il occupe couramment (Mota *et al.* 2011).

Même s'il n'est pas facile de décrire des associations végétales dominées ou caractérisées par *Juniperus thurifera*, en raison de leur très faible originalité phytosociologique (Braun-Blanquet & Bolòs 1957), il est à remarquer qu'une classe phytosociologique, un ordre et deux alliances ont été cependant définis pour les thuriféraies de la péninsule Ibérique. Ces communautés plus ou moins ouvertes sont considérées comme relictuelles et comprennent également des matorrals bas ou hauts du domaine ibérique intérieur ; ce sont parfois des massifs purs ou plus fréquemment en mélange avec d'autres genévriers ou avec divers chênes et pins, surtout *Quercus ballota*, *Q. faginea*, *Q. pyrenaica* et *Pinus nigra* subsp. *salzmannii* (tableau 3). Cela inclut, suivant le classement biogéographique de Rivas-Martínez *et al.* (2007), les provinces orocantabrique, méditerranéo-ibérique central, pirenaïco-cévennaine, « bajoaragonesa », castillane, bétique et, avec de petites enclaves, carpetano-leonesa.

En ce qui concerne les habitats du réseau Natura 2000, le tableau 4 donne à titre indicatif une esquisse des correspondants codes, titres et associations involucrées pour le domaine de l'Aragon (Benito Alonso 2011). Certaines parmi elles sont données prioritaires pour leur conservation à l'échelle européenne – on le sait – et sont marquées par un astérisque.

**Tableau 3 – Les communautés formées par le Genévrier thurifère en Espagne (d'après Rivas Martínez *et al.*, 2007, 2011).**

- Cl. *Junipero sabinae-Pinetea ibericae* (ancienne Pino-Juniperetea ; il s'agit ici du *P. sylvestris* var. *iberica* Svob.)
  - Forêts ou fruticées hautes de pins et junipéraies relictuelles périglaciaires du sud-ouest de l'Europe.
- Ord. *Junipero sabinae-Pinetalia ibericae* (ancienne Pino-Juniperetalia)
  - Pinèdes et thuriféraies de montagne, méditerraneo-ibériques et pyrénéennes
- All. *Junipero sabinae-Pinion ibericae*
  - Pinèdes de pin sylvestre ibériques en mélange avec G. thurifère, de montagne, neutro-basophiles ibériques centrales et bétiques (cinq associations principales)
- All. *Juniperion thuriferae*
  - Thuriféraies ibériques centrales, subbétiques et oro-cantabriques (six associations principales).

**Tableau 4 – Codes et composition des habitats incluant *Juniperus thurifera* du réseau Natura 2000 recensés en Aragon (d'après Benito Alonso, 2011).**

- 32.136 Formations ouvertes de *Juniperus thurifera* arborescent
  - # *Juniperetum phoeniceo-thuriferae* (Br.-Bl. & O. Bolòs 1958) Rivas-Mart. 1987
- 42.A2 Thuriféraies de la péninsule Ibérique
- 42.A21 Thuriféraies supra-méditerranéennes ibériques
  - # *Juniperetum hemisphaerico-thuriferae* Rivas-Mart. 1969
  - # *Junipero thuriferae-Quercetum rotundifoliae* Rivas-Mart. 1987
- 42.A24 Thuriféraies des Monegros
  - # *Juniperetum phoeniceo-thuriferae* (Br.-Bl. & O. Bolòs 1958) Rivas-Mart. 1987
- 42.A2B Thuriféraies méso-méditerranéennes, des vallées et piémonts du Système ibérique méridional
- 42.B6 Forêts en mélange de pin d'Alep (*Pinus halepensis*) et Genévrier thurifère (*J. thurifera*)
- 45.3412 Chênaies de Chêne vert ibériques, des régions intérieures, de l'étage supra-méditerranéen du Système ibérique
  - # *Junipero thuriferae-Quercetum rotundifoliae* Rivas-Mart. 1987

Enfin, il est à remarquer les gros et vénérables pieds de Genévrier thurifère déclarés « arbres singuliers » en Andalousie, Aragon, Castille, etc., ainsi que le bon nombre de Sic portant comme élément majeur ses formations correspondantes. Ci-dessous la liste pour Castille et León dont la Sierra de Cabrejas visitée par les participants au III^e^ colloque tenu à Soria en 2006 :

– Sic et Zico « Sabinares del Arlanza », province de Burgos, 37 404,06 ha, code réseau Natura 2000 ES4120031 ;
– Sic « Sabinares de Somosierra », province de Segovia, 2 158,77 ha, code réseau Natura 2000 ES4160058 ;
– Sic « Sabinares de Ciria-Borobia », province de Soria, 2 801,35 ha, inclus *J. thurifera* et *J. phoenicea*, code réseau Natura 2000 ES4170056 ;
– Sic « Sabinares del Jalón », province de Soria, 19 068,66 ha, code réseau Natura 2000 ES4170057 ;
– Sic « Sabinares de la Sierra de Cabrejas », province de Soria, 32 707,93 ha, code réseau Natura 2000 ES4170029.

Et aussi :

– Réserve naturelle « Sabinar de Calatañazor », province de Soria, Plan d'ordination des ressources naturelles, arrêté 143/98 du 16 juillet 1998 et loi 9/2000 du 11 juillet 2000.

## Synthèse et corollaire

Le Genévrier thurifère est un arbre d'un grand intérêt forestier, biologique et écologique, puisqu'il est endémique des pays riverains de la Méditerranée occidentale. De plus, parmi d'autres usages multiples, il est un arbre fourrager, assez maîtrisable par l'homme et très résistant à son exploitation. En Espagne continentale, ses formations se développent entre environ 250 et 1 500 (2 000) mètres d'altitude et individualisent un paysage agro-sylvo-pastoral à haute valeur patrimoniale. Pendant un millénaire ces formations ont subi une réduction importante, mais au cours des derniers cinquante ans, après l'abandon rural, elles récupèrent spontanément leurs anciens domaines estimés à 125 000 ha. Il est vrai qu'une bonne partie de cette surface a été protégée, mais quelques populations, surtout périphériques ou isolées, sont encore exposées aux incendies accidentels après leur densification. Aussi les junipéraies n'échapperaient pas aux effets, on ne sait jamais combien négatifs, du changement climatique.

Par conséquent, même si depuis les années 1980 un nombre considérable d'études a été consacré à la connaissance scientifique de ces forêts endémiques, même si la série de ces colloques interdisciplinaires a permis des échanges très importants de part et d'autre du détroit de Gibraltar, je pense que le moment est arrivé d'esquisser un projet de recherche à l'échelle de l'Europe occidentale et de l'Afrique du Nord. De cette façon on pourrait combler certaines lacunes et éclaircir quelques problèmes. Enfin, un réseau de parcelles expérimentales bien choisi pourra permettre de développer un suivi spacio-temporel des peuplements de Genévriers… Soyez sûrs du grand intérêt théorique et appliqué d'une telle démarche !

## Épilogue

Puisque 2011 a été l'Année internationale des forêts sous l'emblème « Les forêts pour les personnes », permettez-moi d'emprunter la remarquable poésie dédiée aux arbres et à leur conservation par Rabindranath Tagore, prix Nobel de littérature 1913.

*L'Arbre*

*Voyageur, écoute :*

*C'est moi la planche de ton berceau, celle de ton navire, le dessus de ta table, la porte de ta maison.*

*C'est moi le manche de ton outil, le bâton de ta vieillesse.*

*C'est moi le fruit qui te régale et te nourrit, l'ombre qui te protège des ardeurs de l'été, le refuge préféré des oiseaux qui réjouissent de leurs chants tes journées et qui débarrassent tes champs de leurs insectes.*

*C'est moi la beauté du paysage, l'enchantement du jardin, le point de repère de la montagne, la borne du chemin…*

*C'est moi le bois qui te réchauffe les jours d'hiver, le parfum qui t'enivre et qui embaume l'air à toute heure, la santé de ton corps et la joie de ton âme.*

*En dernière extrémité, c'est moi le bois de ton cercueil.*

*Pour tout cela, toi le voyageur qui me contemples, toi qui me plantas de ta main et toi qui peux m'appeler ton fils, ou toi qui me contemplas tant de fois, regarde-moi bien, mais… ne me fais pas de mal.*

## Remerciements

Beaucoup de collègues et amis m'ont aidé avec leurs idées, commentaires et documents, notamment A. Alessandrini, J. L. Benito, G. Dussaussois, U. Ferrando, Th. Gauquelin, F. Gómez Manzaneque, P. González-Sampériz, S. Peccenini, E. Pérez Bujarrabal, M. Sanz et A. Selvaggi. Qu'ils en soient remerciés.

## Références

Adams R.P., 2004. *Junipers of the World: the genus* Juniperus. Trafford Publishing Co., Vancouver, 275 p.

Alonso R., 2008. *Autoecología paramétrica de* Juniperus thurifera *L. en Castilla y León*. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Madrid, 202 p.

Alonso R. & Sánchez O., 2006. Los suelos de los enebrales de *Juniperus thurifera* L., en España. *In :* García González D. (coord.), *Actas des III Coloquio Internacional sobre los sabinares y enebrales (*Género Juniperus*) : écologia y gestion forestal sostenible. Soria 24 a 26 de Mayo de 2006*. Madrid, Junta de Castilla y Leon y Comunidad de Madrid, Tomo I : 35-47.

Aparicio J.M. & Uribe-Echebarría P.M., 2006. *Juniperus × palancianus*, nuevo híbrido de la provincia de Castellón. *Toll Negre* 8 : 5-8.

Arizaleta J.A., Fernández Aldana R., Quintana J.D., Alejandre J.A. & Benito Ayuso J., 2008. La sabina albar (*Juniperus thurifera* L.) en la Rioja. *Zubía* 25-26 : 7-16.

Asso I.J. de, 1784. *Introductio in oryctographiam, et zoologiam Aragoniae. Accedit Enumeratio stirpium in eadem regione noviter detectarum*. Sommer, Amsterdam, 192 p.

Aymerich P., 2007. *Juniperus thurifera* L. als Pirineus catalans. *Butlletí de la Institució Catalana d'Història Natural* 73 : 121-123.

Aymerich P. & Villar L., 2013. Sur les peuplements de Genévrier thurifère en Haut-Pallars (Pyrénées centrales, Catalogne). Présentation géobotanique et écologique. (Dans ce même volume, p. 41-53).

Benito Alonso J.L., 2011. *Cartografía de los hábitats CORINE de Aragón. Lista de hábitats de Aragón*, versión 4.09. Jolube Consultor y Editor Botánico-Gobierno de Aragón, Jaca, 88 p.

Bermúdez de Castro J.M., Arsuaga J.L., Carbonell E., Rosas A., Martínez I. & Mosquera M., 1997. A Hominid from the Lower Pleistocene of Atapuerca, Spain : Possible Ancestor to Neandertals and Modern Humans. *Science* 276 : 1392-1395.

Blasco-Zumeta J., 2000. Contribution à l'étude de la faune associée à *Juniperus thurifera* L. dans les Monegros (Aragón, Espagne). *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, ONF, coll. « Les dossiers forestiers » 6 : 94-103.

Braun-Blanquet J. & Bolòs O. de, 1957. Les groupements végétaux du Bassin moyen de l'Èbre et leur dynamisme. *Anales Estación Experimental Aula Dei* 5(1-4) : 1-266.

Camarero J.J., 2006. Dendroecología de *Juniperus thurifera* en zonas biogeográfica y climáticamente contrastadas. *In :* García González D. (coord.), *Actas des III Coloquio Internacional sobre los sabinares y enebrales (*Género Juniperus*) : écologia y gestion forestal sostenible. Soria 24 a 26 de Mayo de 2006*. Madrid, Junta de Castilla y Leon y Comunidad de Madrid, Tomo I : 79-87.

Carrión J.S., Fernández S., González-Sampériz P., Gil-Romera G., Badal E., Carrión-Marco Y., López-Merino L., López-Sáez J.A., Fierro E. & Burjachs F., 2010. Expected trends and suprises in the Lateglacial and Holocene vegetation history of the Iberian Peninsula and Balearic Islands. *Review of Palaeobotany and Palynology* 162(3): 458-475.

Davis S.D., Heywood V.H. & Hamilton A.C. (eds.), 1994. *Centres of plant diversity. A guide and strategy for their conservation.* Vol. 1. *Europe, Africa, South West Asia and the Middle East*. WWF and IUCN, Cambridge, U.K., 354 p.

Escudero O. & Franchés M.J., 2004. *Memoria de síntesis del mapa forestal de Aragón. Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón*. Zaragoza, 119 p.

Fernández-González F. *et al.*, 2005. Impactos sobre la biodiversidad vegetal, 5. *Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático*. Ministerio del Medio Ambiente, Madrid, 821 p.

García Antón M., Maldonado J., Morla C. & Sainz H., 2002. Fitogeografía histórica de la península Ibérica. *In :* Pineda F.D. *et al.* (dir.), *La diversidad biológica de España*. Prentice Hall, Madrid : 45-63.

García López J.M. & Allué Camacho C., 2005. Caracterización y potencialidades fitoclimáticas de la sabina albar (*Juniperus thurifera* L.) en la Península Ibérica. Investigación Agraria. *Sistemas y Recursos Forestales* 14(1): 98-109.

García-Prieto E., 2011. *Primeros resultados palinológicos en la base de la secuencia de la Laguna del Cañizar (Teruel) (120-110 kA BP)*. Thèse de fin de máster. Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad de Zaragoza, Zaragoza, 54 p.

Gauquelin T., 2006. Les Genévriers du monde et du bassin occidental de la Méditerranée : diversité, stabilité, expansion, régression. *In :* García González D. (coord.), *Actas des III Coloquio Internacional sobre los sabinares y enebrales (*Género Juniperus*) : écologia y gestion forestal sostenible. Soria 24 a 26 de Mayo de 2006*. Madrid, Junta de Castilla y Leon y Comunidad de Madrid, Tomo I : 25-32.

Gaussen H., 1968. *Les Gymnospermes actuelles et fossiles*, Fasc. X : *les Cupressacées*. Faculté des sciences, Toulouse, 326 p.

Jalut G., Esteban A., Gauquelin T., Aubert S., Iglesias M., Bouchette A. & Belet J.M., 2000. Rôle du Génevrier 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, Onf, coll. « Les dossiers forestiers » 6 : 160-170.

L'Écluse Ch. de, 1576. *Rariorum aliquot stirpium per hispanias observatarum historia. Amberes*. Traduit en l'espagnol en 2005 par les soins de L.R. Laca et R. Morales. Junta de Castilla y León, Valladolid, 379 p.

Linné C. von, 1753. S*pecies plantarum, exhibentes plantas rite cognitas, ad genera relatas, cum Differentiis Specificis, Nominibus Trivialibus, Synonymis Selectis, Locis Natalibus, Secundum systema sexuale digestas*. Stockholm, 1 200 p.

Médail F. & Quézel P., 1999. Biodiversity hotspots in the Mediterranean Basin: setting global conservation priorities. *Conservation Biology* 13: 1510-1513.

Monesma E., 2010. El sabinar de Monterde de Albarracín. DVD de 20', Pyrene P.V. S.L., Huesca.

Montesinos D., 2007. *Efecto de la disponibilidad de recursos sobre la eficacia reproductiva en* Juniperus thurifera. Tesis doctoral. Universidad de Valencia, Valencia, 123 p.

Montesinos D., Verdú M. & García-Fayos P., 2007. Moms are better nurses than dads: gender biased self-facilitation in a dioecious Juniperus tree. *Journal of Vegetation Science* 18: 271-280.

Montserrat P. & Villar L., 1972. El endemismo ibérico. Aspectos ecológicos y fitotopográficos. *Bol. Soc. Broteriana* 46 (2ª série) : 503-527.

Mota J.F., Sánchez-Gómez P. & Guirado J.S., 2011. *Diversidad vegetal de las yeseras ibéricas. El reto de los archipiélagos ibéricos para la biología de la conservación*. ADIF – Mediterráneo Asesores Consultores, Almería, 636 p.

Oria de Rueda J.A., 2002. *Guía de árboles y arbustos de Castilla y León*. Ed. Cálamo, Palencia, 381 p.

Ouhammou A., 1986. *Recherche sur l'étagement de la végétation dans le bassin de l'Ourika (Haut Atlas central, Maroc)*. Thèse IIIe cycle. Université Cadi Ayyad, Fac. Sci. Marrakech, 181 p.

Rivas-Martínez S. & coautores, 2007. Mapa de series, geoseries y geopermaseries de vegetación de España, Parte I. *Itinera Geobotanica* 17: 5-436.

Rivas-Martínez S., Díaz T.E. & Penas A., 2011. Mapa de series, geoseries y geopermaseries de vegetación de España, Parte II. *Itinera Geobotanica* 18(2) : 425-800.

Rivas-Martínez S. & Rivas-Sáenz S., 2012. Worldwide Bioclimatic Classification System, 1996-2009, Phytosociological Research Center, Spain. http://www.globalbioclimatics.org [Consulté en ligne 14 mars 2012]

Roques A., Raimbault J.P. & Goussard F., 1984. La colonisation des cônes et galbules des Genévriers méditerranéens par les insectes et les acariens et son influence sur les possibilités de régénération naturelle de ces essences. Ecologia mediterranea 10 (1-2) : 147-169.

Ruiz de la Torre J., 2006. *Flora Mayor*. Organismo Autónomo Parques Nacionales, Madrid, 1759 p.

Santos T. & Tellería J.L., 1994. Influence of forest fragmentation on seed consumption and dispersal of Spanish Juniper (*Juniperus thurifera*). *Biological Conservation* 70: 129-134.

Woodford J., 1997. The Jurassic tree and the Lost Valley. The Sydney Morning Herald, 7 June pp. 36-37.

# Le Genévrier thurifère (*Juniperus thurifera* L.) dans les Aurès, Algérie : considérations générales, cartographie, écologie et groupements végétaux

## *Thuriferous Juniper (*Juniperus thurifera *L.) in the Aurès area, Algeria: general considerations, cartography, ecology and plants communities*

Yassine BEGHAMI[1*], Mahdi KALLA[2], Errol VELA[3], Michel THINON[4] et Hassen BENMESSAOUD[2]

1. Département d'agronomie, Université Hadj Lakhdar, Batna, Algérie
2. Université Hadj Lakhdar, laboratoire Risques naturels et aménagement du territoire (RNAT), 05000 Batna, Algérie
3. Université Montpellier-2, UMR « AMAP » (botanique et bio-informatique de l'architecture des plantes), TA A51/PS2 34398 Montpellier cedex 5, France
4. Institut méditerranéen de biodiversité et d'écologie marine et continentale UMR 7263 CNRS, 237 IRD, Université Aix-Marseille

*Auteur correspondant : Yassine Beghami, BP n° 353, Mebarki, 05005 Batna, Algérie
E-mail : beghamiyassine@yahoo.fr

**Résumé**

*Cette contribution est consacrée à l'étude du Genévrier thurifère (*Juniperus thurifera *L.) dans la région des Aurès, Algérie. Il s'agit d'une synthèse des résultats que nous avons obtenus sur la cartographie, la diversité floristique et l'écologie de cette espèce dans les différentes localités. L'étude des paramètres de structure et de physionomie montre que le thurifère est généralement multicaule, possédant un morphotype conique, quand l'arbre est protégé contre la mutilation répétée des branches. L'analyse factorielle des correspondances met en évidence deux gradients, l'un est physionomique, l'autre est lié à l'altitude. Cependant la typologie de la flore permet de discriminer quatre groupements végétaux dont le déterminisme est en relation étroite avec l'action anthropique. L'analyse du spectre biologique confirme ces résultats, avec un degré de thérophytisation plus poussé en basse altitude qu'en haute altitude. Face à l'ampleur et à l'augmentation des risques anthropiques auxquels sont exposées les formations forestières des Aurès et en particulier celles du Genévrier thurifère, il est temps de mettre en place rapidement des politiques de préservation et de développement durable plus efficaces.*

**Mots clés :** Genévrier thurifère, Aurès, anthropisation, thérophytisation.

**Abstract**

*The present contribution focus on the thuriferous Juniper (*Juniperus *thurifera L.) in the Aurès region (Eastern of Algeria) Algeria. It results from the synthesis of different approaches such as cartography, floristic diversity, and ecology concerning various localities. Structure and physiognomy parameters revealed a frequent multi-stemmed architecture with a conical morphotype when branches were protected from damages. The correspondences analysis highlighted two gradients: physiognomy and altitude.*

*However, associated plants could be discriminated in four plant communities whose determinism is closely related to anthropogenic action. A further analysis of the biological spec-*

**Keywords:** thuriferous Juniper, Aurès, anthropisation, therophytisation.

*trum confirms these results: therophytisation was more intense at low altitude.*

*Given the magnitude of anthropogenic threats faced by forest formations of the Aurès, especially those of* Juniperus thurifera*, it's time to quickly implement a more efficient conservation and sustainable development policy for protecting this threatened tree.*

## Abridged english version

Thuriferous Juniper (*Juniperus thurifera* L.) "Hazenzna" or "Aiwal" in Berber language is an emblematic species of western Mediterranean mountains. This species was widely studied in Europe and Morocco, but it wasn't the case in Algeria. The unique presence of this juniper in Algeria is located in Aurès region, mostly in the oriental limit of the Saharan Atlas.

This contribution establishes a departure point for the understanding of this tree species in the Aures region, and tents to fill the delay committed in the study of this one. Indeed, during the last decade, several studies dedicated to this species were initiated in this region.

The study site was located in northern Algeria, at about 250 km from the Mediterranean Sea. The Aurasian mountainous massif is situated at the eastern extremity of Saharan Atlas. The mean annual rainfall ranges from 300 mm in the lowland stations to 800 mm in the highest stations. The different localities of thuriferous Juniper were studied and floristico-ecological parameters were taken. The localization of each relevé was carried out according to the change of the aspect of the vegetation, orographic and altitude variables. The data harvested in different sites were used in a multidimensional analysis (correspondences analysis). Further analysis based on biological types and the biogeographic spectra were done.

This study allowed us to verify the spatial distribution of thuriferous Juniper in Aurès massif. It was found in five localities: areas of T'kout, Oued Abdi, S'gag, Chélia and Tibhirine; Nevertheless, some isolated and scattered individuals can be found that and there in Aurès (one tree in the village of Medina and some individuals in Inoughessene and Zalatou area). Some trees were also recorded on north and south side between 1,300 and 2,000 m of altitude. Thuriferous Junipers of Aurès presented individuals with a dominant multi-stemmed structure. They looked like a big ligneous mushroom, but when they were protected from various mutilations, their shape was conical. It was clear that the physiognomy of Aurasian thuriferous Juniper formation depended of very skeletal soils (fissured limestone slab). When the soil was more or less developed it shared the space with other forest tree (oak, dimorphous ash, cedar). Concerning regeneration, this last one is very low; and it seems to be species natural be have our. Young individuals with acicular leaves were observed; nevertheless this regeneration is threatened by the pasture.

The biogeographic spectrum analysis of plant communities associated with the thuriferous Juniper showed the importance of native Mediterranean taxa (43% of global species list). The rate of endemism was 10% that underlines the particular importance of this flora in term of phytogenetic resources and biodiversity of these *Juniperus thurifera* woodlands. However, analysis of the biological forms of the various taxa showed the dominance of therophytes and in a lesser extent of hemicryptophyte species. This therophytisation is a strong indicator of degradation due to agro-pastoral practices (overgrazing, cultures).

The correspondence analysis obtained revealed the typology of the flora associated to the thuriferous Juniper. Axis 1 showed a clear opposition either side of the origin with two groups of species: therophytic and hemicryptophytic species of strongly opened forest sites for one part and phanerophytes of more or less closed woodlands (accompanied by chamaephyte and hemicryptophyte species). Therefore this axis corresponded to a physionomical gradient from dense to opened (degraded) stands. Axis 2 revealed an altitudinal gradient: it discriminates species from high altitudes to those of low altitudes.

However, the spatial distribution generated by the first and the second axis, which add up the maximum of variance, generated two more or less homogeneous plant sets. The first set with plant growing from 1,369 to 1,742 m of altitude belongs to a mixed formation with thuriferous Juniper, holm oak and the dimorphous ash accompanied by a significant proportion of therophytes species in open thuriferous stands where human pressure is more pronounced. The analysis of biological types of taxa belonging to this set showed that it

was largely dominated by therophyts, a resistance form against aridity. Hemicryptophyts and chamephytes were less represented and were often refused by sheeps. This set is subdivided into two plant communities: community of degraded thuriferous Juniper at low altitude ($A_1$) and the community of more or less mixed dense thuriferous Juniper ($A_2$).

Set "B" (1,910-2,068 m) also revealed a various physiognomy. The landscaped mosaic corresponding to this set was made up of forest plant communities belonging to the dense forest of cedar, the altitudinal woodlands of thuriferous Juniper and the asylvatic zone. Hemicryptophyts were dominant with a considerable increase of geophytes. The extension of lawns on the slopes of Chelia mountain (2,328 m), would result in a degradation of Atlas cedar. This set in his turn is subdivided into two plant communities: forestry community Cedar-Thuriferous ($B_1$) and the community of the thuriferous Juniper degraded at high altitudes ($B_2$). This could also be explained by low temperatures and precipitation. The Perturbation Index (Loisel *et al.* 1993) confirmed a high level of disturbance and anthropization. This was more intense for set "A" than set "B"; the latter being at higher elevations and consequently further away from populated areas. If this situation continues without any further action to preserve this inestimable patrimony, the risk of turning this formerly forest area into an asylvatic area will become a reality.

## Introduction

Le Genévrier thurifère (*Juniperus thurifera* L.), Aiwal ou Hazenzna en berbère, est une espèce emblématique des montagnes du bassin ouest-méditerranéen (Gauquelin *et al.* 1999). Si cette espèce a fait l'objet de nombreuses études dans différents domaines en Europe et au Maroc (Gauquelin *et al.* 1999, 2000 ; Bertaudière *et al.* 2001 ; Montès *et al.* 2002), il n'en est pas de même pour l'Algérie. En Algérie, le thurifère est uniquement localisé aux Aurès, terminaison orientale de l'Atlas saharien.

Ce travail est une contribution à l'étude de cette espèce dans les Aurès et fait suite à ceux conduits dans cette région au cours de la dernière décennie (Belkassir & Temagoult 2001 ; Terrab *et al.* 2008 ; Beghami *et al.* 2011). Nous tentons, entre autres, à travers cette contribution de dresser un bilan de nos observations et résultats, en se focalisant surtout sur les aspects liés à la répartition, l'écologie, l'état de dégradation ainsi que sur les groupements végétaux individualisés par le thurifère.

## Site et méthodes

Le site d'étude est localisé dans le massif des Aurès, au nord de l'Algérie, à quelque 250 km de la Méditerranée. Ce massif montagneux se situe à l'extrémité orientale de l'Atlas saharien (35° 00' et 35° 30' N ; 6° 00' et 7° 00' E ; figure 1). D'une manière globale la région des

**Figure 1 – Carte de localisation du site d'étude (massif des Aurès, Algérie).**
***Figure 1 – Study site location map (Aurès Mountains, Algeria).***

Aurès est formée d'un ensemble de chaînes au relief très contrasté (Benmessaoud *et al*. 2009). La pluviométrie moyenne annuelle varie de 300 mm dans les stations de basse altitude, à 800 mm dans les stations les plus élevées (Seltzer 1946 ; Schoenenberger 1972). Les étages bioclimatiques vont de l'aride supérieur à la base méridionale du massif jusqu'à l'humide inférieur au sommet du Chélia à 2 328 m (Beghami *et al*. 2007).

Notre objectif essentiel est de développer quelques réflexions sur cette espèce afin de contribuer à sa connaissance dans les Aurès. La présence du Genévrier thurifère dans le massif des Aurès est connue depuis Cosson au XIXe siècle (Maire 1952). Pour cette raison la consultation des documents, notamment Boudy (1950), Maire (1952), Abdessamed (1984) et Belkassir & Temagoult (2001), ainsi qu'une enquête auprès de la population autochtone ont été menées afin de repérer les principaux sites de thurifère.

**Figure 2 – Carte de répartition du thurifère dans les Aurès (Algérie) : peuplements isolés (étoile), peuplements surfaciques importants (secteurs colorés) et point (relevés).**

***Figure 2 – Distribution map of* thuriferous Juniper *in the Aurès area (Algeria): isolated stands (star), large area stands (colored areas) and point (releve).***

Les différentes localités ont été visitées et des paramètres floristico-écologiques (flore, altitude, exposition, lithologie, recouvrement des différentes strates et pente) y ont été enregistrés. L'emplacement des relevés, au sens de l'école phytosociologique, a été choisi en fonction des changements de physionomie de la végétation, des variables orographiques (exposition, versant) et de l'altitude (figure 2). Les données floristiques obtenues sur les différents sites ont été soumises à l'analyse multidimensionnelle afin de discriminer la typologie de la flore des thuriféraies. L'identification des espèces a été effectuée en se basant principalement sur l'ouvrage de Quézel & Santa (1962-1963), alors que la nomenclature et la taxonomie retenues pour les espèces sont celles de Dobignard & Chatelain (2010-2011). La classification des types biogéographiques a été simplifiée à partir de celle utilisée par Quézel & Santa (1962-1963). La classification des végétaux selon leur type biologique *sensu* Raunkiaer (Raunkiaer 1934 ; Ellenberg & Mueller-Dombois 1967) nous a permis de mettre en évidence l'état de dégradation de cette flore. Nous avons aussi tenté de comparer le degré de perturbation induite par la pression anthropique entre les différents groupements, par le calcul de l'indice de perturbation (IP) (Loisel *et al.* 1993) qui s'exprime par la formule :

$$\frac{\text{Nombre de Chaméphytes + nombre de Thérophytes x 100}}{\text{Nombre total d'espèces}}$$

La détermination des types biologiques est basée principalement sur les ouvrages de Carazo-Montijano & Fernández-López (2006) et Quézel & Santa (1962-1963).

## Résultats et discussions

### Répartition et caractères généraux des thuriféraies des Aurès

#### Répartition

Le thurifère des Aurès se répartit selon trois ensembles principaux d'inégale importance : le premier est situé dans la région de T'kout, le deuxième dans la vallée de l'Oued Abdi tandis que le troisième est localisé dans le lieu-dit Tibhirine. Dans deux autres localités,

le thurifère est dominé par d'autres essences forestières et n'arrive pas à individualiser des formations distinctes. Il s'agit de la cédraie de S'gag et de Chélia (figure 2). Cependant, des sujets isolés peuvent se rencontrer çà et là dans le massif (un pied au village de Medina, quelques sujets au niveau de la zone d'Inoughessene et de Zalatou).

Le Genévrier thurifère s'observe, dans les Aurès, à la fois sur les versants exposés au sud et au nord. D'une manière générale, son amplitude altitudinale se situe entre 1 300 et 2 000 m. Des individus isolés peuvent même dépasser cette limite supérieure. Il se développe sur des sols très squelettiques, avec roche mère affleurante, cette dernière étant constituée, le plus souvent, par une dalle de calcaire fissurée ou parfois par une alternance de couches marno-calcaires. Dans de rares cas le thurifère se rencontre sur des sols plus développés et profonds ; c'est le cas des formations de S'gag et du Chélia, où il est dominé par d'autres espèces forestières notamment le cèdre, le pin d'Alep ou encore le chêne vert (figure 3).

## Structure et morphotype des individus

Dans les Aurès les thurifères sont majoritairement multicaules. Toutefois, un nombre important de pieds de thurifère unicaules a été observé, notamment dans la vallée de l'Oued Abdi. Pour cette raison, on peut se demander si les tiges multiples ne correspondraient pas à des rejets de souche. D'autre part, en raison de la mutilation répétée des branches et le pacage des bourgeons terminaux, l'arbre a souvent l'allure d'un grand champignon ligneux à tronc court et trapu (Belkassir & Temagoult 2001). Cependant quand il est, ou devient protégé, il donne un morphotype conique avec une cime arrondie (figure 4). C'est le cas de deux arbres de la région de T'kout, l'un est un « porte-bonheur » alors que l'autre constitue le lieu de « pèlerinage » de certaines populations locales. Soulignons que Mercier (1897) a écrit que « le thurifère constituait et constitue un objet de vénération pour les indigènes, qui, par une coutume superstitieuse, y suspendent des haillons de toutes couleurs ».

## Physionomie

La physionomie des formations du Genévrier thurifère dans les Aurès est très ouverte. En effet, la strate arborescente dépasse rarement 10 % et atteint quelquefois 25-30 % dans les thuriféraies les plus denses, quant à la strate arbustive, elle oscille entre 0 et 50 %. Cette physionomie est essentiellement due à l'action anthropique : pratiques de défrichements pour la mise en culture et surtout parcours (figure 5).

**Figure 3 – Thuriféraie d'Oued Abdi sur dalle calcaire fissurée. Les flèches montrent des jeunes thurifères.**

***Figure 3 – Thuriferous formation of Oued Abdi on fissured calcareous plate. The arrows show young thuriferous trees.***

**Figure 4 – Arbre vénéré « porte-bonheur » (couronne arrondie) dans la zone de T'kout.**

***Figure 4 – Venerated tree "carries happiness" (rounded shape of the crown) in the T'kout area.***

**Figure 5 – Les anciennes terrasses affectées à la céréaliculture. Quelques sujets de thurifère et de frêne dimorphe laissés sur place dans la zone de T'kout.**

***Figure 5 – Old terraces assigned to the cultivation of cereals. Some individuals of thuriferous and dimorphous ash smoothed on the spot in the T'kout area.***

**Figure 6 – Un troupeau de brebis et de chèvres au pied d'un thurifère, zone de T'kout.**

***Figure 6 – A herd of ewe and goats at the foot of thuriferous in the T'kout area.***

**Figure 7 – Jeunes plants de thurifère dans un cimetière, près de Thizi laabed dans la zone de l'Oued Abdi.**

***Figure 7 – Young seedlings of thuriferous in a cemetery, near Thizi Laabed in the Oued Abdi area.***

Si la céréaliculture est abandonnée aujourd'hui ou devenue rare, le pâturage reste la cause principale de la destruction et l'obstacle majeur menaçant toute possibilité de régénération (figure 6).

### Régénération

De jeunes sujets ont été observés en 2011, dans la thuriféraie de T'kout ainsi que dans celle de la vallée de l'Oued Abdi. Cependant, ces individus se situent dans des endroits protégés : jardins privés (quatre individus), nappe alfatière (sept individus) et cimetière (trois individus) (figure 7).

## Écologie

### Spectre chorologique

L'exploitation des données provenant des principaux sites à thurifère, notamment ceux facilement accessibles (T'kout, Oued Abdi et Chélia), a permis d'inventorier 185 espèces végétales vasculaires.

L'analyse biogéographique de la flore de ces thuriféraies donne un spectre (figure 8) dominé particulièrement par les taxa de souche méditerranéenne soit 43 %, suivis par ceux possédant une large répartition (27 %). Les espèces d'origine nordique occupent également une proportion importante de la flore avec 18 % environ. Les endémiques nord-africaines au sens large (nord-africaines, algéro-tunisiennes et algéro-marocaines) viennent en troisième position avec un taux de 10 %. Ceci souligne l'importance particulière de cette flore en termes de ressource phytogénétique et de biodiversité des écosystèmes dominés par le Genévrier thurifère. Aussi faut-il attirer l'attention sur l'intérêt que représente l'élément méditerranéen indiquant ainsi des conditions encore méditerranéennes et peu continentales, dans une zone se trouvant en lisière du plus grand désert du monde.

### Types biologiques

Les caractéristiques des types biologiques végétaux sont en relation étroite avec les conditions environnementales et le degré de perturbation des communautés végétales.

L'analyse des types biologiques montre que la végétation est principalement dominée par les thérophytes suivis par les hémicryptophytes (figure 9).

**Figure 8 – Spectre chorologique de la flore des thuriféraies des Aurès, Algérie.**

***Figure 8 – Chorologic Spectrum of the thuriferous flora of Aurès mountains, Algeria.***

**Figure 9 – Répartition des types biologiques du Genévrier thurifère dans les Aurès.**

***Figure 9 – Distributions of the biological types of the Thuriferous Juniper in the Aurès region.***

## Analyse factorielle des correspondances et discrimination des groupements

Cette analyse porte sur un tableau composé de 185 espèces végétales vasculaires distribuées sur douze relevés, codées en présence-absence (tableau 1). Les relevés et les espèces correspondantes s'organisent selon les deux premiers axes de l'analyse factorielle des correspondances, qui totalisent 28,44 % de la variance totale : 14,25 % pour le premier axe et 14,19 % pour le second axe (figure 10).

L'axe 1 met clairement en opposition de part et d'autre de l'origine les espèces thérophytes et hémicryptophytes des milieux fortement ouverts et pâturés, du côté négatif, par rapport aux phanérophytes ligneuses, des milieux préforestiers plus ou moins fermés (*Quercus ilex*, *Fraxinus dimorpha*, *Juniperus oxycedrus*, *Juniperus thurifera*), accompagnées par des chaméphytes et hémicrytophytes. De ce fait, cet axe traduit un gradient physionomique (tableau 2). En effet, selon cet axe on passe

**Figure 10 – Carte de l'analyse factorielle des correspondances (185 espèces végétales X 12 relevés).**

***Figure 10 – Correspondence analysis map (185 Plant species X 12 releves).***

**Tableau 1 – Tableau diagonalisé des espèces déterminant les groupements végétaux.**
***Table 1 – Table diagonalized of the species determining the plant groupings.***

| | Relevés | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| N° relevé | 2 | 5 | 7 | 1 | 3 | 4 | 6 | 9 |
| Altitude | 1369 | 1675 | 1577 | 1450 | 1477 | 1553 | 1742 | 1631 |
| Pente | -5% | -5% | 10% | 35% | 12% | 40% | 10% | 25% |
| Exposition | S W | W | W | N E | E | N | N E | N |
| Roche mère | Calca | calca | Calca | ma-cal | ma-cal | calc | calc | ma-cal |
| Recouv strate arborescente | -10% | 5-25% | 0% | 25-50% | -5% | 25-50% | 5-25% | -5% |
| Recouv strate arbustive | 0% | 25-50% | 0% | 5-25% | 0 | 25-50% | 25-50% | -5% |
| Recouv strate herbacée | 50-75% | 25-50% | 25-50% | 50-75% | +75% | +75% | 25-50% | 50-75% |
| *Cynosurus echinatus* L. | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| *Helianthemum croceum* (Desf.) Pers. subsp. *croceum* | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| *Hyparrhenia hirta* (L.) Stapf. | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| *Lotus corniculatus* L. subsp. *corniculatus* | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| *Malva sylvestris* L. ? | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| *Medicago Lupulina* L. | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| *Medicago minima* (L.) L. | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| *Medicago turbinata* (L.) All. | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| *Melilotus indicus* (L.) All. | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| *Bombycilaena discolor* (Pers.) M.Laínz | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| *Ononis natrix* L. subsp. *natrix* | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| *Reseda alba* L. subsp. *alba* | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| *Thymus munbyanus* Boiss. & Reut. subsp. *munbyanus* | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| *Bupleurum spinosum* Gouan | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| *Carduus macrocephalus* Desf. | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| *Eryngium dichotomum* Desf. | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| *Fraxinus dimorpha* Coss. & Durieu | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| *Hertia cheirifolia* (L.) Kuntze | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| *Juniperus thurifera* subsp. *africana* (Maire) Gauquelin, Idr.Hass.& P.Lebreton | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| *Quercus ilex* subsp. *ballota* (Desf.) Samp. | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| *Sixalix atropurpurea* subsp. *maritima* (L.) Greuter & Burdet | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| *Stipa apertifolia* subsp. *longiglumis* (H.Scholz) Vásquez & Devesa | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| *Teucrium polium* subsp. *aurasiacum* (Maire) Greuter & Burdet | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| *Carthamus pinnatus* Desf. | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| *Catananche caerulea* L. | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| *Cedrus atlantica* (Endl.) Carrière | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| *Centaurea tougourensis* Boiss. & Reut. | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| *Helichrysum lacteum* Coss. & Durieu | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| *Lysimachia monelli* (L.) U.Manns & Anderb. | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| *Tulipa sylvestris* L. subsp. *sylvestris* | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| *Viola munbyana* Boiss. & Reut. | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| *Cytisus balansae* (Boiss.) Ball subsp. *balansae* | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| *Dianthus serrulatus* Desf. subsp. *serrulatus* | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| *Rhamnus alpina* L. subsp. *alpina* | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| *Ribes uva-crispa* L. subsp. *uva-crispa* | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| *Taxus baccata* L. | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

**Tableau 2 – Espèces contribuant à l'axe 1.**
***Table 2 – Species contributing to the axis 1.***

| F1+ | Contribution | Caractéristiques des milieux pré-forestiers semi-ouverts | F1- | Contribution | Caractéristiques des milieux ouverts pâturés |
|---|---|---|---|---|---|
| E34 | 0,038 | *Bupleurum spinosum* Gouan | E37 | 0,026 | *Carthamus pinnatus* Desf. |
| E59 | 0,044 | *Dianthus serrulatus* Desf. subsp. *serrulatus* | E45 | 0,035 | *Centaurea tougourensis* Boiss. & Reut. |
| E63 | 0,030 | *Eryngium dichotomum* Desf. | E85 | 0,011 | *Hyparrhenia hirta* (L.) Stapf subsp. *hirta* |
| E68 | 0,045 | *Fraxinus dimorpha* Coss. & Durieu | E99 | 0,053 | *Lotus corniculatus* L. subsp. *corniculatus* |
| E81 | 0,035 | *Hertia cheirifolia* (L.) Kuntze | E100 | 0,026 | *Lysimachia monelli* (L.) U.Manns & Anderb. |
| E89 | 0,053 | *Juniperus oxycedrus* L. subsp. *oxycedrus* | E102 | 0,011 | *Malva sylvestris* L. |
| E91 | 0,019 | *Juniperus thurifera* L. | E104 | 0,011 | *Medicago lupulina* L. |
| E135 | 0,016 | *Quercus ilex* subsp. *ballota* (Desf.) Samp. | E105 | 0,013 | *Medicago minima* (L.) L. |
| E163 | 0,037 | *Sixalix atropurpurea* subsp. *maritima* (L.) Greuter & Burdet | E108 | 0,011 | *Medicago turbinata* (L.) All. |

| 10<br>1800<br>8%<br>N E<br>Calca<br>25-50%<br>-5%<br>25-50% | 11<br>1412<br>-5%<br>S E<br>Calca<br>5-25%<br>0<br>50-75% | 8<br>1910<br>15%<br>S W<br>Gré marn<br>50-75%<br>0<br>50-75% | 12<br>2068<br>45%<br>W<br>Calca<br>0 %<br>25-50%<br>5-25% | Groupement |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 | groupement $A_1$ |
| 0 | 1 | 0 | 0 | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 0 | 1 | 0 | 0 | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 1 | 0 | 0 | 0 | groupement $A_2$ |
| 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 1 | 0 | 0 | 0 | |
| 1 | 0 | 0 | 0 | |
| 1 | 0 | 0 | 0 | |
| 1 | 1 | 1 | 0 | |
| 1 | 0 | 0 | 0 | |
| 1 | 0 | 0 | 0 | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 0 | 1 | 0 | 0 | |
| 0 | 0 | 1 | 0 | groupement $B_1$ |
| 0 | 0 | 1 | 0 | |
| 0 | 0 | 1 | 0 | |
| 0 | 0 | 1 | 0 | |
| 0 | 0 | 1 | 0 | |
| 0 | 0 | 1 | 0 | |
| 0 | 0 | 1 | 0 | |
| 0 | 0 | 1 | 0 | |
| 0 | 0 | 0 | 1 | groupement $B_2$ |
| 1 | 0 | 0 | 1 | |
| 0 | 0 | 0 | 1 | |
| 0 | 0 | 0 | 1 | |
| 0 | 0 | 0 | 1 | |

d'une thuriféraie mixte avec d'autres espèces arborescentes à des formations de thurifère dégradées très ouvertes, dans lesquelles les pratiques agropastorales sont nettement répandues.

Sur l'axe 2, ce sont surtout les espèces liées aux formations de haute altitude (chaméphytes et herbacées) (Quézel & Santa 1962-1963 ; Quézel 1957) qui déterminent la partie positive de cet axe. Gauquelin & Montes (2001) ont indiqué une situation similaire à la limite forestière supérieure dans les Atlas marocains, où le Genévrier thurifère et les chaméphytes épineuses en coussinet sont étroitement mêlés avant que, plus en altitude, ne subsistent que ces dernières.

Cependant, sur la partie négative de cet axe ce sont les espèces communes des cultures, des parcours et des rocailles de montagnes qui dominent (tableau 3). Cet axe paraît synthétiser un gradient altitudinal, allant des plus basses vers les plus hautes altitudes. Cela pourrait s'expliquer également par le fait que la plupart des zones réservées aux pratiques agropastorales sont notamment localisées au piémont, à proximité des agglomérations.

## Détermination des groupements végétaux

L'analyse factorielle des correspondances accompagnée par une classification ascendante hiérarchique, appliquée aux contributions issues de l'AFC, a permis d'établir la typologie (Achour-Kadi Hanifi & Loisel

**Tableau 3 – Espèces contribuant à l'axe 2.**
***Table 3 – Species contributing to the axis 2.***

| F2+ | Contribution | Espèces caractéristiques de haute montagne | F2- | Contribution | Espèces caractéristiques des cultures et parcours |
|---|---|---|---|---|---|
| E38 | 0,010 | *Catananche caerulea* L. | E35 | 0,015 | *Carduus macrocephalus* Desf. |
| E39 | 0,010 | *Cedrus atlantica* (Endl.) Carrière | E54 | 0,015 | *Cynosurus echinatus* L. |
| E55 | 0,031 | *Cytisus balansae* (Boiss.) Ball subsp. *balansae* | E77 | 0,015 | *Helianthemum croceum* (Desf.) Pers. subsp. *croceum* |
| E59 | 0,071 | *Dianthus serrulatus* Desf. subsp. *serrulatus* | E110 | 0,016 | *Melilotus indicus* (L.) All. |
| E80 | 0,010 | *Helichrysum lacteum* Coss. & Durieu | E112 | 0,021 | *Bombycilaena discolor* (Pers.) M.Laínz |
| E139 | 0,031 | *Rhamnus alpina* L. subsp. *alpina* | E117 | 0,015 | *Ononis natrix* L. subsp. *natrix* |
| E141 | 0,031 | *Ribes uva-crispa* L. subsp. *uva-crispa* | E137 | 0,022 | *Reseda alba* L. subsp. *alba* |
| E143 | 0,023 | *Rosa sicula* Tratt. | E147 | 0,012 | *Salvia verbenaca* L. subsp. *verbenaca* |
| E166 | 0,031 | *Taxus baccata* L. | E164 | 0,015 | *Stipa asperifolia* subsp. *longiglumis* (H.Scholz) Vásquez & Devesa |
| E177 | 0,010 | *Tulipa sylvestris* L. subsp. *sylvestris* | E168 | 0,017 | *Teucrium polium* subsp. *aurasiacum* (Maire) Greuter & Burdet |
| E184 | 0,010 | *Viola munbyana* Boiss. & Reut. | E171 | 0,016 | *Thymus munbyanus* Boiss. & Reut. subsp. *munbyanus* |

1997) du Genévrier thurifère de la région des Aurès. Globalement, celles-ci pourraient individualiser deux ensembles plus ou moins homogènes (figure 10).

### Ensemble « A »

Ce premier ensemble, qui englobe les relevés effectués à des altitudes basses et moyennes (1 369-1 742 m), exprime une physionomie allant d'une formation mixte, composée essentiellement par le Genévrier thurifère, le chêne vert et le frêne dimorphe accompagnés par une proportion importante d'espèces thérophytiques, vers les formations dégradées et très ouvertes de thurifères où l'action anthropique est clairement visible. Cet ensemble peut être scindé en deux groupements :

– le groupement des milieux ouverts ($A_1$) ;
– le groupement des milieux forestiers plus ou moins fermés ($A_2$).

#### Le groupement des milieux ouverts ($A_1$)

Ce groupement est constitué de trois relevés (2, 5 et 7). Il occupe le quadrant formé par les valeurs négatives sur les deux axes de l'AFC. Il est situé soit sur des terrains où la roche mère affleure, soit localisé au niveau des zones anciennement réservées à la céréaliculture et au parcours. Le recouvrement de la strate arborescente est très clair et ne dépasse guère 10 % ; c'est la thuriféraie la plus dégradée. Les espèces les plus contributives aux parties négatives des axes 1 et 2 et qui définissent le groupement $A_1$, localisé aussi dans ce même quadrant, sont : *Cynosurus echinatus* L., *Helianthemum croceum* (Desf.) Pers. subsp. *croceum*, *Hyparrhenia hirta* (L.) Stapf., *Lotus corniculatus* L. subsp. *corniculatus*, *Malva sylvestris* L., *Medicago lupulina* L., *Medicago minima* (L.) L., *Medicago turbinata* (L.) All., *Melilotus indicus* (L.) All., *Bombycilaena discolor* (Pers.) M. Laínz, *Ononis natrix* L. subsp. *natrix*, *Reseda alba* L. subsp. *alba* et *Thymus munbyanus* Boiss. & Reut. subsp. *munbyanus*.

#### Le groupement des milieux préforestiers plus ou moins fermés ($A_2$)

Ce groupement est défini notamment par des valeurs positives sur le premier axe et par des valeurs négatives sur le second. Celui-ci se présente sous forme d'une thuriféraie plus moins fermée accompagnée par le chêne vert et le frêne dimorphe. Le recouvrement de la strate arborescente peut atteindre, par endroit, 30 à 40 %. Le recouvrement de la strate arbustive est également important (25-50 %). Ce dernier s'étend sur des sols peu développés avec parfois affleurements rocheux.

Les espèces les plus contributives aux parties négatives de l'axe 2 et positives de l'axe 1 et qui définissent le groupement $A_2$, localisé à son tour dans ces parties sont : *Bupleurum spinosum* Gouan, *Carduus macrocephalus* Desf., *Eryngium dichotomum* Desf., *Fraxinus dimorpha* Coss. & Durieu, *Hertia cheirifolia* (L.) Kuntze, *Juniperus thurifera* subsp. *africana* (Maire) Gauquelin, Idr. Hass. & P. Lebreton, *Quercus ilex* subsp. *ballota* (Desf.) Samp., *Sixalix atropurpurea* subsp. *maritima* (L.) Greuter & Burdet, *Stipa apertifolia* subsp. *longiglumis* (H. Scholz) Vásquez & Devesa et *Teucrium polium* subsp. *aurasiacum* (Maire) Greuter & Burdet.

### Ensemble « B »

Ce second ensemble se rapporte aux relevés réalisés à haute altitude (1 910-2 068 m). Il est assez rare et extrêmement localisé et révèle aussi une physionomie variable. Sa mosaïque paysagère est composée d'une végétation forestière appartenant à la forêt dense de cèdre et aux thuriféraies dégradées d'altitudes. À son tour, cet ensemble pourrait être subdivisé en deux groupements végétaux :

– groupement forestier des cédraies-thuriféraies ($B_1$) ;
– groupement des thuriféraies dégradées d'altitude ($B_2$).

#### Groupement forestier des cédraies-thuriféraies ($B_1$)

Les espèces caractérisant celui-ci occupent le quadrant formé par les valeurs négatives sur le premier axe et les valeurs positives sur le second. C'est une formation forestière dense, dominée par le cèdre de l'Atlas ; le recouvrement de la strate arborescente dépasse 50 %.

Les espèces les plus contributives aux parties positives de l'axe 2 et négatives de l'axe 1, où est localisé ce groupement sont : *Carthamus pinnatus* Desf., *Catananche caerulea* L., *Cedrus atlantica* (Endl.) Carrière, *Centaurea tougourensis* Boiss. & Reut., *Helichrysum lacteum* Coss. & Durieu, *Lysimachia monelli* (L.) U. Manns & Anderb., *Tulipa sylvestris* L. subsp. *sylvestris* et *Viola munbyana* Boiss. & Reut.

### Groupement des thuriféraies dégradées d'altitude ($B_2$)

Le groupement végétal des thuriféraies dégradées d'altitude s'individualise dans le quadrant formé par des valeurs positives sur les deux axes factoriels. Physionomiquement, il se présente sous l'aspect d'une formation très claire. Elle est constituée de sujets de thurifère très épars de taille médiocre et trapue. Le recouvrement de la strate arborescente est insignifiant, il est généralement inférieur à 5 %. Les espèces chaméphytes constituées essentiellement de *Bupleurum spinosum* Gouan et *Cytisus balansae* (Boiss.) Ball subsp. *balansae* jouent un rôle important dans le paysage de ce groupement. Il se rencontre sur des terrains rocheux très accidentés, sur les expositions nord et ouest à haute altitude (2 068 m). Les espèces les plus contributives aux parties positives sur les deux axes définissant ainsi ce groupement sont : *Cytisus balansae* (Boiss.) Ball subsp. *balansae*, *Dianthus serrulatus* Desf. subsp. *serrulatus*, *Rhamnus alpina* L. subsp. *alpina*, *Ribes uva-crispa* L. subsp. *uva-crispa*, *Taxus baccata* L.

L'analyse des types biologiques des groupements ainsi définis montre que les groupements végétaux des milieux ouverts et ceux des milieux préforestiers plus ou moins fermés $A_1$ et $A_2$ sont largement dominés par les thérophytes (figures 11 et 12), forme de résistance à la sécheresse du climat et aux perturbations (Floret *et al.* 1990 ; Barbero *et al.* 1990). Néanmoins, le groupement végétal des cultures et des parcours ($A_1$) est de loin le plus riche en ce type biologique. Cette forme de réponse aux conditions du milieu est suivie par les hémicryptophytes et les chaméphytes. Ces derniers sont souvent refusés par les troupeaux (Médail & Diadema 2006 ; Barbero *et al.* 1990). Le parcours entraîne une uniformisation du tapis végétal caractérisé par le développement des espèces peu palatables ou nitrophiles (Abdessamed 1984).

Quant aux groupements des cédraies-thuriféraies et des thuriféraies dégradées d'altitude, respectivement « $B_1$ » et « $B_2$ », les résultats illustrés par les figures 13 et 14 indiquent une nette dominance des hémicryptophytes dans le spectre du groupement de la cédraie-thuriféraie « $B_1$ ». Celui-ci est localisé essentiellement au niveau du massif du Chélia. L'extension des pelouses culminales du Chélia (2 328 m), climatiquement favorables à la cédraie, résulterait selon Quézel (1957) d'une dégradation de ce type forestier. La présence

**Figure 11 – Types biologiques des espèces du groupement des milieux ouverts (A1) en basses altitudes.**

***Figure 11 – Biological types of the species of the community of degraded Thuriferous Juniper at low altitude (A1).***

**Figure 12 – Types biologiques des espèces du groupement des milieux préforestiers semi-ouverts (A2).**

***Figure 12 – Biological types of the species of the community semi-open (A2).***

**Figure 13 – Types biologiques des espèces du groupement forestier des cédraies-thuriféraies (B1), localisé à haute altitude.**

***Figure 13 – Biological types of the species of the forestry community Cedar-Thuriferous Juniper (B1), localized at high altitudes.***

**Figure 14 – Types biologiques des espèces du groupement des thuriféraies dégradées d'altitude (B2).**

***Figure 14 – Biological types of the species of the community Thuriferous Juniper degraded at high altitudes (B2).***

de ces pelouses pourrait aussi s'expliquer par les effets du froid et de l'augmentation de la pluviosité (Danin & Orshan 1990), mais cela semble peu probable. De notre part, nous estimons que le dépérissement des cédraies du massif de l'Aurès (Bentouati & Bariteau 2006 ; Bentouati 2008 ; Beghami *et al.* 2012) déclenché récemment aurait comme conséquence l'augmentation notable de ce type biologique.

Les chaméphytes, dans le groupement des thuriféraies dégradées d'altitude « $B_2$ », marquent une remarquable hausse. Le taux enregistré dans cette formation est de 27 %. Ce sont eux qui fascinent le paysage et le thurifère ne joue, ici, qu'un rôle secondaire en raison de sa densité. Les phanérophytes, dans ce spectre, occupent une place importante (23 %), ce qui traduit, d'une part, un milieu moins affecté par l'activité anthropique, en raison de son éloignement et, d'autre part, un milieu bénéficiant de conditions climatiques favorables. Notons que les phanérophytes sont représentés surtout par les nonophanérophytes rupicoles des rochers fissurés (figure 14).

### Indice de perturbation

Le groupement « $A_1$ » donne un indice de 61,86 % contre 55,26 % pour le groupement « $A_2$ ». Ce sont les groupements les plus perturbés avec une dégradation plus alarmante dans le premier que dans le second. Plus l'indice est élevé, plus le milieu est perturbé. Cela pourrait s'expliquer par la proximité de ces formations des villages et agglomérations riveraines (culture et parcours). Ouhammou (2004) a indiqué que dans les thuriféraies marocaines, l'action anthropique est forte dans les basses altitudes, correspondant à des zones accessibles, à la proximité des villages ; elle est relativement faible dans les hautes altitudes. L'indice calculé pour le groupement des cédraies-thuriféraies « $B_1$ » est de 28,13 %, c'est le plus faible indice calculé pour ces formations. Elles sont peu perturbées et présentes encore une physionomie sylvatique. La perturbation au niveau du groupement des thuriféraies dégradées d'altitude « $B_2$ » est relativement importante, l'indice calculé est de 45,5 %. Dans nos régions, en plus de l'aléa climatique, cette perturbation aurait comme cause principale la pression anthropique, qui est fort ancienne et qui présente des origines historiques et sociales (Abdessamed 1984).

## Conclusion

Le Genévrier thurifère de la région des Aurès occupe cinq localités d'inégale importance. D'une part, l'analyse des paramètres relatifs à sa structure morphologique ainsi qu'à sa physionomie montre que ceux-ci ne diffèrent pas beaucoup de ceux des autres individus de la Méditerranée occidentale. D'autre part, la flore associée à cette espèce témoigne d'une certaine originalité étant donné le taux important de l'endémisme régional et la forte représentation des éléments méditerranéens.

L'étude des groupements végétaux qu'individualise le Genévrier thurifère a permis de discriminer quatre groupements. L'un se présente physionomiquement sous forme d'une formation forestière plus ou moins ouverte dominée par le chêne vert, le frêne dimorphe et le thurifère. Le deuxième est une thuriféraie très claire, localisée aux stations les plus basses, largement affectée par des pratiques agropastorales et paraissant issue de cette action anthropique permanente et très ancienne. Le troisième groupement est une cédraie-thuriféraie plus sylvatique et la mieux conservée. Il résulte, semble-t-il, d'une dégradation moins poussée avec un fort particularisme naturel lié à l'altitude (froid et humidité). Tandis que le dernier groupement est représenté par une thuriféraie très dégradée, localisée en haute altitude sur des pentes abruptes et accompagnée par des rupicoles des creux rocheux. Le calcul de l'indice de perturbation indique un milieu plus fortement anthropisé en bas des versants que vers les sommets.

Face à l'ampleur et à la croissance des risques anthropiques auxquels sont exposées les formations arborescentes des Aurès et, en particulier, celles du Genévrier thurifère, il est temps de mettre en place rapidement des politiques de protection et de développement durable plus efficaces. En effet, il y a quelques décennies ces régions étaient relativement peuplées. L'exode rural vers les villages notamment durant les deux dernières décades a donné la chance au Genévrier thurifère de nous exprimer déjà son potentiel de régénération dans ces biotopes largement perturbés. La régénération signalée en témoigne. Malgré le recul de la mise en culture de ces espaces et la fréquence des incendies de forêt, la présence des bergeries de pâturage peut toujours entraver toute espérance de restauration de ces écosystèmes.

Certes, une prise de conscience est récemment née. Une placette de 12 ha a été mise en défens dans la thuriféraie de l'Oued Abdi, par les services forestiers dans le cadre du programme de l'UICN. Néanmoins, la présence d'une carrière juste à côté et le non-respect rigoureux de cette placette menacent toute tentative de préservation de ces peuplements. L'absence de régénération en témoigne l'inefficacité. Des mesures de développement et de changement du mode de vie avec réglementations contractuelles entre la population riveraine et l'État permettraient de limiter efficacement la dégradation des thuriféraies liées à la pression du pâturage. Ne pas y adhérer entraîne l'annulation des aides et des subventions octroyées par l'État.

Si la situation actuelle perdure sans mesures de préservation de ce patrimoine inestimable, le risque de transformer cette région, autrefois forestière, en un milieu totalement asylvatique deviendra une réalité.

## Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier vivement les agents et les cadres de la conservation des forêts de la Wilaya de Khenchela et de la Wilaya de Batna qui les ont aidés et accompagnés sur le terrain. Leurs gratitudes vont particulièrement à messieurs A. Bouzghaya, O. Briki, S Bouhrik., G. Kalla, S. Zekak, O. Abida et A. Boumaaraf. Ils remercient également messieurs R. Beghami et O. Benssaci pour leur relecture de la version anglaise abrégée.

## Références

Abdessamed 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 : 19-26.

Achour-Kadi Hanifi H. & Loisel R., 1997. Caractéristiques édaphiques des formations à *Stipa tenacissima* L. de l'Algérie en relation avec la dynamique de la végétation. *Ecologia Mediterranea* 23 : 33-43.

Barbero M., Quézel P. & Loisel R., 1990. Les apports de la phytoécologie dans l'interprétation des changements et perturbations induits par l'homme sur les écosystèmes forestiers méditerranéens. *Forêt méditerranéenne* 12 : 194-215.

Beghami Y., Kalla M., Thinon M. & Benmessaoud H., 2012. Spatiotemporal Dynamics of Forest and Mountain Formations in Aurès Area, Algeria. *Journal of Life Sciences* 6: 663-669.

Beghami Y., Vela E., Thinon M. & Benmessaoud H., 2011. Notes sur le Genévrier thurifère (*Juniperus thurifera*) dans le massif de l'Aurès (Algérie). Communication au IV$^{e}$ colloque international sur le Genévrier thurifère et espèces affines. Hautes-Alpes, France, du 5 au 8 octobre 2011. www.colloquethurifere2011.fr

Beghami Y. & De Bélair G., 2007. Les groupements végétaux de la cédraie du massif de Chélia « Aurès » Algérie. Actes du colloque GEOFLORE 2007. *Bulletin de l'association des botanistes lorrains*, numéro spécial 1 (ISSN 1773-1968).

Belkassir M. & Temagoult O., 2001. *Étude d'élevage et du pastoralisme au sein du Parc national de Belezma (Genévrier thurifère)*. Programme UICN pour l'Afrique du Nord, 21 p.

Benmessaoud H., Kalla M. & Dridi H., 2009. Évaluation de l'occupation des sols et désertification dans le sud des Aurès (Algérie). *M@ppemonde* 94, http://mappemonde.mgm.fr/num22/articles/art09206.html

Bentouati A., 2008. La situation du cèdre de l'Atlas dans les Aurès (Algérie). *Forêt méditerranéenne*, t. XXIX, n° 2 : 203-208.

Bentouati A. & Bariteau M. 2006. Réflexions sur le dépérissement du Cèdre de l'Atlas des Aurès (Algérie). *Forêt méditerranéenne*, t. XXVII, n° 4 : 317-322.

Bertaudière V., Montès N., Badri W. & Gauquelin T. 2001. Multicaulis structure of *Juniperus thurifera*: adaptation to a severe environment? – *CRAS*, Serie III. Sciences de la Vie/Life Sciences 324: 627-634.

Boudy P., 1950. *L'économie forestière nord-africaine.* Tome II, *Monographie et traitement des essences forestières*. Paris, Larose.

Carazo-Montijano M.M. & Fernández-López C., 2006. *Catálogo de las plantas vasculares de Andalucía y Marruecos*. Herbario Jaén, 420 p.

Danin A. & Orshan G., 1990. The distribution of Raunkiaer life forms in Israel in relation to the environment. *Journal of Vegetation Science* 1: 41-48.

Dobignard A. & Chatelain C., 2010-2011. *Index synonymique et bibliographique de la flore d'Afrique du Nord* : vol. 1 (2010), vol. 2-3 (2011), vol. 4-5 en préparation. Consultable sur http://www.ville-ge.ch/musinfo/bd/cjb/africa/index.php?langue=fr

Ellenberg H. & Mueller-Dombois D., 1967. A key to Raunkiaer plant life forms with revised subdivi-

sions. *Berichte geobot. Inst. eidg. tech. Hochschule Rübel* 37: 56-73.

Floret C., Galan M.J., Le Floc'h., Orshan G. & Romane F., 1990. Growth forms and phenomorphology traits along an environmental gradient: tools for studing vegetation. *Journal of Vegetation Science* 1: 71-80.

Gauquelin T. & Montes N. 2001. Relations et similitudes fonctionnelles Genévrier thurifère-xérophytes épineuses en coussinet dans les Atlas marocains. Communication au 2e Colloque international : Le Genévrier thurifère et les forêts d'altitude dans les montagnes du pourtour méditerranéen.

Gauquelin T., Asmodé J. F. & Largier G., 2000. *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, Onf, coll. « Les dossiers forestiers » 6 : 14-24.

Gauquelin T., Bertaudière V., Montès N., Badri W. & Asmodé J.F., 1999. Endangered stands of thuriferous juniper in the western Mediterranean basin: ecological status, conservation and management. *Biodiv. Cons.* 8: 1479-1498.

Loisel R. & Gomila H., 1993. Traduction des effets du débroussaillement sur les écosystèmes forestiers et préforestiers par un indice de perturbation. *Ann. Soc. Sci. Nat. Archéol. de Toulon et du Var* 45 (2) : 123-132.

Maire R., 1952. *Flore de l'Afrique du Nord : volume I*. Paris, Éd. Lechevalier, 366 p.

Médail F. & Diadéma K., 2006. Biodiversité végétale méditerranéenne et anthropisation : approches macro et micro-régionales. *Ann. Géogr*. 651 : 618-640.

Mercier G. 1897. Le nom des plantes en dialecte Chaouia de l'Aourès. *Actes du congrès des orientalistes* : 79-92.

Montès N., Bertaudière-Montès V., Badri W., Zaoui E.H. & Gauquelin T., 2002. Biomass and nutrient content of a semi-arid mountain ecosystem: the *Juniperus thurifera* L. woodland of Azzaden Valley (Morocco). *For. Ecol. and Manag*. 166: 35-43.

Ouhammou A. 2004. Flore, écologie et dynamique de la thuriféraie du Parc national du Toubkal, Haut Atlas de Marrakech, Maroc. *Naturalia Maroccana* 2 (1-2) : 27-32.

Quézel P., 1957. *Peuplement végétal des hautes montagnes de l'Afrique du Nord*. Paris, Éd. Lechevalier.

Quézel P. & Santa S., 1962-1963. *Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales*. Paris, Cnrs Éd., 1 170 p. (2 vol.).

Raunkiaer C., 1934. *The life forms of plants and statistical plant geography*. Oxford University Press, 104 p.

Schoenenberger A., 1972. Présentation géobotanique du massif des Aurès (Algérie). *Comptes rendus des séances mensuelles de la Société des sciences naturelles et physiques du Maroc* 38 : 68-77.

Seltzer P., 1946. *Le climat de l'Algérie*. Alger, Carbonel, 219 p.

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.

# Le Genévrier thurifère (*Juniperus thurifera* L.) dans les Préalpes françaises : étude de l'écologie et de la structure des peuplements

## *The Incense juniper (*Juniperus thurifera *L.) in the French pre-Alps: study of the ecology and populations structure*

Benjamin COUSSY[1*], Luc GARRAUD[2], Michel GODRON

1. 3, rue des Sorbiers, 05000 Gap, France

2. Conservatoire botanique national alpin, Domaine de Charance, 05000 Gap, France

* benjamin.coussy@gmail.com

**Résumé**

*L'étude menée en 2008 dans les Préalpes françaises par le Conservatoire botanique national alpin (CBNA) vise à mieux comprendre la structure des peuplements de Genévriers thurifères et des cortèges floristiques observés en leur sein. L'objectif est, en fonction des données démographiques obtenues et de la flore observée, d'appréhender la dynamique de ces peuplements et d'évaluer la place de* J. thurifera *L. dans l'assemblage de végétation caractéristique de son écologie. Un travail de ce type n'ayant jamais été mené sur cette zone géographique, l'étude s'attache uniquement à confirmer ou infirmer les observations déjà énoncées sur le sujet en fonction des données recueillies sur le terrain. Pour cela, une méthode d'échantillonnage basée sur un transect, une aire de comptage et des relevés phytosociologiques répétés sur 17 stations est utilisée. L'analyse statistique confirme les connaissances que nous avons sur l'écologie des espèces observées. Par ailleurs, les données brutes exposent un déséquilibre des classes d'âge et une forte régénération, ce qui peut laisser penser que la protection des nourriciers favorise les jeunes dans les premières années mais tend à se transformer en compétition pour les ressources. De même, l'anthropisation perturbe les peuplements de thurifères et le Pin noir (*Pinus nigra *Arn.) – espèce largement utilisée en RTM – le concurrence.*

**Mots clés :** régénération, protection, compétition, cortèges floristiques.

**Abstract**

*The study conducted in the French pre-Alps in 2008 by the Conservatoire botanique national alpin (CBNA) aimed to better understand the populations structure of Incense Juniper and floristic processions observed within them. The aim was, according to demographic data and flora, to formulate hypotheses about the dynamics and place of* J. thurifera *L. within the characteristic vegetation of its ecology. As a work of this type has never been conducted in this area, the study endeavours to confirm, or not, observations already stated on this subject according to field data. A selection of samples based on a transect, a counting area and phytosociological plots repeated on 17 stations gave this field data. The analyze confirms our knowledge about the ecology of the observed species. Moreover, field data show an unevenness of the age classes as well as a high regeneration, this could indicates that the feeder protection helps juveniles in the first years but tends to turn into competition over resources. Furthermore, anthropization disrupts Junipers plantings and Austrian pine (*Pinus nigra *Arn.) – a species widely used in RTM – competes against it.*

**Keywords:** regeneration, protection, competition, floristic processions.

## Introduction

Le Genévrier thurifère (*Juniperus thurifera* L.) est une espèce méditerranéo-montagnarde occidentale, affectionnant un climat semi-aride, sec, froid en hiver et très exposé à l'ensoleillement. Elle ne se retrouve qu'en Espagne, en France, au Maroc et très localement en Algérie et en Italie (Archiloque & Borel 1965 ; Barbero *et al.* 1988 ; Gauquelin *et al.* 1988). Son maintien et sa préservation sont différents au nord et au sud de son aire (Garraud *et al.* 2009). Au sud, notamment au Maroc, ses usages multiples et persistants (Montès 1999) ainsi qu'une faible régénération (Romo & Boratyński 2005) rendent sa conservation très aléatoire. Au nord, elle est peu menacée et dynamique et ses peuplements ont été désignés, en France, comme « communautaires » par Natura 2000. Dans les Alpes françaises, son aire de répartition a été estimée à environ 100 000 ha au 1/1 250 000 et 9 000 ha au 1/25 000 (Coussy 2008).

L'étude effectuée en 2008 s'est située dans les Préalpes, là où les peuplements de *J. thurifera* sont les plus importants et les plus nombreux de France.

## Matériel et méthodes

### Méthode d'échantillonnage

Six sites d'études des Alpes-de-Haute-Provence (04), des Hautes-Alpes (05) et de la Drôme (26) ont été choisis, grâce aux données cartographiques du Cbna, afin de couvrir une large zone d'étude (tableau 1). Au sein de chaque site, trois stations d'échantillonnage (excepté un site avec seulement deux stations) ont été définies (figure 1), soit un total de 17 stations étudiées. Le choix des stations se fait de manière à avoir la meilleure représentativité des différents peuplements de thurifères observés au sein de chaque site. Cependant, les vires très escarpées ou les barres

**Tableau 1 – Tableau descriptif des sites d'étude choisis.**

| Dép. | Site | Altitude (m) | Pente (°) | Principales espèces arborescentes et arbustives autres que *J. thurifera*. |
|---|---|---|---|---|
| 26 | Châtillon-en-Diois (Cha) | 600 à 1 000 | 35 à 45 | *Pinus sylvestris, Quercus sp., Buxus sempervirens* |
| 05 | Espinasses (Esp) | 700 à 900 | 20 à 30 | *Quercus pubescens, Pinus nigra* |
| 05 | Revuaire (Rev) | 1 100 à 1 300 | 15 à 30 | *Pinus sylvestris, Pinus nigra, Quercus sp., Buxus sempervirens* |
| 05 | Saint-André-de-Rosans (San) | 900 à 1 100 | 20 à 40 | *Pinus sylvestris, Quercus pubescens, Buxus sempervirens* |
| 05 | Saint-Crépin (Scr) | 1 100 à 1 200 | 20 à 40 | *Pinus sylvestris* |
| 04 | Thorame-Haute (Tho) | 1 200 à 1 600 | 10 à 30 | *Pinus sylvestris, Buxus sempervirens, Genista cinerea* |

**Figure 1 – Sites choisis pour effectuer les échantillonnages.**

rocheuses sont exclues de l'échantillonnage, pour des raisons d'accessibilité et de caractères de démographie et de croissance trop spécifiques pour nos relevés.

La méthode d'échantillonnage s'articule autour d'un transect de 50 mètres de long établi dans un peuplement de thurifères. Comme pour le choix des stations au sein d'un site, la mise en place du transect se fait de manière à être représentatif d'une zone sélectionnée. Une aire de 500 mètres carrés est ensuite délimitée autour du transect.

Ce transect fait office de plan virtuel divisé verticalement en trois strates de hauteur (en centimètres, [0-50], [50-200], [200-~]) et horizontalement en 50 segments d'un mètre. Pour chaque segment est notée la végétation traversant le plan virtuel du transect en fonction de la strate de hauteur. Les espèces arborescentes sont mesurées, les arbustives sont définies par classe de hauteur et les herbacées seulement notées par leur présence. Au sein de l'aire de 500 mètres carrés sont identifiés l'ensemble des Genévriers thurifères présents : hauteur, circonférence à la base et à 130 centimètres, sexe (mâle, femelle, indéterminé) sont notés. Par ailleurs, l'ensemble des autres ligneux de plus de 200 centimètres sont relevés par leur hauteur et leur circonférence à la base et à 130 centimètres. Enfin, une représentation cartographique de l'ensemble des 17 aires de 500 mètres carrés échantillonnées est effectuée.

Pour estimer l'âge d'un arbre, l'une des méthodes les plus utilisées est la dendrochronologie. Un carottage sur chaque thurifère observé étant impossible, nous proposons d'estimer l'âge des individus grâce à leur circonférence à la base. Pour cela nous utilisons le caractère d'accroissement radial. En effet, en connaissant la circonférence $C$ il est possible de déterminer le rayon moyen $r$ (1), puis d'estimer l'âge $A$ grâce à la croissance radiale $CR$ (2) :

$$(1)\ r = C/2\pi$$

$$(2)\ A = r/CR$$

La valeur de $CR$ choisie se base sur la bibliographie. Bertaudière *et al.* (1999) ont déterminé dans la thuriféraie de la montagne de Rié (Pyrénées) une $CR$ moyenne de 0,99 mm/an. Montès (1999) a utilisé pour développer ses calculs au Maroc une $CR$ de 1 mm/an. Lathuillière (1994) a établi des $CR$ variant de 0,9 à 1,6 mm/an dans les Alpes. Nous retiendrons pour notre part une $CR$ à 1,2 mm/an pour s'approcher des valeurs de Lathuillière dans les Alpes tout en pondérant ce résultat avec les valeurs de Bertaudière *et al.* et de Montès. Cette $CR$ fait office de moyenne, une $CR$ mesurée individuellement pour chaque thurifère est déterminée par les facteurs biotiques et abiotiques propres à l'endroit précis où pousse un individu. De ce fait, cette estimation n'est qu'un indicateur de l'âge probable.

**Tableau 2 – Contingence de présence et dominance des types chorologiques en fonction des sites d'étude.**

| Présence | Cosmopolite | Eurasiatique | Européen | Atlantique | Boréal | Méditerranéen | Méditerranéo-montagnard | Endémique |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Cha | 0,02 | 0,18 | 0,23 | 0,00 | 0,03 | 0,41 | 0,10 | 0,03 |
| Esp | 0,02 | 0,07 | 0,33 | 0,00 | 0,02 | 0,50 | 0,04 | 0,03 |
| Rev | 0,00 | 0,18 | 0,31 | 0,00 | 0,01 | 0,37 | 0,07 | 0,05 |
| San | 0,00 | 0,08 | 0,25 | 0,00 | 0,02 | 0,47 | 0,10 | 0,08 |
| Scr | 0,04 | 0,13 | 0,26 | 0,00 | 0,05 | 0,40 | 0,10 | 0,02 |
| Tho | 0,00 | 0,19 | 0,36 | 0,03 | 0,05 | 0,22 | 0,09 | 0,06 |
| Moyenne | **0,01** | **0,14** | **0,29** | **0,00** | **0,03** | **0,39** | **0,08** | **0,05** |

| Dominance | Cosmopolite | Eurasiatique | Européen | Atlantique | Boréal | Méditerranéen | Méditerranéo-montagnard | Endémique |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Cha | 0,00 | 0,23 | 0,20 | 0,00 | 0,01 | 0,49 | 0,06 | 0,01 |
| Esp | 0,03 | 0,02 | 0,31 | 0,00 | 0,01 | 0,51 | 0,11 | 0,01 |
| Rev | 0,00 | 0,14 | 0,26 | 0,00 | 0,03 | 0,44 | 0,05 | 0,08 |
| San | 0,00 | 0,13 | 0,14 | 0,00 | 0,03 | 0,53 | 0,10 | 0,07 |
| Scr | 0,02 | 0,08 | 0,35 | 0,00 | 0,03 | 0,28 | 0,13 | 0,10 |
| Tho | 0,00 | 0,24 | 0,15 | 0,03 | 0,11 | 0,28 | 0,05 | 0,14 |
| Moyenne | **0,01** | **0,14** | **0,24** | **0,00** | **0,04** | **0,42** | **0,08** | **0,07** |

**Figure 2 – Afc des types chorologiques et des sites d'étude, avec les représentations graphiques des groupes issus des Cah.**

## Analyse de la végétation des sites échantillonnés

Une analyse factorielle des correspondances (Afc) est réalisée sur les données de « dominance » (*i.e.* la variable « nombre de fois où une espèce est relevée », contrairement à la « présence » où l'espèce n'est notée qu'une seule fois même si elle est abondamment présente) des espèces végétales relevées, grâce aux transects, sur les sites d'étude (figure 2). En complément de cette Afc, deux classifications ascendantes hiérarchiques (Cah) établies pour les types chorologiques et les sites d'étude définissent plusieurs groupes significatifs.

Enfin, les valeurs de fréquence des différents types chorologiques en fonction des sites d'étude (tableau 2) sont utiles pour observer les distributions des espèces végétales échantillonnées et déterminer dans quelle mesure les résultats obtenus s'accordent avec les connaissances déjà acquises sur le sujet.

Le type chorologique de l'ensemble des espèces notées a été préalablement défini à partir des flores de Chas (1994) et de Garraud (2003), et certaines espèces ont vu leur aire de répartition actualisée grâce à l'amélioration des connaissances sur leur écologie.

## Résultats

### Analyse factorielle des correspondances

Les données obtenues sur les transects permettent de réaliser une analyse chorologique sur 208 espèces observées sur l'ensemble des six sites d'étude. Le test du Chi$^2$ indique qu'il existe un lien entre les sites étudiés et les types chorologiques de la végétation échantillonnée (ddl = 35, p = 2,2 × $10^{-16}$). Les valeurs propres des axes F1 et F2 donnent 87,38 % de la variance totale, ce qui constitue un bon résultat.

### Distribution démographique des stations étudiées

Les données échantillonnées sur 17 stations aux profils démographiques variés permettent d'observer un déséquilibre des classes d'âge (figure 3), avec une dominance des juvéniles (figure 4). Ainsi, sur l'ensemble des 928 individus échantillonnés, 78 % (N = 725) ont un âge estimé inférieur à 40 ans (figure 3 a) dont 55 % (N = 399) ont moins de 5 ans estimés (figure 3 b).

### Structure spatiale de régénération

Une tendance liée à la structure spatiale de régénération chez *J. thurifera* a été observée lors de la cartographie des aires de comptage, comme énoncé par Montesinos-Torres (2007). En effet, de nombreux juvéniles ont été notés sous les femelles, et cela de manière plus importante que sous les mâles. Il n'existe pas de différences significatives entre le nombre de mâles et de femelles échantillonnés par station (Mann-Whitney ; p = 0,26, N = 174). Cependant, le nombre de femelles possédant au moins un juvénile sous leur houppier est significativement différent du nombre de mâles (Mann-Whitney ; p = 0,04, N = 39). Il y a donc plus de chances de retrouver un juvénile sous une femelle que sous un mâle. Un peu plus de 28 % des femelles échantillonnées possèdent au moins un juvénile sous leur houppier, contre 15 % pour les mâles.

**Figure 3 – Fréquence du nombre de thurifères échantillonnés en fonction de l'âge estimé, (a) ensemble des individus échantillonnés (N = 928), (b) individus échantillonnés de moins de 40 ans estimés (N = 725).**

**Figure 4 – Statistiques descriptives de la démographe par station (┼ représente la moyenne).**

# Discussion

## Les cortèges floristiques observés

Nous distinguons trois grands groupes chorologiques : méditerranéen, méditerranéo-montagnard et endémique ; européen et eurasiatique ; cosmopolite, boréal et atlantique.

Une analyse de chaque type nous permet d'observer que le méditerranéen domine sur les sites, et plus particulièrement à Saint-André-de-Rosans (0,53), Espinasses (0,51) et Châtillon (0,49). Nous retrouvons pour la plupart des plantes des plaines et des basses collines méditerranéennes qui montent en altitude et atteignent le plus souvent leur limite nord, trouvant aux confins des vallées des conditions favorables à leur maintien. Ce type s'exprime plusieurs fois de manière opposée à celui endémique, par exemple sur les sites de Saint-Crépin et Thorame-Haute qui correspondent aux valeurs de dominance les plus faibles de méditerranéennes (0,28) mais les plus fortes d'endémiques (0,10 et 0,14). Ceci peut laisser penser que lorsque les espèces du premier type sont moins dominantes sur les thuriféraies, celles du second ont plus de facilité à s'exprimer. Le type méditerranéo-montagnard (0,08) possède une aire de répartition plus étroite que le précédent. *J. thurifera* en fait partie et est caractérisé par une forte spécialisation et adaptation au milieu. Le type endémique possède une aire de répartition encore plus étroite que celui méditerranéo-montagnard, mais leur écologie est assez proche. Ces espèces endémiques sont souvent rares, peu dynamiques, mais très bien adaptées aux milieux xéro-thermophiles.

Le type européen forme le fond de la flore. L'ensemble de ce cortège floristique est très constant sur l'ensemble des sites étudiés. Jamais sur- ou sous-représenté (0,14 à 0,35), on le retrouve malgré tout de manière notable sur les sites de Saint-Crépin (0,35) et Espinasses (0,31). Le type eurasiatique possède une aire de répartition plus large que le type européen. Moins présent et dominant que ce dernier, il est probablement limité par la chaleur. Une opposition entre les types eurasiatique et méditerranéen est observable, notamment sur les sites d'Espinasses et de Saint-André-de-Rosans qui présentent la plus faible présence d'eurasiatiques (0,07 et 0,08) alors que les méditerranéennes dominent (0,50 et 0,47). Enfin, même constat pour les types eurasiatique et méditerranéo-montagnard qui s'opposent sur les sites étudiés. Là encore, les caractéristiques de spécialisation du second type (forte amplitude thermique, altitude, insolation) limitent le premier.

Le type cosmopolite constitue un groupe très restreint d'espèces. Ce sont des plantes à très large répartition, le plus souvent plantées et naturalisées, en expansion ou en cours de naturalisation. Elles sont très peu représentées (0,01), le milieu très spécialisé ne laissant que peu de place aux invasives. Le type atlantique n'est pas dans son élément. Ce sont des plantes à très large répartition ouest-européenne qui ne se maintiennent ici que grâce à des conditions locales très particulières, liées à une pluviométrie favorable. Le type boréal est limité par la chaleur. Principalement représenté par *Juniperus communis* L., il est présent sur tous les sites, mais de manière très restreinte.

## Structure d'âge des populations étudiées

### Estimation de l'âge

Notre calcul pour estimer l'âge d'un individu reste très perfectible, notamment en ce qui concerne les variations de croissance qui peuvent exister entre des individus observés dans des milieux très différents (par exemple barres rocheuses, landes ouvertes, etc.).

Rozas *et al.* (2009) ont fourni une étude précise de *J. thurifera* dans la Sierra de Cabrejas, en Espagne, basée sur 100 individus échantillonnés et qu'il est intéressant de comparer à nos résultats (tableau 3). Si l'on représente

**Tableau 3 – Valeurs caractéristiques de *J. thurifera* étudiés par Rozas *et al.* (2009) (a) et valeurs calculées pour notre étude (b).**

| | Classes d'âge | < 101 ans | 101-150 ans | 151-200 ans | 201-250 ans | > 251 ans |
|---|---|---|---|---|---|---|
| a | Diamètre moyen ± (cm) | 11,4 ± 3,1 | 19,2 ± 7,0 | 20,9 ± 6,3 | 25,5 ± 8,1 | 27,2 ± 9,7 |
| | Amplitude Ø (cm) | 7,7-18,2 | 9,5-37,6 | 9,7-30,0 | 15,1-41,8 | 14,0-41,2 |
| | Hauteur moyenne ± (m) | 4,7 ± 0,8 | 6,4 ± 1,6 | 6,4 ± 1,2 | 6,9 ± 1,3 | 5,4 ± 1,2 |
| | Amplitude H (m) | 3,6-6,7 | 3,4-10,8 | 4,8-8,7 | 3,8-8,6 | 4,2-7,5 |
| b | Diamètre moyen ± (cm) | 3,4 ± 4,1 | 22,3 ± 2,7 | 31,6 ± 2,6 | 39,5 ± 2,3 | 57,5 ± 11,9 |

graphiquement les valeurs *a* et *b* de diamètre moyen du tableau 3, les deux équations obtenues donnent un coefficient directeur pour les valeurs de notre étude 3,3 fois supérieur à celui de Rozas *et al.* Cet écart vient du fait que nous utilisons pour nos calculs une valeur de *CR* fixe, ainsi, l'estimation de l'âge d'un thurifère dépend avant tout de la circonférence à la base mesurée sur le terrain. En conséquence, plus un genévrier possède un gros tronc, plus l'âge estimé sera important alors que nous constatons, sur le tableau 3, que Rozas *et al.* ont, par exemple, échantillonné un individu d'un diamètre de 14 cm de plus de 251 ans. Bien que la linéarité de notre calcul de l'âge constitue un biais certain pour une approche très précise de la démographie des peuplements de *J. thurifera*, un test t-Student ne donne pas de différence significative entre nos valeurs de diamètre moyen et celles de Rozas *et al.* ($p = 0,317$ ; $N = 10$). De plus nous n'avons pas choisi de sites d'étude très spécialisés comme des barres rocheuses où l'on peut retrouver de petits individus très âgés, ce qui limite les valeurs extrêmes (« outlier ») de nos calculs.

### Déséquilibre des classes d'âge

Une fréquence très forte de juvéniles dans une population peut traduire une compétition très marquée au niveau des individus adultes de thurifères et des autres ligneux (*Pinus nigra* Arn., *Quercus pubescens* Willd., etc.). C'est ce que nous avons remarqué sur les stations 1 et 2 d'Espinasses, toutes deux dominées par des individus très jeunes. Or, ces deux transects se situaient en pinède Restauration des terrains en montagne (RTM) de pins noirs. Idéalement aucune classe d'âge ne devrait fortement dominer la structure démographique et, au contraire, une forte hétérogénéité aurait plutôt tendance à traduire une perturbation au sein d'un peuplement.

## Gradient spatial de régénération et compétition

Chez les espèces dioïques, le sexe des plantes nourricières peut déterminer significativement la structure spatiale de la population (Montesinos-Torres 2007). Ainsi, les facteurs les plus importants déterminant cette structure sont la dispersion des graines (par zoochorie pour *J. thurifera* [Miquet 2002 ; Santos *et al.* 1999]) et l'amélioration environnementale sous les femelles (Gauquelin *et al.* 1992 ; Montesinos-Torres 2007). Après la germination, l'ombrage créé par les plantes nourricières protège les semis de la dessiccation en diminuant la température au sol et en équilibrant la balance hydrique. Pour ces semis, le plus difficile est la première année, mais sur le long terme ces derniers en croissance sous les adultes vont souffrir de la compétition pour la lumière, l'eau et la matière organique ; la question étant alors de savoir à quel moment cette protection fournie par les adultes nourriciers se transforme en compétition.

Cette interrogation est aussi envisageable dans les pinèdes, notamment les pinèdes RTM. Sur le site d'Espinasses, il a été constaté que les juvéniles se retrouvaient en nombre sous le houppier des pins noirs. De manière générale, 38 % des pins échantillonnés possédaient au moins un juvénile sous leur houppier. L'hypothèse est que ces derniers protègent les jeunes thurifères d'une trop forte insolation ; mais alors, et de nouveau, quand la protection devient-elle compétition ? Sur la deuxième station d'Espinasses un très grand nombre de juvéniles plus âgés a été observé autour de souches de pins ayant été coupés dans les années 1990. Ceci laisse présager que l'ombrage fourni par *P. nigra* a permis le développement des semis et que la coupe a empêché un phénomène trop important de compétition, qui aurait sans doute réduit considérablement le nombre de ces jeunes genévriers. En outre, l'observation de terrain a montré que plusieurs thurifères étaient disposés « en couronne » autour de souches de *P. nigra* et/ou de *J. thurifera*.

Malgré tout, si cet ombrage semble améliorer le développement des semis, la troisième station de Revuaire (figure 5) apporte une nouvelle information : un boisement dense, ici encore une pinède RTM, est particulièrement néfaste à la pérennité de *J. thurifera*. Il est ainsi probable que la fermeture du milieu par les pins favorise l'établissement d'un sous-bois frais avec une végétation adaptée qui va de plus en plus dominer les thurifères présents, qui sont, rappelons-le, une espèce héliophile qui supporte mal la compétition. Certes, les juvéniles vont être favorisés par un relatif ombrage, mais leur développement va être stoppé par le manque de lumière. Si ces jeunes n'arrivent pas à maturité sexuelle, ils ne pourront pas assurer la pérennité du peuplement. Sur cette troisième station de Revuaire, les Genévriers thurifères se développent dans les « interstices lumineux » de la pinède, là où l'ensoleillement est peu perturbé.

**Figure 5 – Cartographie de l'aire de comptage de Revuaire 3. *J. thurifera* en noir (juvéniles en étoile), *P. nigra* en hachures diagonales et *Acer sp.* en hachures horizontales.**

## Conclusion

L'utilisation de transects permet d'obtenir des données de végétation en accord, d'après l'analyse statistique effectuée, avec la description écologique des cortèges floristiques déjà établie. Cette concordance, bien que n'apportant pas de nouveaux éléments caractéristiques, constitue un résultat renforçant les connaissances sur l'écologie du Genévrier thurifère.

L'utilisation d'une aire de comptage servant à dénombrer et caractériser les *J. thurifera* présents sur une zone permet d'estimer leur âge. Cependant, il serait intéressant de déterminer une méthode plus précise pour appréhender cet âge. Une piste envisageable serait de définir plusieurs types de stations remarquables, par exemple en barre rocheuse, sur vire xérique, en milieu anthropisé (bord de chemin, cimetières…), etc. Pour chaque type de station, un échantillonnage de plusieurs individus de populations différentes puis une détermination précise de l'âge de manière dendrochronologique seraient effectués. Pour chaque individu étudié, un ensemble de caractères comme le diamètre à la base, la taille, le pourcentage de feuilles aciculaires [caractère juvénile remarquable (Adams 2008)], etc. serait noté. Enfin pour chaque type de station et grâce aux données dendrochronologiques récoltées, nous pourrions essayer de déterminer une équation de probabilité d'âge en s'inspirant du travail de Fertin (2010) qui a proposé une probabilité de présence de *J. thurifera* dans les Alpes françaises en fonction de la pente, du bilan hydrique annuel et de la température annuelle.

S'il est entendu que la détermination d'une équation d'estimation de l'âge est une perspective pertinente à développer, nos calculs et observations de terrain nous renseignent malgré tout sur une tendance démographique des sites étudiés. Le déséquilibre des classes d'âge, avec une sur-représentation des jeunes individus, peut traduire une perturbation au sein d'un peuplement (par exemple une compétition inter- et intra-spécifique entre adultes importante ou une régénération significative mais une valeur adaptative pas nécessairement élevée). De même, si la croissance des jeunes thurifères semble favorisée par la protection d'individus nourriciers, il faudrait déterminer quand et comment cette protection se transforme en compétition pour les ressources (lumière, espace, substrat).

## Références


Adams R.P., 2008. Juniperus of Canada and the United States: Taxonomy, key and distribution. *Phytologia* (December 2008) 90(3): 255-314.

Archiloque A. & Borel A., 1965. *Une série résiduelle du Genévrier thurifère dans les Alpes du Sud*. Documents pour la carte de la végétation des Alpes III. Laboratoire de biologie végétale de Grenoble et du Lautaret, Université de Grenoble : 119-132.

Barbero M., Hammoud A. & Quézel P., 1988. Le Genévrier thurifère dans les Alpes ligures. *Bull. Soc. Linn. Provence* 39 : 75-79.

Bertaudière V., Montès N., Gauquelin T & Édouard J.L., 1999. Dendroécologie du Genévrier thurifère (*Juniperus thurifera* L.) : exemple de la thuriféraie de la montagne de Rié (Pyrénées, France). Elsevier/Inra, *Ann. For. Sci.* 56 : 685-697.

Chas E., 1994. *Atlas de la flore des Alpes.* Conservatoire botanique national alpin, Gap-Charance ; Conservatoire des espaces naturels de Provence et des Alpes du Sud ; Parc national des Écrins, 812 p.

Coussy B., 2008. *Contribution à l'étude du Genévrier thurifère (*Juniperus thurifera *L.) sur six sites des Alpes du Sud*. Diplôme universitaire « Cep niveau 3 », Université Paul Cézanne, Faculté des sciences et techniques Saint-Jérôme ; Conservatoire botanique national alpin, 88 p.

Fertin H., 2010. *État des lieux et évaluation de la dynamique des thuriféraies dans les Alpes francaises*. Mémoire de fin d'études, AgroParisTech Fif/Engref Nancy ; Conservatoire botanique national alpin, 103 p.

Garraud L., 2003. *Flore de la Drôme, Atlas écologique et floristique*. Conservatoire botanique national alpin, Gap-Charance, 923 p.

Garraud L., Lebreton P. & Genis J.M., 2009. Biogéographie et écologie comparées du Genévrier thurifère (*Juniperus thurifera* L.) dans les Alpes françaises du sud. *Bull. mens. Soc. Linn. Lyon* 78(5-6) : 119-135.

Gauquelin T., Idrissi Hassani M. & Lebreton P., 1988. Le Genévrier thurifère, *Juniperus thurifera* L. (cupressacées) : analyse biométrique et biochimique, propositions systématiques. *Ecologia mediterranea* XIV (3/4) : 31-42.

Gauquelin T., Fromard F., Badri W. & Dagnac J., 1992. Apports d'éléments minéraux au sol par l'intermédiaire de la litière, des pluies et des pluviolessivats dans un peuplement à Genévrier thurifère (*Juniperus thurifera* L.) du Haut Atlas occidental (Maroc). Elsevier/Inra, *Ann. Sci. For.* 49 : 599-614.

Lathuillière L., 1994. Le Genévrier thurifère (*Juniperus thurifera* L.). Monographie, étude de la thuriféraie de Saint-Crépin. *Le Genévrier thurifère dans le sud-est de la France*. Mémoire de fin d'études, Engref, 80 p.

Miquet A., 2002. Le point sur le Genévrier thurifère (*Juniperus thurifera* L.) en Savoie : quand l'oiseau se fait complice de la plante… et l'ornithologue du botaniste ! *Bull. Soc. Mycol. Bot. Région Chambérienne* 7 : 12-13.

Montès N., 1999. *Potentialités, dynamique et gestion d'une formation arborée à Genévrier thurifère (*Juniperus thurifera *L.) des Atlas marocains : le cas de la vallée de l'Azzaden*. Thèse de doctorat, Université Paul Sabatier, Toulouse, 203 p.

Montesinos-Torres D., 2007. *Efecto de la disponibilidad de recursos sobre la eficacia reproductiva de* Juniperus thurifera. Thèse de doctorat, Université de Valencia, Espagne, 116 p.

Romo A. & Boratyński A., 2005. Chorology of *Juniperus thurifera* (Cupressaceae) in Morocco. *Dendrobiology* vol. 54: 41-50.

Rozas V., Desoto L. & Olano J.M., 2009. Sex-specific, age-dependent sensitivity of tree-ring growth to climate in the dioecious tree *Juniperus thurifera*. *New Phytologist* vol. 182: 687-697.

Santos T., Tellería J.L. & Virgós E., 1999. Dispersal of Spanish juniper *Juniperus thurifera* by birds and mammals in a fragmented landscape. *Ecography* vol. 22: 193-204.

# Sur les peuplements de Genévrier thurifère (*Juniperus thurifera* L.) en Haut Pallars (Pyrénées centrales, Catalogne). Présentation géobotanique et écologique

## *Sobre las comunidades de sabina albar (*Juniperus thurifera *L.) en el Alto Pallars (Pirineo Central catalán). Presentación geobotánica y ecológica*

Pere AYMERICH[1] & Luis VILLAR[2]

1. C/Barcelona, 29, E-08600 Berga (Barcelona)
E-mail : pere_aymerich@yahoo.es
2. Instituto Pirenaico de Ecología, IPE-CSIC. Apdo. 64, E-22700 Jaca (Huesca)
E-mail : lvillar@ipe.csic.es

**Résumé**

*Le Genévrier thurifère (*Juniperus thurifera *L.) était connu depuis longtemps en Haute-Garonne et en Ariège et plus récemment dans les pré-Pyrénées (Aragon) (quelques pieds). De nouvelles populations ont été découvertes en 2006 par l'un de nous (Aymerich 2007) en Haut Pallars, Lleida (Espagne). La plus importante population est celle du Vall Ferrera mais il y en existe d'autres, mineures, dans le Vall de Cardòs et même dans la vallée principale de la Noguera Pallaresa. Leur surface est estimée à 356 ha, représentant 37 quadrillages UTM de 1 km de côté. Le nombre d'individus est de l'ordre de 5 000.*

*Ces bosquets colonisent les pentes pierreuses, assez raides et très ensoleillées de l'étage montagnard, entre (860) 1 100-1 450 (1 600) mètres d'altitude, normalement sur des schistes pas trop acides. Ils jouissent d'un topoclimat relativement continental qui caractérise cette partie des Pyrénées. Parfois en compagnie du Genévrier commun (*J. communis *L.), l'arbre s'associe également au Genévrier de Phénicie (*J. phoenicea *L.), avec lequel il avait été confondu. Si certains de ces peuplements peuvent être considérés comme primaires, d'autres seraient secondaires, établis spontanément sur d'anciens pâturages ou champs abandonnés.*

*Nous présentons ici une esquisse phytotopographique, floristique et biogéographique de ces formations. Encore une fois, ces peuplements représenteraient les fragments isolés d'une aire de répartition plus continue dans la vallée moyenne de l'Èbre. Sans doute dans ces enclaves ont-elles pu résister à la concurrence des forêts de* Quercus ilex *L. subsp.* ballota *(Desf.) Samp. De même, l'impact des incendies, des parasites, l'action directe des herbivores, l'élagage ou d'autres exploitations humaines n'ont pu conduire à leur élimination. Aujourd'hui, les bosquets récupèrent et leur protection est assurée par le Parc naturel de l'Alt Pirineu, s'étendant entre le val d'Aran et l'Andorre.*

**Resumen**

*La sabina albar (*Juniperus thurifera *L.) se conocía hace tiempo de Haute-Garonne o Ariège (Francia) y recientemente –algunos pies– del Prepirineo Aragonés. Nuevas poblaciones fueron halladas en 2006 por uno de nosotros en el Alt Pallars, Lleida (España). Junto al núcleo principal de la Vall Ferrera hay otros secundarios en la Vall de Cardòs y en el propio río Noguera Pallaresa. Su área se estima en 356 ha, las cuales se reparten por 37 cuadrículas UTM de 1 km de lado. Su número de ejemplares se acerca a 5 000.*

*Ocupan laderas pendientes, pedregosas y soleadas en el piso montano, entre (860) 1100-1450 (1 600) m de altitud, sobre esquistos poco o nada pobres en bases, bajo un clima relativamente continental de esta parte de los Pirineos. Suele*

**Mots clés :** *J. thurifera*, Haut Pallars, Pyrénées, phytotopographie, écologie.

**Keywords:** *J. thurifera*, Alt Pallars (Southern Pyrenees), Phytogeography.

*convivir con enebros –*J. communis *L.– y alguna vez con sabina negral (*J. phoenicea *L.), con la que de lejos se había confundido. Junto a las poblaciones que podemos considerar primarias, observamos también otras secundarias, consecuencia de la colonización reciente de antiguos pastos e incluso campos abandonados.*

*En esta comunicación haremos un análisis fitotopográfico, florístico y biogeográfico de estos sabinares. En una primera interpretación representarían el resto de un área menos discontinua por el valle medio del Ebro, gracias al hecho de que en esos enclaves han podido resistir la competencia de los bosques circundantes de* Quercus ilex *L. subsp.* ballota *(Desf.) Samp. Asimismo, los incendios, las plagas, el pastoreo y demás actividades humanas no han llegado a destruirlas. Ahora se recuperan y la gran mayoría gozan de protección legal, dentro del « Parc natural de l'Alt Pirineu », situado entre el valle de Arán y Andorra.*

## Introduction

La présence très isolée du Genévrier thurifère dans les Pyrénées centrales françaises est connue depuis le début du XXe siècle, époque où il a été découvert à la montagne de Rié, près de Marignac, en Haute-Garonne (Coste & Soulié 1913). Quatre-vingts ans plus tard, Guerby (1993) a repéré une nouvelle population au Quié de Lujat (Ariège). L'absence notable de cet arbre méditerranéen en versant sud de la chaîne frontière avait toujours frappé les botanistes espagnols, qui cherchaient des localités intermédiaires entre celles du versant nord et les effectifs de la Dépression de l'Ebre (provinces de Zaragoza et Huesca) afin d'établir un lien biogéographique.

Au cours du XXIe siècle, seuls quelques arbres ou petits groupes d'arbres ont été recensés sur le piémont aragonais des pré-Pyrénées (Rodríguez-Ochoa & Pedrol 1999 ; Ferrández 2003). Finalement, quelques noyaux représentatifs de *Juniperus thurifera* L. ont été découverts et délimités à partir de 2006 en Haut Pallars (Pyrénées centrales catalanes, Aymerich 2007). Centrés au Vall Ferrera, ils touchent aussi le Vall de Cardòs et deux points de la vallée principale du Noguera Pallaresa, de part et d'autre de Llavorsí (figure 1). Ce sont des arbres épars dont la surface discontinue atteint 356 ha. Le nombre total de pieds est estimé entre 3 600 et 4 200. Même si leur aire de répartition couvre sur la carte 37 carrés UTM de 1 km de côté, ils ne constituent sans doute qu'une seule population fonctionnelle (Aymerich 2008).

Nous présentons ici quelques données phytotopographiques, floristiques et écologiques concernant ces peuplements, de façon à signaler leur rôle dans le paysage végétal actuel. Cela va nous porter à une courte discussion sur leur possible origine biogéographique et à cerner leur état de conservation afin d'estimer leur évolution future.

**Figure 1 – Carte de répartition du Genévrier thurifère (*Juniperus thurifera*) en Haut Pallars (vallée de la Noguera Pallaresa, Catalogne, Espagne).**

***Figure 1 – Distribution map of the Spanish Juniper (*Juniperus thurifera*) in Haut Pallars (Noguera Pallaresa Valley, Catalonia, Spain).***

## Matériel et méthodes

Après avoir étudié la composition floristique des populations de Genévrier thurifère, nous avons dressé un tableau de vingt relevés où les espèces ont été ordonnées par groupes écologiques.

Quelques profils phytotopographiques représentatifs ont été réalisés, dans le but de mieux concrétiser l'exposition, la nature et profondeur du sol, les aspects topoclimatiques et les contacts géobotaniques avec les séries de végétation des alentours. La consultation de la bibliographie botanique, géobotanique et paléoécologique récente nous permet d'analyser les rapports de ces formations avec celles du versant nord de la chaîne et de la

Dépression de l'Èbre, bassin versant auquel appartient la Noguera Pallaresa.

Enfin, nous avons évalué les affinités chorologiques et les types biologiques des plantes inféodées aux junipéraies, ainsi que les impacts de l'exploitation humaine, ce qui est important pour le Parc natural de l'Alt Pirineu et les services forestiers, organismes chargés de leur gestion conservatoire.

## Place des formations de *J. thurifera* au sein du paysage végétal actuel du Pallars

### Phytotopographie des communautés de *J. thurifera*

Les différents profils (figures 2, 3 et 4) nous montrent les différentes situations de *J. thurifera* dans le Vall Ferrera, où sont concentrés la plupart des peuplements du Pallars. Dans la vallée inférieure (figure 2), les versants sont dominés par le Chêne vert, de sorte que notre arbre reste anecdotique entre 900-1 300 m, précisément là où *J. phoenicea* L. abonde sur les fentes ou les replats. Néanmoins, *J. thurifera* devient plus fréquent entre 1 300-1 400 m d'altitude. Dans la vallée moyenne (figure 3), le Chêne vert n'arrive que rarement à former des bosquets et *J. phoenicea* est à peu près inexistant. *J. thurifera* prend un rôle plus important sur les pentes rocheuses (adret d'Alins). Lorsqu'on pénètre vers les parties internes de la vallée, pas loin d'Àreu (figure 4), le Genévrier thurifère reste isolé et sa rareté est à relier à la diminution du nombre de versants exposés au sud et à l'augmentation de l'altitude moyenne. En amont d'Àreu, le Genévrier thurifère est absent.

Légende des figures 2, 3 et 4 :

- *Juniperus thurifera*
- *Juniperus phœnica*
- *Pinus unclinata*
- *Cytisus oromediterraneus*
- *Pinus sylvestris*
- Végétation rupicole
- *Fraxinus excelsior*
- Prairies de fauche
- *Quercus pubescens*
- Pâturages mésophiles
- *Alnus glutinosa*
- Pâturages xérophiles
- *Betula pendula*
- Pâturages supraforestiers
- *Quercus ilex*

**Figure 2 – Profil phytotopographique dans la vallée inférieure du Vall Ferrera, en montrant *J. thurifera* et *J. phoenicea*.**

***Figure 2 – Vegetation transect in the lower Vall Ferrera showing* J. thurifera *and* J. phoenicea.**

**Figure 3 – Profil phytotopographique dans la vallée moyenne du Vall Ferrera, à la soulane d'Alins, le plus important des peuplements de *J. thurifera* en Haut Pallars.**

***Figure 3 – Vegetation transect in the middle Vall Ferrera – southern slopes of Alins –, the best population of* J. thurifera *in the Haut Pallars.***

**Figure 4 – Profil phytotopographique à l'intérieur du Vall Ferrera, près d'Àreu, avec des pieds isolés de *J. thurifera*.**

***Figure 4 – Vegetation transect in the interior of the Vall Ferrera, near Àreu, with isolated feet of* J. thurifera.**

## Première interprétation des facteurs conditionnant la répartition des peuplements

Les peuplements de Genévrier thurifère font partie de la végétation en mosaïque qui colonise les versants rocailleux très ensoleillés, de nature schisteuse, où l'on rencontre en mélange des espèces chasmophytes, des pelouses plus ou moins xérophiles et des plantes liées aux landes et groupements forestiers fragmentés. Des individus isolés se rencontrent également parmi les formations claires de Chêne vert (*Quercus ilex* L. subsp. *ballota* (Desf.) Samp.) sur ces mêmes replats et fentes. Enfin notre arbre peut également s'associer avec le Chêne pubescent [*Q. humilis* Miller (= *Q. pubescens* Willd.)], notamment sur les éboulis plus ou moins stabilisés.

La répartition actuelle de l'espèce ainsi que sa persistance dans la période historique seraient le résultat de la combinaison de facteurs climatiques et édaphiques ayant contrôlé l'expansion des essences ou espèces arbustives environnantes. Des conditions de conservation analogues ont été signalées à propos des peuplements marginaux du Genévrier dans les Hautes-Alpes et dans les monts Cantabriques (Garraud & Villaret 2000 ; Bertrand & Bertrand 2000).

À l'échelle régionale, il faut noter que le climat ne serait pas à lui seul un facteur déterminant pour notre arbre, étant donné que d'autres vallées des Pyrénées montrent une nuance plus continentale que le Pallars et que le thurifère ne s'y trouve pas. En effet, comme nous allons le voir, les espèces végétales nettement continentales nous manquent, tandis que les essences mésophiles telles que le hêtre (*Fagus sylvatica* L.) ou encore d'autres comme les fougères thermophiles *Cheilanthes acrostica* (Balbis) Tod. et *C. tinaei* Tod. peuvent être rencontrées aux alentours. Il est cependant vrai que le froid hivernal aurait néanmoins limité l'expansion en altitude d'espèces compétitives mais sensibles comme le Genévrier de Phénicie (*Juniperus phoenicea).*

Ce serait le topoclimat qui serait déterminant, car à l'échelle locale les pentes raides rocheuses provoquent en été une très forte évapotranspiration difficile à réduire par les arbres ou arbustes du domaine. Comme c'est le cas pour la plupart des peuplements situés en limite nord de son aire de répartition (monts Cantabriques, Pyrénées de Haute-Garonne et Ariège, certaines stations des Hautes-Alpes), il s'agit ici de bosquets plus ou moins rupicoles. La roche mère n'est pas calcaire mais métamorphique : calcschistes ou pélites paléozoïques très fissurés et instables dont l'inclination de 60-90 % ne permet pas l'élaboration de sols profonds bien structurés.

Ainsi, la succession vers les formations denses est difficile et le biotope n'est pas favorable aux espèces saxicoles car de petites variations du microrelief facilitent l'installation de plantes acidiphiles à côté des basiphiles. Dans ces conditions, les communautés permanentes deviennent favorables à la conservation d'espèces peu compétitives. La présence d'autres espèces du même genre ne serait due qu'au hasard. Ainsi *J. phoenicea* forme de belles populations sur le bas des versants plus abrités. *J. sabina* L., à l'opposé, reste plus localisé au secteur plus élevé d'Espot (Parc national d'Aigüestortes) et *J. oxycedrus* L. subsp. *badia* (H. Gay) Debeaux n'arrive à former que quelques stations en aval, entre Llavorsí et Rialp.

Toutefois, si le topoclimat a empêché l'installation des masses forestières de *Pinus sylvestris* L., *Abies alba* Miller, *Quercus humilis, Q. subpyrenaica* E.H. del Villar et *Q. petraea* Mattuschka, sûrement la concurrence avec *Q. ilex* subsp. *ballota* et avec *Juniperus phoenicea* aurait été plus forte, ces deux dernières espèces colonisant sans problème les versants rocheux des calcschistes. Finalement, la dominance potentielle du buis (*Buxus sempervirens* L., espèce calcicole) et du Genêt à balais (*Cytisus oromediterraneus* Rivas-Mart. *et al.,* silicicole) sur certains endroits rocheux a été sans doute réduite en raison de la complexité des conditions édaphiques (variations du pH) évoquées précédemment. Enfin, la diminution de l'écobuage répété aurait défavorisé ces deux arbustes plus ou moins pyrophiles.

## Composition floristique de la communauté

Il ressort de cette étude une flore assez typique de l'étage montagnard des Pyrénées centrales continentales, entre le val d'Aran à l'ouest et l'Andorre à l'est, qui renferme quelques endémismes comme l'œillet des Pyrénées *Dianthus pyrenaicus* Pourr.

Le nombre d'espèces vasculaires qui accompagnent *J. thurifera* sur les versants du Pallars s'élève à 150 (tableau 1), mais il est à noter

**Tableau 1 – Les vingt relevés des populations de *J. thurifera* étudiées.**
***Table 1 – Twenty relevees of the studied* J. thurifera *populations.***

| Relevé | Lieu | Station | Orientation | Altitude (m) | Pente (º) | Recouvrement (% sol) | Surface ($m^2$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Alins | Éperon rocheux | S | 1 200 | 60 | 40 | 25 |
| 2 | Alins | Replat avec un pâturage | S | 1 200 | 10 | 90 | 25 |
| 3 | Alins | Talus plus ou moins raide d'un torrent | S | 1 220 | 35 | 50 | 40 |
| 4 | Alins | Affleurement rocheux | S | 1 230 | 35 | 70 | 40 |
| 5 | Alins | Versant à sol profond | S | 1 250 | 30 | 50 | 70 |
| 6 | Alins | Replat en versant rocheux | S | 1 280 | 20 | 50 | 40 |
| 7 | Alins | Éperon rocheux | S | 1 290 | 20 | 60 | 30 |
| 8 | Alins | Versant à sol profond (bosquet de chêne et Genévrier) | S | 1 260 | 30 | 90 | 100 |
| 9 | Alins | Terrain rocheux (bosquet de chêne et Genévrier) | S | 1 260 | 30 | 40 | 60 |
| 10 | Alins | Versant rocheux | S | 1 250 | 35 | 30 | 70 |
| 11 | Alins | Versant rocheux | S | 1 220 | 25 | 70 | 40 |
| 12 | Norís | Versant avec un pâturage sec | SE | 1 220 | 20 | 80 | 200 |
| 13 | Norís | Versant avec un pâturage sec | SE | 1 240 | 20 | 80 | 150 |
| 14 | Norís | Versant rocheux, avec une mosaïque de pâturage et buissons | SE | 1 350 | 25 | 70 | 200 |
| 15 | Norís | Versant rocheux, avec une mosaïque de pâturage et buissons | SE | 1 410 | 25 | 70 | 100 |
| 16 | Norís | Versant rocheux, avec une mosaïque de pâturage et buissons | SE | 1 440 | 35 | 60 | 150 |
| 17 | Borente | Versant rocheux | S-SE | 1 050 | 20 | 50 | 60 |
| 18 | Borente | Bas de versant à sol profond | S-SE | 1 040 | 20 | 60 | 40 |
| 19 | Congost Cardós inferior | Versant rocheux au pied des falaises | W-SW | 900 | 30 | 70 | 30 |
| 20 | Solana d'Alins | Mur d'ardoises ultrabasiques | S | 1 170 | 50 | - | 20 |

| Espèce/Relevé | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ***Juniperus thurifera*** | **1.1** | **p** | **1.1** | **1.2** | **2.3** | **1.3** | **2.2** | **2.2** | **2.3** | **1.1** | **2.2** | **p** | **p** | **p** | **p** | **p** | **p** | **1.1** | **p** | |
| *Acer monspessulanus* | | | | | | | p | p | | | | p | | | | | | p | | |
| *Achillea chamaemelifolia* | | | | | | | | | | | | | | p | | p | | | | |
| *Achillea odorata* | p | 1.1 | | | | 1.2 | | | 1.1 | p | | p | 1.1 | | p | 1.1 | 1.1 | 2.2 | | |
| *Acinos arvensis* | | | | | | | | | p | | 1.1 | | | | | | p | p | | |
| *Agrostis capillaris* | p | p | | p | | | | 1.1 | | | | | | | | | | 1.1 | 1.1 | |
| *Allium senescens montanum* | p | | | | | | | | | | | | | p | | | | | | |
| *Alyssum alyssoides* | p | | | p | p | | | | p | | | | p | | | p | | | | |
| *Amelanchier ovalis* | p | | | 1.1 | | p | p | | | p | p | p | | p | | | p | | | |
| *Anagallis arvensis* | | | | | | | | | | | | | p | | | | | | | |
| *Anarrhinum bellidifolium* | p | | | | p | | | | p | p | | | | | | | p | p | | |
| *Anthericum liliago* | p | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| *Anthyllis vulneraria* | | | | | | | | | | | | p | | | | | p | | p | |
| *Antirrhinum orontium* | | | | | | | | | p | | | | | | | | | | | |
| *Arabidopsis thaliana* | | | | | | | p | | | | | | | p | | | | | | |
| *Arabis glabra* | | | | | | | | | | | | | | p | p | | | | | |
| *Arabis sagitatta* | | | | | | | | | | | | | | | | | p | p | | |
| *Arenaria serpyllifolia* | p | p | | p | 2.1 | | 1.1 | | 1.1 | p | | p | 1.1 | p | p | | 1.1 | | | |
| *Artemisia alba* | | | p | | | | | | | | p | 2.1 | 2.2 | | | | | | | |
| *Artemisia campestris* | 2.1 | 1.1 | 1.1 | 1.1 | p | p | p | | 2.1 | 3.1 | p | | p | p | | | p | p | | |
| *Asplenium adianthum-nigrum* | | | | | | | | | | | | | | | | | p | p | p | |
| *Asplenium ceterach* | | | | p | | p | p | | | | | | | | | | | | | + |
| *Asplenium fontanum* | 1.1 | | | p | | | p | | | | | | | p | p | | | | | 2.2 |
| *Asplenium septentrionale* | | | | p | | | p | | | | | | | | | | | | | 1.1 |
| *Asplenium trichomanes* | | | | | | p | | | | | | | | | | | | | p | |
| *Astragalus monspessulanus* | | | | | | | | | p | p | | | | | | p | | | | |
| *Betula pendula* | | | | | | | | | p | | | | | | | | | | | |
| *Biscutella laevigata* | | | | | | | | | | | | | | | | | | | p | |
| *Bituminaria bituminosa* | | | | | | | | | | | p | | | | | | | | | |
| *Brachypodium sylvaticum* | | | p | p | | | | | | | | | | | | | | p | p | |
| *Buxus sempervirens* | | | | | | | | | | | | 1.1 | 1.1 | 3.3 | 4.4 | 3.3 | | | | |
| *Bylderdykia convolvulus* | | | | | | | | | | | | | | p | | | | | | |
| *Calluna vulgaris* | p | p | | | | | p | p | p | p | p | | | p | | | p | | p | |
| *Carex sp.* | | p | | p | | p | | p | p | | p | | | | | | | p | | |

| Espèce/Relevé | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Carlina vulgaris* | | p | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| *Centranthus calcitrapae* | | | | | | | | | | | | | | | | | p | | | |
| *Cerastium glomeratum* | | | | | | p | | | | | | | | | | | | | p | |
| *Chaenorhinum minus* | | | | | | | | | | | | p | p | | | | | | | |
| *Chamaespartium saggitale* | | p | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| *Chenopodium album* | | | | | | | | | | | | | | p | | | | | | |
| *Cheilanthes acrostica* | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.1 |
| *Cheilanthes tinaei* | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | p |
| *Cirsium sp.* | | | | | | | | | | | | | | | | | | | p | |
| *Crataegus monogyna* | | | | | | | | | | | | | | | | | | | p | |
| *Cytisus oromediterraneus* | | | | | | 1.2 | | | | | | | | 2.2 | 3.2 | 3.2 | | | | |
| *Dactylis glomerata* | p | | | | | | | | | p | | | | | | | | | | |
| *Dianthus carthusianorum* | | | p | | | | | | | | | | | | | | p | | | |
| *Dianthus pyrenaicus* | 1.1 | | | | | | | | 1.1 | 1.1 | | | | 1.1 | | | | | | 1.2 |
| *Dipcadi serotinum* | p | p | | | | p | | | | p | | 1.1 | 1.1 | 1.1 | | | 1.1 | | | |
| *Echium vulgare* | | | | | | p | | | p | p | | p | | | | | | | | |
| *Eryngium campestre* | | | | | | | | | | | | | | | | | | p | | |
| *Erysimum incanum aurigeranum* | | | | | | | | | | | | | | p | p | | | | | |
| *Euphorbia characias* | p | | | p | p | p | p | | p | p | p | | | | | | | | | |
| *Euphorbia cyparissias* | | | | | | | | | | | | p | 1.1 | | | | 1.1 | 1.1 | 1.1 | |
| *Festuca gr. ovina* | 1.1 | 5.3 | 1.1 | 1.1 | p | 1.1 | 1.1 | | 1.1 | 1.1 | 2.1 | 2.2 | 3.3 | 2.1 | 1.1 | 2.1 | 1.1 | 2.2 | 1.1 | p |
| *Filago minima* | | | | | | | | | | | | | | | | p | p | p | p | |
| *Filago pyramidata* | 1.1 | p | | | | 2.1 | | | 1.1 | p | p | | | 1.1 | | | | | | |
| *Fumana ericifolia* | | | | | p | | | | p | p | | p | p | | | | | | | |
| *Fumana procumbens* | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.1 | | | |
| *Galeopsis ladanum* | | | | | | | | | | | | | | | 1.1 | | | | | |
| *Galium lucidum* | | | p | | p | | p | p | | | | | | | | | | | p | |
| *Galium maritimum* | | | p | p | 1.1 | 1.1 | p | p | 1.1 | | 1.1 | | | p | | | | p | | |
| *Galium verum* | | 2.1 | | | | | | | | | | p | p | | p | | p | | | |
| *Geranium columbinum* | | | | | | | | | | | | | | | | | | | p | |
| *Geranium molle* | | | | | | | | | | | | p | p | | | | | | p | |
| *Geranium robertianum* | | | | | | | | | | | | | | | | | | | p | |
| *Globularia punctata* | | | | | | | | | | | | 1.1 | p | | | | | | | |
| *Helianthemum nummularium* | | 1.1 | p | | | p | | | p | | p | 1.1 | p | | | | p | | | |
| *Helichrysum stoechas* | p | | | p | p | | | | p | p | 1.1 | | | | | | | | | |
| *Helleborus foetidus* | | | p | | p | p | | | | p | | | | | | | | | | |
| *Hieracium sp.* | | | | | | | p | | | | | | | | | | | | | |
| *Hippocrepis comosa* | p | | p | | | | | p | p | p | | | 1.1 | p | | p | | p | | |
| *Hypericum perforatum* | | p | | p | p | 1.1 | | | | | 1.1 | p | | | p | | p | | p | |
| *Hypochoeris radicata* | p | p | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| *Hyssopus officinalis* | | | | | | | | | | | | 1.1 | | | | | | | | |
| *Jasione foliosa* | | | | | | | | | p | | | | | | | | p | p | | |
| *Juniperus communis* | p | p | 1.1 | 1.1 | 1.1 | | p | 1.1 | | p | p | p | p | p | p | 2.2 | p | 2.2 | | |
| *Juniperus phoenicea* | | | | | | | | | | | | | | | | | p | | | |
| *Koeleria vallesiana* | | | | | | | | | | | | 1.1 | 2.2 | | | | | | | |
| *Lactuca perennis* | | | | | | | | | | | p | | | | | | | | | |
| *Lathyrys sphaericus* | | | | | | p | | | | | | | | | | | | | | |
| *Lavandula angustifolia pyrenaica* | | | | | | | | | | | | | | | | | | | p | |
| *Lens nigricans* | | | | | | p | | | | | p | | | | | | | | | |
| *Leucanthemum vulgare* | | | | | | | | | | | | | | | | | | | p | |
| *Linaria arvensis* | | | | | | 1.1 | | | | | | | | | | | p | p | | |
| *Linaria supina* | | | | | | | | | | | | | | p | | | | | | |
| *Linaria aeruginea* | p | | | | | | | | | p | | | | | | | | | | |
| *Lonicera etrusca* | | | | | | | | | | | | | | | | | | p | | |
| *Medicago minima* | | | | | | | | p | | p | | p | | | | | | | p | |
| *Medicago suffruticosa* | | | p | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| *Myosotis ramosissima* | | p | | | | | | | | | | | | | | | p | p | p | |
| *Odontites serotina* | | | | | | | | | | | | | | | | | | p | | |
| *Ononis natrix* | | | 1.1 | | | | | p | | | | | | | | | | | | |
| *Ononis spinosa* | | | p | | p | | | | p | | | p | p | | | | p | p | p | |
| *Origanum vulgare* | | | p | | 1.1 | | | 1.1 | | | | | | | | | | | | |
| *Paronychia kapela* | | | | p | | | | | | | | p | p | p | p | p | p | | | |
| *Phleum phleoides* | p | 1.1 | | p | | | | 1.1 | | | | | | | | 1.1 | | | 2.2 | |
| *Picris hieraciodes* | | | | | | | | | | | | p | p | | | | | | | |
| *Pilosella sp.* | | p | | | | | | | | | | | | | | | p | | | |

| Espèce/Relevé | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Pinus sylvestris* | | | | | p | | | | | | | | | | | | | | p | |
| *Plantago lanceolata* | | p | | | | | | | | | | | p | | | | | p | | |
| *Plantago sempervirens* | p | | p | | | | | | p | | | | | | | | | p | | |
| *Polygala nicaeensis* | | p | | | | | | | | | | p | | | | | | p | | |
| *Potentilla neumanniana* | | | | | | | | | | | | p | | | | | p | p | | |
| *Prunus mahaleb* | | | | | | | | | | | | | | | | | | p | | |
| *Prunus spinosa* | | 2.2 | | | 1.1 | | p | | | | | | p | | | | | 1.1 | p | |
| *Ptychotis saxifraga* | | | | | | | | | | | | | | | | | | | p | |
| *Quercus ilex* | p | p | | | | | | | | | | | | | | | p | p | p | |
| *Quercus pubescens* | | p | p | 2.3 | p | p | 2.2 | 4.5 | 2.2 | 2.2 | 2.2 | | | | | | p | p | | |
| *Ranunculus bulbosus* | | | | | | | | | | | | | p | | | | | | p | |
| *Reseda phytheuma* | | | | | | | | | | | | p | | | | | | | | |
| *Rhamnus alaternus* | p | | | 1.1 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| *Rumex acetosella* | | | | | | | | | | | | | | | | p | | | | |
| *Rorippa pyrenaica* | | | | | | | | | | | | | | p | | | | | | |
| *Rosa agrestis* | | | | | | | | | | | p | | | | p | | | | | |
| *Rosa canina* | | | | p | | | | | | | | | p | | | | | | | |
| *Rosa sp.* | | | | | p | p | p | p | | | | p | | | | | p | | | |
| *Rubus ulmifolius* | | | 1.1 | p | 1.1 | | | p | | | | | | | | | | | 1.1 | |
| *Sanguisorba minor* | p | | p | | | | p | | | | | p | p | p | | | p | | p | |
| *Santolina chamaecyparissus* | p | | | | | | | | | | | | | | | | p | | | |
| *Saponaria ocymoides* | | | p | p | 1.1 | p | | | 2.1 | p | | | | | | | | | | |
| *Satureja montana* | p | p | p | p | p | 1.1 | p | | | p | p | 1.1 | 2.2 | | | | | | p | |
| *Scabiosa columbaria* | | | | | | | p | | | | | | | | | | p | | p | |
| *Scleranthus annuus* | | 2.1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| *Scleranthus polycarpos* | | | | | | | | | | p | | | | 1.1 | p | p | p | p | | |
| *Sedum album* | p | | p | p | | | | | p | p | | p | p | p | | | 1.1 | p | 1.1 | |
| *Sedum brevifolium* | | | | | | | | | | | | | | | | | p | | | p |
| *Sedum dasyphyllum* | 1.1 | | | p | | | p | | p | p | | p | | p | | | | | | 1.1 |
| *Sedum montanum* | | | | | | | | | | | | | | | | | p | p | p | |
| *Sempervivum arachnoideum* | 2.1 | | | p | | | | | | p | | p | | p | | | | | | 1.2 |
| *Sempervivum tectorum* | | | | | | | | | | | | | | p | | | | | p | |
| *Seseli montanum* | p | p | | | | p | | | | | p | p | | p | p | | p | | | |
| *Silene nutans* | p | | | | | | | | | p | | | | | | p | p | | | |
| *Silene saxifraga* | | | | | | | p | | | | | | | p | | | | | | p |
| *Stachys recta* | p | p | | | | | | | p | p | p | p | | | | | p | 1.1 | | |
| *Stipa pennata eriocaulis* | | | | | | | | | | | | 4.3 | p | | | | | 2.1 | | |
| *Teucrium chamaedrys* | | | | | p | p | | 1.1 | 1.1 | p | | 1.1 | p | | p | | 1.1 | 1.1 | 1.1 | |
| *Teucrium scorodonia* | | | | | | | | | | | | | | | | | | | p | |
| *Thesium divaricarum* | | p | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| *Thymus polytrichus* | 2.1 | p | 1.1 | p | | 1.1 | p | | 1.1 | 2.1 | 1.1 | p | p | 1.1 | | | p | p | p | p |
| *Thymus vulgaris palearensis* | | | | | | | | | | | | | | | | | 2.2 | 2.1 | | |
| *Trifolium arvense* | | 1.1 | | p | | p | | p | p | | | | | | | | 1.1 | 2.1 | p | |
| *Trifolium campestre* | | p | | | | p | | | | | | | | | | | p | p | | |
| *Trifolium scabrum* | | | | | | | | | | | | | | | | | p | p | | |
| *Umbilicus rupestris* | p | | | | | | p | | | | | | | p | p | | | | | |
| *Valerianella sp.* | | | | | | | | | | | | | p | | | | | | | |
| *Verbascum sp.* | | p | | | | | | | | | | | | p | | | | | | |
| *Veronica austriaca* | | p | | | | p | | | p | | | p | p | | | | p | p | | |
| *Veronica verna* | | p | | | | | | | | | | | | | | | p | p | p | |
| *Vicia angustifolia* | | | | | | | | p | | p | p | | | | | | p | p | | |
| *Vicia lutea* | | | | | | | | | | | | p | | | | | | | | |
| *Vicia parviflora* | | p | p | p | p | | | | | p | | | | | | | | | p | |
| *Vincetoxicum nigrum* | | | | p | | | | | | p | | | | | | | | | | |

Index d'abondance : p : un ou très peu d'individus ; 1 : très rare ; 2 : rare ; 3 ; peu abondante ; 4 : abondante ; 5 : très abondante.
Recouvrement : p : un ou très peu d'individus, n'ayant pas d'incidence sur le recouvrement ; 1 : moins de 10 % de la surface ; 2 : entre 10 % et 25 % ; 3 : entre 25 % et 50 % ; 4 : entre 50 % et 75 % ; 5 : entre 75 % et 100 %.

que les 93,3 % n'apparaissent que dans 50 % ou moins des relevés. La plupart de ces espèces n'est donc que légèrement inféodée à notre arbre et par conséquent la composition floristique varie beaucoup d'une localité à l'autre. Les espèces les plus fidèles sont *Thymus polytrichus* A. Kerner et *Festuca* gr. *ovina* L. dont la présence est observée dans plus de 75 % des relevés. Parmi les espèces fréquentes, seulement trois se montrent abon-

**Tableau 2 – Espèces les plus fréquentes et les plus abondantes contenues dans nos relevés de *J. thurifera*.**

***Table 2 – The more frequent and the more abundant species in the studied relevees of* J. thurifera.**

| Espèces les plus fréquentes (présentes dans plus de 50 % des relevés) | Espèces localement abondantes (recouvrement > 50 % au moins dans un relevé) |
|---|---|
| *Achillea odorata* L. | *Artemisia campestris* L. |
| *Arenaria serpyllifolia* L. | *Buxus sempervirens* L. |
| *Artemisia campestris* L. | *Cytisus oromediterraneus* Rivas-Mart. *et al.* |
| *Festuca* gr. *ovina* L. | *Festuca* gr. *ovina* L. |
| *Juniperus communis* L. | *Quercus humilis* Miller |
| *Quercus humilis* Miller | *Stipa pennata* L. |
| *Satureja montana* L. | |
| *Sedum album* L. | |
| *Teucrium chamaedrys* L. | |
| *Thymus polytrichus* A. Kerner | |

dantes dans quelques points (tableau 2) : *Artemisia campestris* L., *Festuca* gr. *ovina* et *Quercus humilis*, mais généralement elles ne sont pas dominantes et leur importance est équivalente à celle de *J. thurifera* là où elles cohabitent.

Ces conditions déterminent des groupements hétérogènes où une bonne partie des espèces profite des vides laissés par les plantes dominantes aux endroits les moins favorables à celles-ci. Il est à souligner que la même idée de « faible homogénéité » avait été déjà émise par Braun-Blanquet & Bolòs (1957) après leur étude des peuplements de l'Èbre moyen, très différents des forêts de Genévrier thurifère du centre de son aire ibérique où s'observent plus de dix associations bien définies (Rivas-Martínez *et al.* 2011).

Ainsi, les espèces du cortège floristique du Genévrier thurifère ont des affinités écologiques et biogéographiques très variées (diagramme 1). Çà et là les plantes liées aux pelouses dites xérophiles eurosibériennes peuvent être abondantes, de même que les rupicoles, les plantes de pâturages à thérophytes ou encore les plantes forestières. Au sein de chacun des deux derniers groupes, on peut rencontrer des espèces eurosibériennes, méditerranéennes ou plurirégionales, tandis que chez les plantes némorales, la composante eurosibérienne atteint 60 %. Enfin la présence significative d'espèces nitrophiles (7 %) doit être reliée à l'élevage ancien et récent que l'on a pratiqué sur ces territoires voués à la transhumance (Violant 2001).

En ce qui concerne les types biologiques, la plupart des espèces notées sont herbacées (65 %), avec une dominance claire des hémicryptophytes et une proportion non négligeable de thérophytes (diagramme 2). Parmi les espèces ligneuses les chaméphytes se montrent plus fréquentes que les phanéro-

**Diagramme 1 – Écologie des espèces compagne (%). PS : pelouses xérophiles médio-européennes ; RO : habitats rocheux ; TE : thérophytes non nitrophiles ; FO : habitats forestiers ; NI : nitrophiles ; AT : autres.**

***Diagram 1 – Ecological preferences of the accompanying species (%). PS: dry pastures of Middle Europe ; RO: rocky habitats ; TE: therophytes non nitrophiles ; FO: forestal habitats ; NI: nitrophiles ; AT: others.***

**Diagramme 2 – Types biologiques des espèces compagnes (%). HC : hémicryptophytes ; TH : thérophytes ; CH : chaméphytes ; PH : phanérophytes ; GE : géophytes.**

***Diagram 2 – Biological types of accompanying species (%). HC: hemicryptophytes ; TH: therophytes ; CH: chamaephytes ; PH: phanerophytes ; GE: geophytes.***

phytes. Cette répartition se retrouve dans les thuriféraies des Alpes où les hémicryptophytes dominent (Garraud & Villaret 2000), même si le chiffre des thérophytes est plus bas (6,4 %), sans doute en raison d'une influence climatique méditerranéenne moins forte que dans les Pyrénées du Pallars. Les îlots de thuriféraie, placés entre les domaines eurosibériens et méditerranéens, ne seraient donc qu'une forme singulière extrême de cette dernière, à classer très probablement dans l'Alliance *Juniperion thuriferae* Rivas-Martínez 1969 de la classe *Junipero sabinae-Pinetea ibericae* qui inclut les peuplements de la Dépression moyenne de l'Èbre.

## Discussion

### Origine et évolution des peuplements

L'aire de répartition fragmentée de *Juniperus thurifera* avec quelques-unes de ses taches en régression pose beaucoup de problèmes (Gauquelin *et al.* 1999) quand on veut établir des rapports et affinités entre les différentes populations, d'autant plus que les successives approximations obtenues en suivant des méthodologies différentes ne se montrent pas coïncidentes (Gauquelin *et al.* 1988 ; Barbero *et al.* 1994 ; Adams *et al.* 2003 ; Jiménez *et al.* 2003 ; Marcysiak *et al.* 2007 ; Terrab *et al.* 2008 ; Rivas-Martínez *et al.* 2011). Pour Terrab *et al.* (2008), l'origine des peuplements corses aurait été facilitée par la dispersion sporadique des graines à longue distance, mais les populations isolées ou petites auraient un caractère relique, surtout en limite nord de leur aire actuelle : monts Cantabriques, Pyrénées, Alpes et Corse (Losa & Montserrat 1953 ; Romero 1983 ; Barbero *et al.* 1987 ; Barbero & Quézel 1996 ; Gamisans 2000 ; Garraud & Villaret 2000 ; Bertrand & Bertrand 2000 ; Gauquelin *et al.* 2003 ; Aymerich 2007).

En se basant sur les données polliniques et concernant la présence de *Juniperus* sp., Jalut *et al.* (2000a, 2000b) proposaient, pour les peuplements pyrénéens, l'hypothèse d'une colonisation postglaciaire (14 000-13 000 BP) expansive de *J. thurifera*, à la faveur d'un climat de type méditerranéen continental caractérisé par des hivers froids et des étés plus ou moins arides. Cela n'impliquerait pas nécessairement une colonisation à longue distance, car la présence de pollen de *Juniperus* sp. est attestée au Pourtalet (Pyrénées aragonaises) de façon continue mais avec des fluctuations entre 30 000 et 14 000 BP, toujours en compagnie d'espèces à affinité steppique (González-Sampériz *et al.* 2006). Pendant une grande partie de la dernière période glaciaire, les territoires périphériques des Pyrénées espagnoles auraient été couverts par des formations herbacées steppiques parsemées de genévriers, comme on peut les observer aujourd'hui dans les domaines oro-méditerranéens du Système Ibérique, dominés par *J. thurifera* et *J. sabina*. Avant 20 000 BP, dans les pré-Pyrénées, près de la Dépression de l'Èbre, les mêmes auteurs décrivent une steppe à conifères avec *Pinus* sp. et *Juniperus* sp., puis entre 20 000 et 10 000 BP une augmentation des conifères et une légère expansion en altitude des caducifoliés. Les forêts actuelles se mettent en place à partir de 10 000 ans.

Concernant les *Juniperus,* on peut supposer qu'au cours de ces périodes, dans les zones les plus froides, dominaient *J. communis, J. thurifera* et *J. sabina*, tandis qu'à plus basse altitude *J. oxycedrus* et *J. phoenicea* s'ajoutaient aux *J. thurifera.* Cette mosaïque s'est maintenue au cours des 10 000 dernières années uniquement dans les dépressions semi-arides de la vallée moyenne de l'Èbre. Cette forte extension passée avait été envisagée par Braun-Blanquet & Bolòs (1957) et Montserrat (1966) lors de leurs études sur les stations aragonaises actuelles et cette hypothèse est renforcée par la découverte récente des petites stations périphériques (Aparicio *et al.* 1993 ; Ferrández 2005 ; Arizaleta *et al.* 2008).

Pendant la dernière période glaciaire et le Tardiglaciaire, plusieurs espèces de *Juniperus* auraient donc pu jouer un rôle plus important qu'aujourd'hui (Valero-Garcés *et al.* 2004 ; González-Sampériz *et al.* 2005). Ultérieurement, surtout dans les Monegros, une augmentation de *Pinus* et une diminution parallèle de *Juniperus* sp. s'est produite vers 8 600 BP (Davis 1994). Il est donc probable que nos populations du Genévrier thurifère du Pallars résultent d'une expansion postglaciaire à courte ou moyenne distance. Mais pendant la dernière glaciation, leur persistance *in situ* ne peut être exclue sur des zones topographiquement et climatiquement favorables.

Entre Monegros et Pallars, quelques peuplements intermédiaires auraient disparu pendant l'Holocène, du fait de la concurrence des

**Figure 5 – Carte de répartition du Genévrier thurifère (*Juniperus thurifera*) dans la vallée de l'Èbre et les Pyrénées. Périmètre : aire de présence fréquente. Gros carrés : stations ponctuelles. Petits carrés : individus ou petits groupes. Code de couleurs : noir, Pyrénées ; gris clair, Dépression de l'Èbre ; gris foncé, Système Ibérique.**

***Figure 5 – Distribution map of the Spanish Juniper (*Juniperus thurifera*) in the Ebro Valley and the Pyrenees. Perimeter: area where the tree is frequent. Large squares: isolated stations. Small squares: individual or reduced groups. Colour code: black, Pyrenees ; light gray, Ebro Depression ; dark gray, Iberian System.***

espèces mésoméditerranéennes en expansion depuis 10 000 ans (González-Sampériz *et al.* 2005). Les petits groupes périphériques touchant les pré-Pyrénées (Rodríguez-Ochoa & Pedrol 1999 ; Ferrández 2003) témoigneraient d'une aire de répartition moins discontinue dont les bosquets du Pallars seraient le dernier échelon.

Les données génétiques permettant de confirmer cette filiation manquent encore mais la présence fréquente au Pallars du diptère cecidiogène endémique *Etsuhoa thuriferae*, également abondant aux Monegros (Blasco-Zumeta 2000), est un argument positif. Cette petite mouche exclusive du Genévrier thurifère est également signalée dans le Système Ibérique et au Maroc (Skuhravá 1995). Sa présence au Pallars conforte l'hypothèse déjà rappelée d'une ancienne connexion entre les junipéraies sud-pyrénéennes, de la Dépression de l'Èbre et du Système Ibérique.

Toutefois, l'origine des trois populations pyrénéennes (deux en France, une en Espagne) pourrait être différente, malgré la courte distance géographique qui les sépare. En effet, pour Terrab *et al.* (2008), la population de Marignac (Haute-Garonne) est à rapprocher génétiquement de celles des Alpes et d'Espagne centrale, mais elle s'éloigne de celles des Monegros. Les populations garonnaises pourraient donc résulter de la fragmentation d'une aire couvrant le piémont français des Pyrénées ou bien la dernière avant-garde d'une expansion est-ouest.

## Dynamique postglaciaire des populations du Pallars

Au Pallars, le rôle du Genévrier thurifère dans le paysage végétal semble avoir été secondaire au cours des derniers 10 000 ans. Les données paléobotaniques de la Coma de Burg située 6 km au sud des stations principales de thurifère et à une altitude plus élevée (1 800 m) (Pèlachs *et al.* 2001 ; Pèlachs 2004) montrent que vers 9 400 BP les zones élevées étaient couvertes par une mosaïque de pâturages parsemés de noisetiers et bouleaux. Au

fond des vallées dominaient les chênaies caducifoliées. Les chênes verts étaient déjà présents et de possibles concurrents pour le thurifère. Entre 10 000 et 5 000 BP, peut-être à cause de la densification des forêts subalpines, les *Juniperus* sp. étaient rares et disparaissent vers 8 300 BP. C'est seulement vers 4 500 BP, à la suite d'une augmentation de la pression anthropique sur les forêts qu'ils réapparaissent avec *Artemisia* sp. atteignant leur représentation maximale holocène.

Dans le Pallars, malgré une forte déforestation au Moyen Âge affectant les chênaies, les hêtraies et les sapinières, puis plus tard, pendant la révolution industrielle (XVIIe et XVIIIe siècles), les nombreuses « forges à la catalane », les données palynologiques citées ne signalent pas une régression forte de *J. thurifera*. La toponymie nous confirme sa présence traditionnelle dans le Vall Ferrera. Le « Turó de la Savina Rodona » est au-dessus d'Ainet de Besan et la « Savinyeda » à Norís. Mais rien ne fait penser à une espèce déterminante dans le paysage végétal.

Les habitants âgés d'Alins connaissaient bien l'existence des genévriers, mais aujourd'hui personne ne se souvient de grands exemplaires ou de formations denses ayant pu donner lieu à des exploitations particulières, à l'inverse de ce qui existe à l'intérieur de la péninsule Ibérique où *Juniperus thurifera* constitue une ressource très appréciée (Villar & Ferrández 2000). Ici, la disponibilité de nombreux chênes, pins, sapins, etc. aux alentours des villages a pu satisfaire les besoins locaux en bois.

Les notes et publications botaniques réalisées pendant le XXe siècle confirment une certaine stabilité de ces formations de genévrier. Font Quer (1915), illustre botaniste, visita le Vall Ferrera en 1911 en passant à quelques centaines de mètres des stations principales sans les repérer. Cela pourrait indiquer que les peuplements n'étaient alors ni plus denses ni plus abondants qu'aujourd'hui. On peut dire la même chose pour la seconde moitié du XXe siècle, malgré des travaux spécifiques concernant la carte forestière (Jordán de Urriés 1954), la flore (Farreny 1978) et la carte de végétation (Carreras *et al.* 2000). La plupart de nos genévriers sont confinés sur les rochers d'accès parfois difficile et quelques-uns ont été confondus avec *J. phoenicea*, tant leur présence était surprenante ! Rappelons que pour Labatut *et al.* (2000), une semblable erreur s'est produite en Ariège…

Finalement, au cours des dernières décades une expansion limitée de *J. thurifera* s'est produite à la suite de l'abandon de l'agriculture et de l'élevage des chèvres (Aymerich 2008). Ce phénomène est observé d'une façon assez générale en Espagne et en France (Allende *et al.* 1999 ; Gauquelin *et al.* 1999 ; Gamisans 2000 ; Labatut *et al.* 2000).

On peut ainsi, aujourd'hui, observer de jeunes genévriers colonisant les champs ou les prairies abandonnées il y a 30 à 60 ans, de préférence au pied des versants rocheux où l'espèce est relativement fréquente. Ici comme dans les Alpes ou de l'autre côté des Pyrénées, nous avons affaire à des noyaux dits primaires sur sols pierreux et secondaires sur sols profonds (Borel & Polidori 1983 ; Cambecèdes *et al.* 2005), ces derniers pouvant disparaître à long terme du fait de la concurrence avec d'autres essences.

## Conclusion

Après avoir étudié la flore, la phytotopographie et la dynamique des peuplements isolés du Genévrier thurifère au Pallars, la stabilité de ses effectifs nous semble assurée, sous réserve de petits changements locaux. À notre avis, il n'y a aucun risque pour les noyaux principaux des terrains rocheux, sauf un incendie catastrophique. Seules quelques régressions ponctuelles peuvent concerner les peuplements les plus récents, précisément là où le développement d'autres essences concurrentielles devient possible, lorsque la pratique du feu pastoral a été interrompue. Heureusement, la valeur patrimoniale de ces bosquets de *Juniperus thurifera* est reconnue et leur gestion conservatoire assurée, car la plupart des effectifs appartiennent au Parc Natural de l'Alt Pirineu, déclaré par le gouvernement régional de Catalogne en 2003, et à l'échelle européenne ils ont été inclus dans le réseau Natura 2000 (directive Habitat).

## Remerciements

Notre ami J.A. Sesé a figuré à l'ordinateur nos schémas phytotopographiques. T. Gauquelin et deux lecteurs anonymes ont corrigé le texte. Qu'ils en soient remerciés.

## Références


Adams R.P., Mumba L.E., Shelley S.A., Pandery R.M., Gauquelin T. & Badri W., 2003. Geographic variation in the leaf oils and DNA fingerprints (RAPDs) of *Juniperus thurifera* L. from Morocco and Europe. *Journal of Essential Oils Research* 15: 148-154.

Allende F., Guerra J.C. & López N., 1999. Dinámica reciente de las formaciones de *Juniperus* en el centro de la Península Ibérica. *In* : *Actas del XVI Congreso de Geógrafos Españoles*. Departamento de Geografía de la Universidad de Málaga.

Aparicio J.M., Patino S., Pérez Dacosta T., Uribe-Echebarría P.M., Urrutia P. & Valencia J., 1993. Notas corológicas sobre la flora vascular del País Vasco y aledaños (VII). *Estudios del Museo de Ciencias Naturales de Álava* 8 : 85-99.

Arizaleta J.A., Fernández Aldana R., Quintana J.D., Alejandre J.A. & Benito Ayuso J., 2008. La sabina albar (*Juniperus thurifera* L.) en la Rioja. *Zubía* 25-26 : 7-16.

Aymerich P., 2007. *Juniperus thurifera* L. als Pirineus catalans. *Butlletí de la Institució Catalana d'Història Natural* 73 : 121-123.

Aymerich P., 2008. La savina turífera (*Juniperus thurifera* L.) als Pirineus Catalans : distribució, població i conservació. *Orsis* 23 : 9-26.

Barbero M. & Quézel P., 1986. Place et rôle de *Juniperus thurifera* dans les structures de végétation des Alpes du Sud. *Lazaroa* 9 : 255-275.

Barbero M., Hammoud A. & Quézel P., 1987. Le Genévrier thurifère dans les Alpes ligures. *Bulletin Societé Linnéenne de Provence* 39 : 75-79.

Barbero M., Lebreton P. & Quézel P., 1994. Sur les affinités biosystématiques et phytoécologiques de *Juniperus thurifera* L. et du *Juniperus excelsa* Bieb. *Ecologia Mediterranea* 20 : 21-37.

Bertrand C. & Bertrand G., 2000. Les juniperaies à Genévrier thurifère dans les géosystèmes cantabriques : analyse d'une « durabilité » (nord-ouest de la Péninsule Ibérique – provinces de León et de Palencia – Espagne). *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, Onf, coll. « Les dossiers forestiers » 6 : 47-52.

Blasco-Zumeta J., 2000. Contribution à l'étude de la faune associée à *Juniperus thurifera* L. dans les Monegros (Aragón, Espagne). *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, Onf, coll. « Les dossiers forestiers » 6 : 94-103.

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(3) : 227-242.

Braun-Blanquet J. & Bolòs O. de, 1957. Les groupements végétaux du Bassin moyen de l'Èbre et leur dynamisme. *Anales de la Estación Experimental de Aula Dei* 5(1-4) : 1-266.

Cambecèdes J., Gauquelin T., Roques A., Tébhaut C., Burrus M., Gardes M., Gryta H., Joachim J., Bertaudière V., Rénaux T. & Largier G., 2005. Approche intégrée de la conservation des populations pyrénéennes de Genévrier thurifère (*Juniperus thurifera* L.). *Bulletin de la société d'histoire naturelle de Toulouse* 141-2 : 189-195.

Carreras J., Carrillo E. & Ferré A., 2000. *Mapa de vegetació de Catalunya 1 : 50 000 : Noarre 150 (34-8) i Tírvia 182 (34-9)*. Barcelona, Institut Cartogràfic de Catalunya-Institut d'Estudis Catalans.

Coste H. & Soulié J., 1913. *Florule du Val d'Aran*. Le Mans, Imprimerie Monnoyer, 32 p.

Davis B.A.S., 1994. *Paleolimnology and Holocene environmental change from endorheic lakes in the Ebro Basin, north-east Spain*. Ph. D. Thesis. University of Newcastle upon Tyne, 317 p.

Farreny J.E., 1978. Contribució al coneixement de la flora de la Vallferrera. *Acta Botanica Barcinonensia* 30 : 1-118.

Ferrández J.V., 2003. La sabina albar, *Juniperus thurifera* L. (*Cupressaceae*) en el Somontano oriental de Huesca, España. *Ecología* 17 : 123-130.

Ferrández J.V., 2005. Adiciones y correcciones al catálogo florístico de la comarca del Cinca Medio. *Cuadernos del Centro de Estudios de Monzón y Cinca Medio* 32 : 43-47.

Font Quer P., 1915. Plantes de Vallferrera. *Butlletí de la Institució Catalana d'Història Natural* 15 : 51-60.

Gamisans J., 2000. Répartition et écologie du Genévrier thurifère en Corse. *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, Onf, coll. « Les dossiers forestiers » 6 : 37-41.

Garraud L. & Villaret J.C., 2000. Historique, répartition et données écologiques du Genévrier thurifère dans les Alpes françaises. *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, Onf, coll. « Les dossiers forestiers » 6 : 26-36.

Gauquelin T., Hassani M.I. & Lebreton P., 1988. Le Genévrier thurifère, *Juniperus thurifera* L. (Cupressacées) : analyse biométrique et biochimique ; propositions systématiques. *Ecologia Mediterranea* 14 : 31-42.

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. *Biodiversity Conserv*. 8: 1479-1498.

Gauquelin T., Bertaudière V., Cambecèdes J. & Largier G., 2003. Le Genévrier thurifère (*Juniperus thurifera* L.) dans les Pyrénées : état de conservation et perspectives. *Acta Botanica Barcinonensia* 49 : 83-94.

González-Sampériz P., Valero-Garcés B.L., Carrión J.S., Peña-Monné J.L., García-Ruiz J.M. & Martí-Bono C., 2005. Glacial and Lateglacial vegetation in northeastern Spain: New data and a review. *Quatern. Int.*, 140-141: 4-20.

González-Sampériz P., Valero-Garcés B.L., Moreno A., Jalut G., García-Ruiz J.M., Martí-Bono C., Delgado-Huertas A., Navas A., Otto T. & Dedoubat J.J., 2006. Climate variability in the Spanish Pyrenees during the last 30,000 yr revealed by the El Portalet sequence. *Quaternary Research* 66: 38-52.

Guerby L., 1993. Une nouvelle station à Genévrier thurifère (*Juniperus thurifera*) dans les Pyrénées : le Quié de Lujat (Ussat-les-Bains, Ariège). *Le Monde des plantes* 447 : 26-27.

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, ONF, coll. « Les dossiers forestiers » 6 : 160-170.

Jalut G., Esteban A., Bonnet L., Gauquelin T. & Fontugne M., 2000. Holocene climatic changes in the western Mediterranean, from south-east France to south-east Spain. *Palaeogeog., Palaeoclimatol., Palaeoecol.* 160: 255-290.

Jiménez J.F., Werner O., Sánchez-Gómez P., Fernández S. & Guerra J., 2003. Genetic variations and migration pathway of *Juniperus thurifera* L. (Cupressaceae) in the western Mediterranean region. *Israel J. Plant Sci.* 51: 11-22.

Jordán de Urriés J., 1954. *Memoria adjunta al Mapa Forestal de la provincia de Lérida*. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias. Madrid, 285 p. + mapa en escala 1 : 100 000.

Labatut G., Lefevre A.C., Montes N. & Gauquelin T., 2000. Le Genévrier thurifère dans la Haute Ariège. *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, ONF, coll. « Les dossiers forestiers » 6 : 42-46.

Losa M. & Montserrat P., 1953. Nueva aportación al estudio de la flora de los montes cántabro-leoneses. *Anales Inst. Bot. A.J. Cavanilles* XI(2) : 385-462.

Marcysiak K., Mazur M., Romo A., Montserrat J.M., Didukh Y., Boratynska K., Jasinska A., Kosinski P. & Boratynski A., 2007. Numerical taxonomy of *Juniperus thurifera*, *J. excelsa* and *J. foetidissima* (Cupressaceae) based on morphological characters. *Bot. J. Linn. Soc.* 155: 483-495.

Montserrat P., 1966. La Vegetación de la Cuenca del Ebro. *Publicaciones del Centro Pirenaico de Biología Experimental* 1(5) : 1-22.

Pèlachs A., 2004. *Deu mil anys de geohistòria ambiental al Pirineu central català. Aplicació de tècniques paleogeogràfiques per a l'estudi del territori i el paisatge a la Coma de Burg i a la Vallferrera*. Ph. D. Thesis. Universitat Autònoma de Barcelona, Bellaterra, 581 p.

Pèlachs A., Soriano J.M. & Esteban A., 2001. Evolución glaciar y dinámica de la vegetación en el Pirineo central catalán : el complejo glacio-lacustre de Burg (Farrera, Pallars Sobirà, Lleida). *Treballs de la Societat Catalana de Geografia* 52 : 293-309.

Rivas-Martínez S. *et al.*, 2011. Mapa de series, geoseries y geopermaseries de vegetación de España. *Itinera Geobotanica* 18-1 : 1-424 y 18-2 : 425-800.

Rodríguez-Ochoa R. & Pedrol J., 1999. Notes breus (Flora) : *Juniperus thurifera* L. (Cupressaceae) a la Baixa Ribagorça. *Butlletí de la Institució Catalana d'Història Natural* 67 : 66.

Romero F., 1983. *Flora y vegetación de la cuenca alta del río Luna (León)*. Monografías ICONA, 29. Madrid, Ministerio de Agricultura, 273 p.

Skuhravá M., 1995. A new gall midge species, *Etsuhoa thuriferae* sp. n. (Dyptera, Cecidomyidae) from galls on *Juniperus thurifera* L. (Cupressaceae) in Spain. *Zapateri. Revista aragonesa de Entomología* 5 : 135-146.

Terrab A., Schönswetter 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. *Mol. Phylogenet. Evol.* 48: 94-102.

Valero-Garcés B., González-Sampériz P., García-Ruiz J.M., Peña-Monné J.L., Martí-Bono C., Sancho C., Navas, A., Machín J., Delgado-Huertas A., Stevenson A. & Davis, B. 2004. Paleohydrological fluctuations and steppe vegetation at the last glacial maximum in the central Ebro Valley (NE Spain). *Quatern. Int.* 122: 43-55.

Villar L. & Ferrández J.V., 2000. Usos etnobotánicos de la sabina albar y arbustos que le acompañan en Aragón *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, ONF, coll. « Les dossiers forestiers » 6 : 130-139.

Violant R. 2001. *La vida pastoral al Pallars*. Ed. Garsineu Tremp, 427 p.

# Contribution à la connaissance écologique du Genévrier thurifère, comparé aux autres espèces du genre *Juniperus* dans le sud-est de la France continentale

## *Contribution to ecological knowledge of Incense juniper in comparison with other species of* Juniperus *in southeast continental France*

Philippe LEBRETON[1], Luc GARRAUD[2] et Jean-Michel GENIS[2]

1. 56, chemin du Lavoir, F-01700 Beynost

2. Conservatoire botanique national alpin, domaine de Charance, F-05000 Gap

E-mail : garraud@cbn-alpin.org – jm.genis@cbn-alpin.org

**Résumé**

*Six taxons de Genévrier* Juniperus *sp. sont présents dans le massif alpestre français : trois au feuillage en écailles (sous-genre* Sabina*), trois au feuillage en aiguilles (sous-genre* Oxycedrus*). Complétant leurs caractères morphologiques et biochimiques, les facteurs physiques de leurs stations – altitude, orientation, pente – en permettent une meilleure compréhension biologique et écologique. De même que des phénomènes d'hybridation introgressive expliquent le passage entre Genévrier commun et Genévrier nain, de même le Genévrier thurifère est-il susceptible de s'hybrider avec ses deux congénères à feuillage squamiforme, le Genévrier sabine et le Genévrier de Phénicie. Il en résulte des difficultés taxonomiques que les valeurs de cote moyenne et d'orientation peuvent aider à interpréter.*

**Abstract**

*Six taxa of Juniper* Juniperus *sp. are present in the French Alpine massif: three with scaly (*Sabina *subgenus), three with prickly foliage (*Oxycedrus *subgenus). Completing their morphological and biochemical, physical factors of their stations: elevation, orientation, slope, allow a better biological understanding and ecological. Just as introgressive hybridization phenomena explain the transition between Common juniper and Dwarf juniper, Incense juniper is it capable of hybridizing with both congeners of* Sabina *subgenus, Phoenician juniper and Savin juniper. The result of taxonomic difficulties that the values of mean elevation and orientation can help to explain.*

**Mots clés :** Alpes du Nord et du Sud, France, genre *Juniperus*, critères physiques, hybridation avec introgression.

**Keywords:** Northern and Southern Alps, France, *Juniperus* genus, physical criteria, hybridization with introgression.

## Version abrégée

Les taxons du genre *Juniperus* du sud-est de la France continentale sont bien documentés dans la base de données du Conservatoire botanique national alpin, avec plus de 27 000 citations opportunes. Mais les facteurs physiques de leurs niches écologiques, la cote moyenne et l'amplitude altitudinale, l'orientation et la pente des stations, ont jusqu'à présent retenu l'attention de manière insuffisamment précise. Dans le groupe à feuillage squamiforme (sous-genre *Sabina*), le Thurifère, établi surtout sur pentes accusées d'adret, ne se distingue de la Sabine que par une cote moyenne significativement plus faible (1 000 *versus* 1 600 mètres). Le Genévrier de Phénicie est très distinct à tous égards

de ces deux congénères, voisinant à l'étage supraméditerranéen avec l'Oxycèdre, un Genévrier à aiguilles. Dans le groupe à feuillage aciculaire (sous-genre *Oxycedrus*), les Genévriers commun et nain sont bien étagés, le premier colonisant des versants moins ensoleillés et moins pentus que le second. Mais des nuances qualifient les formes hybridées des deux taxons, définies comme *Juniperus* x *intermedia* : détecté par le port de l'arbuste et l'insertion des aiguilles, et reconnu par la biochimie phénolique (prodelphinidine), un gradient croissant d'introgression de *nana* par *communis* est relevé du nord au sud de la chaîne, ainsi qu'entre Préalpes et Alpes internes, aux facteurs édaphiques et climatiques bien distincts. Des phénomènes similaires d'hybridation introgressive affectent probablement, comme en Espagne, les trois espèces *Juniperus sabina*, *thurifera*, *phoenicea*. Ces considérations précisent la connaissance de la biodiversité inter- et intra-spécifique du genre *Juniperus* dans le massif alpestre français.

## Introduction, matériel et méthodes

Puisant dans la base de données du Conservatoire botanique national alpin (Cbna), un précédent travail (Garraud *et al*. 2009) nous a permis de comparer la distribution du Genévrier thurifère *Juniperus thurifera* L. à celle du Genévrier de Phénicie *Juniperus phoenicea* L., mais aussi à celles du Chêne pubescent *Quercus pubescens* Willd. et du Chêne vert *Quercus ilex* L., respectivement voisins des précédentes espèces d'un double point de vue géographique et écologique. Trois paramètres physiques avaient été définis à cet effet : la cote, le versant et la pente de chaque relevé, d'où la définition d'un **indice altitudinal** à caractère thermique, d'un **indice d'adret** d'ordre photique et d'un **indice de pente**. On peut ainsi tracer le profil altimétrique de chaque espèce et en calculer la cote moyenne assortie de son écart-type, à comparer au mode correspondant au maximum de la courbe ; l'écart entre cote moyenne et mode est fonction du degré de symétrie de la distribution. On en déduit également l'amplitude altitudinale du taxon, et son recoupement avec celle d'autres espèces. Les valeurs de pente sont rassemblées en trois classes, respectivement faible (f, < 20°), moyenne (m, 21-25°) et forte (F, > 25°).

Le présent travail étend notre méthode d'analyse aux six espèces du genre *Juniperus* présentes dans le massif alpestre français étudié par le Cbna (au nord, départements de la Haute-Savoie et de la Savoie ; au sud, départements des Hautes-Alpes et des Alpes-de-Haute-Provence), disposant ainsi de 27 000 relevés opportuns (tableau 1). Nous renvoyons le lecteur à la publication précédente (p. 122-124) pour l'élaboration des indices et leur éventuelle transcription thermique. Une représentation cartésienne (cote moyenne en ordonnées, indice d'adret en abscisses) permet de figurer la position et la distance topographiques des taxons ; la pente figure en troisième dimension qualitative. Par ailleurs, ces six taxons ont été antérieurement étudiés par l'un d'entre nous (Ph. Lebreton) en collaboration avec les professeurs Marcel Barbéro, Pierre Quézel et Thierry Gauquelin (Imep de la faculté des sciences de Marseille Saint-Jérôme) sous un double aspect morphomé-

**Tableau 1 – Valeurs moyennes (et écarts-types) des trois indices physiques pour les six espèces de genévrier. Entre parenthèses, nombre de spécimens.**

***Table 1 – Mean values (and standard deviations) of the three physical indexes for the six junipers species. In brackets, number of specimens.***

| Taxon | Cote moyenne en mètres moyenne (écart-type) | Indice d'adret en % | Indice de pente < 20° / 21-25° / > 25° | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | f | m | F |
| Feuillage squamiforme | | | | | |
| *J. phoenicea* (5,4 %) | 582 (250) (n = 1 484) | 77 (n = 1 042) | | m | |
| *J. thurifera* (3,2 %) | 1 002 (276) (n = 872) | 90 (n = 700) | | F | |
| *J. sabina* (4,0 %) | 1 610 (325) (n = 1 086) | 86 (n = 778) | | F | |
| Feuillage aciculaire | | | | | |
| *J. oxycedrus* (11,6 %) | 410 (200) (n = 3 171) | 82 (n = 2 494) | | f | |
| *J. communis* (48,1 %) | 982 (456) (n = 13 381) | 54 (n = 8 970) | | f | |
| *J. nana* (27,8 %) | 1 928 (293) (n = 7 625) | 67 (n = 5 144) | | m | |

**Figure 1 – Distribution des différents taxons en fonction de l'altitude et de l'indice d'adret.**

trique (dimensions des galbules et nombre des graines) et biochimique (teneurs absolues et relatives des proanthocyanidines du feuillage, dont la prodelphinidine) (Gauquelin *et al.* 1988 ; Barbéro *et al.* 1990 ; Barbéro *et al.* 1994).

## Résultats et discussion

### Au niveau interspécifique

Le tableau 1 montre un étagement significatif des trois espèces considérées dans chacun des deux sous-genres *Sabina* (feuillage squamiforme, c'est-à-dire en écailles) et *Oxycedrus* (feuillage aciculaire, à aiguilles), depuis l'étage mésoméditerranéen : Genévrier oxycèdre *Juniperus oxycedrus* L., jusqu'à l'étage alpin : Genévrier nain *J. nana* Willd. (= *Juniperus sibirica* Burgsd.). À l'intérieur de chaque sous-genre, l'indice d'adret varie fortement entre espèces relativement peu photophiles, comme le Genévrier de Phénicie et le Genévrier commun *Juniperus communis* L. d'une part, et très photophiles, comme le Genévrier thurifère et le Genévrier oxycèdre d'autre part. Les pentes sont peu appréciées par les Genévriers oxycèdre et commun, bien plus par la Sabine *Juniperus sabina* L. et par le Thurifère.

Du coup, la représentation plane des six taxons (figure 1) laisse apparaître deux enveloppes, l'une rassemblant les taxons à feuillage squamiforme du sous-genre *Sabina*, avec deux espèces très photophiles et adeptes des fortes pentes, l'autre abritant les deux taxons les plus extrêmes du point de vue altitudinal, avec le Genévrier nain opposé à l'Oxycèdre, tous deux à feuillage aciculaire ; dans ce groupe, les pentes sont moyennes à faibles.

### Au niveau intraspécifique

Le tableau 2 montre à la fois l'existence d'une dualité et d'un continuum dans l'espèce collective *J. communis*, qui regroupe en France les trois taxons *communis* L. *stricto sensu*, *J.* × *intermedia* Sanio et *J. nana* Willd. (Barbéro *et al.* 1990). L'analyse de la prodelphinidine du feuillage révèle l'existence d'un gradient de décroissance de ce marqueur micromoléculaire du nord au sud (Haute-Savoie et Savoie *versus* Hautes-Alpes et Alpes-de-Haute-Provence) et de l'est à l'ouest (Alpes internes *versus* Préalpes) de la chaîne alpestre. À double titre, les Alpes internes du Nord sont ainsi très significativement plus

**Tableau 2 – Variations géographiques de paramètres biochimiques chez *J. communis sensu lato*. Adapté de Barbéro *et al*. 1990. Échantillonnage au-dessus de 1 000 mètres.**

***Table 2 – Geographical variations of biochemical parameters within* J. communis sensu lato*. Adapted from Barbéro* et al. *1990. Sampling above 1,000 meters.***

| Prodelphidine relative (LD %) | | Prodelphidine absolue (LD mg/g) | |
|---|---|---|---|
| (n = 17) Préalpes N 41 (26) | (n = 28) Alpes internes N 62 (23) | Préalpes N 2,0 (1,6) | Alpes internes N 4,1 (2,1) |
| 24 (24) Préalpes S (n = 35) | 42 (31) Alpes internes S (n = 32) | 1,1 (1,6) Préalpes S | 2,6 (2,5) Alpes internes S |

riches en prodelphinidine que les Préalpes du Sud (LD % ; t = 6,27 ; p << 1 p. mille ; ***. LD mg/g : t = 6,19 ; p << 1 p. mille ; ***). Il en est de même des Alpes internes comparées aux Préalpes [LD % : 51 (29) *vs* 29 (26) % ; t = 4,22 ; p < 1 p. mille ; ***. LD abs. : 3,3 (2,4) *vs* 1,4 (1,7) mg/g ; t = 4,82 ; p < 1 p. mille ; ***] et des Alpes du Nord comparées à celles du Sud [LD % : 54 (26) *vs* 33 (29) % ; t = 4,04 ; p < 1 p. mille ; ***. LD abs. : 3,3 (2,2) *vs* 1,8 (2,2) mg/g ; t = 3,56 ; p < 1 p. mille ; ***]. Les différences sont encore significatives (au risque 1 % ; **) entre Alpes internes du Nord et Préalpes du Nord, entre Alpes internes du Sud et Préalpes du Sud, et entre Alpes internes du Nord et du Sud.

D'un point de vue systématique, on peut donc dire que les spécimens analysés sont d'autant plus proches du taxon *nana* qu'ils relèvent du nord-est des Alpes françaises, et plus près de *communis* dans le sud-ouest de celles-ci. Les indices physiques cote moyenne et indice d'adret (tableau 3) ne démentent pas l'analyse chimiogénétique : les Alpes du Nord et les Alpes internes encadrent bien le taxon *nana*, tandis que les Alpes du Sud et les Préalpes tendent plus vers *communis stricto sensu* ; ici, les indices de pente sont peu discriminants.

**Tableau 3 – Variations géographiques des indices physiques chez *J. communis sensu lato.***

***Table 3 – Geographical variations of the physical indexes within* J. communis sensu lato.**

| Grex *communis* | Cote moyenne en mètres | Indice d'adret en % | Indice de pente |
|---|---|---|---|
| Préalpes | 1 487 (311) (n = 4 520) | 59 (n = 2 882) | f |
| Alpes internes | 1 847 (388) (n = 5 940) | 61 (n = 4 221) | m |
| Alpes du Nord | 1 801 (374) (n = 1 578) | 69 (n = 1 087) | f |
| Alpes du Sud | 1 701 (424) (n = 5 704) | 58 (n = 4 026) | f |

L'ensemble des données biochimiques et biogéographiques (auxquelles s'ajoutent les données morphologiques : port plus ou moins rampant *versus* érigé ; taille et implantation des aiguilles plus ou moins apprimées sur les rameaux) favorise l'idée d'une introgression[1] spatio-temporelle actuellement permanente des deux taxons extrêmes *communis* et *nana*, conduisant aux formes hybrides reconnues comme *Juniperus* × *intermedia* Sanio. C'est bien plus au sud (Sicile, Maghreb) que la « bonne espèce » *Juniperus hemisphaerica* Presl., absente d'Europe moyenne (dont les Pyrénées), peut être reconnue, provenant elle aussi de l'hybridation (ancienne) des deux mêmes taxons parentaux lorsque ceux-ci cohabitaient ; cela n'est plus le cas aujourd'hui, au moins depuis les dernières glaciations.

## Considérations générales

À ce dernier propos, il est à coup sûr intéressant de savoir que des collègues espagnols, sur des bases morphologiques, ont récemment observé et décrit des hybrides entre les trois espèces ouest-européennes du sous-genre *Sabina* : un hybride *Juniperus* × *cerropastorensis* entre le Thurifère et la Sabine (Aparicio & Uribe-Echebarria 2009) ; un hybride *Juniperus* × *palancianus* entre le Genévrier thurifère et le Genévrier de Phénicie (Aparicio & Uribe-Echebarria 2006) ; un hybride *Juniperus* x *herragudensis* entre le Genévrier de Phénicie et la Sabine (Aparicio & Uribe-Echebarria 2008). La base de données du Cbna ne fournit qu'un cas de relevé simultané pour les deux espèces *J. sabina* et *J. phoenicea*, avec un important hiatus altitudinal (*cf.* figure 1) ; le problème ne saurait donc se poser dans notre contexte biogéographique. En revanche, nous disposons de près de cinquante co-occurrences stationnelles de *J. thurifera* avec *J. phoenicea* (surtout dans le département de la Drôme, au sud-ouest de notre périmètre, à des cotes relativement faibles) et même d'une centaine de *J. thurifera* avec *J. sabina* (surtout dans les départements des Hautes-Alpes et des Alpes-de-Haute-Provence, à des cotes plus élevées) ; la

1. Introgression (génétique) : phénomène de « rétro-croisements » entre individus hybridés et/ou appartenant aux taxons parentaux ; elle peut se manifester aux niveaux intra- et interspécifiques. D'où la possibilité d'une « vigueur hybride », favorable à la reconquête des espaces en déprise anthropique, comme en France ou en Espagne.

figure 1 indique bien les zones de syntopie altitudinale de ces couples d'espèces, autour de 1 300 mètres entre la Sabine et le Thurifère (avec des valeurs également fortes de versants et de pentes), autour de 800 mètres entre le Thurifère et le Genévrier de Phénicie ; le Genévrier thurifère est donc ici placé en double situation potentiellement hybridogène intragénérique, par le haut comme par le bas.

Le botaniste drômois Daniel Bénéfice ayant attiré l'attention de l'un d'entre nous (Luc Garraud) sur la difficulté à spécifier certains genévriers « thurifères », une visite de la forêt de Saou et de son voisinage (Bourdeaux, col de la Chaudière, autour de 1 000 mètres) a confirmé le constat et les difficultés d'interprétation taxonomique résultantes : on hésite là sur beaucoup d'arbres et l'on est donc tenté d'y voir le résultat d'une hybridation avec l'existence de toutes les formes intermédiaires, de buissonnantes à érigées, entre *J. thurifera* et *J. phoenicea*. De même à Saint-Crépin où cohabitent *J. thurifera* et *J. sabina*, sur trente individus pris au hasard dans un transect entre 1 000 et 1 200 mètres d'altitude, pas moins de vingt-huit se sont révélés de port ambigu ! Une étude génétique sur l'ensemble de l'aire abritant les trois espèces squamiformes de genévriers permettrait probablement de mieux évaluer leurs niveaux d'introgression.

Les incertitudes régnant sur la sexualité des genévriers (monoécie *versus* dioécie ; Jean-Paul Mandin, comm. perso.) ne facilitent pas l'interprétation de la très probable hybridation ainsi constatée, sans doute doublée d'introgression comme pour la paire *Juniperus communis*/*Juniperus nana*. Comme dans ce dernier cas, la biochimie proanthocyanique est peut-être à même d'apporter une réponse, mais cette méthode analytique n'est guère commode d'accès en dehors des laboratoires spécialisés, celle des ADN de même. En fait, l'expérience acquise chez les diverses espèces du genre ici étudiées (auxquelles s'ajoute le Genévrier élevé *Juniperus excelsa* Bieb., présent en Turquie. *Cf.* Barbéro *et al*. 1994) suggère que l'analyse statistique du nombre de graines par galbule serait probablement le critère quantitatif offrant le meilleur « rapport qualité/prix » expérimental. Les trois espèces en cause présentent en effet les valeurs suivantes en France continentale du Sud-Est : 1 ou 2 graines pour la Sabine, 2 à 4 pour le Thurifère, 7 à 9 pour le Genévrier de Phénicie (valeurs moyennes plus ou moins un écart-type).

## Références

Aparicio J.M. & Uribe-Echebarria P.M., 2006. *Juniperus* x *palancianus*, nuevo hibrido de la provincia de Castellon. *Tolle Negre* 8 : 5-8.

Aparicio J.M. & Uribe-Echebarria P.M., 2008. *Juniperus* x *herragudensis*, otro nuevo hibrido de la provincial de Castellon. *Mainhardt* 60 : 83-85.

Aparicio J.M. & Uribe-Echebarria P.M., 2009. *Juniperus* x *cerropastorensis*, nuevo hibrido entre Juniperus *sabina* L. y *Juniperus thurifera* L. *Tolle Negre* 11 : 6-13.

Barbéro M., Bayet Ch., Hammoud A., Laracine-Pittet C. & Lebreton Ph., 1990. Diversité biologique du Genévrier commun, espèce collective flavoniquement polymorphe. *Ecol. mediterr.* XVI : 13-39.

Barbéro M., Lebreton Ph. & Quézel P., 1994. Sur les affinités biosystématiques et phytoécologiques de *Juniperus thurifera* L. et de *Juniperus excelsa* Bieb. *Ecol. mediterr.* XX : 21-37.

Garraud L., Lebreton Ph. & Genis J.-M., 2009. Biogéographie et écologie comparées du Genévrier thurifère (*Juniperus thurifera* L.) dans les Alpes françaises du Sud. *Bull. mens. Soc. Linn. Lyon* 78 : 119-135.

Gauquelin Th., Idrissi-Hassani M. & Lebreton Ph., 1988. Le Genévrier thurifère *Juniperus thurifera* L. : analyse biométrique et biochimique ; propositions systématiques. *Ecol. mediterr.* XIV : 31-42.

# Gestion et conservation des thuriféraies au Maroc : cas du Parc national du Toubkal

## *Management and conservation of thuriferous stand in Morocco: Toubkal National park case*

A. OUHAMMOU[1*], M. HAFIDI[1], L. ZARIK[1], S. KHOULASSA[1], A. BOUMEZZOUGH[1] et R. DUPONNOIS[1,2]

1. Laboratoire écologie & environnement (Unité associée au CNRST, URAC 32), Faculté des sciences Semlalia, Université Cadi Ayyad, Marrakech, Maroc

2. IRD, UMR 113 CIRAD/INRA/IRD/SUP-AGRO/UM2, Laboratoire des symbioses tropicales et méditerranéennes (LSTM), Campus international de Baillarguet, Montpellier, France

* Auteur correspondant : e-mail : ouhammou@uca.ma

**Résumé**

*Dans le paysage des écosystèmes naturels marocains, le thurifère (*Juniperus thurifera *ssp.* africana *(Maire) Gauquelin, Idrissi & Lebreton 1988) et sa formation végétale résultante, la thuriféraie, occupent une place privilégiée de par leur grande valeur patrimoniale, environnementale et socio-économique. Véritable espèce relique et essence multicentenaire et majestueuse de la moyenne et haute montagne du Moyen et Haut Atlas et localement dans l'Anti-Atlas, le thurifère a suscité un grand intérêt auprès de la communauté scientifique.*

*Soumis, depuis de longues périodes, aux sévères et fluctuantes conditions naturelles et anthropiques, il témoigne d'une parfaite adaptation à ces différentes contraintes. Dans l'aire fragmentée de sa répartition au Maroc, estimée à 30 000 ha, la thuriféraie ne jouit d'aucun statut de conservation directe ni de gestion particulière bien qu'il y ait des actions de soutien et de développement au profit des populations riveraines. Sa vocation actuelle se limite aux activités pastorales de prélèvement de bois de chauffe et de feuillage pour les troupeaux et, dans une moindre mesure, à la conservation de la biodiversité locale dans des réserves mises en défens.*

*La régénération naturelle sporadique de cette essence dans les conditions environnementales actuelles constitue une menace pour sa pérennité. Cette espèce forestière nécessite, par conséquent, une stratégie adéquate de gestion et de conservation. Aussi, cette formation est-elle intégrée dans la plupart des aires protégées du Maroc, notamment les parcs nationaux et les Sites d'intérêt biologique et écologique (SIBE) particulièrement au sein des Parcs nationaux du Toubkal, d'Ifrane et du Haut Atlas Oriental. La gestion préconisée de cette essence forestière en voie de raréfaction doit contribuer à assurer sa reconstitution et sa protection. Elle doit être traitée en forêt de protection dans laquelle la régénération serait possible par la mise en place de réserves permanentes en défens. La gestion traditionnelle en mise en défens temporaire communément connue par Agdal forestier ou pastoral est aussi envisageable. Des exemples de ce type de gestion sont installés et étudiés dans le Parc national du Toubkal dans le Haut Atlas de Marrakech.*

**Mots clés :** gestion, thurifère, espèce vulnérable, Parc national du Toubkal, Maroc.

**Abstract**

*In Moroccan natural ecosystems,* Juniperus thurifera *ssp.* africana *(Maire) Gauquelin, Idrissi & Lebreton, 1988, and thuriferous stand, occupy a privileged place by their patrimonial, environmental and socio-economic values. Real relic and majestic multi-centenarian species of the low and high mountain ranges as Middle and High Atlas and locally in Anti Atlas, the juniper thuriferous showed a big interest by the scientific community.*

*Submitted, since long periods, to severe and fluctuating natural and anthropological conditions,*

**Keywords:** management, Juniper thuriferous, ecosystemic services, Toubkal National park, Morocco.

*it testifies a perfect adaptation to the various constraints to which it is subjected. In the disrupted natural distribution area in Morocco, estimated at 30,000 ha, the thuriferous stand doesn't enjoy of any direct preservation status or particular management, although there are some actions of support and development for the waterside population. Its current vocation is limited to the pastoral activities and collecting firewood and in a lesser measure of the local biodiversity preservation into enclosed plots.*

*The sporadic natural regeneration of this tree in the environmental conditions constitutes a threat for its sustainability. Consequently, the thuriferous stand requires an adequate management and preservation strategy. Consequently, this stand is integrated into most of Moroccan protected areas particularly in national parks and Sites of Biological and Ecological Interest (SBEI) mainly within the National Parks of Toubkal, Ifrane and the Oriental High Atlas. The recommended management of this vulnerable species has to proceed to assure its reconstruction and its protection. She must be treated in protected forest into permanent enclosed plots in which the regeneration would be possible. The traditional management on temporary fences by forest or pastoral "Agdal" is also possible. Examples of this type of management are established and studied in the National park of Toubkal at the Marrakesh High Atlas.*

## Introduction

*Juniperus thurifera* L., communément connu sous le nom de Genévrier thurifère ou porte-encens, ou encore *Awal* ou *Adoughmam*, noms locaux en Tamazighert (berbère), est une essence forestière de moyenne et haute montagne atlasique du Maghreb. Au Maroc, son aire de répartition naturelle est fragmentée et est estimée à 30 000 ha (Boudy 1948).

Le thurifère (*Juniperus thurifera* ssp. *africana* (Maire) Gauquelin, Idrissi & Lebreton 1988) et la thuriféraie présentent une grande valeur patrimoniale, environnementale et socio-économique. Cet arbre relique, multicentenaire, n'a cessé de susciter des intérêts auprès des chercheurs botanistes, phyto-écologues, biogéographes, forestiers… 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. Il fournit à la population montagnarde riveraine des services écosystémiques, en zones de parcours et de ressources naturelles fort appréciées par les habitants des hautes altitudes. Malgré toutes les particularités de cet arbre et de la thuriféraie, ils ne jouissent d'aucun statut de conservation directe ni de gestion particulière. On note cependant des efforts déployés par les gestionnaires en matière d'actions de soutien et de développement au profit des populations riveraines. Les prélèvements des ressources naturelles et, dans une faible mesure, la conservation de la biodiversité locale au sein des réserves mises en défens constituent la vocation actuelle de cette formation végétale. Il est à noter que la régénération naturelle de cette essence dans les conditions environnementales est très sporadique. Elle constitue une menace pour sa pérennité.

En faisant partie des aires protégées du Maroc au sein des parcs nationaux ou des Sites d'intérêt biologique et écologique (Sibe) notamment dans les Parcs nationaux du Toubkal, d'Ifrane et du Haut Atlas Oriental, la thuriféraie pourrait bénéficier d'une gestion visant à assurer sa reconstitution et sa protection en forêt dans laquelle la régénération naturelle serait possible par la mise en place de réserves permanentes en défens. Le Parc national du Toubkal dans le Haut Atlas de Marrakech renferme des réserves protégées dans lesquelles des études de suivi de la dynamique de cette formation sont réalisées.

L'objectif de cet article est de montrer l'intérêt d'étudier la diversité systématique du *J. thurifera* et de comprendre son auto-écologie et sa phytosociologie. Les services systémiques offerts par cette espèce et sa problématique dans son habitat naturel sont présentés, enfin les conditions de sa conservation et de sa gestion au sein du Parc national du Toubkal sont abordées.

## Données générales

*Juniperus thurifera* L. est un conifère de la famille des *Cupressaceae,* à sous-espèce *africana* (Maire) Gauquelin, Idrissi & Lebreton, endémique maroco-algérienne. C'est une phanérophyte sempervirente, dioïque à odeur typique. Ses rameaux et ramilles sont disposés dans un plan. Les feuilles sont en écailles cupressoïdes (Fennane *et al.* 1999). Les fruits ou galbules mûrs de couleur bleu-noir contiennent un nombre réduit de graines par rapport aux sous-espèces européennes, une ou deux, (Gauquelin *et al.* 1988) confirmées par Romo & Boratyński (2005).

Au Maroc, le thurifère est un arbre de la haute montagne atlasique en Haut et Moyen Atlas et localement dans l'Anti-Atlas (Emberger 1938). Son absence dans le Rif est remarquable, certainement par excès d'humidité (M'hirit 1982 ; Benabid 1982) mais aussi par son altitude trop basse comparée à celle du Haut et Moyen Atlas. C'est une espèce très orophile, atteignant plus de 3 300 m d'altitude dans le Haut Atlas de Marrakech (Ouhammou 2005). Elle résiste aux basses températures des domaines semi-internes de moyenne et haute altitudes des vallées internes du système atlasique (Peyre 1983 ; Haloui 1986 ; Ouhammou 1991 ; 2005) sous forme de matorral claire souvent en formations steppiques ou présteppiques dont la densité ne dépasse pas une centaine d'arbres par hectare (Badri 2003).

Au point de vue des étages de végétation (*sensu* Achhal *et al*. 1980), la thuriféraie se cantonne dans les étages supra-, montagnard et oroméditerranéen semi-arides, subhumides voire localement humides (Peyre 1983 ; Benabid & Fennane 1994 ; Ouhammou 1991 ; 2005). Concernant les substrats, ils sont variés et les sols sont souvent superficiels (Gauquelin 1985).

L'étude phytosociologique des thuriféraies du Maroc montre qu'elles s'intègrent à la classe des *Quercetea – ilicis* Br. Bl., 1947, à l'ordre des *Ephedro majoris – Juniperetalia* Quézel & Barbéro 1981, et à l'alliance des *Junipero thuriferae – Quercion rotundifoliae* Quézel & Barbéro 1981, renfermant trois associations végétales : (1) *Buxo sempervirens – Juniperetum thuriferae* Quézel 1957, (2) *Retamo dasycarpae – Quercetum rotundifoliae* Achhal 1986, (3) *Bupleuro spinosi – Juniperetum phoeniceae* Achhal 1986, avec sa sous-association : *Juniperetosum thuriferae* Achhal 1986. Le statut phytosociologique des thuriféraies les plus alticoles n'a pas encore été défini. Elles sont considérées pour l'instant comme étant endémiques du Parc national du Toubkal (Ouhammou 2005).

## Usages traditionnels et services écosystémiques

Le thurifère et plus généralement la thuriféraie fournissent plusieurs services écosystémiques à la population montagnarde locale. Dans ces zones, il joue un rôle environnemental et socio-économique indéniable, déjà révélé par certains auteurs dont Emberger (1938) et plus récemment Auclair (1993) et Fromard & Gauquelin (1993).

Le pâturage constitue l'activité la plus dominante de par la richesse du cortège floristique en espèces fourragères de la thuriféraie. De ce point de vue, elle fournit une part très appréciable des espèces palatables aux nombreux troupeaux de caprins et d'ovins de la moyenne et haute montagne atlasique (Donadieu & Bourbouze 1976). Étant imputrescible et très dense, le bois du thurifère est très apprécié dans les constructions des habitations (toiture, charpentes, portes…) et des abris pour le bétail (*azib* ou bergerie). Son utilisation est très commune dans toute son aire où il est encore très fréquent d'observer les troncs de cette essence en différents usages, en tant que passerelle traditionnelle au-dessus des cours d'eau, d'araire ou charrue simple, de support de moulin à eau, par exemple.

Concernant son utilisation en médecine traditionnelle, Bellakhdar (1998) a rapporté que les galbules du thurifère sont utilisées pour les soins des gencives particulièrement contre les saignements ou consommées comme amuse-gueule, en étant aromatiques et un peu sucrées. Quant à son bois, il sert dans la production du goudron sous forme de l'huile de cade et dans son utilisation comme abortif, tout comme le Genévrier oxycèdre.

Toutes ces utilisations ne sont pas sans laisser de menaces résultant de l'exploitation abusive de cette espèce. Parmi ces menaces, on signale le surpâturage et les incendies provoqués. Il y a aussi l'effet naturel des espèces d'insectes arthropodes, ravageurs des graines (El Alaoui El Fels 1999).

## Statut de conservation

*Juniperus thurifera* L. ssp. *africana* est un taxon vulnérable ou semble l'être, c'est-à-dire en voie de régression, et pourrait devenir rare à court terme (Fennane & Ibn Tattou 1998 ; Garzuglia 2006). Aucune indication de cette sous-espèce n'est indiquée dans la liste mondiale préliminaire des conifères menacés (Farjon *et al*. 1993). Les peuplements actuels de Genévrier thurifère qui subsistent encore au Maroc sont considérés comme des peuplements d'arbres « fossiles » (Benabid 2000).

## Étude de cas : Parc national du Toubkal (PNTb)

### Objectifs de sa création

Créé en 1942 dans la moyenne et haute montagne du Haut Atlas de Marrakech, le PNTb est la plus ancienne aire protégée du Maroc. Le but principal de cette création était de préserver les massifs montagneux les plus élevés de l'Afrique du Nord pour leurs caractéristiques floristiques, faunistiques, géologiques, paysagères et leurs potentialités touristiques. Il était aussi question de conserver les espèces animales et végétales menacées de disparition et d'assurer leur conservation et ainsi proposer un produit touristique de montagne pour le développement de la zone de Marrakech (Delaye 1944).

### Diversité du couvert végétal

Le couvert végétal dans le PNTb est varié. On y trouve des habitats différents et spécifiques en liaison avec les hautes altitudes et la position méridionale du Haut Atlas de Marrakech. Le groupement asylvatique est largement dominant (69 %) du couvert végétal total. Quant aux groupements arborés et arbustifs, ils ne représentent que 16 %. Ils sont dominés par la thuriféraie, avec 10,2 %, suivie de la chênaie et l'adénocarpaie. Les zones humides occupent 15 % de la surface du parc (tableau 1 et figure 1).

### Place et importance de la thuriféraie du Parc national du Toubkal

La thuriféraie du PNTb se distingue par la diversité de ses communautés végétales déterminées par des conditions écologiques spéciales. Elle représente la première formation sylvatique du PNTb (tableau 1) en formant environ deux tiers des formations arborées. Altitudinalement, elle s'étend de 1 300 m à 3 520 m. C'est par ailleurs dans ce site que le thurifère atteint son altitude record (Ouhammou *et al*. 2000 ; Ouhammou 2003, 2005).

Aussi, la thuriféraie contient-elle une importante biodiversité floristique en rapport avec sa grande surface dans le parc. Un total de 194 espèces et sous-espèces de plantes vasculaires contenant une flore endémique formée de 76 taxons soit 39,2 % de taux d'endémisme global y a été relevé. *Juniperus thurifera* ssp. *africana, Alyssum spinosum, Bupleurum spinosum, Festuca maroccana, Arenaria pungens, Cytisus balansae, Stipa nitens, Genista marrocana…*, constituent le contingent d'espèces orophiles, les plus abondantes dans les différentes communautés végétales du thurifère de la dition (Ouhammou 2005).

L'auto-écologie du thurifère montre qu'elle est déterminée essentiellement par les conditions climatiques, sachant qu'elle est indépendante de la nature chimique du substrat (Badri 2003 ; Gauquelin & Dagnac 1988 ; Ouhammou 2005). L'influence de l'orographie joue également un rôle prépondérant dans la mise en place de cette espèce, conclusion déjà soulignée par Emberger (1939) révélant que l'on ne rencontre le thurifère qu'après avoir franchi les rides périphériques, barrant l'accès du cœur de la montagne. Suivant leur situation géographique, les communautés végétales de la thuriféraie du PNTb se répartissent en trois blocs distincts (figure 1), le bloc Azzaden-Zagzaouan, septentrional, celui de Tifni-Oufra dans la partie amont du bassin versant de l'Ourika et enfin le bloc méridional du bassin versant de l'Agoundis.

Dans toute son aire de répartition au sein du Haut Atlas de Marrakech (Peyre 1983 ; Haloui 1986 ; Ouhammou 1991), la thuriféraie s'individualise essentiellement dans les régions intérieures alticoles, surtout en expositions méridionales (sud). La thuriféraie se trouve donc cantonnée dans les domaines froids semi-internes de moyenne à haute altitude des bioclimats semi-aride supérieur au subhumide supérieur (*sensu* Achhal *et al.* 1980) et des étages de végétation supraméditerranéen et montagnard méditerranéen voire oroméditerranéen pour les communautés alticoles. De leur côté, Achhal *et al*. (1980) confirment que le Genévrier thurifère déborde largement le subhumide, surtout dans les variantes très froides et extrêmement froides, c'est-à-dire en plein dans le climat méditerranéen de haute montagne (*sensu* Emberger 1939). Il apparaît par conséquent que les exigences de cette essence sont proches de celles observées en Espagne, en France et en Algérie (Gauquelin *et al*. 2003).

### Gestion et conservation

La gestion correspond à toutes les mesures permettant un ensemble de réalisations et d'améliorations d'ordre social, économique et

**Figure 1 – Cartographie des types de formations végétales dans le Parc national du Toubkal (Ouhammou 2005).**
***Figure 1 – Cartography of the vegetation types in the Toubkal National Park*** **(Ouhammou 2005).**

culturel tout en rendant plus efficace la protection de la nature à l'intérieur d'une aire protégée (Filoche 2007). L'évaluation de son efficacité se définit comme l'appréciation de la façon dont les interventions sont gérées et dans quelle mesure elles protègent leurs valeurs et atteignent leurs buts et objectifs (Dudley 2008). Pour comprendre la bonne démarche de cette gestion, elle doit respecter les institutions et le droit coutumier des populations autochtones (Dudley 2008). La Convention sur la diversité biologique demande aux parties de procéder régulièrement à des évaluations de l'efficacité de la gestion dont les objectifs contribuent en principe à la conservation *in situ*.

**Tableau 1 – Types de formations végétales cartographiées dans le Parc national du Toubkal selon leur physionomie et leur importance spatiale (Ouhammou 2005).**

| Formations végétales | | Surfaces (km²) | Fréquences (%) | Total (%) |
|---|---|---|---|---|
| Sylvatiques | Thuriféraie | 41,80 | 10,2 | 16,3 |
| | Chênaie | 12,00 | 2,9 | |
| | Adénocarpaie | 11,60 | 2,8 | |
| | Génsistaie – Berbéridaie | 1,86 | 0,4 | |
| Asylvatiques | Alyssaie | 188,80 | 46,3 | 68,9 |
| | Arénariaie – hémicryptophytaie | 37,60 | 9,2 | |
| | Cytisaie | 37,16 | 9,1 | |
| | Erinaceaie | 12,70 | 3,1 | |
| | Bupleuraie – Astragalaie – Orménaie | 4,63 | 1,2 | |
| Zones humides | Zones humides | 60,68 | 14,9 | 14,9 |
| Total | | 408,83 | 100 | 100 |

Au Maroc, la gestion des aires protégées d'une façon efficace et durable est encore très modeste. La majorité d'entre elles dispose d'un programme d'action et de mesures de gestion pouvant les rendre opérationnels mais sans qu'il y ait de véritables résultats tangibles sur le terrain. Les actions entreprises jusqu'à présent sont d'ordre socio-économique tendant à l'amélioration des conditions de vie de la population riveraine des aires protégées dans le but de l'inciter à diminuer son impact sur les ressources phytogénétiques.

Dans le PNTb, de nombreuses actions de cette sorte ont été entreprises dans le cadre de programme de coopération internationale visant à assurer la gestion et la conservation des ressources naturelles. C'est le cas du projet "Global Environnment Facility, GEF Maroc", du Fonds pour le développement de l'environnement mondial, Programme des Nations unies pour le développement PNUD, sur l'assistance à la gestion des ressources naturelles (AGRN). Dans ce cadre, le projet, en plus des moyens d'étude et d'investigation, a contribué à l'amélioration et à la diversité des revenus de la population en mettant à leur disposition des moyens matériels et financiers.

Pour la thuriféraie, vu son importance spatiale et sa valeur patrimoniale, elle a suscité un intérêt particulier auprès des gestionnaires du PNTb attachés à la Direction des eaux et forêts du Haut Atlas en collaboration avec les chercheurs de l'université Cadi Ayyad de Marrakech. Bien qu'il n'y ait pas d'intervention directe d'ordre sylvo-pastorale, elle a néanmoins bénéficié d'actions visant à améliorer la conservation de sa biodiversité sous forme de réserves permanentes, de mises en défens de régénération, intéressant les communautés végétales bien venantes et qui sont encore en bon état de conservation, en l'occurrence la thuriféraie de Tizi M'zic dans la moyenne vallée du bassin de l'Azzaden et celle de Taouti dans le haut bassin de l'Assif Zagzaouan en plus de quelques parcelles plus réduites, à Tizmouma et au-dessus de Tizi n'Tacht, dans le bassin de l'Azzaden (Bloc Azzaden-Zagzaouan, figure 1). Dans les autres blocs, aucune action n'a été exécutée. La thuriféraie est livrée à elle-même, à la merci du pâturage et à la hache du berger, bien que dans le cadre du plan directeur des aires protégées de 1996, certaines zones de ces blocs, cas du bloc Tifni-Afra (figure 1) dans l'amont du bassin de l'Ourika, ont été désignées comme des sanctuaires naturels. La gestion la plus courante reste néanmoins traditionnelle dictée par une réglementation coutumière de mise en défens temporaire, connue par le système de l'agdal forestier ou pastoral selon l'usage affecté (Cordier 2007).

## Conclusion

De par sa valeur patrimoniale, le Genévrier thurifère occupe une place privilégiée dans la partie occidentale du bassin méditerranéen. Au Maghreb et plus encore au Maroc, il est représenté par sa sous-espèce *africana*, endémique maroco-algérienne. Il offre des services écosystémiques louables à la population des zones de hautes montagnes atlasiques. C'est grâce à cet arbre bienfaiteur qu'il y a encore des foyers actifs permettant le maintien de l'activité pastorale et de la transhumance dans ces zones à climat très contrasté. Soumis depuis longtemps à plusieurs contraintes, environnementales et anthropiques, sa pérennité se trouve cependant très menacée en étant une espèce vulnérable. La nécessité d'avoir une gestion efficace dans ce cas devient très urgente. Elle a consisté à mener des actions dans le but d'améliorer les conditions de vie des populations riveraines, alternatives tendant à faire réduire la pression anthropique sur les ressources naturelles et à l'instauration du système de rotation. Pour la thuriféraie de la proximité des villages, elle est gérée en système traditionnel d'Agdal pastoral (Cordier 2007) et exploitée par sa mise en défens pendant la période hiver-printemps.

Étant donné que le PNTb est une aire protégée, toute action qui peut affecter sa biodiversité et ses habitats est en principe prohibée. Sa gestion se doit d'être durable pour un meilleur fonctionnement des écosystèmes et une optimisation de leur conservation.

## Références

Achhal A., 1986. *Étude phytosociologique et dendrométrique des écosystèmes forestiers du bassin versant du N'fis (Haut Atlas central)*. Thèse de doctorat ès sciences, faculté Saint-Jérôme, Marseille, 204 p. + annexes.

Achhal A., Akabli O., Barbéro M., M'hirit O., Peyre C., Quézel P. & Rivas-Martinez S., 1980. À propos de la valeur bioclimatique et dynamique de quelques essences forestières du Maroc. *Ecologia Mediterranea* 5 : 211-249.

Auclair L., 1993. Le Genévrier thurifère, *Juniperus thurifera* L. géant de l'Atlas. *Forêt méditerranéenne*, t. XIV, nº 4 : 306-314.

Badri W., 2003. *Structure et fonctionnement des peuplements à Genévrier thurifère (*Juniperus thurifera *L.) dans les Atlas marocains*. Thèse de doctorat d'État. Faculté des sciences, Semlalia, Marrakech, 244 p. + annexes.

Barbéro M., Quézel P. & Rivas-Martinez S., 1981. Contribution à l'étude des groupements forestiers et pré-forestiers du Maroc. *Phytocoenlogia* 9 (3) : 311-412.

Bellakhdar J., 1998. *La pharmacopée marocaine traditionnelle. Médecine arabe ancienne et savoirs populaires*. Ibis-Press, 764 p.

Benabid A., 1982. *Études phytoécologiques, biogéographiques et dynamiques des associations et séries sylvatiques du Rif occidental (Maroc). Problèmes posés par la reforestation et l'aménagement des peuplements forestiers*. Thèse de doctorat ès sciences. Université Aix-Marseille III, 199 p. + annexes.

Benabid A., 2000. *Flore et écosystèmes du Maroc. Évaluation et préservation de la biodiversité*. Édition Ibis-Press et Kallila Wa Dimna, 359 p.

Benabid A. & Fennane M., 1994. Connaissances sur la végétation du Maroc : phytogéographie, phytosociologie et séries de végétation. *Lazaroa* 14 : 21-97.

Boudy P., 1948. *L'économie forestière nord-africaine*. Tome III, *Description forestière du Maroc*. Paris, Larose, 375 p.

Cordier J.-B., 2007. *Impacts écologiques des pratiques d'Agdal sur les peuplements forestiers et propositions alternatives. Vallée des Ait Bougmez, Haut Atlas, Maroc*. Mémoire de fin d'études de la formation des ingénieurs forestiers. École nationale du génie rural des eaux et des forêts, Nancy, 180 p.

Delaye T.J., 1944. Le Parc national du Toubkal. *Revue de géographie marocaine* 3 : 3-14.

Donadieu P. & Bourbouze A., 1976. *L'unité montagnarde expérimentale de développement intégré de la vallée de l'Azzaden, Haut-Atlas central*. Volume I : *Le milieu naturel et le pâturage*. Institut agronomique et vétérinaire Hassan II, Rabat, et Adminitration des eaux et forêts et Conservation des sols, 77 p.

Dudley N. (éditeur), 2008. *Lignes directrices pour l'application des catégories de gestion aux aires protégées*. Gland, Suisse, Uicn : x + 96 p.

El Alaoui El Fels M. A., 1999. *Les Arthropodes liés à des Atlas marocains, distribution des principaux ravageurs des cônes et des graines et impacts sur la régénération naturelle*. Thèse d'État. Faculté des sciences Semlalia, Marrakech.

Emberger L., 1938. *Les arbres du Maroc et comment les reconnaître*. Paris, Larose, 317 p.

Emberger L., 1939. *Aperçu général sur la végétation du Maroc. Commentaire de la carte phytogéographique du Maroc à 1/1 500 000*. Veroffgeöbot, Institut Rûbel Zurich 14 : 40-157.

Farjon A., Page C.N. & Schellevis N., 1993. A preliminary world list of threatened conifer taxa. *Biodiversity and Conservation* 2: 304-326.

Fennane M., Ibn Tattou M., 1998. Catalogue des plantes vasculaires rares, menacées ou endémiques du Maroc. *Bocconea* 8, 243 p.

Fennane M., Ibn Tattou M., Mathez J., Ouyahya A. & El Oualidi J., 1999. *Flore pratique du Maroc*. Vol. 1. Trav. Institut des sciences, serv. Bot. 36, I-XI : 1-558.

Filoche G., 2007. La réforme des parcs nationaux français – diversification des acteurs, redéfinition des compétences et des outils de gestion. *Revue européenne de droit de l'environnement* 3 : 309-321.

Fromard F. & Gauquelin T., 1993. Les formations à genévrier thurifère au Maroc : un milieu et une espèce en régression. *Revue internationale des forêts et des industries forestières*, vol. 44.

Garzuglia M., 2006. Threatened, endangered and vulnerable tree species: a comparison between Forest Resources Assessment Program 2005 and the IUCN red list. Working Paper 108/E. FAO, Rome, 18 p.

Gauquelin T., 1985. Végétation et formation superficielle dans les milieux superficiels du Haut Atlas de Marrakech : étude d'un transect (massif de l'Oukaimeden). Bailleul, série « Colloques phytosociologiques » 13. *Végétation et Géomorphologie* : 307-323.

Gauquelin T. & Dagnac J., 1988. Caractéristiques édaphiques des groupements à Genévrier thurifère des Atlas marocains : étude des niveaux superficiels des sols sous couvert et hors couvert. *Medit. Ecol.* XIV (3/4) : 43-57.

Gauquelin T., Idrissi-Hassani M. & Lebreton P., 1988. Le Genévrier thurifère, *Juniperus thurifera* L. (Cupressacées) : analyse biométrique et biochimique, position systématique. *Ecol. Medit.* XIV (3/4) : 31-42.

Gauquelin T., Bertaudière V, Cambecedes J. & Largier G., 2003. Le Genévrier thurifère (*Juniperus thurifera* L.) dans les Pyrénées : état de conservation. *Acta Bot. Barcinonensia* 49 : 83-94.

Haloui B., 1986. *Contribution à l'étude du milieu et de la végétation du bassin versant de l'oued Rhighaia (Haut Atlas de Marrakech).* Thèse 3e cycle. Université Cadi Ayyad, Faculté des sciences, Marrakech, 123 p. + Doc. cart.

M'hirit O., 1982. *Étude écologique et forestière des cédraies du Rif marocain. Essai sur une approche multidimensionnelle de la phytoécologie et de la productivité du cèdre*. Thèse ès sciences. Université droit, économie et sciences, Aix Marseille, 436 p. + annexes.

Ouhammou A., 1991. Domaines climatiques et végétation dans le bassin versant de l'oued Ourika. Haut Atlas de Marrakech. *Bulletin Fac. Sciences*, Semlalia, Marrakech, section Sciences de la vie 5 : 96-105.

Ouhammou A. 2003. Richesse spécifique et endémisme de la flore vasculaire dans la zone d'altitude du Parc national du Toubkal, Haut Atlas de Marrakech, Maroc. *Naturallia Maroccana* (1) 1 : 49-54.

Ouhammou A., 2005. *Flore et végétation du Parc national de Toubkal (Haut-Atlas de Marrakech, Maroc) : typologie, écologie et conservation*. Thèse doc. ès-sciences. Faculté des Sciences Semlalia, Marrakech, 315 p.

Ouhammou A., Muller S. & M'hirit O., 1996. Impact des activités pastorales sur la biodiversité floristique dans une thuriféraie (*Juniperus thurifera* L. ssp. *africana* Maire) limitrophe du Parc national du Toubkal, Haut Atlas de Marrakech, Maroc. *Acta Bot. Gallica* 143 : (4/5) : 393-401.

Ouhammou A., Muller S. & M'hirit O., 2000. La diversité écologique et floristique des groupements à genévriers thurifère (*Juniperus thurifera* L.) dans le Parc national du Toubkal, Haut Atlas de Marrakech,

Maroc. *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, Onf, coll. « Les dossiers forestiers » 6 : 67-73.

Peyre C., 1983. Étagement de la végétation et gradients climatiques dans le système atlasique marocain : le bassin de l'Oued Rdat et le versant sud de l'Atlas au méridien du Tizi n'Tichka. *Bull. Fac. Sci. Marrakech* (Sect. Sciences de la vie) 2 : 87-139.

Quézel P., 1957. Peuplement végétal des hautes montagnes de l'Afrique du Nord. *Encycl. Biol. & écol.* Paris, Le Chevalier, 463 p.

Quézel P. & Barbéro M., 1981. Contribution à l'étude des formations pré-steppiques à genévriers au Maroc. *Bull. Soc. Broteriana*. Ser. 2 : 1137-1160.

Quézel P. & Barbéro M., 1984. Aperçu syntaxinomique sur la connaissance actuelle de la classe des *Quercetea ilicis* au Maroc. *Ecol. Mediter.* 12 (3-4) : 105-111.

Romo A. & Boratyński A., 2005. Chorology of *Juniperus thurifera* (Cupressaceae) in Morocco. *Dendrobiology*, vol. 54 : 41-50.

# Typification de *Juniperus thurifera* var. *africana* Maire, délimitation taxonomique et conséquences nomenclaturales sur le Genévrier thurifère d'Algérie

## *Typification of* Juniperus thurifera *var.* africana *Maire, taxonomical delimitation and nomenclatural consequences for the Spanish juniper from Algeria*

Errol VELA[1] & Peter A. SCHÄFER[2]

1. Université Montpellier-2, UMR « AMAP », botanique et bio-informatique de l'architecture des plantes, CIRAD, TA A51/PS2, 34398 Montpellier cedex 5, France
E-mail : errol.vela@cirad.fr

2. Université Montpellier-2, UMR « AMAP », Institut de botanique, 163, rue Auguste Broussonet, 34090 Montpellier, France
E-mail : p.a.schafer127@gmail.com

**Resumé**

*Les populations de thurifères de l'Atlas marocain, très étudiées, sont reconnues pour être distinctes des populations européennes, ce qui a justifié la création du taxon* Juniperus thurifera *var.* africana *Maire, souvent traité au rang de sous-espèce. Les populations algériennes de l'Aurès, quant à elles, ont été récemment rapprochées des populations européennes sur la base de leur polymorphisme génétique (AFLP), ce qui nous fait poser la question du statut taxonomique et nomenclatural de chacun de ces sous-ensembles biogéographiques. Une analyse nomenclaturale a été réalisée sur tous les taxons infraspécifiques rattachés à* Juniperus thurifera*. Elle a montré que la var.* africana *de René Maire englobe des récoltes hétérogènes provenant à la fois du Maroc et d'Algérie. La récente désignation d'une planche provenant d'Algérie comme lectotype est malheureusement invalide, ce pourquoi nous en avons désigné une autre provenant du Maroc afin de conserver l'usage dominant. Une synthèse taxonomique, complétée d'une brève étude morphologique des galbules sur échantillons d'herbier, conclut à la distinction souhaitable d'un taxon marocain (var. ou subsp.* africana*) et d'un taxon algérien, qui n'a donc pas de nom. Nous le nommons ici* Juniperus thurifera *var.* aurasiaca*, en désignant comme holotype une planche de l'herbier MPU récoltée en Algérie par René Maire.*

**Mots clés :** Aurès, Haut-Atlas, *Juniperus thurifera* var. *aurasiaca*, lectotype, Moyen-Atlas, phylogéographie.

**Abstract**

*Spanish juniper populations of the Moroccan Atlas, very studied, are known to be distinct from European populations which justified creation of the taxon* Juniperus thurifera *var.* africana *Maire, often treated at subspecies rank. The Algerian populations from Aures mountain, in turn, have recently been reconciled with European populations on the basis of their genetic polymorphism (AFLP), which makes us question the taxonomic and nomenclatural status this biogeographical entity. A nomenclatural analysis was performed on all taxa associated with* Juniperus thurifera*. It showed that the René Maire's var.* africana *includes heterogeneous collections from both Morocco and Algeria. One of the herbarium sheets from Algeria, recently designated as lectotypus, is unfortunately disabled, which is why we have designated another, collected from Morocco in order to conserve the dominant use. A taxonomic synthesis, completed by a brief morphological study of fruits based on herbarium samples, con-*

**Keywords:** Aurès mountain, High Atlas, *Juniperus thurifera* var. *aurasiaca*, lectotypus, Middle Atlas, phylogeography.

*cludes with the desirable distinction of a Moroccan taxon (var. or subsp.* africana*) and an Algerian one, which has thus no name. We call it here* Juniperus thurifera *var.* aurasiaca *and a MPU herbarium sheet collected in Algeria by René Maire is designated as holotypus.*

## Abridged english version

Spanish juniper (*Juniperus thurifera* L.) is a western Mediterranean orophyte. Numerous recent studies (morphology, chemistry and genetics) have confirmed the distinctiveness of Moroccan populations from the European ones. They are reported to the name *J. thurifera* var. *africana* Maire and generally treated at subspecies rank under the name *J. thurifera* subsp. *africana* (Maire) Gauquelin, Idr. Hassani & Lebreton. The Algerian populations from Aurès mountains, strongly isolated as relict and poorly understood, are generally empirically assimilated to the same taxon. But a recent study, based on genetic polymorphism (AFLP), has shown that Algerian populations are distinct from the Moroccan ones and more related to European populations. It is why we want to reassess the taxonomic and nomenclatural status of the Algerian entity, based on literature and a complementary morphological study of "fruits" (cones) based on 67 herbarium samples from MPU and P herbaria.

A nomenclatural analysis was performed on all taxa associated with *Juniperus thurifera*. Five infraspecific taxa have been formally described, including two varieties and three forms, and four species considered as taxonomic synonym with *J. thurifera* "sensu stricto" (from Europe). René Maire has described a var. *africana* in 1926 but this entity includes heterogeneous collections from both Morocco and Algeria. The herbarium exsiccatum recently designated as lectotypus by Romo & Boratyński (2007), was collected in Algeria by Trabut in 1892 but was not in Maire's possession when he described the taxon, making the lectotypification invalided. In order to maintain current use of the epithet *africana* for designing Maroccan populations, we designed here another lectotypus collected by Maire itself from Morocco in 1921. Morphological, biochemical and genetic data available in the literature about *J. thurifera* "sensu lato" are only partially congruent, but show easily the distinctiveness of Moroccan subset as subspecies (subsp. *africana*) sister to the European one (*J. thurifera* subsp. *thurifera*). The partial data about the Algerian subset suggest furthermore a distinction for it as a third biogeographical entity, which has no formal name. The complementary data taken here about fruit size are confirming historical hesitations about taxonomical delimitation of each geographical subset. Variation amplitude of the four geographical provenances (Morocco, Algeria, France and Spain) are largely recovering but they show nevertheless a clinal variation.

If the new lectotypification permit us to resolve the problem of nomenclatural and taxonomical identity for Moroccan populations (as var. or subsp. *africana*), the Algerian ones are still unnamed. Considering their strong geographical isolation similar to those of the Moroccan ones, a similar status at least as variety rank and maybe more seems to be in adequacy with the possibly ecological specialisation and/or the reproductive isolation directly induced. We proposed here to call *Juniperus thurifera* var. *aurasiaca* Véla & P. Schäf. the Algerian endemic taxon. The holotypus is designated after a MPU herbarium sheet collected in Algeria by René Maire in 1920 (referenced as MPU005199). It is distinguishable as intermediate between subsp. *africana* and subsp. *thurifera*, more similar to the first one following molecular properties but sharing partial polymorphism with the second and more similar to the latter one following some morphological elements as fruit size average but with a variation amplitude partially sharing numerical values with the first. But above all, the polymorphism of Algerian populations is very poorly known and would be deeply studied in the future. Eventuality of past introgression with *J. sabina* s.l. is not excluded. This kind of insight will be necessary to reassess all the European geographical and/or ecological subsets and the whole "*thurifera/excelsa*" species complex across the Mediterranean basin.

## Problématique

Le Genévrier thurifère, *Juniperus thurifera* L. (Linné 1753), est un arbre ouest-méditerranéen montagnard à aire actuelle morcelée, il est aussi considéré comme espèce clé des écosystèmes forestiers steppiques durant les phases froides du Pléistocène (Quézel & Médail 2003).

Les populations de thurifères de l'Atlas marocain ont été très étudiées ces dernières décennies (Gauquelin *et al.* 1988 ; Barbéro *et al.* 1994 ; Adams *et al.* 2003 ; Jiménez *et al.* 2003), tant du point de vue de la morphologie, de la chimiotaxonomie que du polymorphisme génétique (RAPD). Toutes ces études ont conclu à la distinction taxonomique entre les populations marocaines et européennes.

Les plantes marocaines ont le plus souvent été rapportées au *Juniperus thurifera* var. *africana* Maire (Maire 1926), taxon décrit à partir de récoltes algéro-marocaines. Au fil des décennies, la distinction taxonomique a été déclinée à des rangs supérieurs : *J. africana* (Maire) H. del Villar (del Villar 1947) au rang spécifique, mais aussi au rang subspéficique *J. thurifera* subsp. *africana* (Maire) Gauquelin, Idr. Hassani & Lebreton (Gauquelin *et al.* 1988) *ead. comb.* Romo & Borat. (Romo & Boratyński 2007).

Malheureusement, les populations algériennes de l'Aurès, plus rares et paraissant relictuelles (Lapie & Maige 1914), situées à plus de 1 000 km à l'est de celles du Maroc, ont été très peu étudiées. Elles ont le plus souvent été assimilées de manière péremptoire aux populations marocaines en leur appliquant ainsi sans vérification les conclusions taxonomiques et biogéographiques s'y rapportant. La seule étude complète concernant l'aire de distribution de l'espèce est récente (Terrab *et al.* 2008). Cette étude a cependant montré que le polymorphisme génétique de type AFLP (polymorphisme de longueur de fragments amplifiés) permettait de rapprocher partiellement la population algérienne étudiée des populations européennes (situées à moins de 1 000 km au nord), tandis qu'elle confirmait la nette distinction des populations marocaines, non seulement des populations européennes mais aussi des populations algériennes.

L'objectif de ce travail est donc, à la lueur de la somme de travaux récents entrepris sur la taxonomie et la biogéographie infraspécifique de cette espèce et d'un réexamen morphologique des échantillons de la collection d'herbier de Paris (P) et de Montpellier (MPU), de discuter du statut taxonomique et nomenclatural du thurifère marocain et du thurifère algérien.

## Matériel et méthodes

Ce travail vise à coupler une analyse nomenclaturale avec une synthèse taxonomique.

L'analyse nomenclaturale prend en considération les basionymes infraspécifiques déjà existants de *Juniperus thurifera* L. et leurs types potentiels référencés dans le cadre du projet GPI (*Global Plants Initiative* : http://gpi.myspecies.info/) et accessibles via l'interface de recherche de spécimens d'herbier du site du Muséum national d'histoire naturelle (http://coldb.mnhn.fr/colweb/form.do?model=SONNERAT.wwwsonnerat.wwwsonnerat.wwwsonnerat) ou de celui de l'université Montpellier-2 (www.herbier-mpu.org/hv). Une recherche des autres synonymes taxonomiques (autres espèces voire autres genres) a également été faite via les bases de données nomenclaturales et taxonomiques suivantes : The Plant List (The Plant List and its contributors, 2010), The International Plant Name Index (The Plant Names Project, 2004-2011) et la Base de données nomenclaturales de la flore de France (Bock & Kerguélen 2005). Autant que possible, le protologue de chaque nom a été consulté afin d'en déterminer notamment la localité type.

La synthèse taxonomique s'appuie sur les conclusions de divers travaux à visées taxonomique, phylogénétique, et/ou biogéographique et concerne l'ensemble de l'aire de distribution de *Juniperus thurifera* L. Afin de compléter certains éléments de diagnostic, une analyse morphométrique complémentaire a été réalisée à partir de planches d'herbier de *Juniperus thurifera* consultable sur site à Montpellier (MPU : herbier Maire, herbier Sauvage, herbier Faurel, herbier Weiller) ou en ligne à Paris (P). Toutes les planches contenant du thurifère femelle avec des galbules matures ont été utilisées. Chaque galbule a été mesuré dans son diamètre maximal. Les galbules visiblement non parvenus à maturité, atrophiés ou parasités n'ont pas été pris en compte.

## Résultats

### Analyse nomenclaturale infraspécifique de *Juniperus thurifera* L.

L'espèce qui nous concerne est *Juniperus thurifera* L., *Sp. Pl.* 2 : 1039 (1753). La localité

type indiquée dans le protologue est « Habitat in hispania ».

À ce jour, cinq taxons infraspécifiques ont été formellement décrits sous le binôme *Juniperus thurifera* L. :

– *J. thurifera* var. *gallica* Coincy, *Bull. Soc. Bot. France* 45 : 430 (1898). Localité type : « Comboire » (Isère, France). Planches Mpu : http://www.herbier-mpu.org/zoomify/zoomify.php?fichier=MPU013198 ; http://www.herbier-mpu.org/zoomify/zoomify.php?fichier=MPU013199
– *J. thurifera* f. *pendula* Sennen, *Bull. Int. Geogr. Bot*. 21(253) : 130 (1911). Localité type : « Teruel au Barranco de las Columnas » (Aragon, Espagne). Planche Mpu : http://plants.jstor.org/specimen/mpu013165
– *J. thurifera* var. *africana* Maire, *Bull. Soc. Hist. Nat. Afrique N.* 17 : 125 (1926). Localités types : " Hab. in montibus Aurasiis ad alt. 1,600-2,011 m, in Atlante Majore ad alt. 2,000-3,150 m., in Atlante Medio ad alt. 1,700-2,500 m" (Algérie, Maroc, Maroc). Planches Mpu : *cf. infra*.
– *J. thurifera* f. *pyramidalis* Emb. & Maire, *Matériaux Fl. Maroc.* 1 : 52 (1929). La localité type indiquée est : « Moyen Atlas près de Tamtroucht, 1 900-2 000 m » (Maroc). Planche Mpu : http://www.herbier-mpu.org/zoomify/zoomify.php?fichier=MPU006264
– *J. thurifera* f. *fastigiata* Maire, *Bull. Soc. Hist. Nat. Afrique N.* 32 : 224 (1941). Localité type : « Moyen Atlas : près de Tamtroucht, vers 1 950 m, plusieurs pieds » (Maroc).

À ceux-là nous pouvons en signaler un sixième, non formellement décrit (Gauquelin *et al.* 1988) :

– *J. thurifera* « chimiovar. *corsicana* » Gauquelin, Idr. Hass. & P. Lebreton, *Ecol. Medit.* 14 : 40-41 (1988), *nom. nud. (sine descr., sine herb.)*. La localité type indiquée est : « Corsica, Massif du Niolu, 700-750 m » (Corse, France).

Un seul de ces basionymes a fait l'objet de considérations taxonomiques sérieuses et a ainsi été l'objet de recombinaisons à des rangs supérieurs, *J. thurifera* var. *africana* Maire :

– *Juniperus africana* (Maire) Villar, *Types Sols Afr. Nord* 1 : 91 (1947) ;
– *Juniperus thurifera* L. subsp. *africana* (Maire) Gauquelin, Idr. Hass. & P. Lebreton, *Ecol. Medit.* 14 : 39-42 (1988), "validly published as basionym is indicated and its place of publication cited" (source Ipni : http://www.ipni.org/ ; *Id.*: 20004971-1 ; consultation 24 avril 2012) ;
– *Juniperus thurifera* L. subsp. *africana* (Maire) Romo & Borat., *Ann. Bot. Fenn.* 44 : 73 (2007), *ead. comb*.

Ce dernier nom doit être considéré comme un isonyme de celui combiné antérieurement par Gauquelin *et al.* (1988), puisque celui-ci est valide si l'on prend en compte la mention de la page 39 (qui contient le nouveau nom et son basionyme) et de la page 42 (qui contient le lieu de publication du basionyme).

Aucun autre taxon, initialement décrit au rang d'espèce ou encore sous un autre binôme, n'a été postérieurement recombiné sous *J. thurifera*. Divers synonymes taxonomiques ont néanmoins été considérés comme directement assimilables dans la variabilité de *J. thurifera*, sans être retenus à un rang infraspécifique quelconque. On peut citer dans ce dernier cas :

– *Juniperus hispanica* Mill., *Gard. Dict.* ed. 8 13 (1768). Localité type : "grows naturally in Spain and Portugal" (Espagne, Portugal) ;
– *Juniperus sabina* L. var. *arborea* Mutel, *Fl. Dauph.* 2 : 430 (1830). Localité type : « au-dessus de Saint-Égrève allant à Néron, Saint-Clément près d'Embrun » (Isère, Hautes-Alpes, France) ;
– *Juniperus bonatiana* Vis., *Mem. Reale Ist. Veneto Sci.* 6 : 245 (1856). Localité type : « coltivasi da molti anni nell'orto di Padova » (cultivé, Padoue, Italie) ;
– *Sabina pseudothurifera* Antoine, *Cupress.-Gatt.* 60 (1857). Localité type : ? ;
– *Juniperus cinerea* Carrière, *Traité Gén. Conif.* ed. 2 : 35 (1867). Localité type : souvent cultivé, par exemple à Angers (Maine-et-Loire, France).

## Typification de *Juniperus thurifera* var. *africana* Maire

Dans sa description originelle, Maire (1926) a utilisé l'ensemble de ses récoltes de plantes marocaines et algériennes pour décrire son nouveau taxon *Juniperus thurifera* var. *africana*. La description princeps qu'il en donne est clairement un mélange de caractères des populations des deux pays, preuve en est les commentaires qu'il fait lui-même sur la variabilité de ces caractères et sur la présence d'individus extrêmes qui mettent en difficulté son propre choix de critères diagnostiques.

Les planches de l'herbier Maire conservées à Montpellier (MPU) montrent une abondance de types potentiels (syntypes). Nous avons pu en dénombrer dix-sept, consultables en ligne (www.herbier-mpu.org/hv). Huit proviennent des Aurès en Algérie et huit du Maroc (quatre du Grand Atlas et quatre du Moyen Atlas). Une d'entre elles (scan nº MPU005198), récoltée par Hénon en Algérie, est à exclure car elle représente en réalité un *Juniperus phoenicea* L. *sensu lato*. C'est la planche nº MPU001676 provenant d'Algérie qui a été désignée comme lectotype par Romo & Boratyński (2007).

**Figure 1 – Reproduction de la planche scannée nº MPU005212 : lectotype ici désigné de *Juniperus thurifera* L. var. *africana* Maire. Consultable sur : http://www.herbier-mpu.org/zoomify/zoomify.php?fichier=MPU005212**

Mais le lectotype proposé n'est pas valide : l'échantillon a été récolté par L. Trabut en 1892, puis communiqué à R. Maire via la « Société cénomane d'exsiccata », bien après la publication du taxon par Maire en 1926. En effet, comme on peut le voir aisément sur toutes les planches récoltées par lui-même ou par ses accompagnateurs directs, R. Maire avait par habitude d'empoisonner les planches de son herbier peu après le séchage pour incorporation rapide dans son herbier, généralement dans l'année même. Or cette planche a été empoisonnée en « 1936-1937 », soit plus de dix ans après la description effective de son var. *africana*. Il ne la possédait donc probablement pas au moment de la description, et de ce fait le lectotype n'est pas valide.

Il nous fallait donc en désigner un nouveau, et le choix du lieu de la récolte s'est donc posé à nouveau (Maroc *vs*. Algérie). Nous aurions pu désigner une autre planche en provenance d'Algérie afin de conserver l'usage très récent proposé par Romo et Boratyński en 2007. Aussi bien nous pouvions désigner une planche en provenance du Maroc, ce qui aurait pour conséquence d'entériner l'usage largement dominant ces dernières décennies chez les auteurs ayant étudié et décrit les populations marocaines (Gauquelin *et al.* 1988 ; Barbéro *et al.* 1994 ; Adams *et al.* 2003 ; Jiménez *et al.* 2003). C'est à ce dernier choix que nous nous sommes rendus, dans l'espoir de stabiliser au mieux la nomenclature.

Parmi les planches provenant du Maroc, dont l'auteur et la date de récolte ne sont pas problématiques, les planches n$^{os}$ MPU005206, MPU005210, MPU005211, MPU005212 et MPU005213 sont des bonnes candidates à la typification. Nous pouvons ainsi désigner un nouveau lectotype :

*Juniperus thurifera* L. var. *africana* Maire, *Bull. Soc. Hist. Nat. Afrique* 17 : 125 (1926).

*Indic. loc. typ.* : " Hab. in montibus Aurasiis ad alt. 1,600-2,100 m, in Atlante Majore ad alt. 2,000-3,150 m, in Atlante Medio ad alt. 1,700-2,500 m " (Algérie, Maroc, Maroc).

*Lectotypus invalidum* (Romo & Boratyński, *Ann. Bot. Fennici* 44 : 73, 2007) : *Juniperus thurifera* L. var. *africana* Maire, Algérie, Aurès, forêts de cèdres du versant nord du Djebel Mahmel à Sgag, calcaire, 1 600-1 700 m, 14.VII.1892, leg. D$^{r}$ L. Trabut, comm. D$^{r}$ R. Maire (scan n$^{o}$ MPU001676).

*Lectotypus* (*hic designatus*) : *Juniperus thurifera* L. (femelle), Grand Atlas, Ourika, montagne gréseuse au-dessus d'Anfegueïn, 2 400 m, 9 juillet 1921, D$^{r}$ R. Maire (scan n$^{o}$ MPU005212, *cf.* figure 1).

## Chorologie et taxonomie

Les différents travaux analysant les populations européennes et marocaines (Gauquelin *et al.* 1988 ; Barbéro *et al.* 1994 ; Adams *et al.* 2003 ; Jiménez *et al.* 2003 ; Romo et Boratyński 2007) et ceux (Terrab *et al.* 2008) analysant l'ensemble des populations de l'espèce donnent des résultats relativement congruents quelles que soient les méthodes morphométriques ou moléculaires utilisées (tableau 1). Il est possible de les résumer ainsi :

– en Europe, un premier sous-ensemble d'écotypes et/ou chémotypes (variétés) que l'on peut regrouper dans la sous-espèce type (*J. t.* subsp. *thurifera*) ;

**Tableau 1 – Caractères morphométriques, biochimiques et moléculaires pour chaque taxon infraspécifique de *Juniperus thurifera* L. a) Selon Gauquelin *et al.* 1988 ; b) selon Romo & Boratyński 2007 ; c) selon Maire 1926 ; d) selon Terrab *et al.* 2008.**
*Valeurs inférieures et supérieures théoriques recalculées sur la base de la moyenne +/– écart-type des populations extrêmes.

| Taxon infraspécifique | Taille des galbules (a*, b, c) | Poids des galbules (a*) | Nombre graines/ galbule (a*, b) | Prodelphinidine (a) | Groupe AFLP (d) |
|---|---|---|---|---|---|
| Var. *thurifera* (Espagne s.l.) | 5,6-9,6 mm[a] | 87-308 mg | 1,2-4,3[a] | 3-34 % | II, III, IV |
| Var. *gallica* (Alpes) | 7,8-8,8 mm[a] | 135-235 mg | 1,3-4,2[a] | 5-46 % | II, III (+ IV) |
| « Var. *corsicana* » (Corse) | 7,5-8,7 mm[a] | 120-262 mg | 2,4-4,1[a] | 19-70 % | IV |
| Subsp. *thurifera* (Europe) | 7-12 mm[b]<br>8-11 mm[c] | | (1)2-5(6)[b] | 3-74 % | II, III, IV |
| Subsp./var. ? (Algérie) | 6-8(9) mm[c] | ? | ? | ? | III + II + I |
| Subsp. *africana* (Maroc) | 6,6-7,4 mm[a]<br>5-6(7) mm[b]<br>6-8 mm[c] | 102-212 mg | 1,0-1,8[a]<br>1-2(3)[b] | 0-32 % | I (+ III + IV) |

– au Maroc : un deuxième sous-ensemble en position extrême et bien distinct du premier, tant sur les plans morphologique, biochimique et génétique, que l'on peut distinguer en sous-espèce endémique (*J. t.* subsp. *africana*) ;
– en Algérie : un troisième sous-ensemble constitué d'une population très isolée géographiquement et en position « intermédiaire », plutôt affine à la sous-espèce marocaine du point de vue morphologique (d'où la confusion historique, *cf.* Maire 1926), nettement intermédiaire avec la sous-espèce européenne du point de vue du polymorphisme génétique (*cf.* figure 1, *in* Terrab *et al.* 2008) voire même un peu plus proche de celle-ci que de la sous-espèce marocaine (*cf.* figure 2, *in* Terrab *et al.*, *ibid.*).

Ainsi avec le réexamen, notamment moléculaire, de la population algérienne, le schéma taxonomique et biogéographique initialement proposé basé sur deux sous-espèces, une européenne et une africaine (Barbéro *et al.* 1994), gagnerait à être légèrement modifié en adoptant un schéma basé sur trois entités, une européenne, une marocaine et une algérienne (figure 2).

En effet, Terrab *et al.* (*ibid.*) ont obtenu, parmi les groupes de polymorphisme génétique, des résultats très tranchés entre les populations marocaines (appartenant très majoritairement au groupe I) et les populations européennes (appartenant aux groupes II et/ou III et/ou IV), tandis que la population algérienne offre une combinaison inédite et nettement intermédiaire, appartenant majoritairement aux groupes II et III (européens) et minoritairement au groupe I (marocain). L'ordination des données AFLP à l'échelle des populations donne la population algérienne en position intermédiaire entre les populations européennes et marocaines mais plus proche des premières que de ces dernières. L'ordination des données AFLP individuelles confirme la cohérence de ce résultat, les 18 individus algériens occupant l'espace graphique laissé vacant entre le nuage de points des populations européennes et celui des populations marocaines. Seuls 2 individus marocains (sur 79) et 3 européens (sur 230) débordent légèrement au sein de ce nuage de points de la population algérienne.

**Figure 2 – Aire de répartition du complexe taxonomique *Juniperus thurifera* L. (modifié d'après Barbéro *et al.* 1994).**

## Étude morphométrique complémentaire

La variété *africana* (Maire, 1926) a été définie comme suit :

« *A typo hispanico differt foliis ramulorum annotinorum brevioribus ovato-rhomboideis, c. 1,25-1,50 × 0,75 mm (nec oblongo-rhomboideis, 2-2,25 × 0,75 mm), obtusis (nec acutiusculis acuminatis), magis adpressis, dorso minus carinatis, inde ramulis obscure nec conspicue tetragonis ; galbulis minoribus (6-8 nec 8-11 mm diam.), haud distincte reticulatis. Caro galbulorum ut in typo granulosa ; semina laevia typo conformia.* »

Le premier critère évoqué concerne la forme des écailles foliaires et le second concerne le diamètre des galbules. Mais Maire (*ibid.*) précisera lui-même : « Nous ne saurions toutefois séparer spécifiquemuent le *Juniperus thurifera* nord-africain, ces caractères n'étant pas absolument constants. C'est ainsi que nous avons vu un spécimen du Mahmel (Aurès) dans lequel les galbules, réticulés comme ceux du type, atteignent 9 mm de diamètre, et que, d'autre part, notre excellent ami et collaborateur R. De Litardière nous a envoyé un spécimen espagnol recueilli par Reverchon dans les montagnes de la province de Teruel, dont les feuilles sont semblables à celles de la variété nord-africaine. »

Malheureusement, le critère des écailles foliaires a été rarement étudié dans la littérature récente et ne peut servir de point de comparaison. En revanche celui des galbules a été systématiquement exploré et régulièrement remis en avant, à ceci près que les publications récentes ont étudié les thurifères marocains et européens mais n'ont jamais étudié les thurifères algériens, de sorte qu'on ne dispose pas de mesures autres que les valeurs indicatives de Maire.

C'est la remarque de Maire au sujet d'un spécimen algérien à grosses galbules qui nous a mis sur la voie et encouragés à réaliser cette étude morphométrique complémentaire. Plus de 1 000 galbules ont été mesurés sur 67 spécimens d'herbiers de provenance assez équitable entre le Maroc, l'Algérie, la France (Alpes) et l'Espagne (tableau 2).

**Tableau 2 – Synthèse des mesures effectuées sur 67 spécimens d'herbiers consultés dans les herbiers Mpu et P.**

| Provenance | Nombre de galbules | Min (mm) | Moyenne (mm) | Max (mm) |
|---|---|---|---|---|
| Espagne | 267 | 5,6 | 8,65 | 11,1 |
| France (Alpes) | 172 | 5,3 | 8,48 | 11,3 |
| Algérie (Aurès) | 272 | 4,6 | 6,95 | 10,7 |
| Maroc | 331 | 3,9 | 6,82 | 9,6 |
| Total | 1 042 | 3,9 | 7,60 | 11,3 |

**Figure 3 – Variation statistique de la taille des galbules mesurés en fonction de la provenance par pays (Mar = Maroc, Alg = Algérie, Fra = France, Esp = Espagne).**

À première lecture, les valeurs moyennes des échantillons d'Algérie sont semblables à celles du Maroc tandis que celles de France sont semblables à celles d'Espagne. Néanmoins entre l'Algérie et le Maroc, bien que les valeurs se recouvrent fortement, les extrêmes diffèrent, plus tirés vers le bas au Maroc et vers le haut en Algérie. Si on épure la distribution statistique de cette variation en éliminant les 5 % de mesures les plus extrêmes (figure 3), on perçoit une tendance presque clinale dans le sens Maroc < Algérie < France < Espagne.

## Discussion

Si on restreint désormais l'usage de la subsp. *africana* aux populations marocaines comme proposé ici, en excluant ainsi la population algérienne considérée comme génétiquement et biogéographiquement distincte, celle-ci peut être considérée comme un taxon distinct, qui n'a pas encore de nom formel. Il en est d'ailleurs de même des populations corses si on souhaitait les considérer comme un taxon à part entière, au rang variétal par exemple, le nom repris ici (« var. *corsicana* ») demeurant à ce jour un *nomen nudum*. Malheureusement, la caryologie et la cytométrie ne nous apportent aucun élément nouveau, le taxon européen (subsp. *thurifera*), y compris corse, et le taxon marocain (subsp. *africana*) étant tous deux tétraploïdes avec 2n = 44 (Romo *et al.* 2012). Le taxon algérien, quant à lui, n'a pas encore été investigué sur ce plan.

La désignation d'un lectotype marocain pour la var. *africana* nous a permis de rétablir l'usage en vigueur et d'arbitrer quant à l'hétérogénéité de provenance du matériel de départ. Afin désormais de combler le vide nomenclatural que cela crée pour les populations algériennes, nous souhaitons décrire le taxon algérien. L'isolement géographique des populations algériennes, marocaines et européennes, de l'ordre de 1 000 km respectivement, nous paraît suffisant pour provoquer un isolement reproducteur, tant pour la dispersion des diaspores par endozoochorie que pour la pollinisation par anémogamie. Dans une telle situation, le concept de sous-espèce paraîtrait le plus adapté pour décrire les trois sous-ensembles évoqués ici, si ce n'était que les informations morphologiques dont nous disposons pour l'ensemble algérien sont peu discriminantes, les informations génétiques incomplètes bien qu'apparemment concluantes, et les autres types d'informations (écologie, biochimie…) quasi-absents. Le nommer au rang variétal permettrait de le considérer tantôt comme appartenant au sous-ensemble européen ou au sous-ensemble marocain, voire à égalité avec les deux si l'on prenait soin de rétrograder également les taxons marocain et européen au même rang. Le statut exact des divers écotypes/chémotypes/génotypes régionaux du sous-ensemble européen (Corse, Alpes, ensemble ibéro-pyrénéen) quant à lui gagnera aussi à être réévalué ultérieurement.

Nous proposons donc de nommer le taxon algérien *Juniperus thurifera* var. *aurasiaca*, en désignant comme holotype et paratype des planches de l'herbier MPU récoltées par Maire en juillet 1920 dans la forêt de Sgag (Aurès, Algérie). Les dimensions morphométriques indiquées ici prennent en compte la variabilité naturelle dans un intervalle statistique de 95 % (tableau 2).

### *Juniperus thurifera* L. var. *aurasiaca* Véla & P. Schäf., var. *nova*

*Juniperus thurifera* L. var. *africana* Maire, *Bull. Soc. Hist. Nat. Afrique* 17 : 125 (1926), *pro parte (excl. typ.)*

*Holotypus* : *Juniperus thurifera* L., femelle, Dr R. Maire, 2 juillet 1920 (scan n° MPU005199, *cf.* figure 4).

*Locus typicus* : Aurès, cédraies de Sgag, marnes et calcaires marneux, 1 600-1 800 m (Algérie).

*Paratypi* : *Juniperus thurifera* L. mâle, galles, Aurès à Sgag, 3 juillet 1920, Dr R. Maire (scan n° MPU005201). *Juniperus thurifera* L. femelle, galles, Aurès à Sgag, 2 juillet 1920, Dr R. Maire (scan n° MPU005202). *Juniperus thurifera* L. mâle, Aurès, cédraie à Sgag, 2 juillet 1920, R. Maire (scan n° MPU005204).

*Descriptio* : *fructus 5-9,5 mm, plerique amplitudine media inter varietatem africanam (4.5-8,5 mm) et varietatem thuriferam (6.5-10,5 mm). Longitudinis variatio multiplicatorum fragmentorum (AFLP) media inter africanae et thuriferae varietatum variationem. Crescit in Aurasiis montibus ad altitudinem 1,300-2,100 m.*

*Description (in english) : fruits 5-9.5 mm, mostly intermediate in size between variety africana (4.5-8.5 mm) and variety thurifera (6.5-10.5 mm). Amplified fragment length polymorphism (AFLP) intermediate between*

*varieties africana and thurifera. Grows in the Aurès mountains at altitude 1,300-2,100 m.*

La variabilité intra- et inter-populationnelle du taxon marocain (var. ou subsp. *africana*) est bien documentée par diverses études morphologiques, biochimiques et génétiques. La variabilité d'ensemble du taxon européen (var. ou subsp. *thurifera*) est également assez bien documentée, tandis que le détail de sa variabilité intra- et inter-populationnelle sur l'ensemble de ce vaste territoire fragmenté (Espagne + Pyrénées, Alpes, Corse) a été récemment investigué (Boratyński *et al.* 2013) et donne des résultats congruents avec

**Figure 4 – Holotype (ici désigné) de *Juniperus thurifera* var. *aurasiaca* Véla & P. Schäf. (planche n° MPU005199).**

le patron génétique obtenu sur le même ensemble Europe/Maroc (Terrab *et al.* 2008), Algérie exclue. Il en ressort que le modèle taxonomique proposé par Gauquelin *et al.* (1988) pour le sous-ensemble européen n'est pas totalement satisfaisant. Quant à la variabilité de la population algérienne (var. *aurasiaca*) elle est encore presque inconnue, ce qui doit nous encourager à investir ce domaine, tant sur les plans morphométrique et biochimique, que sur le plan de l'écologie de l'espèce et de ses communautés (Beghami *et al.* 2013). Une synthèse globale dans un esprit de taxonomie intégratrice (*sensu* Véla 2007) 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. Il n'est pas exclu que des introgressions aient pu avoir lieu dans le passé à l'occasion de contacts possibles entre les deux taxons de la section *Sabina* Spach (*J. thurifera* s.l. et *J. sabina* L.) aujourd'hui séparés dans les montagnes d'Algérie, comme cela a été suspecté chez divers taxons de la section *Juniperus* en Europe (Lebreton *et al.* 1991) et en Amérique du Nord (Adams & Nguyen 2007). De plus, les liens de l'ensemble occidental *Juniperus thurifera* s.l. avec l'ensemble oriental *J. excelsa* M.-Bieb. *sensu lato* gagneront à être réévalués. La diversité infra-spécifique chez *J. thurifera* s.l. a parfois été sous-estimée sur le plan morphologique dans les études comparatives (Marcysiak *et al.* 2007). *J. excelsa* étant lui-même polymorphe, il a fait l'objet d'études poussées sur les plans morphologique et moléculaire (Douaihy *et al.* 2011 ; Douaihy *et al.* 2012), mais l'étude exhaustive de l'ensemble méditerranéen « *thurifera*/*excelsa* » n'a à ce jour toujours pas été réalisée.

## Remerciements

Un des auteurs (E.V.) tient à remercier : Yassine Beghami (Batna, Algérie) pour son aide dans l'observation et l'étude des populations de thurifères de l'Aurès en Algérie ; Thierry Gauquelin (Marseille, France) pour les discussions fructueuses qui ont été à l'origine de ce travail ainsi que Claude et Michelle Roux (Mirabeau, France) pour leur aide dans la rédaction de la diagnose latine.

## Références

Adams R.P., Mumba L.E., James S.A., Pandey R.N., Gauquelin T. & 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. & Nguyen S., 2007. Post-Pleistocene geographic variation in Juniperus communis in North America. *Phytologia* 89: 43-57.

Barbéro M., Lebreton P. & Quézel P., 1994. Sur les affinités biosystématiques et phytoécologiques de *Juniperus thurifera* L. et du *Juniperus excelsa* Bieb. *Ecol. Medit.* 20 : 21-37.

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. (Dans ce même volume, p. 17-30).

Bock B. & Kerguélen M., 2005. *Base de données nomenclaturale de la flore de France, version 4.02.* Interrogeable en ligne sur http://www.tela-botanica.org/page:bdnff (consulté le 20 octobre 2011).

Boratyński A., Jasińska Anna K., Marcysiak K., Mazur M., Romo A.M., Boratyńska K., Sobierajska K., Iszkuło G., 2013. Morphological differentiation supports the genetic pattern of the geographic structure of *Juniperus thurifera* (Cupressaceae). *Plant Syst. Evol.* 299: 773-784.

Del Villar E.H., 1947. *Types de sol de l'Afrique du Nord* (2 parties). Institut scientifique chérifien, Rabat.

Douaihy B., Vendramin G.G., Boratyński A., Machon N., Bou Dagher-Kharrat M., 2011. High genetic diversity with moderate differentiation in *Juniprus excelsa* from Lebanon and the eastern Mediterranean region. *AoB Plants* 2011, plr003.

Douaihy B., Sobierajska K., Jasińska A.K., Boratyńska K., Ok T., Romo A., Machon N., Didukh Y., Bou Dagher-Kharrat M., Boratyński A., 2012. Morphological *versus* molecular markers to describe variability in *Juniperus excelsa* subsp. *excelsa* (Cupressaceae). *AoB Plants* 2012, pls013.

Gauquelin T., Hassani M.I. & Lebreton P., 1988. Le Genévrier thurifère, *Juniperus thurifera* L. (Cupressacées) : analyse biométrique et biochimique ; propositions systématiques. *Ecol. Medit.* 14 : 31-42.

Jiménez J.F., Werner O., Sánchez-Gómez P., Fernández S. & Guerra J., 2003. Genetic variations and migration pathway of *Juniperus thurifera* L. (Cupressaceae) in the western Mediterranean region. *Israel J. Plant Sci.* 51: 11-22.

Lapie G., Maige A., 1914. *In* : Orlhac L. (ed.), *Flore forestière illustrée de l'Algérie*, Paris.

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.

Maire R., 1926. Contribution a l'étude de la flore de l'Afrique du Nord, Fasicule 10. *Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. N.* 17 : 125-126.

Marcysiak K., Mazur M., Romo A., Montserrat A.M., Didukh Y., Boratyńska K., Jasińska A., Kosiński P. & Boratyński A., 2007. Numerical taxonomy of *Juniperus thurifera*, *J. excelsa* and *J. foetidissima* (Cupressaceae) based on morphological characters. *Bot. J. Linn. Soc.* 155: 483-495.

Quézel P. & Médail F., 2003. *Écologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen*. Paris, Elsevier, collection « Environnement », 573 p.

Romo A. & Boratyński A., 2007. Nomenclatural note on *Juniperus thurifera* subsp. africana (Cupressaceae). *Ann. Bot. Fennici* 44: 72-75.

Romo A., Hidalgo O., Boratyński A., Sobierajska K., Jasińska A.K., Vallès J. & Garnatje T., 2012. Genome size and ploidy levels in highly fragmented habitats: the case of western Mediterranean Juniperus (Cupressaceae) with special emphasis on *J. thurifera* L. *Tree Genetics & Genomes*: DOI 10.1007/s11295-012-0581-9.

Terrab A., Schönswetter 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. *Mol. Phylogen. Evol.* 48: 94-102.

The Plant List and its contributors, 2010. *The Plant List, Version 1*. Published on the Internet by Missouri Botanical Gardens & Kew's Royal Botanic Gardens; http://www.theplantlist.org/ (accessed 18th october 2011).

The Plant Names Project, 2004-2011. *The International Plant Names Index*. Published on the Internet by The Royal Botanic Gardens, Kew, The Harvard University Herbaria, and the Australian National Herbarium; www.ipni.org (accessed 18th october 2011).

Véla 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.

# Quel avenir pour la thuriféraie pyrénéenne de la montagne de Rié (Marignac, France), après l'incendie de 2003 ? Suivi de la structure et de la dynamique de la population

*What future for the thuriferous juniper stand affected by a wild fire in 2003 on the Rié Mountain (Marignac, France)? Monitoring plant population and vegetation*

J. CAMBECÈDES[1], P. SAMHAT, D. FALLOUR-RUBIO[2], F. CANDY[1,2], T. GAUQUELIN[3]

1. Conservatoire botanique national des Pyrénées et de Midi-Pyrénées, Vallon de Salut, BP 315, 65203 Bagnères-de-Bigorre cedex
E-mail : Jocelyne.cambecedes@cbnpmp.fr

2. Office national des forêts, Bureau d'études « Plaines et montagnes », Antenne de Saint-Gaudens, 262, route de Landorthe, 31800 Saint-Gaudens

3. Aix-Marseille Université, Institut méditerranéen de biodiversité et d'écologie (IMBE) UMR CNRS 7263, Équipe « Diversité et fonctionnement : des molécules aux écosystèmes », Campus Saint-Charles Cases 4, 3, place Victor-Hugo, 13331 Marseille cedex 3

**Résumé**

*La plus importante population de Genévrier thurifère du versant nord-pyrénéen est située à la montagne de Rié, commune de Marignac, en réserve biologique forestière, et incluse dans le site Natura 2000 : « Zones rupestres xérothermiques du bassin de Marignac, Saint-Béat, Pic du Gar, Montagne de Rié. » Elle fait l'objet d'un suivi depuis 2001. L'état des lieux initial a conduit à cartographier les arbres et à décrire la structure de la population. Après l'incendie accidentel qui a ravagé la thuriféraie en 2003, le suivi s'est attaché à caractériser l'impact du feu, la reprise des genévriers dans la thuriféraie pure et la dynamique du genévrier dans la thuriféraie mixte.*

*L'inventaire de la thuriféraie pure, renouvelé tous les deux ans depuis 2004, montre que seuls 20 % des arbres ont survécu à l'incendie. En 2010, 1 255 Genévriers thurifères ont été répertoriés au total, dont 994 individus préexistants à l'incendie et 261 jeunes plants issus de germination après l'incendie de 2003. Leur localisation dans la thuriféraie et par rapport au pied femelle le plus proche est précisée.*

*La structure d'âge de la population est illustrée par la répartition des arbres en classes de diamètre basal. Avant incendie, la structure de diamètre de la thuriféraie pure était révélatrice d'une structure multi-âge classique des communautés forestières d'habitats non perturbés. En 2004, l'effondrement aléatoire de la distribution témoigne de l'impact de l'incendie. L'émergence des jeunes plantules à partir de 2006 se traduit par une fréquence élevée d'individus de faible diamètre.*

*L'étude de la dynamique de la végétation sur les placettes montre une progression importante des essences arborées et arbustives autres que le Genévrier thurifère, notamment en zone de mélange. Dans la thuriféraie pure, la progression des ligneux autres semble se stabiliser en 2010.*

**Mots clés :** *Juniperus thurifera*, feu, suivi, régénération, plantules.

**Keywords:** *Juniperus thurifera*, fire, monitoring, regeneration, seedlings.

## Introduction

Espèce à répartition méditerranéenne occidentale, le Genévrier thurifère (*Juniperus thurifera* L.) présente en France une distribution fragmentée : Alpes, Corse, Pyrénées.

Sur le versant nord-pyrénéen, seules deux localités sont actuellement connues. En haute vallée de la Garonne, la principale population est implantée sur la montagne de Rié (commune de Marignac), où elle s'étend sur environ trois hectares entre 600 et 1 100 m d'altitude, en boisement monospécifique sur la crête rocheuse (thuriféraie pure d'environ 1 500 arbres) et en association avec le chêne pubescent sur les flancs (chênaie mixte). Trois autres petites populations sont présentes dans ce secteur, comportant chacune un petit nombre d'individus (quinze au maximum). La seconde localité est en haute vallée de l'Ariège, où la principale population s'étend sur le versant sud du Quié du Lujat. Là encore, de petites populations comptant au maximum quelques dizaines d'individus sont réparties à proximité. Sur le versant sud-pyrénéen, l'espèce était inconnue jusqu'à ce qu'elle soit récemment découverte par Aymerich dans trois vallées du Pallars en Catalogne (Aymerich 2007).

La thuriféraie de la montagne de Rié (Marignac, France) accueille la plus importante population de Genévrier thurifère (*Juniperus thurifera* L.) des Pyrénées françaises. La station fait partie d'un site Natura 2000, et une réserve biologique forestière a été créée pour assurer la prise en compte du Genévrier thurifère dans la gestion de la forêt. L'espèce est de plus protégée en région Midi-Pyrénées.

En août 2003, un incendie causé par la foudre ravage l'ensemble de la station, affectant en particulier les secteurs où le Genévrier thurifère domine et où la densité arborée totale est faible. La chênaie mixte, plus dense et plus humide, a été relativement épargnée. Les études suivantes ont eu pour objectif d'évaluer l'impact du feu sur la structure et le fonctionnement de la thuriféraie, en se basant sur l'état des lieux initial effectué en 2001.

## Méthodes

Tous les individus de la crête accessibles à l'observateur ont été dénombrés en 2001, 2004, 2006, 2008 et 2010. En 2010, seuls les arbres vivants ont été pris en compte. Trois zones altitudinales ont été considérées : une zone basse, au-dessous de 850 m, une zone intermédiaire, comprise entre 850 et 900 m d'altitude, et une zone haute, au-dessus de 900 m.

Chaque individu est caractérisé par :

– son diamètre basal : pour les arbres multicaules, le diamètre retenu est celui du tronc le plus gros ;
– son sexe : l'espèce étant dioïque, trois catégories sont distinguées : les arbres femelles, portant des galbules rémanents ; les arbres mâles identifiables par leur floraison estivale ; les individus immatures, ne fleurissant pas ;
– son état sanitaire : en 2004, l'atteinte du feuillage par le feu est évaluée en pourcentage de feuillage brûlé ou roussi et les arbres sont rangés en classes selon l'impact du feu (feuillage brûlé = F.B.) :
  classe 1 : 0 % ≤ F.B. ≤ 5 %,
  classe 2 : 5 % ≤ F.B. ≤ 20 %,
  classe 3 : 20 % < F.B. ≤ 40 %,
  classe 4 : 40 % < F.B. ≤ 70 %,
  classe 5 : 70 % < F.B. ≤ 95 %,
  classe 6 : F.B. = 100 %,
  en 2010, le feuillage brûlé par l'incendie est tombé et l'état sanitaire est estimé par le pourcentage de déficit foliaire, évalué par rapport à la silhouette de l'arbre ;
– la présence de jeunes pousses régénérées (en 2004).

L'identification des plantules est faite sur la base d'un ensemble de critères : le diamètre basal, la hauteur (en cm), la morphologie du feuillage (juvénile, mixte ou adulte) et l'aspect général de la plante. La distance à l'arbre femelle le plus proche et la présence et la nature d'un couvert végétal ont été relevées.

Pour évaluer la dynamique de végétation, six placettes permanentes de 100 $m^2$ ont été matérialisées sur le terrain, trois sur la crête rocheuse, trois dans la forêt mixte. Elles ont été suivies de 2005 à 2008, puis en 2010. Chaque individu ligneux a été cartographié, et ses caractéristiques ont été notées (essence, vivant/mort, adulte/juvénile, sexe).

**Figure 1 – Comparaison de la distribution des Genévriers thurifères en classes de diamètre basal.**

## Résultats

### Caractéristiques de la population avant incendie

En 2001, 96 % des individus implantés sur la crête de la montagne de Rié sont vivants. La distribution en classes de diamètre basal des arbres vivants est dissymétrique et continue, avec un maximum d'arbres de petits diamètres, compris entre 4 et 6 cm, puis une décroissance progressive vers les grandes classes de diamètre (figure 1). Les arbres de diamètre élevé sont très peu fréquents, et le plus gros diamètre observé est de 33,2 cm. Le pourcentage d'individus reproducteurs est de 52,8 %. Le sex-ratio est globalement équilibré mais hétérogène sur la station avec une prédominance des arbres mâles dans le bas du versant et, au contraire, une prédominance des arbres femelles en partie haute (tableau 2).

### Survie des plantes après incendie

En 2004, un an après l'incendie, 50,3 % des arbres sont calcinés ; 5,7 % comportent moins de 5 % de feuillage brûlé et sont considérés comme indemnes. Les arbres restants sont partiellement ou totalement atteints, le pourcentage de feuillage roussi variant de 5 à 100 %. Certains genévriers portent de jeunes pousses sur des rameaux brûlés (figure 2 et tableau 1) : c'est le cas de tous les arbres ayant moins de 40 % du feuillage atteint, ainsi que 89 % des arbres de classe 4, 68 % des arbres de classe 5 et 4,6 % des arbres de classe 6, dont le feuillage est entièrement brûlé. Au total, 14 % des arbres de la population ont des pousses nouvelles.

En 2006 et 2008, les inventaires confirment que seuls 20 % des arbres de la thuriféraie pure ont survécu à l'incendie. L'impact du feu est le plus marqué dans la zone basse, où 86 % des arbres sont morts ; la zone intermé-

**Tableau 1 – Survie des arbres de la thuriféraie pure en 2004 (N = 1 524)**

| | Arbres indemnes (%) | Arbres partiellement atteints (%) | Arbres morts (%) | Arbres avec régénération (%) |
|---|---|---|---|---|
| Zone basse | 4,5 | 9,3 | 86,2 | 9,8 |
| Zone intermédiaire | 12,0 | 24,7 | 63,4 | 24,7 |
| Zone haute | 3,8 | 27,5 | 69,7 | 21,9 |

**Figure 2 – Jeune pousse de Genévrier thurifère, un an après l'incendie.**

**Figure 3 – Nombre de jeunes individus par classes de distance au pied femelle le plus proche en thuriféraie pure et en thuriféraie mixte.**

**Figure 4 – Capacité des arbres brûlés à plus de 70 % à former de nouvelles pousses en 2004 en fonction de leur diamètre basal (seules les classes comportant plus de 10 individus sont prises en compte).**

diaire est la moins touchée, avec 64,4 % d'arbres morts. En 2004, 24,6 % des arbres de cette zone montraient des signes de régénération, alors qu'ils n'étaient que 9,8 % en zone basse à présenter de nouvelles pousses (tableau 1).

## Inventaire des jeunes plants

Dès 2005, des plantules sont observées dans le peuplement, dont 9 sous le couvert d'un même arbre femelle. En 2006, 53 plantules ont été découvertes dans la thuriféraie pure. Leur diamètre basal est toujours inférieur à 1 mm. En 2010, 115 individus ont été considérés comme issus de régénération après 2003. Le taux de survie des plantules entre 2006 et 2010 est de 85 %. 68 % des jeunes individus sont distants de moins de 10 m du pied femelle le plus proche (figure 3).

55 % des jeunes plants sont situés sous couvert végétal. Ils sont majoritairement sous couvert de Genévrier thurifère, mais on les découvre aussi sous couvert d'autres espèces, notamment l'érable de Montpellier, espèce en forte progression dans la thuriféraie.

## Caractéristiques de la population après incendie

Suite à l'incendie, l'effectif s'effondre et en 2004, 310 individus vivants sont répertoriés en thuriféraie pure. Toutes les classes de diamètre sont affectées. Parmi les arbres les plus touchés par le feu (classes 5 et 6), la relation entre la présence de jeunes pousses et le diamètre de l'arbre est significative au risque de 5 % (p = 0,004), les arbres de diamètre plus élevé montrant une meilleure capacité à produire de jeunes pousses (figure 4). En 2010, l'émergence de jeunes individus issus de la germination de graines se traduit par une forte hausse de l'effectif des individus de très faible

**Tableau 2 – Pourcentage d'arbres sexuellement indifférenciés et sex-ratio dans les différents secteurs de la thuriféraie de la montagne de Rié en 2001 et 2010.**

| | 2001 | | | 2010 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Indifférenciés (%) | Sex-ratio | P | Indifférenciés (%) | Sex-ratio | P |
| Thuriféraie pure | 47,2 | 1,01 | 0,938 | 70,7 | 0,75 | 0,054 |
| Zone basse | 46,0 | 0,87 | 0,203 | 69,6 | 0,79 | 0,299 |
| Zone intermédiaire | 41,0 | 1,01 | 0,939 | 70,5 | 0,81 | 0,359 |
| Zone haute | 57,5 | 1,61 | 0,016* | 73,5 | 0,55 | 0,106 |
| Zone de mélange | 72,4 | 0,95 | 0,912 | 53,0 | 1,27 | 0,072 |

* Différence significative au risque de 5 % (test du $x^2$).

diamètre basal (0 à 2 cm) qui représente 21,3 % de l'effectif total (figure 1).

En 2010, 16,7 % des arbres de la population de la thuriféraie de crête sont de sexe mâle et 12,5 % de sexe femelle, 70,7 % sont de sexe indéterminé (tableau 2).

### Dynamique de végétation

Dès 2005, des plantules de Genévrier thurifère et de ligneux à feuillage caduque sont observées dans les placettes de suivi, certaines disparaissant ultérieurement. Des genévriers adultes initialement notés comme « partiellement atteints » sont morts au cours des années de suivi. En thuriféraie pure, après une progression importante entre 2006 et 2008, les essences ligneuses autres semblent se stabiliser (figure 5). Les plus dynamiques sont le Bois de Sainte-Lucie (*Prunus mahaleb*) et l'Érable de Montpellier (*Acer monspessulanum*). Dans la zone de mélange leur progression persiste et de nombreuses plantules sont observées. Là aussi, l'Érable de Montpellier est fortement dynamique (de 8 individus en 2005 à 30 en 2010), *Prunus mahaleb* et *Rhamnus alpina* progressant régulièrement aussi. Le Chêne pubescent, qui s'était développé dans les années qui ont suivi l'incendie, régresse depuis 2007 (6 en 2005, 20 en 2007, 12 en 2010). On note également la progression remarquable de *Rosa canina* (32 individus en zone de mélange, 11 en thuriféraie pure) et la présence de *Rubus* sp., *Jasminum fruticans*, *Viburnum lantana*.

## Discussion

En 2001, malgré une relation âge-diamètre peu satisfaisante (Bertaudière 1999), on peut cependant considérer que la structure de diamètre de la thuriféraie de la montagne de Rié est révélatrice d'une structure multi-âge avec un modèle classique de distribution des classes d'âge du type exponentielle négative communément reporté pour les communautés forestières d'habitats non perturbés (Agren & Zackrisson 1990). Ce type de structure exponentielle inverse est commun à de nombreux groupements forestiers naturels du nord de l'Europe (Bondarev 1997) mais également à la plupart des populations rupicoles (Larson *et al.* 1999), très peu perturbées par l'homme. Dans les différents secteurs étudiés de la thuriféraie, l'absence de trouées dans les distributions de diamètres nous montre que le recrutement, au sein de la population, est continu.

Il s'agit donc d'un peuplement relativement jeune (Bertaudière 1999), l'âge des arbres les plus vieux recensés dans le peuplement n'excédant pas 200 ans, contrairement à ceux de stations marocaines où des arbres pluriséculaires de quelques mètres de diamètre ont été recensés (Gauquelin *et al.* 1999).

L'hypothèse selon laquelle, dans les populations végétales naturelles, le sex-ratio est de 1/1, comme chez de nombreuses espèces méditerranéennes (Rottenberg 2000), est vérifiée en 2001 sur la station à *Juniperus thurifera* de la montagne de Rié, contrairement aux stations marocaines qui présentent un sex-ratio déséquilibré en faveur des arbres femelles (Gauquelin *et al.* 2002). Mais ce sex-

**Figure 5 – Évolution du nombre d'individus ligneux dans les placettes de suivi ; a) en thuriféraie pure ; b) en thuriféraie mixte.**

ratio n'est pas homogène au sein de la population avec un biais significatif en faveur des femelles dans la zone haute de la thuriféraie et une tendance mâle dans le bas du peuplement monospécifique.

Ce déséquilibre semble lié à la dynamique de la population ; en effet, les plantes doivent atteindre une certaine taille ou masse critique pour fleurir (Garcia et Antor 1995). Or, pour différents genévriers (Falinski 1980 ; Ward 1982), cette masse est moins importante chez les mâles que chez les femelles.

Dans les populations marocaines de *J. thurifera*, les sex-ratios biaisés en faveur des femelles ont été trouvés dans les vieilles populations sans régénération où les arbres juvéniles sont rares alors que dans d'autres populations où la recolonisation est évidente, le sex-ratio est de 1/1, voire déséquilibré en faveur des arbres mâles (Gauquelin *et al.* 2002). Dans les Alpes, Borel et Polidori (1983) insistent sur la part importante des mâles dans les populations de *J. thurifera* qui colonisent les espaces abandonnés.

Chez la population pyrénéenne de Rié, le sex-ratio en faveur des femelles dans la zone haute et des individus mâles dans la zone basse pourrait traduire une dynamique passée de la population vers le bas alors que la zone haute pourrait constituer une zone plus ou moins abandonnée de la thuriféraie pure. Les données sur le sex-ratio confirment donc l'analyse des photos aériennes (Bertaudière et Montès 1993) qui montrait un déplacement de la thuriféraie pure vers le bas de la montagne de Rié.

En 2004, l'effondrement aléatoire de la distribution en classes de diamètre témoigne de l'impact de l'incendie, ayant atteint les arbres au hasard de sa progression. Parmi les arbres touchés par l'incendie, le pourcentage de feuillage atteint est un bon indicateur de l'intensité du feu, et tous les arbres brûlés à moins de 40 % sont capables d'émettre de nouvelles pousses sur leurs rameaux. Parmi les arbres brûlés à plus de 70 %, la capacité à produire des régénérations est corrélée avec le diamètre de l'arbre. L'émergence de plantules à partir de 2005 se traduit en 2010 par une fréquence élevée d'individus de faible diamètre basal. Cette vague de germination est à mettre en relation avec l'effondrement des populations de ravageurs de graines consécutif à l'incendie (Roques & Auger-Rozenberg 2006 ; Roques *et al*. 2013), qui a ainsi ouvert une fenêtre de régénération naturelle.

68 % des jeunes individus sont à moins de 10 m de l'arbre femelle le plus proche et 55 % se développent sous couvert végétal. Beaucoup de galbules de *J. thurifera* tombent directement sur le sol au pied des arbres plus matures, décrivant alors une dissémination par barochorie. Cependant, quelques espèces d'oiseaux mangent et défèquent les graines à des distances plus ou moins importantes de la plante source (Santos *et al.* 1999). Ces oiseaux sont présents sur la montagne de Rié (Joachim 2005) et en mesure de jouer un rôle de disperseur à courte distance. De plus, un « micro-édaphisme » se crée sous le couvert des genévriers. En effet, dans diverses formations atlasiques, on constate un enrichissement important en carbone organique et en éléments minéraux induisant le développement d'un niveau humifère riche sous couvert qui favorise la germination des galbules (Gauquelin & Dagnac 1988). Cela peut expliquer la germination préférentielle et la grande part d'arbres juvéniles sous le couvert des arbres sexués. Cependant, l'association entre arbres de petits diamètres et couvert végétal pose l'hypothèse d'une phase sciaphile dans le développement de la plantule de *J. thurifera*. Ce qui pourrait être alors une nouvelle explication du développement plus important sous le couvert des arbres sexués.

De plus, l'étude préliminaire de la symbiose mycorhizienne a montré la présence d'une double mycorhization chez le Genévrier thurifère, avec des taux de mycorhization remarquablement élevés (Gryta *et al.* 2004). Ce résultat met en avant un rôle probablement important de la symbiose mycorhizienne dans la biologie du Genévrier thurifère et notamment dans sa survie dans des biotopes difficiles. Les genévriers thurifères sont favorisés dans les zones où ils sont les plus compétitifs par rapport aux autres espèces arborées comme *Quercus pubescens*, c'est-à-dire sur les zones rocailleuses. Grâce à des adaptations leur permettant notamment une modulation de la croissance en fonction des disponibilités hydriques et une seconde phase de croissance en fin d'été (provoquant des cernes doubles compliquant l'estimation de l'âge des arbres), ces genévriers « opportunistes » peuvent croître dans des zones pourtant très hostiles au développement d'une espèce arborée (crête rocheuse escarpée) (Bertaudière *et al.* 1999). En zone mixte, au contraire, la dynamique des feuillus est plus forte et le peuplement de Genévrier thurifère est menacé par cette reprise de végétation après incendie.

Dans tous les cas, cette sévère perturbation qu'a constitué cet incendie a montré que le Genévrier thurifère « pyrénéen » semble ne pouvoir se régénérer que par graine, étant apparemment incapable de rejeter de souche après incendie, au même titre que de nombreuses autres espèces de genévriers (Quevedo *et al.* 2007). Il est néanmoins capable, en dessous d'un certain pourcentage de feuillage brûlé, de survivre en reconstituant de nouvelles pousses. Il n'en reste pas moins, comme beaucoup de genévriers (Aref *et al.* 2011 ; Turkmen & Duzenli 2011), qu'il est particulièrement sensible aux incendies qui constituent de ce fait une menace majeure pour les populations et une cause majeure de leur régression.

## Remerciements

Aux stagiaires successifs qui ont contribué aux suivis de la population : T. Mignaut, D. Delbos, V. Molinier et Olivier Perrès. À F. Loustalot-Forest et F. Rachou-Langlatte, qui ont permis que ces suivis se déroulent dans les meilleures conditions, ont encadré les relevés de terrain, et ont protégé et entouré d'attentions les jeunes plantules. À C. Vignau, pour son aide sur la bibliographie.

## Références

Agren J., Zarckrisson O., 1990. Age and size structure of Pinus sylvestris populations on mires in Central and Northern Sweden. *Journal of Ecology* 78: 1049-1062.

Aref I., El Atta H.A., Al Ghamde A.R. M., 2011. Effect of Forest Fires on Tree Diversity and some Soil Properties. *International Journal of Agriculture and Biology* 13 (5): 659-664.

Aymerich P., 2007. *Juniperus thurifera* L. als Pirineus catalans. *Butlletí de la Institució Catalana d'Història Natural* 73 : 121-123.

Aymerich P., 2008. La savina turífera (*Juniperus thurifera* L.) als Pirineus catalans : distribució, població i conservació. *Orsis* 23 : 9-26.

Bertaudière V., 1999. *Dendroécologie du Genévrier thurifère (*Juniperus thurifera *L.) dans la haute montagne méditerranéenne (Haut Atlas, Maroc) et dans une station xérothermique des Pyrénées centrales (France)*, 234 p.

Bertaudière V., Montès N., Gauquelin T. & Édouard J.L., 1999. Dendroécologie du Genévrier thurifère (*Juniperus thurifera* L.) : exemple de la thuriféraie de la montagne de Rié (Pyrénées, France). *Ann. Forestry Sci.*

Bondarev A., 1997. Age distribution patterns in open boreal Dahurican larch forests of Central Siberia. *For. Ecol. Manage.* 93 (3): 205-214.

Borel A. & Polidori J.L., 1983. Le Genévrier thurifère (*Juniperus thurifera* L.) dans le Parc national du Mercantour (Alpes-Maritimes). *Bull. Soc. Bot. Fr.*, Lettres bot. 130 (3) : 227-242.

Cambecèdes J., Gauquelin T., Loustalot-Forest F., Mignaut T., Delbos D. & Largier G., 2006. Évaluation de l'impact du feu sur une population de Genévrier thurifère : mise en place de protocoles de suivis sur la thuriféraie de la montagne de Rié, victime d'un incendie accidentel en 2003. III^e^ colloque international sur le Genévrier thurifère et autres genévriers (genre *Juniperus*) : écologie et gestion forestière durable, Soria, 24-26 mai 2006. *In : Actas del III coloquio internacional sobre los sabinares y enebrales (Género Juniperus), Soria 24-26 de Mayo de 2006 ; Junta de Castilla y Leon : ecología y gestión forestal sostenible*. Tomo 1 : 487-492.

Falinski J.B., 1980. Changes in the sex- and age-ratio in populations if pioneer diocecious woody species (Juniperus, Populus, Salix) in connection with the course of vegetation succession in adandonned farmlands. *Ekologia Polska* 28 (3): 327-365.

Garcia M.B. & Antor R.J., 1995. Age and size structure in populations of a long-lived dioecious geophyte: Borderea pyrenaica (Dioscoreaceae). *Internat. Journal Plant Sciences* 156 (2): 236-243.

Gauquelin T. & Dagnac J., 1988. Caractéristiques édaphiques des groupements à Genévrier thurifère des Atlas marocains : étude des niveaux superficiels des sols sous couvert et hors couvert. *Écologie méditerranéenne* 14 (3-4) : 43-46.

Gauquelin T., Bertaudière V., Montès N., Badri W. & Asmodé J.F., 1999. Endangered stands of thuriferous juniper in the western Mediterranean basin: ecological status, conservation and management. *Biodiversity and conservation* 8: 1479-1498.

Gauquelin T., Bertaudière-Montès V., Badri W. & Montès N., 2002. Sex ratio and sexual dimorphism in mountain dioecious thuriferous juniper (*Juniperus thurifera* L., Cupressaceae). *Bot. Journal Linnean Soc.* 138: 237-244.

Gryta H., Sahl A. & Gardes M., 2004. Dynamique passée et actuelle des populations de Genévrier thurifère : étude des facteurs pouvant affecter les potentialités de régénération (rapport final). Travaux réalisés dans le cadre de l'étude préalable à la définition d'un plan de conservation des populations pyrénéennes de Genévrier thurifère (*Juniperus thurifera* L.), 20 p.

Gryta H., Sahl A. & Gardes M., 2004. Statut mycorhizien du Genévrier thurifère : dynamique passée et actuelle des populations de Genévrier thurifère : étude des facteurs pouvant affecter les potentialités de régénération (rapport final). Études préalables à la définition d'un plan de conservation des populations pyrénéennes de Genévrier thurifère (*Juniperus thurifera* L.), 20 p.

Joachim J., 2004. Dynamique passée et actuelle des populations de Genévrier thurifère (*Juniperus thurifera* L.) et ornithochorie : première approche dans les Pyrénées : la montagne de Rié (rapport final). Travaux réalisés dans le cadre de l'étude préalable à la définition d'un plan de conservation des populations pyrénéennes de Genévrier thurifère (*Juniperus thurifera* L.), 99 p., non paginé.

Larson D.W., Matthes U., Gerrath J.A., Gerrath J.M., Nekola J.C., Walker G.L., Porembski S. & Charlton A., 1999. Ancient stunted trees on cliffs. *Nature* 398: 382-383.

Quevedo L., Rodrigo A., Espelta J.M., 2007. Post-fire resprouting ability of 15 non-dominant shrub and tree species in Mediterranean areas of NE Spain. *Annals of Forest Science* 64 (8): 883-890.

Roques A. & Auger Rozenberg M.A., 2006. L'incendie pourrait-il constituer un mécanisme de régénération naturelle du Genévrier thurifère par échappement aux ravageurs des graines ? L'exemple de la Montagne de Rié (France). III^e colloque international sur le Genévrier thurifère et autres genévriers (genre *Juniperus*) : écologie et gestion forestière durable, Soria, 24-26 mai 2006. *In : Actas del III coloquio internacional sobre los sabinares y enebrales (Género Juniperus), Soria 24-26 de Mayo de 2006 ; Junta de Castilla y Leon : ecología y gestión forestal sostenible.* Tomo 1 : 407-415.

Roques A., Cambecèdes J., Fallour-Rubio D., Raimbault J.P. & Auger-Rozenberg M.A., 2013. Elimination of cone and seed pests by wildfire opened a 5-year regeneration window in a non-regenerating incense-juniper (*Juniperus thurifera* L.) stand. IV^e colloque international sur le Genévrier thurifère et autres genévriers (genre *Juniperus*), Saint-Crépin, 5-8 octobre 2011 (in press)

Rottenberg A., 1998. Sex ratio an gender stability in the diocecious plant of Israël. *Biol. J. Linn. Soc.* 128: 137-148.

Samhat P., 2002. *Structure et dynamique d'une population isolée de Genévrier thurifère (*Juniperus thurifera *L.) dans les Pyrénées : régénération, stabilité et compétition intra et interspécifique : rapport final.* Mémoire de Dea Écologie des systèmes continentaux. Université Paul Sabatier, Toulouse, 30 p.

Santos T., Telleria J.L. & Virgos E., 1999. Dispersal of Spanish juniper *Juniperus thurifera* by birds and mammals in a fragmented landscape. *Ecography* 22: 193-204.

Turkmen N. & Duzenli A., 2011. Early post-fire changes in *Pinus brutia* forests (Amanos Mountains, Turkey). *Acta Botanica Croatica* 70 (1): 9-21.

Ward L.K., 1982. The conversation of juniper: longevity and old age. *Journ. Appl. Ecol.* 19: 917-928.

# Elimination of cone and seed pests by wildfire opened a five-year regeneration window in a non-regenerating incense-juniper (*Juniperus thurifera* L.) stand

## *L'élimination des ravageurs des cônes et graines par un incendie accidentel a ouvert une fenêtre de régénération de cinq ans dans un peuplement de* Juniperus thurifera *L. présentant des difficultés de régénération naturelle*

Alain ROQUES[1*], Jocelyne CAMBECÈDES[2], Delphine FALLOUR-RUBIO[3], Jean-Paul RAIMBAULT[1], Philippe LORME[1], Marie-Anne AUGER-ROZENBERG[1]

1. INRA, UR 633, Zoologie forestière, 2163, avenue de la Pomme de Pin, CS 40001 Ardon, 45075 Orléans cedex 2, France

2. Conservatoire botanique national des Pyrénées et de Midi-Pyrénées, Vallon de Salut, BP 315, 65203 Bagnères-de-Bigorre cedex, France

3. Office national des forêts, Bureau d'études « Plaines et Montagnes », Antenne de Saint-Gaudens, 262, route de Landorthe, 31800 Saint-Gaudens, France

*Author for correspondence

**Abstract**

*The sanitary status of seed cones of incense juniper,* Juniperus thurifera*, has been surveyed from 2001 to 2011 in a relict population of the French Pyrenees (Rié Mountain, Haute-Garonne, France) which has been severely affected by a wildfire during the summer 2003. Damage to seed and cones was compared on the same trees before and following the 2003 fire. Before the fire, natural regeneration was severely hindered by the joint damage of a seed mite,* Trisetacus quadrisetus*, and a seed chalcid,* Megastigmus thuriferana *which limited to 25-55 the number of sounds seeds falling on the ground per tree. The fire destroyed a large part of the stand but simultaneously killed most of insect seed predators. No flowering was observed the following year (2004), thus contributing to eliminate the remaining predators. In spite of large annual fluctuations, more than 200 sound seeds were dispersed on the average per tree in 2006 and 2009,* i.e. *4-10 times more than before the fire. Seed chalcids and mites only began to recolonize the stand during summer 2008, probably originating from nearby stands of* J. thurifera *(chalcids) or* J. communis *(mites). Although the pest populations regularly increased every year, cone damage remains concentrated on less than ten trees. Unexpected events such as wildfires may thus play a regulating role upon seed predation by arthropods and opened a regeneration window of five years at least, as it can be observed from the sudden appearance of numerous seedlings during this period.*

**Keywords:** pests, *Juniperus thurifera*, seed cones, seeds, natural regeneration, fire.

**Résumé**

*L'évolution du potentiel de régénération naturelle de la population pyrénéenne relique de* Juniperus thurifera *de la montagne de Rié (Haute-Garonne, France) a été surveillée de 2001 à 2011, avant et après l'incendie qui a*

**Mots clés :** ravageurs, *Juniperus thurifera*, galbules, graines, régénération naturelle, incendie.

*détruit une large partie de ce peuplement en 2003. La production de galbules, leur état sanitaire de la floraison à la maturité, et le nombre de graines viables résultantes ont été mesurés chaque année sur les dix mêmes branches de dix arbres différents. Avant l'incendie, l'impact conjugué du chalcidien des graines,* Megastigmus thuriferana*, et des acariens des galbules,* Trisetacus quadrisetus*, réduisait de manière drastique le potentiel de régénération naturelle du Genévrier thurifère, avec seulement 25 à 55 graines pleines tombant au sol en moyenne par arbre. L'incendie de 2003, survenu pendant une période où les ravageurs ne pouvaient s'échapper des galbules, a conduit à l'élimination complète de leurs populations sur le site. Après une année de reprise sans floraison, l'absence des ravageurs s'est traduite par une augmentation significative du potentiel de régénération du thurifère par rapport à la situation prévalant avant l'incendie. Malgré des variations interannuelles de fructification, plus de 200 graines pleines sont tombées en moyenne au sol par arbre fructifère en 2006 et en 2009, soit de quatre à dix fois plus qu'en 2002-2003. La recolonisation du site par les chalcidiens et acariens n'a commencé qu'à l'été 2008, probablement à partir de populations voisines de* J. thurifera *(chalcidiens) ou* J. communis *(acariens). Malgré une augmentation progressive des populations de ravageurs, les dégâts restent concentrés jusqu'à maintenant sur moins de dix arbres. L'incendie paraît avoir ainsi joué un rôle régulateur sur la prédation des graines par les ravageurs, avec l'apparition d'une fenêtre de régénération de l'ordre de cinq années comme l'attestent les nombreuses jeunes plantules apparues sur le site après l'incendie.*

## Introduction

Many factors are susceptible to affect the natural regeneration of conifer trees (Rodrigo *et al.* 2004; Verheyen *et al.* 2009). Among them, arthropod damage to cones and seeds during the pre-dispersal phase may be considered to play a key role because it may severely decrease the annual number of seeds then available for germination (Turgeon *et al.* 1994). Extensive surveys of the impact of cone and seed pests were carried out since a long time in economically important species of the family Pinaceae (*e.g.*, *Abies*, *Larix*, *Picea*, *Pinus*, and *Pseudotsuga* spp.; for a review, see Turgeon *et al.* 1994). In contrast, little remains known about the damage due to the fauna exploiting the seed cones of Cupressaceae, with the exception of evergreen cypress, *Cupressus sempervirens* L. (Guido *et al.* 1998; Battisti *et al.* 1999, 2003; Roques *et al.* 1999), and common juniper, *Juniperus communis* L. (Garciá, 1998, 2001; Garciá *et al.* 2000, 2002; Falke, 2004; Rouault *et al.* 2005; Verheyen *et al.* 2009). Conservation purposes recently led to investigate whether the arthropods damaging seeds could constitute, besides the effects of human activity, an aggravating factor hindering the preservation of some endangered Cupressaceae species such as the Atlas cypress, *Cupressus atlantica* Gaussen, and the incense juniper, *Juniperus thurifera* L. (El Alaoui El Fels & Roques 2006a).

For example, insects and mites developing in cones of *J. thurifera* have to been shown to limit drastically the number of viable seeds susceptible to be dispersed in the Atlas Mountains of Morocco (El Alaoui El Fels *et al.* 1999a; El Alaoui El Fels & Roques 2006b). In these areas, pest damage was observed to decrease the average number of sound seeds to less than 0.2 per cone, resulting in a very low probability of regeneration because of the subsequent action of other mortality factors following germination (El Alaoui El Fels *et al.* 1999a). A similar high impact of cone and seed pests was also noticed in other parts of the patchy range of this juniper species such as the French Alps and Corsica (Roques *et al.* 1984) and the French Pyrenees (Roques & Auger-Rozenberg 2006). In both Morocco and France, the natural regeneration of native stands usually appeared very limited, and even quite non-existent in most cases. In contrast, the recruitment of young seedlings was commonly observed in Spain although overall pest damage did not seem to differ significantly from the value observed in Morocco (El Alaoui El Fels *et al.* 1999b). Indeed, Roques & El Alaoui El Fels (2002) showed that the number of viable seeds remaining in cones following pest damage is positively correlated with the initial number of seeds; thus, an initial number of seeds per cone higher in the Spanish stands than in the Moroccan and French ones may partly explain the observed differences in natural regeneration. For the same reasons, *J. oxycedrus* L. and *J. phoenicea* L. may be favored by their higher number of seeds when they grow in sympatry with *J. thurifera* (Roques & El Alaoui El Fels 2002).

In many conifers, 'masting' (*i.e.*, the synchronous production of large seed crops at variable intervals; Silvertown 1980), is a common reproductive phenomenon. Seed production is highly irregular in both space and time,

which results in large annual variations in seed predation with an inverse relationship between the damage percentage and the change in cone crop size from the past year to the current year (Turgeon *et al.* 1994; Poncet *et al.* 2009; Auger-Rozenberg & Roques 2012). In some years, a sudden, sharp increase in cone abundance is likely to outpace the increase in arthropod populations and their ability to attack cones, and as a result a large quantity of seeds would escape from predation and contribute to the regeneration process (Predator Satiation hypothesis; Janzen 1971; Silvertown 1980). However, an 8-year study in the Middle Atlas Mountain revealed a quite different figure in *J. thurifera*. The fluctuations in the annual cone abundance appeared limited whereas cone damage varied quite in parallel but never dropped below 30% (Roques & El Alaoui El Fels 2002). It has been hypothesized that unpredictable events such as late frosts, which may suddenly kill the available flowers, or wildfires, are susceptible to break such equilibrium between juniper cones and the populations of associated arthropods, and thus favor natural regeneration (Roques & Auger-Rozenberg 2006).

An occasion to study this process has been given by the occurrence in summer 2003 of a wildfire which destroyed the major part of a rather isolated stand of *J. thurifera* in the French Pyrenees, which had been previously monitored for arthropod damage (Cambecèdes *et al.* 2005). Before the fire, only three phytophagous species attacked cones and seeds in this stand, which corresponded to a low species richness compared to Morocco (8 species), the Alps and Spain (4 species) (Roques & Auger-Rozenberg 2006). Only two of these species were effectively affecting seed yield. A seed chalcid, *Megastigmus thuriferana* Roques et El Alaoui (Hymenoptera: Torymidae), is specialized in the exploitation of seeds of *J. thurifera* (Auger-Rozenberg *et al.* 2006). Using its ovipositor, the female chalcid lays eggs directly into the seeds where the whole larval development will take place, with only one larva per seed. The mite, *Trisetacus quadrisetus* Thomas (Acarina: Eriyophiidae), is galling the seeds which then protrude noticeably through cone surface (El Alaoui El Fels & Roques 2006a). However, this species is oligophagous, being also observed on other junipers such as *J. communis* L. *J. sabina* L., *J. oxycedrus*, and *J. phoenicea* (Roques 1983). The third species, a scale, *Carulaspis juniperi* (Bouché) (Hemiptera: Diaspididae), is observed on all juniper species in Europe (Graora *et al.* 2010). It develops and feeds on the outer part of the cone of *J. thurifera* but it seems to have no impact on seed viability (Roques & Auger-Rozenberg 2006). Because the three species were either too tiny to move or larvae concealed in seeds when the fire occurred, the major part of their populations could not escape the burning or the too hot temperatures observed in the areas that were not completely burnt. The few survivors disappeared during the following year because no cones were available at all in the stand (Roques & Auger-Rozenberg 2006). It has thus been hypothesized that a regeneration window may exist if the stand succeeds in flowering again before the cone and seed pests recolonize it. Wildfires are known to be responsible for massive seed release in conifer species with serotinous cones (Baskin & Baskin 1998). However, the relationships with cone and seed consumers were little investigated except in a few angiosperms with seed capsules. In the Australian *Eucalyptus baxteri* (Benth.) Maiden & Blakely ex J.M. Black and *Casuarina pusilla* Macklin, massive seed release following fire can lead to predator satiation and large subsequent recruitment of seedlings (Andersen 1987).

Therefore the objectives of our study were to 1) to test whether the disappearance of cone and seed pests following the 2003 wildfire resulted in a significant increase in the number of sound seeds available for germination; 2) to monitor the possible recolonization of the stand by the pests and to assess the time during which the stand would remain free of any pest; and 3), to measure the dynamics of seed damage after recolonization.

## Material and methods

### Monitoring of cone and seed damage before and following the 2003 wildfire

The monitoring procedure followed the one described by Roques & Auger-Rozenberg (2006) in order to survey the complete development of a cone generation, from initiation to seed maturity. In 2002, 15 trees with female cones were randomly selected in the stand,

and two branches per tree were tagged in early June. The total number of 1st- and 2nd-year cones present on the tree was visually estimated. The position of all of the 1st-year cones present of the tagged branches was mapped, and their sanitary status checked. All the 2nd-year cones (*i.e.*, from generation 2001) present on the tagged branches were then collected and dissected to identify possible damage to species. Their seeds were extracted and individually radiographed in order to measure the respective numbers of filled, empty and infested seeds. Seed radiography was carried out using a Faxitron 43855® apparatus (15Kv, 3mA, 3'30'') and X-ray sensitive films (Kodak® "Industrex M"). The infested seeds were placed in individual rearing boxes stored in an outdoor insectary located at INRA, Orléans, France (47º83'N, 1º91'E, 107 m elevation), according to the method defined by Roques & Skrzypczyńska (2003). Adult emergence was surveyed over the two years following seed collection because of a possible prolonged diapause.

The same trees and branches were visited again in late October to check the survival of the 1st-year cones and to assess possible damage. The following year, the surviving cones having turned to 2nd-year cones on the tagged branches were counted, collected and treated as above whereas the newly- appeared 1st-year cones were counted and mapped.

However, the 2003 fire resulted in the complete burning of six of the tagged trees whilst the branches of four more trees did not resprout the years after. Thus, only five of the original trees were available for further monitoring. Because no flowering occurred in 2004, we could only add in June 2005 ten more flowering trees, which were selected at random. These 15 trees (five original and ten added in 2005) were monitored similarly as above two times a year from 2005 to 2011.

In order to get a more precise spatial estimation of the recolonization of the stand by cone pests, 12 additional trees were sampled in 2011, with a collection of 30 1st-year and 30 2nd-year cones per tree. All the cones were dissected, and their seeds X-rayed, in order to assess the presence and numbers of cone pests.

### Data analysis

The following variables were measured every year on each tagged branch and their mean values were compared between the periods preceding and following the 2003 fire: 1) number of 1st-year cones initiated in spring; 2) percentage of 2nd-year cones remaining on branch at maturity in autumn with regard to the initial number of 1st-year cones; 3) percentage of cones damaged by herbivores; 4) specific percentage of cone damage per herbivore species; 5) mean number of seeds per cone; 6) proportion of sound, infested and empty seeds; 7) mean number of filled seeds. Seed damage was calculated as the ratio of infested seeds on the number of seeds considered as available for pest development, *i.e.* filled seeds plus infested seeds (Roques & Skrzypczyńska 2003). Then, the total number of filled seeds potentially- dispersed per tree was extrapolated from the percentage of sound seeds per branch and the total number of 2nd-year cones remaining on tree at maturity. In order to harmonize the assessments, the data will be presented by cone generation; *i.e.* generation 2001 will correspond to 1st-year cones analyzed in 2001 but to 2nd-year cones and seed yield analyzed in 2002. Because neither the overall seed damage nor the specific damage followed a normal distribution (Kolmogorov-Smirnov test), the comparisons were done using a non-parametric Kruskal-Wallis test.

## Results

### Annual variation in flowering magnitude and in size of the final crop before and following the 2003 fire

The mean number of 1st-year cones per branch largely varied between years, with intervals of 2-3 years between years of large flowering (Figure 1). Less than forty 1st-year cones were observed per branch before the 2003 fire. No flowering at all occurred the year following the fire (2004) but 1st-year cones appeared again in 2005 at a magnitude larger than previously. Then, periods of low flowering alternated with years of large flowering to culminate with ca. seventy 1st-year cones per branch in 2011.

***Figure 1 – Annual variation in the mean number of 1st-year cones having appeared from spring 2001 to spring 2011 on the branches surveyed at Rié. *: Fire occurrence.***

***Figure 2 – Annual variation in the proportion of 2nd-year cones remaining at maturity on the branches surveyed at Rié from 2001 to 2011. Data are presented by cone generation, meaning that generation N corresponds to mature cones still present on branches in autumn N + 1. *: Fire occurrence.***

The percentage of 2nd-year cones remaining on branch at maturity was not different before and after the fire (Figure 2). About 35 to 49% of the initial number of cones survived during the years of large initial crop but the survival was less than 15% when the initial crop was low.

## Annual variation in cone damage before and following the 2003 fire

Cone damage was significantly different before and after the fire for both 1st-year and 2nd-year cones (Figure 3). Before the fire occurred, more than 20% of the 1st-year cones were observed to be attacked every year by mites (Figure 3A), and a large number of them probably dropped to the ground before reaching the 2nd-year of development. At maturity, 35 to 45% of the 2nd-year cones remaining on branch were attacked by either mites or chalcids (Figure 3B). After the fire, no chalcid and mite damage was observed until 2009 where a few (12.3%) 2nd-year cones of the generation 2008 were observed to be attacked by these species. However, large numbers of cone scales were observed during the meantime with a culmination in 2008 where up to 80% of the 2nd-year cones of the generation 2007 were infested (Figure 3B).

From 2009 on, mite damage on 1st-year cones as well as chalcid and mite damage on 2nd-year cones regularly progressed every year.

***Figure 3 – Cone damage caused by the different species of arthropods on the branches surveyed at Rié from 2001 to 2011. A– Damage to 1st-year cones; B– Damage to 2nd-year cones. Data are presented as in Figure 2. *: Fire occurrence.***

However, overall damage remained still lower than in the generations 2001-2003, and did not exceed 14.5% in 1st-year cones (Figure 3A) and 26.0% in 2nd-year cones when mite and chalcid damage are added (Figure 3B).

Before the fire, all of the surveyed trees were attacked by either chalcids or mites. After the fire, the number of infested trees remained low (eight in total) after the pests have reappeared since 2009. Three of the 15 surveyed trees were attacked in 2009 (generation 2008), only one in 2010 (generation 2009), but the infestation extended to six trees in 2011 (two from the original survey and four from the additional collection of 12 trees). Only one tree was attacked every year during these three years (Figure 4). Mites recolonized a total of seven trees up to now whereas chalcids were observed on two trees, only one tree sharing both pests.

## Annual variation in dispersal of sound seeds before and following the 2003 fire

The total number of seeds per mature cone averaged 2.58 ± 0.06 for the generations 2001 and 2002 preceding the fire. The values observed in the years following the fire were not significantly different (average 2005-2010: 2.51 ± 0.05; Kruskal-Wallis test; P = 0.076).

Before the fire, the percentage of filled seeds did not exceed 20% of the total seeds whereas it was always higher for the generations 2005 to 2008 (*i.e.*, mature seeds of years 2006 to 2009), reaching up to 45% for the generation 2008 (Figure 5A). This percentage largely decreased during the two following years. In contrast, empty seeds represented more than 40% of the total seeds whatever the year, and more especially in 2011 (generation 2010) where they accounted for up to 87% of the total seeds.

Mites and chalcids were destroying up to 40% of the total seeds in 2002 (generation 2001) but then, any damage disappeared until 2009 (generation 2008). In the following years, the proportion of infested seeds increased again but never exceeded 15% of the total seeds. When only sound and infested seeds were considered, seed damage decreased by 42.4 to 64.8% the expected seed yield before the fire (Figure 5B). After a 5-year period where this damage was nil, it only decreased by 24.1% the expected seed yield of the generation 2008 but in the following years the values became similar to these observed before the fire.

The presence of scales on the outer part of cones did not affect negatively seed health. A specific analysis carried out on a lot of 150 2nd-year cones of the generation 2005 even revealed that cones colonized by scales contained significantly more seeds (3.2 ± 0.2 vs. 2.5 ± 0.2 in cones without scales; Kruskal-Wallis test; P = 0.0199), and included a higher percentage of sound seeds (59.9 ± 7.9% vs. 13.8 ± 3.2%; Kruskal-Wallis test; P = 0.0000). A similar analysis was carried out in 2010 on cones infested by seed chalcids in the single tree they infested during that year. Only one seed was attacked in 38 (81%) of the 47 infested cones whereas eight cones showed two infested seeds (17%), and only one cone had three seeds attacked (2%). The cones attacked by chalcids also contained significantly more seeds (3.72 ± 0.18) than the healthy ones (2.03 ± 0.15) (Kruskal-Wallis test; P = 0.0000).

The total number of filled seeds was extrapolated to an average of less than 55 per tree before the fire (Figure 6). After the fire, this average number increased to more than 200 in 2006 (generation 2005) and 2009 (genera-

***Figure 4 – Spatial position of the trees recolonized after the fire by the chalcid* Megastigmus thurifera *(triangle) and the mite* Trisetacus quadrisetus *(circle).***

tion 2008) when the pests were not present or just began to recolonize. Then, it decreased again during the following years. However, large variations were observed between trees, the number of filled seeds susceptible to be dispersed per tree varying from 0 to 350. Considering all the surveyed trees, up to 3600 filled seeds were available for dispersal in 2006 (generation 2005) and still more than 2000 in 2009 (generation 2008) (Figure 6).

## Discussion

Our survey showed that the 2003 wildfire resulted in a complete disappearance for a 5-year period of the pests affecting seed cones during the pre-dispersal phase. A few individuals might have survived to fire and high temperatures in areas which were little burnt but the null crop observed in 2004 led the populations to disappear since no prolonged diapause allowing an escape in time is apparently existing in these species (Roques, unpublished. results). Because the *Megastigmus* larvae observed in seeds in June 2009 were necessarily issued from eggs deposited during July 2008, the recolonization by chalcids probably began at that time. It is likely that the recolonizing chalcids originated from nearby populations developing on *J. thurifera* at Bezins-Garraux and St Béat, two small stands distant of ca. 5 km, where 4-5% of the cones were observed to be attacked by chalcids in 2006-2007 (Roques, unpublished results). Mites were first observed during spring 2009 on both 1st-year and 2nd-year cones but it is not known whether they can directly attack 2nd-year cones (*i.e.* in 2009) or if they must first develop in 1st-year cones (*i.e.*, attack in 2008). These oligophagous mites may have switched from cones of *Juniperus communis*, several shrubs of this species present in the same valley having not been affected by the fire. Another oligophagous species common on junipers, the scale *Carulaspis juniperi,* profited from the absence of the major pests to occupy the emptied niche. Scales re-appeared as soon as cones were available in 2005 and their populations colonized up to 80% of the cones in 2008. Mendel *et al.* (1997) also noticed that a scale insect, *Matsucoccus josephi* Bodenheimer & Harpaz, rapidly recolonized the young seedlings which have appeared following a wildfire in a stand of Aleppo pine,

***Figure 5 – Annual variation in the sanitary status of the seeds present in the 2nd-year cones remaining at maturity on the branches surveyed at Rié from 2001 to 2011. A– Proportion of sound, infested and empty seeds vs. total seeds; B– decrease in seed yield due to pests. Data are presented as in Figure 2. *: Fire occurrence.***

***Figure 6 – Extrapolation of the annual numbers of filled seeds potentially dispersed by the surveyed trees from 2001 to 2011. Data are presented as in Figure 2.***

*Pinus halepensis* Mill. Thus, cone scales were apparently much more mobile at the adult stage than the other species. However, their importance rapidly decreased when chalcids and mites reappeared. Moreover, we confirmed that the scales have no impact on seeds but prefer to attack cones with a higher seed content and a higher number of filled seeds. A similar selection process seemed to occur for *Megastigmus*. The cones attacked by chalcids also contained significantly more seeds than the uninfested ones present on the same tree. This did not seem true for mites but large differences in mite damage were noticed between trees, similarly as Guido *et al.* (1995) observed for a congeneric mite, *Trisetacus juniperinus* Nalepa, attacking cones of evergreen cypress, *Cupressus sempervirens*.

The disappearance of chalcid and mite pests immediately resulted in a significant increase in the number of sound, filled seeds susceptible to be dispersed, the more as a very large flowering occurred two years after the fire (a delayed consequence of the fire?). Then, the recolonization process by cone pests was rather slow, and only affected a limited number of trees which were rather spatially concentrated until 2011 when mites expanded significantly but not chalcids. As a consequence of this slow recolonization, in spite of annual fluctuations in the flowering magnitude the canopy seed bank extrapolated per tree was every year from 2006 to 2010 larger than the values observed before the fire, and especially 4 to 10 times larger in 2006 and 2008, respectively. However, the high proportion of empty seeds limited the potential size of the canopy seed bank in most years. This was especially true in 2011 where quite no seeds were dispersed whilst the pest damage was still low. The causes could not be identified yet but they were apparently not related to fire occurrence. The large variation in the proportion of empty seeds among trees (*e.g.*, ranging from 47 to 100% of the total seeds in 2010) led to hypothesize pollination problems, genetic incompatibility, or inbreeding.

As a probable consequence, new seedlings began to be observed at a high frequency since 2006 on. A survey in 2010 noticed 261 seedlings with a stem diameter smaller than 2 cm (Cambecèdes *et al*. 2010). Although a few may have pre-existed to the fire, it is likely that most of these seedlings were issued from seeds having germinated after the fire. In 2010, this category of seedlings predominated, representing 30.8% of all *J. thurifera* trees in the pure stand whereas they accounted for less than 10% in 2001 (Cambecèdes *et al.* 2010). Although the canopy seed bank was much larger during the years following the fire, it could not be excluded that some new seedlings were issued from the ground seed bank constituted before the fire. However, to sustain this hypothesis there was no data about the germinating capability of *J. thurifera* seeds following a wildfire. In the congeneric *J. phoenicea*, tests using buried seeds showed a rapid decrease in seed viability after a fire, 46% of the buried seeds remaining viable after 1 year but less than 5% after 2 years (Clemente *et al*. 2004).

The effects of fire will also depend on when the burn occurs within a plant's reproductive life cycle compared to the dynamics of pest populations. Thus, Peters *et al.* (2005) suggested that masting is a key process that interacts with fire to shape stand composition in boreal mixedwoods of white spruce, *Picea glauca* (Moensch) A. Voss. Small mammals, insects, and birds consumed most seeds in years with low to moderate cone crops, and spruce density was significantly lower after fires that occurred 1-3 years before a mast year than after fires occurring during mast years.

Besides wildfires, it can be noticed that prescribed burning was used as a management method to control populations of cone beetles (*Conophthorus* spp.; Coleoptera: Scolytidae) affecting seed production in white (*Pinus strobus* [L.]) and red (*P. resinosa* Ait.) pines in North America (Miller 1978; Wade *et al.* 1989). Miller (1978) showed that burning of naturally accumulated fuels in red pine stands significantly increased by 11-45% the number of cones free of all cone-destroyers. However, prescribed litter burning in *J. thurifera* may have little effect on the population density of cone and seed pests because their life cycle usually takes place in the cones remaining on tree, and rarely in these fallen on the ground. Evaluating the effects of seed predators on post-dispersal seed removal and early seedling establishment of *Pinus nigra*, Ordóñez & Retana (2004) also showed that recently burnt areas were the most favorable habitat for recruitment. These areas have both the lowest vegetation cover and the lowest abundance of granivorous ants because there was mortality after fire and new colonizers had not yet established. Another mechanism has been shown in the Australian *Eucalyptus baxteri* and *Casuarina pusilla* where fire

induces a massive seed release, then resulting in predator satiation and large subsequent recruitment of seedlings (Andersen, 1987). In contrast, although fire usually destroys most of the original insect communities in the ecosystem, some pre-adapted species have developed strategies to take advantage of the newly created, competition- free environment, comprised of pre-killed trees. Cerambycids (*e.g.* from genera *Acmaeops, Arhopalus*, and *Monochamus*), and Buprestids (*e.g.* from genera *Melanophila* and *Buprestis*) are well-known examples of such pyrophilous species, some attracted to smoke and some by heat (Boulanger & Sirois 2007; Saint-Germain *et al.* 2008).

In conclusion, wildfires could constitute a key factor in the natural regeneration process by breaking the relative equilibrium existing between populations of cones and these of cone and seed pests, where most seeds are usually predated year after year. This disappearance of the cone pests would open a 'regeneration window'; in this case of 5 years at least taking into account the slow recolonization process by pests. Such sporadic regeneration events in particular years could explain why many stands are even-aged. Indeed, Gauquelin *et al.* (2003) observed that most trees in this stand were aged of less than 150 years before the 2003 fire, which is rather young with regard to the longevity on *J. thurifera* trees, and they suggested that successive wildfires might have occurred in the past centuries to shape the stand.

However, the overall regeneration process is much more complex, involving many other environmental factors affecting germination and seedling establishment and growth. For example, most trees of *Juniperus procera* C.F. Hochstetter ex. Endlicher failed to regenerate following forest fire in Saudi Arabia (Aref *et al.* 2011). Even forest species, that usually regenerate well after fire, such as *Pinus halepensis* or *Pinus pinaster*, show irregular or low regeneration when post-fire environmental conditions are not favorable for seed germination (Rodrigo *et al.* 2004).

## Acknowledgements

We greatly acknowledge financiary support from Diren Midi-Pyrénées, conseil régional de Midi-Pyrénées and National Forestry Office for the site *Natura 2000* FR77300884 « *Zones rupestres xérothermiques du bassin de Marignac, Saint-Béat, pic du Gar, Montagne de Rié* », called « *Gar-Cagire* ». This study was partly funded by a grant from the French « Agence nationale de la recherche » (International project MacBi- *Megastigmus* and conifers: the biology of invasion- ANR-2010-INTB-1705).

## References

Andersen A. N., 1987. Effects of seed predation by ants on seedling densities at a woodland site in SE Australia. *Oikos* 48: 171-174.

Aref I. M., El-Atta H.A. & Al-Ghamde A.R.M., 2011. Effect of forest fires on tree diversity and some soil properties. *International J. Agric. Biol*. 13: 659-664.

Auger-Rozenberg M.A., Kerdelhué C., Magnoux E., Turgeon J., Rasplus J.Y. & Roques A., 2006. Molecular phylogeny of conifer seed chalcids in the genus *Megastigmus* (Hymenoptera: Torymidae) and evolution of host-plant use. *Syst. Entomol*. 31: 47-64.

Auger-Rozenberg M.A. & Roques A., 2012. Seed wasp invasions promoted by unregulated seed trade affect vegetal and animal biodiversity. *Int. Zool*. 7 : 228-246.

Baskin C.C. & Baskin J.M., 1998. *Seeds: Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination*. New-York, Academic Press, 666 p.

Battisti A., Cantini R., Rouault G. & Roques A., 2003. Serotinous cones of *Cupressus sempervirens* provide viable seeds in spite of high seed predation. *Ann. For. Sci*. 60: 781-787.

Battisti A., Roques A., Colombari F., Frigimelica G. & Guido M., 1999. Multiple insect-fungus association in the cypress seed cone. *Naturwiss*. 86: 479-483.

Boulanger Y. & Sirois L., 2007. Postfire succession of saproxylic arhtropods, with emphasis on Coleoptera, in the north boreal forest of Quebec. *Environmental Entomology* 36: 128-141.

Cambecèdes J., Candy F., Faucheux B., Rachou-Langlatte F. & Fallour-Rubio D., 2010. *Suivi de la dynamique de la population de Genévrier thurifère sur la montagne de Rié (Marignac, 31)*. Syndicat mixte, Conservatoire botanique pyrénéen, Vallon de Salut, BP 315, 65203 Bagnères-de-Bigorre, 28 p.

Cambecèdes J., Gauquelin T., Roques A., Thébaut C., Burrus M., Gardes M., Gryta H., Joachim J., Bertaudière V., Renaux T. & Largier G., 2005. Approche intégrée de la conservation des populations pyrénéennes de Genévrier thurifère (*Juniperus thurifera* L.*)*. Toulouse, *Bull. Soc. Hist. Nat.* 141-2 : 189-195.

Clemente A. S., Rego F. C. & Correia O., 2004. Padroes de sobrevivencia de sementes em grupos funcionais de resposta ao fogo. *Revista de Biologia* (Lisboa) 22 : 123-132.

El Alaoui El Fels M.A., Roques A. & Boumezzough A., 1999a. Les arthropodes liés aux galbules et aux graines du Genévrier thurifère, *Juniperus thurifera* L., dans les Atlas marocains. *Ecol. Medit*. 25 : 95-110.

El Alaoui El Fels M. A., Blasco-Zumetta J., Bigot L., Boumezzough A. & Roques A., 1999b. Contribution

à la diversité faunistique dans deux peuplements à Genévrier thurifère au Maroc (Tizrag) et en Espagne (Monegros). *In:* Journées « *État de l'environnement et biodiversité des systèmes terrestres* », 20-23 avril 1999, Marrakech.

El Alaoui El Fels M.A. & Roques A., 2006a. *Guide d'identification franco-arabe des ravageurs des cônes et des graines des résineux autochtones du Haut Atlas occidental*. El Watanya, Marrakech, 66 p.

El Alaoui El Fels M. A & Roques A., 2006b. Les arthropodes associés aux galbules et aux graines des genévriers autochtones dans la partie sud du bassin méditerranéen. *In: Proceedings 3rd International Conference on* Juniperus thurifera*.* Soria, Spain, 24-27 mai 2006 : 437-446.

Falke B., 2004. Die Verjüngungsproblematik des Wacholders in Nordwestdeutschland: Welchen einfluss haben spezialisierte Samenprädatoren? *Mitt. Deutsch. Gesell. f. allgemeine angew. Entomol.* 14: 49-52.

Garcıá D., 1998. Interaction between juniper *Juniperus communis* L. and its fruit insect pests: pest abundance, fruit characteristics and seed viability. *Acta Oecologica* 19: 517-525.

Garcıá D., 2001. Effects of seed dispersal on *Juniperus communis* recruitment on a Mediterranean mountain. *J. Veget. Sc*. 12: 839-848.

Garcıá D., Zamora R., Gómez J.M., Jordano P. & Hódar J.A., 2000. Geographical variation in seed production, predation and abortion in *Juniperus communis* throughout its range in Europe. *J. Ecol*. 88: 436-446.

Garcıá D., Zamora R., Gómez J.M. & Hódar J.A., 2002. Annual variability in reproduction of *Juniperus communis* L. in a Mediterranean mountain: relationship to seed predation and weather. *Ecoscience* 9: 251-255.

Gauquelin T., Bertaudière V., Cambecèdes J. & Largier G., 2003. Le Genévrier thurifère (*Juniperus thurifera* L.) dans les Pyrénées : état de conservation et perspectives. *Acta Bot. Barc*. 49 : 83-94.

Graora D., Spasi R. & Čkrkić M., 2010. Carulaspis juniperi (Bouché) – juniper pest (Juniperus spp.) in the Belgrade area. Belgrade, *Arch. Biol. Sci*. 62: 1207-1214.

Guido M., Battisti A. & Roques A., 1995. A contribution to the study of cone and seed pests of the evergreen cypress (*Cupressus sempervirens* L.) in Italy. *Redia* 78: 211-227.

Guido M., Battisti A. & Roques, A. 1998. Mortality factors affecting cones and seeds of the evergreen cypress, *Cupressus sempervirens*, in the predispersal phase. *In:* Battisti A. & Turgeon J.J. (eds.), *Proc. 5th Cone and Seed Insects IUFRO Working Party Conference.* Inst. Agric. Entomol. Padova: 209-214.

Janzen D.H., 1971. Seed predation by animals. *Annu. Rev. Ecol. Syst*. 2: 465-492.

Mendel Z., Assael F., Saphir N., Zehavi A., Nestel D. & Schiller G., 1997. Seedling mortality in regeneration of Aleppo pine following fire and attack by the scale insect *Matsucoccus josephi*. *Journal of Wildland Fire* 7: 327-333.

Miller W. E., 1978. Use of prescribed burning in seed production areas to control red pine cone beetle. *Environmental Entomology* 7: 698-702.

Ordóñez J. L. & Retana J., 2004. Early reduction of post-fire recruitment of *Pinus nigra* by post-dispersal seed predation in different time-since-fire habitats. *Ecography* 27: 449-458.

Peters V.S., Macdonald S.E. & Dale M.R.T., 2005. The interaction between masting and fire is key to white spruce regeneration. *Ecology* 86: 1744-1750.

Poncet B.N., Garat P., Manel S., Bru N., Sachet J.M., Roques A. & Desprès L., 2009. The effect of climate on masting in the European larch and on its specific seed predators. *Oecologia* 159: 527-537.

Rodrigo A., Retana J., Pico F.X., 2004. Direct regeneration is not the only response of mediterraanean forests to large fires. *Ecology* 85: 716-729.

Roques A., 1983. *Les insectes ravageurs des cônes et graines de conifères en France*. Inra, Service des publications, Versailles, 135 p.

Roques A. & Auger-Rozenberg M.A., 2006. L'incendie pourrait-il constituer un mécanisme de régénération naturelle du Genévrier thurifère par échappement aux ravageurs des graines ? L'exemple de la montagne de Rié (France. *In: Proceedings 3rd International Conference on* Juniperus thurifera*.* Soria, Spain, 24-27 mai 2006) : 407-417.

Roques A. & El Alaoui El Fels M.A., 2002. Overview of the arthropod fauna exploiting seed cones in the Mediterranean Basin. *In:* Lieutier F. & Ghaioule D. (eds.), *Entomological Research in Mediterrannean Forest Ecosystems*, INRA Éditions, Versailles: 59-78.

Roques A., Markalas S., Roux G., Pan Y.Z., Sun J.H. & Raimbault J.P., 1999. Impact of insects damaging seed cones of cypress, *Cupressus sempervirens*, in natural stands and plantations of South-eastern Europe. *Ann. For. Sci.* 56: 167-177.

Roques A., Raimbault J. P. & Goussard F., 1984. La colonisation des cônes et galbules des genévriers méditerranéens par les insectes et acariens et son influence sur les possibilités de régénération naturelle de ces essences. *Ecol. Medit*. 10 : 147-169.

Roques A., Skrzypczyńska, M. 2003. Seed-infesting chalcids of the genus *Megastigmus* Dalman (Hymenoptera: Torymidae) native and introduced to Europe: taxonomy, host specificity and distribution. *J. Natur. Hist.* 37: 127-238.

Rouault G., Cantini R., Battisti A. & Roques A., 2005. Geographic distribution and ecology of two species of *Orsillus* (Hemiptera: Lygaeidae) associated with cones of native and introduced Cupressaceae in Europe and the Mediterranean Basin. *Can. Entomol*. 137: 450-470.

Saint-Germain M., Drapeau P. & Buddle C.M., 2008. Persistence of pyrophilous insects in fire-driven boreal forests: population dynamics in burned and unburned habitats. *Diversity Distrib.* 14: 713-720.

Silvertown J., 1980. The evolutionary ecology of the mast seeding in trees. *Biol. J. Linn. Soc*. 14: 235-250.

Turgeon J., Roques A. & De Groot P., 1994. Insect fauna of coniferous seed cones: diversity, host plant interactions, impact and management. *Ann. Rev. Entomol*. 39: 175-208.

Verheyen K., Adriaenssens S., Gruwez R., Michalczyk I.M., Ward L.K., Rosseel Y., Van den Broeck A. & Garcıá D., 2009. *Juniperus communis*: victim of the combined action of climate warming and nitrogen deposition? *Plant Biol*. 11: 49-59.

Wade D. D., Debarr G. L., Barber L. R & Manchester E., 1989. Prescribed fire – a cost effective control for white pine cone beetle. *In:* MacIver D.C., Auld H. & Whitewood R (eds), *Proceedings of the 10th Conference on Fire and Forest Meteorology*, Ottawa, Ontario, Canada: 117-121.

# Rôles potentiels de la symbiose mycorhizienne dans la conservation des populations méditerranéennes de Genévrier thurifère (*Juniperus thurifera* L.)

## *Mycorrhizal symbiosis potentialities to improve the management performances of* Juniperus thurifera *L. populations in Mediterranean areas*

H. SANGUIN[1], S. KHOULISSA[2], L. ZARIK[2], H. GRYTA[3, 4], A. BOUMEZZOUGH[2], L. OUAHMANE[2], M. HAFIDI[2], A. OUHAMMOU[2], Y. PRIN[1], B. DREYFUS[5], J. CAMBECÈDES[6], L. MICHÉ[7], T. GAUQUELIN[8] & R. DUPONNOIS[5,*]

1. Cirad, Umr 113 Cirad/Inra/Ird/Sup-Agro/UM2
Laboratoire des symbioses tropicales et méditerranéennes (Lstm)
Campus international de Baillarguet, Montpellier, France

2. Laboratoire écologie & environnement (Unité associée au Cnrst, Urac 32)
Faculté des sciences Semlalia, Université Cadi Ayyad, Marrakech, Maroc

3. Université de Toulouse, Laboratoire évolution et diversité biologique (Edb)
Umr 5174 Cnrs, Ups, Enfa, 118, route de Narbonne
31062 Toulouse, France

4. Cnrs, Umr 5174 Edb, 31062 Toulouse, France

5. Ird, Umr 113 Cirad/Inra/Ird/Sup-Agro/UM2
Laboratoire des symbioses tropicales et méditerranéennes (Lstm)
Campus international de Baillarguet, Montpellier, France

6. Conservatoire botanique national des Pyrénées et de Midi-Pyrénées
Syndicat mixte, Conservatoire botanique pyrénéen, Vallon de Salut, BP 315
65203 Bagnères-de-Bigorre cedex

7. Institut méditerranéen de biodiversité et d'écologie marine et continentale
Umr 7263 Cnrs, 237 Ird, Université d'Aix-Marseille
Centre Saint-Jérôme, case 421, 13397 Marseille cedex 20

8. Institut méditerranéen de biodiversité et d'écologie marine et continentale
Umr 7263 Cnrs, 237 Ird, Université d'Aix Marseille, Centre Saint-Charles, case 4
Bâtiment Sciences naturelles, 1er étage, 3, place Victor-Hugo, 13331 Marseille cedex 03

* Correspondant :
Tél. : 33 (0)4 67 59 37 86
Fax : 33 (0)4 67 59 38 02
E-mail : Robin.Duponnois@ird.fr
http://www.mpl.ird.fr/lstm/

**Résumé**

*Cet article de synthèse a pour principaux objectifs de rassembler des connaissances concernant le statut mycorhizien des espèces du genre* Juniperus *et plus particulièrement celui de* J. thurifera*. Les résultats présentés mettent en exergue le manque évident de connaissances scientifiques sur le rôle de la symbiose mycorhizienne dans l'écologie de cette essence forestière. Toutefois et malgré ces lacunes, quelques observations permettent d'envisager une valorisation*

**Mots clés :** *Cupressaceae*, *Juniperus*, symbiose mycorhizienne, plantes nurses, diversité, revégétalisation.

**Keywords:** *Cupressaceae*, *Juniperus*, mycorrhizal symbiosis, nurse plant, diversity, afforestation programme.

*performante de la symbiose mycorhizienne dans les opérations de gestion des formations à* Juniperus *que ce soit via la mycorhization contrôlée ou la gestion de la flore accompagnatrice en identifiant les plantes nurses les plus efficaces. Des exemples de validation de ces techniques d'ingénierie écologique sont présentés avec une autre Cupressacée, le Cyprès de l'Atlas, en soulignant les possibilités de transfert au modèle* Juniperus*. Afin de valoriser au mieux la symbiose mycorhizienne dans la mise en place de plan de gestion des formations à* Juniperus*, il sera nécessaire d'acquérir des connaissances beaucoup plus conséquentes au niveau de la structure du cortège mycorhizien associé à* J. thurifera *et de son rôle écologique dans les différents stades de développement de l'arbre.*

**Abstract**

*This synthesis has as main objectives to gather knowledge concerning the mycorrhizal status of* Juniperus *species and more particularly that of* J. thurifera*. The results highlight the obvious lack of scientific knowledge on the role of mycorrhizal symbiosis in the ecology of this forest species. However, despite these scientific gaps, some observations can be considered to introduce the mycorrhizal symbiosis in afforestation programs with* Juniperus *either through controlled mycorrhization or accompanying vegetation management by identifying the most effective nurse plants. Examples of validation of these ecological engineering techniques are presented with another Cupressacée,* Cupressus atlantica*, highlighting the possibilities of transferring these cultural techniques to the model* Juniperus*. To ensure a positive impact of the mycorrhizal symbiosis in* Juniperus *management plans, it is necessary to learn much more concerning the structure of the mycorrhizal communities associated with* J. thurifera *and their ecological roles in the different stages of tree development.*

## Introduction

La désertification désigne la dégradation des terres dans les zones arides, semi-arides et subhumides consécutive aux impacts conjugués des activités humaines et, dans une moindre mesure, des crises climatiques (Francis & Thornes 1990). Les premiers symptômes de cette dégradation sont enregistrés au niveau du couvert végétal avec une altération de sa densité et de sa composition floristique avec pour principales conséquences, une baisse significative des capacités de reproduction et de régénération des espèces végétales les plus exploitées (exemple : essences forestières). De plus et du fait que les sols ne bénéficient plus du rôle protecteur de la strate végétale, ces derniers sont fragilisés et soumis aux effets de l'érosion hydrique et éolienne entraînant à terme une diminution des teneurs en éléments minéraux, en matière organique, de la stabilité structurale et de la porosité du sol (Garcia *et al.* 1997 ; Albaladejo *et al.* 1998). Ce processus de désertification engendre également des modifications au niveau des caractéristiques génétiques et fonctionnelles de la microflore du sol aboutissant à des dysfonctionnements dans le déroulement des principaux cycles biogéochimiques telluriques (N, P) et ainsi une baisse globale de la fertilité du sol (Requena *et al.* 2001). Parmi les composantes microbiennes particulièrement affectées par ces dégradations figurent les champignons mycorhiziens. L'organe appelé « mycorhizes » résulte d'une union durable entre les racines de la majorité des végétaux et certains champignons symbiotiques du sol, basée sur des échanges réciproques, et constitue un élément essentiel dans le continuum sol/plantes/microorganismes. En effet, la majeure partie des espèces végétales ne peut se développer sans l'établissement d'une symbiose mycorhizienne fonctionnelle au sein de leur système racinaire (Smith & Read 2008). La composante fongique de cette association symbiotique améliore significativement le développement de la plante dans des conditions de carences minérales (plus particulièrement en phosphore, principale carence enregistrée dans les sols dégradés méditerranéens, au même titre que l'azote), de déficit hydrique et permet également à la plante de mieux résister aux attaques de pathogènes (Barea *et al.* 1997 ; Schreiner *et al.* 1997 ; Bethlenfalvay & Linderman 1992). La symbiose mycorhizienne joue aussi un rôle majeur dans les mécanismes biologiques régissant l'évolution spatio-temporelle, la diversité spécifique, la stabilité et la productivité des écosystèmes végétaux terrestres (Odum 1959 ; Van der Heijden *et al.* 1998). La maîtrise de la symbiose mycorhizienne et son introduction dans les itinéraires sylvicoles apparaît donc comme un outil performant susceptible d'améliorer les performances des opérations de reboisement de sites dégradés mais également de conserver et valoriser une biodiversité en ressources ligneuses en optimisant la productivité et la stabilité de formations forestières fragilisées par une surexploitation excessive consécutive à une pression anthropique exacerbée.

Le Genévrier thurifère (*Juniperus thurifera* L.) appartient à la famille des Cupressacées et est considéré comme une espèce emblématique des montagnes du bassin ouest-méditerranéen. Dans le nord du pourtour méditerranéen (Italie, France, Espagne) et jusqu'au début des années 1960, les formations de Genévrier ont été particulièrement réduites, voire décimées, et ce n'est que relativement récemment que les programmes de conservation ont permis de contribuer à la protection durable des thuriféraies. Par contre, en Afrique du Nord (Algérie, Maroc), cette essence forestière est considérée comme menacée d'extinction du fait principalement d'un impact anthropique sévère (pratiques culturales inadaptées, pression pastorale, etc.) qui limite les processus de régénération naturelle de l'espèce et en conséquence accélère le vieillissement des peuplements (Gauquelin *et al.* 1999). Au Maroc, le Genévrier thurifère est considéré comme l'essence forestière ayant la plus régressée en affichant un recul de 90 % par rapport à son aire potentielle de répartition. Dans ces régions, cette espèce forme des peuplements clairs sur des terrains dénudés et rocheux (figure 1). Dans ces conditions drastiques où les phénomènes d'érosion diminuent la fertilité des sols conjugués à une surexploitation de cette ressource ligneuse et une forte pression pastorale, cette situation apparaît comme un terrain privilégié pour valoriser les propriétés de la symbiose mycorhizienne au profit du développement durable de ces thuriféraies en parallèle à la mise en œuvre de mesures visant à sauvegarder ces écosystèmes et à sensibiliser les populations à la nécessité de cette conservation. Toutefois les connaissances portant sur le statut mycorhizien de *J. thurifera* et son impact sur le développement de cette essence (plus particulièrement au niveau des stades juvéniles) restent encore très insuffisantes pour pouvoir valoriser cette symbiose au sein de plans de conservation de cet arbre, plus particulièrement en Afrique du Nord.

Les principaux objectifs de cet article de synthèse sont : (1) de présenter les connaissances scientifiques décrivant le statut mycorhizien de *J. thurifera* et (2) de proposer des stratégies d'ingénierie écologique, déjà validées pour d'autres essences forestières méditerra-

Photo : Ali Boumezzough

**Figure 1 – Peuplement de *Juniperus thurifera* de Tizrag (Haut Atlas central) localisée à 2 700 m d'altitude et à 75 km au sud de Marrakech (Maroc).**

***Figure 1 – Stand of* Juniperus thurifera *at Tizrag (Central High Atlas) located at 2,700 m altitude and 75 km south of Marrakech (Morocco).***

néennes telles que le Cyprès de l'Atlas (Duponnois *et al.* 2011), afin de valoriser la symbiose mycorhizienne comme outil biologique favorisant le développement de cette espèce forestière dans des conditions hostiles (carences en éléments nutritifs, déficit hydrique, etc.) en favorisant plus particulièrement les processus écologiques impliqués dans la régénération naturelle de cette espèce.

## Le statut mycorhizien de *J. thurifera*

Les données disponibles sur le statut mycorhizien des espèces appartenant au genre *Juniperus* sont relativement éparses dans la littérature scientifique. Le tableau 1 récapitule les principaux types de symbioses mycorhiziennes observés chez ce genre. Les deux types principaux de symbiose mycorhizienne (symbiose ectomycorhizienne et symbiose mycorhizienne à arbuscules) ont été fréquemment observés au niveau des racines des différentes espèces de *Juniperus* étudiées. Cette double symbiose est détectée chez certaines essences forestières comme *Alnus* (Molina *et al.* 1994), *Populus* (Lodge 1989 ; Lodge & Wentworth 1990), *Salix* (Lodge 1989 ; Dhillion 1994), *Eucalyptus* (Lapeyrie & Chilvers 1985 ; Adjoud-Sadadou & Halli-Hargas 2000) et *Acacia* (Founoune *et al.* 2002). Elle a également été signalée chez des espèces supposées « ectotrophes strictes » comme *Abies* (Cázares & Trappe 1993), *Pseudotsuga* et *Tsuga* (Cázares & Smith 1996). La présence de ces types de symbioses mycorhiziennes permet principalement à la plante hôte de mieux utiliser les ressources du milieu en fonction du stade d'évolution du couvert arboré mais également au cours de la saison en fonction des conditions climatiques (Van der Heijden & Vosatka 1999 ; Van der Heijden 2001). Les facteurs biotiques et abiotiques régissant cette succession dans la composition du cortège mycorhizien associé à certaines espèces de *Juniperus* et son impact sur le développement de la plante selon les caractéristiques environnementales ont été rarement étudiés. Concernant *J. thurifera*, des travaux ont été entrepris par Gryta & Gardes (résultats non publiés) afin de (1) décrire le statut mycorhizien de cette espèce, (2) déterminer la dynamique de la mycorhization au cours du développement du Genévrier et sa dépendance vis-à-vis d'un type de symbiose en fonction de l'âge de l'arbre et (3) rechercher une dynamique annuelle saisonnière de la mycorhization. Les résultats ont confirmé la présence des deux types de symbiose chez *J. thurifera*. Les taux de mycorhization par les champignons à arbuscules et les champignons ectomycorhiziens étaient particulièrement élevés suggérant ainsi l'importance de la symbiose mycorhizienne dans le développement de l'arbre. La présence de structures mycorhiziennes a été détectée quel que soit l'âge des individus et il a pu être démontré que l'intensité de l'ectomycorhization des racines augmentait avec l'âge de l'arbre alors que cette tendance n'a pas été observée avec les champignons mycorhiziens à arbuscules. Une dynamique saisonnière de l'établissement de la symbiose ectomycorhizienne a également été décrite. Les ectomycorhizes se forment au printemps (fin avril-début mai) sur de jeunes racines, se nécrosent ensuite pendant la sécheresse estivale puis dégénèrent en hiver. Concernant les champignons à arbuscules, cette dynamique de colonisation n'a pas été observée mais, par contre, leur activité est variable en fonction de la saison avec des pics au printemps et en automne. Ces variations saisonnières dans les caractéristiques de la colonisation et de l'activité mycorhizienne sont à mettre en relation avec les rythmes d'activité des racines montrant ainsi l'importance de la symbiose mycorhizienne pour le développement de la plante.

**Tableau 1 – Principaux types de symbioses mycorhiziennes observés chez les espèces du genre *Juniperus*.**

***Table 1 – Main types of mycorrhizal symbioses reported in the* Juniperus *genus.***

| Espèces | Statut mycorhizien | |
|---|---|---|
| | Endotrophe | Ectotrophe |
| *J. communis* L. | x | x |
| *J. nana* Willd (*J. communis* spp. nana) | | x |
| *J. scopularum* Sarg. | x | x |
| *J. virginia* L. | | x |
| *J. macrocarpa* Sibth. & Sm | | x |
| *J. vulgaris* Ray. | | x |
| *J. rigida* Sied. & Zucc. | | x |
| *J. thurifera* L. | x | x |
| *J. chinensis* L. | x | |
| *J. monosperma* Sarg. | x | |
| *J. occidentalis* Hook. | x | |
| *J. osteosperma* Little | x | |
| *J. oxycedrus* L. | x | |
| *J. phoenica* L. | x | |
| *J. procera* Hochst | x | |
| *J. sabina* L. | x | |

## Exemples de stratégies de gestion du potentiel mycorhizien des sols pour optimiser le développement de *Juniperus* spp.

Dans la littérature, il n'existe que très peu de données permettant d'établir la dépendance mycorhizienne des espèces du genre *Juniperus*. La dépendance mycorhizienne représente l'impact de l'établissement de la symbiose mycorhizienne sur la croissance de la plante par rapport à celle de la plante non mycorhizée (Plenchette *et al.* 1983). Roldan *et al.* (2006) ont montré que l'inoculation d'un complexe de champignons mycorhiziens à arbuscules (*Glomus intraradices, G. deserticola* et *G. mosseae*) stimulait significativement la croissance de jeunes plants de *J. oxycedrus* en conditions contrôlées. Cet effet positif de l'inoculation était accompagné par une amélioration significative de la nutrition en phosphore de la plante. Ils ont ainsi calculé que, après quatorze mois de culture, la dépendance mycorhizienne de *J. oxycedrus* était de 57,8 %, valeur comparable à celles obtenues avec des légumineuses dont la croissance est étroitement liée à l'établissement de la symbiose mycorhizienne (Duponnois *et al.* 2001). En conséquence, cette espèce de *Juniperus* peut être considérée comme hautement dépendante de la symbiose mycorhizienne pour lui assurer une croissance optimale (Habte & Manjunath 1991). Toutefois, il n'existe pas à notre connaissance de résultats mettant en exergue l'importance de l'inoculation mycorhizienne dans le cadre d'opérations de reboisement ou de gestion durable des formations à *Juniperus*.

En foresterie, deux principales stratégies d'ingénierie écologique peuvent être entreprises afin d'améliorer le potentiel mycorhizien des sols et ainsi permettre à la symbiose mycorhizienne de développer ses propriétés au profit du développement de la plante hôte : (1) la « mycorhization contrôlée » qui repose sur l'identification de souches fongiques performantes quant à leur effet sur un paramètre donné (exemple : effet sur la croissance de la plante hôte) qui seront ensuite inoculées en masse dans le substrat de culture au cours de la phase de culture en pépinière pour ensuite transplanter les plants mycorhizés dans le site à reboiser (Duponnois *et al.* 2007) ; (2) l'adoption de pratiques culturales (exemple : utilisation de plantes nurses) pour améliorer le potentiel mycorhizien des sols en favorisant l'abondance et la diversité des propagules mycorhiziennes du site à revégétaliser (Ouahmane *et al.* 2006). Ces pratiques ont été testées expérimentalement au Maroc avec une autre Cupressacée, *Cupressus atlantica* (Ouahmane *et al.* 2007 ; Duponnois *et al.* 2011).

### La mycorhization contrôlée du Cyprès de l'Atlas (*Cupressus atlantica*)

Une expérience de mycorhization contrôlée a été mise en place dans la vallée de NFis (8º 17' 02'' W, 31º 54' 34'' N) en utilisant des jeunes plants de Cyprès préalablement inoculés par un complexe de champignons mycorhiziens à arbuscules. Les résultats ont montré que, après six mois de culture en pépinière, les plants mycorhizés présentaient une croissance significativement plus importante que celle des plants non mycorhizés (tableau 2).

**Tableau 2 – Effet de l'inoculation par un complexe de champignons mycorhiziens sur la croissance et la nutrition minérale de plants de Cyprès de l'Atlas (*Cupressus atlantica*) après 6 mois de culture en pépinière. D'après Ouahmane *et al.* (2007).**

***Table 2 – Effect of the mycorrhizal inoculation on the growth and mineral nutrition of Cypress plants (*Cupressus atlantica*) after 6 months of culture in nursery conditions. From Ouahmane* et al. *(2007).***

| Paramètres mesurés | Traitements | |
|---|---|---|
| | Témoin | + Complexe mycorhizien |
| Hauteur (cm) | 12,3 (0,46)[1] a[2] | 16,1 (0,71) b |
| Biomasse aérienne (mg poids sec) | 1 163 (20) a | 1 893 (264) b |
| Biomasse racinaire (mg poids sec) | 740 (64) a | 1 183 (132) b |
| Biomasse totale (mg poids sec) | 1 903 (62) a | 3 077 (392) b |
| Teneur en P des parties aériennes (mg $g^{-1}$ poids sec) | 0,09 (0,01) a | 0,167 (0,03) b |
| Teneur en N des parties aériennes (mg $g^{-1}$ poids sec) | 2,23 (0,23) a | 3,50 (0,1) b |
| Taux de mycorhization (%) | - | 41,2 (2,3) |

1. Erreur standard.
2. Les valeurs d'une même ligne suivies par une même lettre ne sont pas significativement différentes d'après le test de Newman-Keul ($p < 0,05$).

**Figure 2 – Évolution de la croissance en hauteur des plants de Cyprès de l'Atlas au cours de la première année de plantation (d'après Ouahmane *et al.* 2007). ■ Plants mycorhizés, ❑ Plants non mycorhizés. * : Différence significative d'après le test de Newman-Keul (p < 0,05).**

***Figure 2 – Evolution of the height growth of seedlings Cypress Atlas during the first year of plantation (From Ouahmane* et al. *2007). ■ Mycorrhized plants, ❑ Non mycorrhized plants. * : Significantly different according to the Newman-Keul's test (p<0.05).***

Photos : Robin Duponnois

**Figure 3 – Plants de Cyprès de l'Atlas inoculés (B) ou non inoculés (A) après une année de plantation en milieu naturel. D'après Ouahmane *et al.* (2007).**

***Figure 3 – Cypress Plants not inoculated (A) or inoculated with mycorrhizal fungi (B) after one year of plantation in field conditions. From Ouahmane* et al. *(2007).***

Lors du transfert au champ, la mortalité des plants mycorhizés était beaucoup plus faible (17 %) que celle enregistrée chez les plants non mycorhizés (37 %). L'inoculation mycorhizienne a stimulé la croissance des plants ainsi que leur nutrition minérale (figures 2, 3, tableau 3). Il est à noter que les plants mycorhizés ont connu une meilleure reprise de croissance en fin de saison sèche suggérant la capacité des plants inoculés à utiliser de manière optimale la ressource en eau des sols.

## La gestion du potentiel mycorhizien des sols par la valorisation des ressources végétales pionnières : exemple des plantes nurses

Dans les écosystèmes méditerranéens, la strate arbustive est organisée sous forme de « poches » de végétation qui matérialisent des îlots de fertilité chimique et biologique au niveau du sol (Garner & Steinberger 1989). Ce type de végétation améliore l'infiltration

**Tableau 3 – Effet de l'inoculation mycorhizienne sur la nutrition minérale des plants de Cyprès de l'Atlas après un an de plantation. D'après Ouahmane *et al.* (2007).**

***Table 3 – Effect of the mycorrhizal inoculation on the mineral nutrition of Cypress plants after one year of plantation. From Ouahmane* et al. *(2007).***

| Paramètres mesurés | Traitements | |
|---|---|---|
| | Témoin | + Complexe mycorhizien |
| Teneur en N des parties aériennes (mg $g^{-1}$ poids sec) | 2,01 (0,13)[1] a[2] | 3,66 (0,19) b |
| Teneur en P des parties aériennes (mg $g^{-1}$ poids sec) | 0,077 (0,004) a | 0,114 (0,004) b |

1. Erreur standard.
2. Les valeurs d'une même ligne suivies par une même lettre ne sont pas significativement différentes d'après le test de Newman-Keul ($p < 0,05$).

de l'eau dans le sol, la teneur en matière organique, etc. (Valladares & Pugnaire 1999) mais a également un impact positif sur la régénération naturelle des ressources forestières du milieu (Bashan *et al.* 2009). Cette interaction positive interspécifique est généralement expliquée par les caractéristiques abiotiques du microenvironnement qu'offrent ces îlots de fertilité aux jeunes régénérations (faibles variations de température, régulation de l'humidité du sol, etc.). Plus récemment, il a été démontré que les espèces arbustives impliquées facilitaient la multiplication des propagules mycorhiziennes et ainsi contribuaient au maintien d'un haut potentiel mycorhizien susceptible d'améliorer le développement du jeune plant de l'essence considérée (Duponnois *et al.* 2011). Après avoir identifié les espèces arbustives accompagnatrices du Cyprès de l'Atlas dans la vallée de NFis (Haut Atlas, Maroc), des essais de coculture *C. atlantica/Lavandula stoechas* ont été mis en place. Les résultats ont montré que la présence de la Lavande à proximité de jeunes plants de Cyprès stimulait la croissance de l'arbre mais également favorisait le biofonctionnement du sol (Duponnois *et al.* 2011). Ces arbustes (appelés également « plante nurse » en raison de leur impact sur la jeune régénération de l'essence forestière) pourraient donc constituer des vecteurs de propagation de symbiotes fongiques dans le sol et assurer ainsi un maintien durable de la productivité et de la stabilité de la plantation. Il a été suggéré que ce type d'interaction plante/plante pouvait être également impliqué dans les phénomènes de régénération naturelle des espèces du genre *Juniperus*. En effet, Fisher & Gardner (1995) ont observé dans les montagnes d'Oman que la germination de jeunes plants de *J. excelsia* (espèce proche de *J. thurifera*) était assujettie à la présence d'une plante nurse en émettant l'hypothèse que cette dernière matérialisait un environnement favorable à la croissance du jeune plant de *Juniperus* (sol plus profond, réduction de la température). Chez *J. thurifera* et au Maroc, il a été rapporté que les germinations étaient plus abondantes au sein de touffes de xérophytes épineux en coussinet (Montès 1999). Toutefois le rôle de la symbiose mycorhizienne dans ce type d'interaction *Juniperus*/plante nurse n'a pas été mentionné.

## Conclusion

Malgré le peu de connaissances scientifiques acquises sur le rôle de la symbiose mycorhizienne dans le développement des espèces de *Juniperus* et plus particulièrement dans les phénomènes de régénérations naturelles, les quelques résultats disponibles permettent d'encourager l'introduction et la valorisation de la composante mycorhizienne dans les itinéraires culturaux à mettre en place pour conserver durablement les thuriféraies sur le pourtour méditerranéen au nord comme au sud. Afin d'atteindre cet objectif, il sera nécessaire d'entreprendre des études pour :

– décrire la structure des communautés fongiques composant le cortège mycorhizien à différents stades de développement de l'arbre ;
– analyser le rôle écologique et fonctionnel de la double symbiose (symbiose ectomycorhizienne/symbiose mycorhizienne à arbuscules) tant au niveau de la croissance de l'arbre que de son impact sur le biofonctionnement du sol ;
– évaluer le rôle de la flore accompagnatrice du Genévrier thurifère dans les phénomènes de régénération naturelle et plus particulièrement au niveau de son impact sur l'évolution spatio-temporelle des communautés

de champignons mycorhiziens. L'identification des plantes nurses les plus performantes permettra d'établir des plans de gestion de la strate arbustive présente dans les formations à Genévrier thurifère ;

– entreprendre des opérations de mycorhization contrôlée dans les milieux les plus dégradés afin de contribuer à la valorisation et la conservation de cette essence forestière en la réintroduisant dans les zones où elle a été éradiquée.

## Références

Adjoud-Sadadou D. & Halli-Hargas R., 2000. Occurrence of arbuscular mycorrhiza on aged Eucalyptus. *Mycorrhiza* 9: 287-290.

Albaladejo J., Martinez-Mena M., Roldan A. & Castillo V., 1998. Soil degradation and desertification induced by vegetation removal in a semiarid environment. *Soil Use Manag.* 14: 1-5.

Barea J.M., Azcon-Aguilar C. & Azcon R., 1997. Interactions between mycorrhizal fungi and rhizosphere micro-organisms within the context of sustainable soil-plant systems. *In*: Gange A.C., Brown V.K. (eds.), *Multitrophic Interactions in TerrestrialSystems*. Cambridge, Blackwell Science: 65-77.

Bashan Y., Salazar B., PuenteMa E., Bacilio M. & Linderman R., 2009. Enhanced establishment and growth of giant cardon cactus in an eroded field in the Sonoran Desert using native legume trees as nurse plants aided by plant growth-promoting microorganisms and compost. *Biol. Fert. Soils* 45: 585-594.

Bethlenfalvay G.J. & Linderman R.G., 1992. *Mycorrhizae in Sustainable Agriculture*. Madison, ASA Special Publication, WI, 124 p.

Cázares E. & Trappe J.M., 1993. Vesicular endophytes in roots of the Pinaceae. *Mycorrhiza* 2: 153-156.

Cázares E. & Smith J.E., 1996. Occurrence of vesicular-arbuscular mycorrhizae in *Pseudotsuga menziesii* and *Tsuga heterophylla* seedlings grown in Oregon Coast Range soils. *Mycorrhiza* 6: 65-67.

Dhillion S.S., 1994. Ectomycorrhizae, arbuscular mycorrhizae, and *Rhizoctonia* sp. of alpine and boreal Salix spp. in Norway. *Arct. Alp. Res.* 26: 304-307.

Duponnois R., Plenchette C. & Bâ A.M., 2001. Growth stimulation of seventeen fallow leguminous plants inoculated with *Glomus aggregatum* in Senegal. *Eur. J. Soil Biol.* 37: 181-186.

Duponnois R., Plenchette C., Prin Y., Ducousso M., Kisa M., Bâ A.M. & Galiana A., 2007. Use of mycorrhizal inoculation to improve reafforestation process with Australian Acacia in Sahelian ecozones. *Ecol. Eng.* 29: 105-112.

Duponnois R., Ouahmane L., Kane A., Thioulouse J., Hafidi M., Boumezzough A., Prin Y, Baudoin E., Galiana A. & Dreyfus B., 2011. Nurse shrubs increased the early growth of Cupressus seedlings by enhancing below ground mutualism and microbial soil functionalities. *Soil Biol. Biochem.* 43: 2160-2168.

Fisher M. & Gardner A.S., 1995. The status and ecology of a *Juniperus excelsia* subsp. *polycarpus* woodland in the northern mountains of Oman. *Vegetatio* 119: 33-51.

Founoune H., Duponnois R. & Bâ A.M., 2002. Influence of the dual arbuscular endomycorrhizal / ectomycorrhizal symbiosis on the growth of *Acacia holosericea* in glasshouse conditions (A. Cunn. ex G. Don). *Ann. For. Sci.* 59: 93-98.

Francis D.F. & Thornes J.B., 1990. Matorral: erosion and reclamation. *In*: Albaladejo J., Stocking M.A., Diaz E. (eds.), *Soil Degradation and Rehabilitation in Mediterranean Environmental Conditions*. Csic, Spain, Murcia: 87-115.

Garcia C., Hernandez T., Roldan A. & Albaladejo L., 1997. Biological and biochemical quality of a semiarid soil after induced revegetation. *J. Environ. Qual.* 26: 1116-1122.

Garner W. & Steinberger Y., 1989. A proposed mechanism for the formation of fertile islands in the desert ecosystem. *J. Arid Environ.* 16: 257-262.

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.

Habte M. & Manjunath A., 1991. Categories of vesicular-arbuscular mycorrhizal dependency of host species. *Mycorrhiza* 1: 3-12.

Lapeyrie F.F. & Chilvers G.A., 1985. An endomycorrhiza-ectomycorrhizasuccession associated with enhanced growth of *Eucalyptus dumosa* seedlings planted in a calcareous soil. *New Phytol.* 100: 93-104.

Lodge D.J., 1989. The influence of soil moisture and flooding information of VA-endo- and ectomycorrhizae in Populus and Salix. *Plant Soil* 117: 243-253.

Lodge D.J. & Wentworth T.R., 1990. Negative associations among VA-mycorrhizal fungi and some ectomycorrhizal fungi inhabiting the same root system. *Oikos* 57: 347-356.

Molina R., Myrold D. & Li C.Y., 1994. Root symbiosis of red alder: technological opportunities for enhanced regeneration and soil improvement. *In*: Hibbs D.E., DeBell D.S., Tarrant R.F. (eds), *The biology and management of red alder*. Corvallis, Ore., Oregon State University Press: 23-46.

Montes N., 1999. Dynamique et gestion d'une formation arborée à Genévrier thurifère (*Juniperus thurifera* L.) des Atlas marocains : le cas de la vallée de l'Azzaden. Thèse Université Toulouse 2, Toulouse, France, 234 p.

Odum E.P., 1959. *Fundamentals of Ecology*. Philadelphia, Saunders, 546 p.

Ouahmane L., Hafidi M., Kisa M., Boumezzouch A., Thioulouse J. & Duponnois R., 2006. *Lavandula* species as a source of arbuscular mycorrhizal propagules facilitating the early development of *Cupressus arizonica*. *Appl. Soil Ecol.* 34: 190-199.

Ouahmane L., Hafidi M., Thioulouse J., Ducousso M., Kisa M., Prin Y., Galiana A., Boumezzough A. & Duponnois R., 2007. Improvement of *Cupressus atlantica* Gaussen growth by inoculation with native arbuscular mycorrhizal fungi. *J. Appl. Microbiol.* 103: 683-690.

Plenchette C., Fortin J.A. & Furlan V., 1983. Growth responses to several plant species to mycorrhizae in a soil of moderate P-fertility. I. Mycorrhizal dependency under field conditions. *Plant Soil* 70: 199-209.

Requena N., Perez-Solis E., Azcon-Aguilar C., Jeffries P. & Barea J.M., 2001. Management of indigenous plant-microbe symbioses aids restoration of desertified ecosystems. *Appl. Environ. Microbiol.* 67: 495-498.

Roldan A., Carrasco L. & Caravaca F., 2006. Stability of dessicated rhizosphere soil aggregates of mycorrhizal *Juniperus oxycedrus* grown in a desertified soil amended with a composted organic residue. *Soil Biol. Biochem.* 38: 2722-2730.

Schreiner R.P., Mihara K.L., McDaniel H. & Bethlenfalvay G.J., 1997. Mycorrhizal fungi influence plant and soil functions and interactions. *Plant Soil* 188: 199-209.

Smith S. & Read J., 2008. *Mycorrhizal symbiosis*. Ed. Hardcover, 800 p.

Stahl E., 1900. Der Sinn der Mycorhizenbildung. *Jahrb. Wiss. Bot.* 34: 539-668.

Valladares F. & Pugnaire F.I., 1999. Tradeoffs between irradiance capture and avoidance in semiarid environments assessed with a crown architecture model. *Ann. Bot.* 83: 459-469.

Van der Heijden M.G.A., 2001. Differential benefits of arbuscular mycorrhizal and ectomycorrhizal infection of *Salix repens*. *Mycorrhiza* 10: 185-193.

Van der Hejden M.G.A., Klironomos J.N., Ursic M., Moutoglis P., Streitwolf-Engel R., Boller T., Wiemken A. & Sanders I.R., 1998. Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. *Nature* 396: 69-72.

Van der Heijden M.G.A. & Vosatka M., 1999. Mycorrhizal associations of *Salix repens* L. communities in succession of dune ecosystems. II. Mycorrhizal dynamics and interaction of ectomycorrhizaland arbuscular mycorrhizal fungi. *Can. J. Bot.* 77: 1833-1841.

# Effect of age and planting site on survival and growth of seedlings of *Juniperus thurifera* L.

## *Effet de l'âge et du site de plantation dans la survie et la croissance des plants de* Juniperus thurifera *L.*

L.F. BENITO-MATÍAS*, N. HERRERO SIERRA, J. L. NICOLÁS, J. L. PEÑUELAS RUBIRA

CNRGF « El Serranillo », MMAMR. Ctra. Fontanar Km 2. Guadalajara, Spain

Tel.: +34 949 212651. E-mail: lusfbm@gmail.com

* (contact person/personne de contact)

**Résumé**

*L'objectif de cette étude était de comparer la survie et la croissance des plants de* Juniperus thurifera *d'une saison de croissance cultivés dans des conteneurs de deux capacités (200 ml et 300 ml) à des plants de deux saisons de croissance cultivés dans une seule taille de conteneur (300 ml). Les plants ont été cultivés en 2006 et 2007 à partir du même lot de semences et suivant le même schéma annuel de fertilisation. Ainsi une dose de 135,05 mg de N a été appliquée pour les plants d'un an et une dose de 271 mg de N pour les plants de deux ans. Les plants ont été transplantés en février 2008 dans deux sites localisés à Monreal del Campo (Teruel) et Buenhache de la Sierra (Cuenca) pour étudier leur survie et leur développement. La survie au cours de la première année était de 100 % dans tous les traitements à Monreal del Campo, tandis qu'à Buenhache la mortalité des plants d'un an cultivés dans des conteneurs de 300 ml a été significativement plus élevée que dans les deux autres traitements. Le choix du site de plantation et du type de culture des plants influence donc la réussite du reboisement.*

**Abstract**

*The aim of this study was to compare the survival and growth of 1-year old seedlings of* Juniperus thurifera *grown in containers in two volumes (200 ml and 300 ml)* versus *2-years old plants grown in containers of 300 ml of volume. Seedlings were cultivated from the same batch of seeds. In 2006, fertilization based in final nitrogen contribution, were implemented. Each seedling received a total of 135,05 mg of N, and 271 mg of N. During 2007, the same fertilization was applicated. The plants were planted in February 2008 in two different planting sites in central Spain, located at Monreal del Campo (Teruel) and the Sierra Buenhache (Cuenca), to study their development. Survival during the first year was 100% in all treatments at Monreal del Campo, while mortality of 1-year old seedlings grown in containers of 300 ml was significantly higher than the two other treatments at Buenhache. An appropriate nursery culture and choice of planting site affects the success of reforestation.*

**Mots clés :** *Juniperus thurifera,* volume du conteneur, pépinière, reboisement

**Keywords:** *Juniperus thurifera,* volume container, nursery culture, reforestation

## Introduction

In dry and semi-arid Mediterranean environments, one of the factors which most influences the success of the planting, is the quality of the plant (Navarro *et al.* 1999; Jiménez *et al.* 2005). Plant quality is understood according to the combination of morphological and physiological characteristics which are quantitatively related to satisfactory plant performance in the field (Peñuelas & Ocaña 1996). Fertilization in the nursery of Mediterranean forest seedlings has received much

attention (Puértolas *et al.* 2003; Villar-Salvador *et al.* 2004; Villar-Salvador *et al.* 2005; Oliet *et al.* 2009). Nowadays, optimal fertilization is seen as a key factor for producing high quality seedling. Large, nutrient-rich seedlings generally grow and sometimes survive better than seedlings with the opposite traits in this species due to enhanced root growth capacity during the wet season.

The container volume significantly influences the growth of plants in nursery. Increased rooting cavity increases the rate of photosynthesis and growth seedlings, without significant alteration of the aerial root-mass ratio (Villar-Salvador *et al.* 2005). Seedlings grown in larger containers tend to have higher survival and growth than those produced in small cavities (Domínguez Lerena 1997; Villar-Salvador *et al.* 2001).

*Juniperus thurifera* L. is a dioecious tree of the Mediterranean basin and is poorly utilised in reforestation owing to its difficulty to germinate and grow under nursery conditions. It is distributed throughout south and southeastern France, Italy, Spain and North Africa. On the Iberian Peninsula it appears in highly continental climates, cold and dry, between 900-1200 m of altitude and in generally carbonated.

The aim of this paper is to contribute to the knowledge of the cultivation of juniper.

Specifically, we analyzed the influence of seedling age and volume container on seedlings outplanting performances using 3 stocktypes of juniper seedlings (1-year old growing in a container of 200 or 300 ml of volume *versus* 2 years-old growing in containers of 300 ml). In addition, we evaluated the influence of the environmental conditions of two planting sites on plants survival and growth.

## Materials and methods

Seeds from Central Spain collected in different places of Sistema Iberico the winter of 2004 were sown in a bed seed. Germinated

***Figure 1 – Distribution of Spanish juniper in Spain. Situation of planting sites: A: Monreal del Campo (Teruel); B: Buenhache de la Sierra (Cuenca).***

seedlings were transplanted to Forest Pot ® containers of 300 ml in January of 2006 (2-years old seedlings) and 200 ml or 300 ml in January of 2007 (1-year old seedlings) containing as substrate fertilized peat moss (Kekkila ®), both with a culture density of 387 plants m-2 and a socket opening of 15 cm-2. Seedlings were watered each two days. From June to October, fertilization (Hakaphos ®, of BASF, with NPK formulation 17-5-19) were applied weekly. Each age group at end of culture received the same level of N total amount: 135,05 mg to 1-year old seedlings and 271 mg to 2-years old seedlings.

Seedlings were outplanted in February of 2008 in two different planting site 90 kms far apart in a straight line located in Sistema Ibérico (Central Spain, see Figure 1). Site A were in Monreal del Campo (Teruel) at 1100 m.a.s.l. It was an old abandoned marginal land, clay loam soil, very grazed, with juniper woodland closer to 20 kms. Site B were in Buenhache de la Sierra (Cuenca, Spain) at 1360 m.a.s.l. It was a natural juniper woodland mixed with pines (*Pinus nigra*) planted as reforestation with clay soil. Climate is Mediterranean continental in both sites, but Monreal del Campo is drier and colder than Buenhache de la Sierra. Soil was ripped to 60 cm depth before planting. Soil samples was analyzed. Four 20 cm deep soil sample was collected per plot. These samples were combined into one single soil composite sample per plot. For each composite sample, soil pH, total nitrogen (N), total phosphorous (P), potassium (K), C/N ratio and water holding capacity were measured in three replicates (Table 1). Soil pH was determined in a 1: 2.5 mass: volume soil and water suspension. Total N was determined by Kjeldahl. For total P, we used the method Ammonium bicarbonate-DTPA test. Potassium was analyzed according flame photometer method. Waterholding capacity was evaluated by gravimetry.

Plant quality in ten randomly chosen seedlings was estimated at the end of the nursery culture in 2006 and 2007 for each container treatment. Morphological characterization like shoot height (length of the stem from the point of insertion of the cotyledons), shoot diameter (stem thickness at the cotyledon insertion point), shoot dry mass (SM), root dry mass (RM) and SM/RM ratio was measured. All plant fractions were rinsed in distilled water, and dried at 60 ºC for 48 h.

In February of 2008, a root growth capacity (RGC) test was set up. RGC has been considered as an indicator of plant vigour and in some studies it has been positively correlated with plant performance in the field. Ten plants per treatment were planted in 3 l pots (one plant per pot) containing perlite. Pots were randomly arranged in three complete blocks in an unheated greenhouse. After 28 days, seedlings were cleaned from the susbtrate and any new roots longer than 1 cm protruding out of the root plug were cut and their lenght measured (length of new roots-LR) and weighted (new roots mass-NRM).

The Fv/Fm ratio (maximum quantum efficiency of PSII photochemistry) was used to analyze stress response of 20 seedlings per treatment in middle summer (last week of July of 2008) in the field. Chlorophyll fluorescence was evaluated at middle day in 30 min dark-adapted leaves. For two years, in winter, after the summer drought, survival was counted.

The experimental design consisted in a randomized complete block design with three replicate blocks. Nursery blocks was maintained in the field. For each treatment studied, 135 per replicate block were planted. Distance between plants are one meter. The effect of stocktype and plant site was analysed by ANOVA followed by a least significant difference (LSD) test to detect statistical differences among the treatments.

***Table 1 – Climatic and soil characteristics of planting sites. A: Monreal del Campo (Teruel, Spain); B: Buenhache de la Sierra (Cuenca, Spain) Mean values are indicated. For soil parameters, different letters represent significantly different means (= 0,05).***

| Site plantation | Tm (° C) | Tmax (° C) | Tmin (° C) | Historic Rm (mm) | 2008-2010 Rm (mm) | Insolation (%) | pH Soil | N amount (% p/p) | P amount (mg/kg) | K amount (mg/kg) | C/N ratio | Water Holding Capacity (% p/p) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 10,7 | 24,0 | –2,3 | 373 | 451 | 79 | 8,13 | 0,1 a | 5 a | 112 a | 16 a | 31 b |
| B | 12,7 | 25,6 | –0,5 | 507 | 630 | 57 | 8,10 | 0,08 a | < 3 b | 85 b | 13 a | 51 a |

## Results

Morphological differences among treatments appeared in the nursery (Table 2). 2-years old stocktype plants were bigger than 1-year old, with more shoot height and shoot diameter. The container volume influenced the growth of plants in nursery. SM, RM and the SM/RM ratio of the seedlings was found significant differences. However there were no differences in growth between treatments in the field (data not shown).

After 28 days all plants produced new roots. The average number of new roots per plant that were longer than 1 cm ranged from 35 to 58. 2-years old seedlings produced significantly more new roots (LR and NRM) than the other treatments (Table 2).

After the 1st growing season in the field, seedlings in Monreal del Campo (Site A, Figure 2) exhibited higher survival, no effect of container volume nor plant age being observed, which indicates that all stock-seedlings were vigorous. However, a significant effect of localization on seedling survival was observed in Buenhache de la Sierra (Site B, Figure 2), but no influence of stocktype was found. The analysis of the soils of both sites has shown differences in fertility, water availability, and in total percentage of clays. In Buenhache de la Sierra, soils had less P, K and water-holding capacity, and the soil had higher clay particles (Table 1). There are significant differences in the rainfall per quarter collected in each locality, very marked in the second quarter of 2009 (Figure 3), but

***Table 2 – Characteristics of* Juniperus thurifera *seedlings in nursery (mean values ± standard error). Within each variable, different letters represent significantly different means (= 0,05).***

| Stocktype | Shoot Height (cm) n = 10 | Shoot Diameter (mm) n = 10 | Shoot Dry Mass (g) n = 10 | Root Dry Mass (g) n = 10 | Shoot/root ratio (%) n = 10 | Length New Roots (cm) n = 10 | New Roots Mass (g) n = 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1-year old + 200 ml | 11,70 ± 0,57 *a* | 2,63 ± 0,09 *a* | 1,59 ± 0,27 *a* | 1,09 ± 0,098 *a* | 1,46 *b* | 99,91 ± 10,12 *a* | 0,041 ± 0,002 *a* |
| 1-year old + 300 ml | 13,68 ± 0,6 *a* | 2,35 ± 0,18 *a* | 3,07 ± 0,65 *b* | 1,44 ± 0,16 *b* | 2,13 *a* | 123,45 ± 17,23 *a* | 0,036 ± 0,003 *a* |
| 2-year old + 300 ml | 17,45 ± 1,8 *b* | 3,48 ± 0,16 *b* | 4,15 ± 0,45 *c* | 2,49 ± 0,31 *c* | 1,66 *ab* | 208,73 ± 21,2 *b* | 0,126 ± 0,009 *b* |

***Figure 2 – Survival by stocktypes: 1y200ml: 1-year old cultivated in 200 ml; 1y300ml: 1-year old cultivated in 200 ml; 1y300ml: 2-years old cultivated in 300 ml. In grey: Seedlings planted in Monreal del Campo. In black: Seedlings planted in Buenhache de la Sierra. On the left, data for 2009. On the right, data for 2010. Within each variable, different letters represent significantly different means (= 0,05).***

***Figure 3 – Rainfall (mm) per quarter and year. Circle with continuous line corresponding with Monreal del Campo. Triangles with discontinuous line corresponding with Buenhache de la Sierra.***

no had correlation between survival and total rainfall (data not shown).

The ratio Fv/Fm ratio showed significant differences in the degree of water stress between the two locations but not between stocktypes. Seedlings of the site B experienced more stress than seedlings of site A (Figure 4).

***Figure 4 – Fv/Fm ratio. Stocktypes: 1y200ml: 1-year old cultivated in 200 ml; 1y300ml: 1-year old cultivated in 200 ml; 1y300ml: 2-years old cultivated in 300 ml. In grey: Seedlings planted in Monreal del Campo. In black: Seedlings planted in Buenhache de la Sierra. Within each variable, different letters represent significantly different means (= 0,05).***

## Discussion

Containers and fertilization amounts used in this study to produce 1-year old seedlings seem to be adapted to ecological restauration under semiarid conditions, as shown by the results of survival obtained at Monreal del Campo. Only in 1 year-old seedlings container volume significantly influenced the production of biomass, and had no effect on plant height, plant diameter and the production of new roots. So, to the juniper and other Mediterranean species, fertilization had a much more significant effect on the functional characteristics (best summer water status, greater capacity for growth) of plants than container volume (Puértolas *et al.* 2003; Villar-Salvador *et al.* 2004; Villar-Salvador *et al.* 2005). The small cost of increasing fertilization compared to that of increasing container capacity made fertilization much more cost-effective than increasing container capacity (Puértolas *et al*. 2011). Fertilization also had a possitive effect on survival in extremely drought conditions, like occurs in 2009 at Buenhache de la Sierra, within the smallest container stocktype. Increasing both age and container capacity increased seedling biomass. Larger seedlings with greater nutrient

reserves than are currently being used should be incorporated into Mediterranean plantations (Oliet *et al.* 2009), which would explain why 2-years old juniper seedlings (largest stock-type) had the greatest final size (data not shown) and survival after 2 years in the field. Larger container increase the shoot/root ratio. Higher shoot/root ratio means greater foliage and this suggests that these seedlings presented best carbon balances as observed in other species (Villar-Salvador *et al.* 2004; Villar-Salvador *et al.* 2005).

The production of new roots is considered as a measure of the strength and functional integrity of the plants (Simpson & Ritchie 1997). Stocktypes had different new roots production, but this didn't lead to differences of survival in field. We observed in our experiment field during the summer that all stocktypes suffered moderate levels of water stress and it was higher in Buenhache de la Sierra. As the main growth of the seedlings was in spring, and rainfall in this season during 2008 could be considered like normal, the high mortality in Buenhache observed should not only be attributed to drought. Perhaps the difference in the nature of soils between the two stations could be maximized the efect of drought. An explanation for the high mortality in this planting site could be given by the abundance of clay particles in soils combinated with lower summer rainfall. It had made more difficult the elongation of the roots and penetration into the ground, which slowed the uptake of both nutrients and water in this planting site.

Outplanting performance of Spanish juniper seedlings was related to age and plant site induced by good nursery practices. The survival percentages obtained in this study are relevant for the reforestation with *Juniperus thurifera* in semiarid continental Mediterranean. It is necessary to do more studies to understand the influence of soil conditions on the success and field development of thuriferous juniper.

## References


Domínguez Lerena S., 1997. La importancia del envase en la producción de plantas forestales. *Quercus* 134 (abril) : 34-37.

Jiménez M.N., Navarro F.B., Ripoll M.A., Bocio I. y de Simón E., 2005. Effect of shelter tubes on establishment and growth of *Juniperus thurifera* L. (*Cupressaceae*) seedlings in Mediterranean semiarid environment. *Annals of Forest Science* 62: 717-724.

Navarro R.M., Del Campo A.D., Alejano R., Álvarez L., 1999. Caracterización de calidad final de planta de encina (*Q. ilex* L.), alcornoque (*Q. suber* L.), algarrobo (*C. siliqua* L.) y acebuche (*O. europea* L. subsp. *sylvestris*) en cinco viveros en Andalucía. *Montes* 56 : 57-67.

Oliet J. A., Planelles R., Artero F., Valverde R., Jacobss D.F. & Segura M. L., 2009. Field performance of *Pinus halepensis* planted in Mediterranean arid conditions: relative influence of seedling morphology and mineral nutrition. *New Forest* 37, N-3: 313-331.

Peñuelas J.L., Ocaña L., 1996. *Cultivo de plantas forestales en contenedor*. Madrid, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

Puértolas J., Gil L. & Pardos J.A., 2003. Effects of nutritional status and seedling size on fiel performance of *Pinus halepensis* planted on former arable land in the Mediterranean basin. *Forestry* 76: 159-168.

Simpson D.G. & Ritchie G.A., 1997. Does RGP predict field performance? A debate. *New Forest* 13: 253-277.

Van Den Driessche R., 1991. Influence of container nursery regimes on drought resistance of seedlings following planting. I. Survival and growth. *Canadian Journal of Forest Research* 21: 555-565.

Villar-Salvador P., Garrachón S., Domínguez-Lerena S., Peñuelas Rubira J., Serrada R. & Ocaña L., 2001. Desarrollo en campo, arquitectura radical y estado hídrico seis años después de la plantación de brinzales de *Pinus pinea* cultivados en diferentes tipos de contenedor. *In:* Sociedad Española de Ciencias Forestales, Granada, *III Congreso Forestal Español « Sierra Nevada 2001* », vol. 3 : 791-798.

Villar-Salvador P., Planelles R., Enríquez E. & Peñuela Rubira J., 2004. Nursery cultivation regimes, plant functional attributes, and field performance relationships in the Mediterranean oak *Quercus ilex* L. *Forest Ecology and Management* 196: 257-266.

Villar-Salvador P., Peñuelas Rubira J.L., Carrasco I. & Benito L.F., 2005. Influencia de las condiciones de cultivo en vivero en las características funcionales y el desarrollo en campo de *Juniperus thurifera.* IV Congreso Forestal Español. Zaragoza (España) Publicado en CD-ROM.

# Essais de régénération artificielle du Genévrier thurifère (*Juniperus thurifera* L.)

## *Trials of artificial regeneration of Incense juniper (*Juniperus thurifera L.*)*

A. FERRADOUS[1, 2, *], M. ALIFRIQUI[2], M. HAFIDI[2], R. DUPONNOIS[2, 3]

1. Centre de la recherche forestière, BP 12360, Ennakhil Ain Itti Marrakech, Maroc
E-mail : ferabder@yahoo.fr

2. Laboratoire écologie & environnement (Unité associée au CNRST, URAC 32),
Faculté des sciences Semlalia, Université Cadi Ayyad
Marrakech, Maroc
E-mail : alifriqui@ucam.ac.ma & hafidi@ucam.ac.ma

3. Laboratoire des symbioses tropicales et méditerranéennes (LSTM),
TA10/J, IRD, UMR 113 CIRAD/INRA/IRD/SUP-AGRO/UM2,
Campus international de Baillarguet, TA-A82/J
34398 Montpellier cedex, France
E-mail : Robin.Duponnois@ird.fr

*Auteur correspondant :
adresse actuelle : Centre de la recherche forestière,
BP 12360, Ennakhil Ain Itti, Marrakech, Maroc
E-mail : ferabder@yahoo.fr

**Résumé**

*Au Maroc, le Genévrier thurifère est représenté par la sous-espèce* J. thurifera *subsp.* africana *(Maire) Gauquelin, Idr. Hassani & Lebreton. Il se rencontre essentiellement dans le Haut Atlas et le Moyen Atlas, et au sommet du Jbel Saghro où subsiste un peuplement résiduel. Les perspectives de régénération naturelle et de recrutement de nouvelles générations d'arbres dans les écosystèmes à thurifères dans les montagnes atlasiques sont pratiquement nulles à cause notamment des attaques parasitaires sur les graines et les cônes de Thurifères conjuguées à l'exploitation abusive du bois par les populations riveraines.*

*Dans le cadre de ce travail, des résultats sont présentés en rapport avec la production de plants de Genévrier thurifère issus de deux processus différents : (1) essai de germination de graines viables et (2) multiplication végétative par bouturage.*

*L'analyse approfondie des galbules et des graines de Genévrier thurifère des Atlas marocains a montré que moins de 5 % des semences contiennent un embryon viable. Les essais de stratification au froid pendant 6 mois ont permis la levée de la dormance embryonnaire des graines.*

*Le bouturage est une alternative prometteuse aux difficultés de production de plants par semis. Les boutures issues de jeunes arbres ont montré un pourcentage d'enracinement assez important (plus de 15 %). Les boutures issues d'arbres adultes ne s'enracinent pas. Il faut par conséquent disposer d'un parc à pieds mères de jeunes arbres pour réussir la multiplication du Genévrier thurifère par bouturage.*

*Dans cette communication seront exposés les différentes techniques utilisées (substrats, hormones et environnement de bouturage) et les résultats obtenus.*

**Abstract**

*In Morocco, thuriferous Juniper is represented by the subspecies* Juniperus thurifera *ssp* Africana*. It occurs mainly in the High Atlas and Middle Atlas, and a residual stand at the summit of Jbel Saghro. The chances of natural regeneration and recruitment of new genera-*

**Mots clés :** *Juniperus thurifera*, régénération assistée, bouturage, germination, graines.

**Keywords:** *Juniperus thurifera*, assisted regeneration, cuttings, germination, seeds.

*tions of trees in ecosystems in the mountains thuriferous Atlasic are virtually nil due to parasitic attacks on seeds and cônes of thuriferous combined with the overexploitation of wood by local people.*

*As part of this work, we present results on the production of plants thuriferous Junipers from two different processes:*
*• Test the germination of viable seeds;*
*• Vegetative propagation by cuttings.*

*Further analysis of galbules and thuriferous juniper seeds of Moroccan Atlas, revealed that less than 5% of the seeds contain a viable embryo. Tests of cold stratification for a year allowed withdrawing embryonic dormancy of seeds.*

*Cuttings are a serious alternative to the difficulties of producing plants from seed. The cuttings from young trees showed a fairly large percentage of rooting. Cuttings from mature trees not rooted. We must therefore build a park mothers of young trees for the successful multiplication of thuriferous juniper cuttings.*

*In this communication we describe the different techniques used (substrates, hormones and environment cuttings) and the results obtained.*

## Introduction

Le Genévrier thurifère, *Juniperus thurifera* L., est une essence emblématique des formations végétales des montagnes semi-arides de l'Ouest méditerranéen. L'espèce appartient à la famille des Cupressinées (ou Cupressacées) qui constituent la plus grande part de la flore forestière de l'Atlas. Trois variétés sont distinguées : en France, dans les Alpes et les Pyrénées (*J. thurifera* var. *gallica*), en Espagne (*J. thurifera* var. *hispanica*) et en Afrique du Nord (*J. thurifera* var. *africana*) (Maire 1924). Plus récemment, une autre classification a été proposée : *J. thurifera* subsp. *africana* (Maire) Gauquelin, Idr.Hass & P. Lebreton pour les populations nord-africaines et *J. thurifera* subsp. *thurifera* pour les populations européennes (Gauquelin *et al*. 1999). Cette dernière distinction semble être confirmée en analysant les huiles essentielles des aiguilles de chaque population (Adams *et al.* 2003) et d'après les résultats d'études de diversité moléculaire portant sur vingt populations échantillonnées de part et d'autre de la Méditerranée (Terrab *et al.* 2008). Utilisant les techniques de polymorphisme de longueur de fragments amplifiés (Aflp), l'analyse en composantes principales (Acp) et les techniques de classification, ces derniers auteurs ont révélé que le détroit de Gibraltar constituerait une barrière contre les flux génétiques pour cette espèce.

L'espèce *J. thurifera* subsp. *africana* occupe au Maroc la limite supérieure de la strate forestière. La thuriféraie se présente sous forme de peuplements importants mais très dégradés du fait d'une surexploitation de cette ressource forestière. Au Maroc, l'aire potentielle de la thuriféraie est estimée à 300 000 ha mais elle n'occupe actuellement que 31 000 ha attestant de la dégradation significative que subit cette espèce (Boudy 1958 ; Ouhammou 1986 ; Benabid 1982). Par exemple dans le cas de la vallée d'Ait Bouguemez, la surface forestière a diminué de 21 % en 38 ans et le recouvrement arboré moyen sur la zone forestière a chuté globalement de 20 % à 18 % pendant la période de 1964 à 2002 (Hammi *et al.* 2007).

La régénération naturelle du Genévrier thurifère est quasi inexistante dans son aire naturelle au Maroc. Comme pour de nombreuses essences forestières en milieu méditerranéen, ce type de dysfonctionnement dans la dynamique spatio-temporelle du couvert forestier est principalement attribué à l'effet conjugué de l'activité humaine (pâturages, coupes…), de la dégradation des caractéristiques physiques, chimiques et biologiques des sols et aux processus de compétition avec la végétation environnante (Albaladejo *et al.* 1998 ; Requena *et al.* 2001). À tous ces facteurs limitants s'ajoute un phénomène très spécifique au Genévrier thurifère, à savoir l'impact des insectes spécialisés dans l'exploitation des cônes et galbules, limitant ainsi la production de graines susceptibles de germer (El Alaoui El Fels 1991).

Les essais de régénération artificielle se sont fréquemment heurtés à la difficulté de maîtriser la germination des semences de cette espèce en conditions contrôlées. Le pourcentage des cônes et graines attaqués par les ravageurs dépasse fréquemment 80 % (El Alaoui El Fels & Roques 2006), et le processus de germination des graines viables est relativement complexe du fait de la présence d'un tégument rigide et de la forte dormance des semences. Les quelques essais entrepris au niveau de la Faculté des sciences Semlalia de Marrakech ou à Casablanca n'ont pas donné de résultats probants.

Cette étude s'inscrit dans un programme de recherche visant à maîtriser la multiplication en conditions contrôlées du Genévrier thurifère par la maîtrise de la germination des

graines ou par la technique du bouturage. Les objectifs étaient de :
– trier les semences du Genévrier thurifère pour pouvoir isoler les graines viables et non viables ;
– réaliser des essais de stratification à froid des semences de Genévrier thurifère ;
– réaliser des essais de multiplication de Genévrier thurifère par bouturage sous brumisateur.

## Matériels et méthodes

### Observation des galbules

Les semences utilisées dans cette étude sont récoltées dans la station d'Oukaimeden (N 31.207149, E -7.887926). Le peuplement est assez dégradé avec une densité ne dépassant pas 150 à 200 tiges/ha. La fructification est très abondante (figure 1) mais la plupart des semences sont généralement parasitées (figure 2).

**Figure 1 – Galbules de Genévrier thurifère.**

**Figure 2 – Graines de Genévrier thurifère parasitées.**

Les cônes ont été récoltés en février 2007. Les graines sont extraites en éliminant les écailles charnues qui donnent au cône l'apparence de baies. Bien que d'apparence une grande proportion de galbules décortiquées ne présente pas de signes d'attaque par les ravageurs, leur observation sous la loupe binoculaire montre que la majorité ne contient pas d'embryons viables. La présence d'un embryon viable a donc été déterminée à partir d'un échantillon de cônes décortiqués dont les graines ont été observées sous la loupe binoculaire.

### Séparation des semences dans un gradient de saccharose

Dans le but de séparer les graines viables des graines non viables, les graines ont été immergées dans des solutions de saccharose à des concentrations croissantes (0 %, 20 %, 40 % et 60 % ; m/v) (Bonner *et al* 1994). Le mode opératoire s'est déroulé comme décrit ci-dessous :

1. les graines sont trempées dans de l'eau. La fraction qui flotte est conservée et nommée « fraction légère à 0 % » ;
2. la fraction lourde qui se dépose au fond du récipient est à son tour plongée dans une solution de saccarose à 20 %, la fraction qui flotte est conservée et nommée « fraction légère à 20 % » ;
3. la fraction lourde qui se dépose au fond du récipient est replongée dans une solution de 40 % de saccharose, conservée et nommée « fraction légère à 40 % » ;
4. la fraction lourde à 40 % est enfin plongée dans une solution à 60 % de saccharose pour obtenir la « fraction légère à 60 % » qui flotte et la « fraction lourde à 60 % » qui se dépose au fond du récipient.

### Essais de germination

À cause de la forte dormance que présentent la plupart des espèces du genre *Juniperus*, plusieurs essais de stratification au froid ont été mis en place en réalisant les traitements suivants :

1. Aucune stratification.
2. Stratification au froid (4 °C) pendant six mois suivie de semis à température de la pépinière.
3. Semis dans des conditions de température ambiante pendant deux mois suivi par une incubation de deux mois à 4 °C et ensuite

remise en germination dans des conditions de température ambiante de la pépinière.

4. Essai de levée de dormance par scarification suivi d'utilisation du polyéthylène glycol (PEG) : les galbules scarifiées mécaniquement sont trempées pendant 24 heures dans une solution à 1 000 ppm de PEG.

### Essais de bouturage

Les boutures essayées sont issues de jeunes arbres de 10 ans plantés aux environs du poste forestier de Tassa Ouirgane au parc national de Toubkal (N 31.166418, E -8.039511). Ce sont des boutures de tête de 10 à 15 cm de long. Quatre types de boutures ont été essayés :
– les boutures herbacées ;
– les boutures semi-ligneuses ;
– les boutures ligneuses.

Trois types de substrats ont été testés :
– mélange tourbe noire et perlite (1/1 ; v/v) ;
– mélange compost de cônes de pin et perlite (1/1 ; v/v) ;
– sable de rivière tamisé.

Les boutures sont traitées à la base par l'hormone AIB (acide indole butyrique) :
– à 1 % (1/100 ; m/m) en poudre (AIB mélangée avec du talc médical) ;
– à 0,5 % en poudre ;
– liquide à 0,4 %.

Les boutures sont ensuite placées sous brumisateur.

## Résultats

L'observation des cônes de Genévrier thurifère décortiqués sous la loupe binoculaire a permis de distinguer quatre états (tableau 1) :
1. les cônes vides : les loges ne contiennent aucune graine ;
2. les cônes contenant une graine et un embryon desséchés ;
3. les cônes contenant une graine lignifiée de couleur marron ;
4. les cônes contenant une graine et un embryon viables.

**Tableau 1 – Illustration des quatre types de galbules de Genévrier thurifère scarifiées.**

| Type de cône | Photo 1 | Photo 2 | Photo 3 |
|---|---|---|---|
| 1 | | | |
| 2 | | | |
| 3 | | | |
| 4 | | | |

**Tableau 2 – Moyennes (Moy) et écarts-types (ET) des proportions des différents types de cônes dans les fractions.**

| Types/fractions | Légères à 20 % | | Légères à 40 % | | Légères à 60 % | | Lourdes à 60 % | | TOTAL | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Moy | ET | Moy | ET | Moy | ET | Moy | ET | Moy | ET |
| Vides | 0,01 | 0,03 | 0,08 | 0,07 | 0,02 | 0,03 | 0,03 | 0,05 | 0,04 | 0,03 |
| Desséchés | 0,72 | 0,24 | 0,36 | 0,05 | 0,15 | 0,05 | - | - | 0,20 | 0,05 |
| Marron | 0,25 | 0,20 | 0,55 | 0,02 | 0,50 | 0,15 | 0,22 | 0,08 | 0,53 | 0,02 |
| Pleins (embryon viable) | 0,01 | 0,03 | 0,02 | 0,02 | 0,34 | 0,19 | 0,75 | 0,13 | 0,22 | 0,03 |

**Tableau 3 – Pourcentages de germination des semences de Genévrier thurifère en utilisant différentes méthodes de levée de dormance.**

| Traitement | Nombre initial | Nombre de germinations | Germination (%) |
|---|---|---|---|
| Aucune stratification | 503 | 29 | 7 |
| Stratification au froid + semis | 620 | 93 | 15 |
| Semis 2 mois + stratification + conditions de serre | 490 | 48 | 10 |
| PEG + scarification | 300 | 37 | 12 |

La répartition des types de cônes dans les échantillons triés dans un gradient de saccharose révèle que la fraction lourde à 60 % de saccharose contient plus de 75 % des cônes contenant des embryons viables alors que la fraction légère à 20 % ne contient que 0,01 % des cônes à embryons viables (tableau 2).

En conséquence, pour obtenir une proportion élevée de semences viables de Genévrier thurifère, il faut les immerger dans une solution de saccharose et récupérer les semences lourdes qui se déposent à 60 %.

Les méthodes utilisées pour favoriser la germination des semences de Genévrier thurifère permettent d'obtenir un pourcentage de germination qui varie entre 7 % et 15 % respectivement pour les semences n'ayant subi aucune stratification et les semences stratifiées pendant 6 mois à 3 °C (tableau 3). En tenant compte du fait que seules les semences lourdes à 60 % de saccharose ont été utilisées, ce pourcentage est encore faible et il faut tester d'autres méthodes pour lever la dormance des semences du Genévrier thurifère.

D'après cette étude, les essais de bouturage ont montré pour la première fois que cette technique peu onéreuse est tout à fait envisageable pour domestiquer le Genévrier thurifère. Elle pourrait constituer une alternative aux faibles pourcentages de germination des semences. Bien que les essais préliminaires n'aient pas été réalisés selon des dispositifs statistiques bien précis, le nombre élevé de boutures testées (plus de 1 000) nous permet de présenter les résultats suivants :

1. Le pourcentage d'enracinement total est de 15,6 % et le pourcentage de formation de cals est de 15 % (le cal est un amas cellulaire qui se forme au niveau de la coupure de la bouture, il peut engendrer ou non des racines).
2. Parmi les boutures enracinées :
   – 66,6 % sont traitées à 1 % d'hormone,
   – 73,3 % sont plantées sur le substrat perlite + compost,
   – 66,6 % sont élevées dans le milieu confiné sans aspersion,
   – 100 % sont semi-ligneuses.

**Figure 3 – Boutures enracinées (A) et bouture à cal de Genévrier thurifère (x 1).**

En conséquence et afin d'optimiser l'enracinement des boutures de Genévrier thurifère, il faut utiliser des boutures semi-ligneuses sur un substrat composé de compost et de perlite et assurer un traitement à 1 % d'Aib.

## Discussion

Notre étude confirme les résultats obtenus pour la qualité des semences de Genévrier thurifère (El Alaoui El Fels 1991). Les taux de germination obtenus en Espagne sont généralement plus élevés (Llorente Carnecero *et al.* 2001) pour *J. thurifera* subsp. *thurifera* mais les pourcentages que nous avons obtenus avec *J. thurifera* subsp. *africana* sont plus élevés que ceux qui sont généralement cités dans la littérature. Badri (1997) a obtenu des taux beaucoup faibles (allant de 0 à 2 %). Chez *Juniperus communis*, le pourcentage des semences viables ne dépasse pas 3,5 à 5,5 % (García 2001) du fait principalement des attaques parasitaires. Chez *J. monosperma* et *J. osteosperma*, la germination des graines est obtenue une année après une période de stratification à chaud pendant 70 jours suivie d'une stratification à froid pendant 120 jours (Mandel & Alberts 2005), montrant ainsi les difficultés pour obtenir de jeunes régénérations chez le genre *Juniperus*.

Notre étude présente pour la première fois la possibilité de multiplier le Genévrier thurifère via la technique de bouturage. Les pourcentages et la qualité d'enracinement sont très prometteurs, ce qui a permis en particulier de réaliser un parc à pieds mères jeunes. En effet, des essais de bouturage de *J. procera* ont montré que les pourcentages d'enracinement les plus importants sont obtenus avec des boutures issues d'arbres de moins de 5 ans (60 %) alors que les boutures récoltées sur des arbres de plus de 25 ans ne s'enracinent qu'à 2 % (Berhe & Negash 1998). Cela montre l'importance du rajeunissement du matériel végétal pour réussir le bouturage puisque les boutures des arbres de plus de 40 ans de *J. virginiana* perdent une grande part de leur capacité d'enracinement (Henry *et al.* 1992). De même, les boutures herbacées de *J. squamata* s'enracinent à un taux de 66 % sur milieu à base de perlite et un traitement avec 1 000 ppm d'Aib, alors que les boutures ligneuses ne permettent que 28 % d'enracinement dans les mêmes conditions (JingShuang *et al.* 2008).

Des études complémentaires doivent être entreprises pour améliorer le bouturage du Genévrier thurifère en optimisant les paramètres impliqués dans le processus d'enracinement : le type et l'âge des boutures, le substrat, le traitement hormonal, la période et l'environnement de bouturage (brumisation…).

## Références


Adams R.P., Mumba L.E., James S.A., Pandey R.N., Gauquelin T. & 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.

Albaladejo J., Martinez-Mena M., Roldan A. & Castillo V., 1998. Soil degradation and desertification induced by vegetation removal in a semiarid environment. *Soil Use Manage* 14: 1-5.

Badri W., Savoie J.M. & Gauquelin T., 1997. Essais de germination de graines de Genévrier thurifère (*Juniperus thurifera* L.) des Atlas. *In*: T. Gauquelin, J.-F. Asmode & G. Largier (eds), 2000. *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, France), 26 et 27 septembre 1997.* Paris, Onf, coll. « Les dossiers forestiers » 6 : 144-147.

Benabid A., 1982. Bref aperçu sur la zonation altitudinale de la végétation climatique du Maroc. *Ecologia Mediterranea* 8, 1/2 : 301-315.

Berhe D. & Negash L., 1998. Asexual propagation of *Juniperus procera* from Ethiopia: a contribution to the conservation of African pencil cedar. *For. Ecol. Manage*. 112: 179-190.

Bonner F.T., Vozzo J.A., Elam W.W. & Land S.B.Jr., 1994. *Tree seed technology training course. Instructors manual and student outline*. General Technical Report, SO-106 September 1994. USDA Southern Forest Experimental Station, 160 p.

Boudy P., 1958. *Économie forestière nord-africaine*, I, II, III. Paris, Larose.

El Alaoui El Fels M.A., 1991. *Contribution à l'étude des communautés animales frondicoles de la Junipéraie à* Juniperus thurifera *L. : impact des ravageurs sur le peuplement du genévrier thurifère dans le Haut Atlas de Marrakech (Maroc)*. Thèse de 3e cycle, Uni. cadi Ayyad, Fac. Sci. Marrakech, 129 p.

El Alaoui El Fels M.A. & Roques A., 2006. Les arthropodes associés aux galbules et aux graines des genévriers autochtones dans la partie sud du bassin méditerranéen. *IIIe Coloquio Internacional sobre los sabinares y enebrales (Género Juniperus) : Ecologia y Gestion Forestal Sostenible*, Soria (Espagne), 24-26 mai 2006. Tome I : 437-445.

García D., 2001. Effects of seed dispersal on *Juniperus communis* recruitment on a Mediterranean mountain. *J. Veg. Sci.* 12: 839-848.

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. *Biodiversity and Conservation* 8 (11): 1479-1498.

Hammi S., Alifriqui M., Simonneaux V. & Auclair L., 2007. Impact de la gestion collective des peuplements naturels de genévriers sur la dynamique forestière dans une vallée de montagne : cas de la haute vallée des Ait Bouguemez (Haut Atlas marocain, Maroc). *III^e Coloquio Internacional sobre los sabinares y enebrales (Género Juniperus) : Ecologia y Gestion Forestal Sostenible*, Soria (Espagne), 24-26 mai 2006. Tome 1, 507 p.

Henry P.H., Blazich F.A. & Hinesley L.E., 1992. Vegetative propagation of eastern redcedar by stem cuttings. *Hort. Sci.* 27(12): 1272-1274.

JingShuang S., Zheng-Hong J., Jia-Gui X., Sun-Chang Z. & Wen L., 2008. Effects of different substrates, growth regulators, grades of cuttings and metabolism regulator on cutting propagation of *Juniperus squamata* 'Blue. *Journal of Beijing Forestry University* 30(1): 67-73.

Llorente Carnecero R., Alonso Ponse R. & Lucas Santolay J.A., 2001. Seed quality in *Juniperus thurifera* L. Stands in the province of Soria (SPAIN). *Actes du deuxième colloque international : le Genévrier thurifère (*Juniperus thurifera *L.) et les forêts d'altitude dans les montagnes du pourtour Méditerranéen*, Marrakech, 17-21 avril 2001.

Maire R., 1924. Études sur la végétation et la flore du Grand Atlas et du Moyen Atlas marocains. *Mémoires de la Société des sciences naturelles du Maroc*, n° 7.

Mandel R. & Alberts D., 2005. Propagation protocol for Oneseed and Utah junipers (*Juniperus monosperma* and *Juniperus osteosperma*) *NATIVEPLANTS, FALL* 2005: 263-266.

Ouhammou A., 1986. *Recherches sur l'étagement de la végétation dans le bassin versant de l'oued Ourika (Haut Atlas, Maroc)*. Thèse. Marrakech, Université Cadi Ayyad, 121 p. + 1 carte.

Requena N., Perez-Solis E., Azcon-Aguilar C., Jeffries P. & Barea J.M., 2001. Management of indigenous Plant. Microbe Symbioses aids restoration of desertified ecosystems. *Appl. Environ. Microbiol.* 67: 495-498.

Terrab A., Schönswetter 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. *Mol. Phylogenet. Evol.* 48(1): 94-102.

# Acariens et insectes ravageurs de deux cupressacées menacées au Maroc : le Genévrier thurifère et le cyprès de l'Atlas

## *Mites and insect pests of two cupressaceae threatened in Morocco: thuriferous juniper and Atlas cypress*

M. A. EL ALAOUI EL FELS[1,2], A. YART[3], A. ROQUES[3], Y. ARJOUNI[2], S. EL MERCHT[4], M. A. ROZENBERG[3], A. ROMANE[5]

1. Muséum d'histoire naturelle de Marrakech, Université Cadi Ayyad, Marrakech, Maroc
2. Laboratoire de biotechnologies, biochimie, valorisation et protection des plantes, Université Cadi Ayyad, Marrakech, Maroc
3. INRA, UR 633, Zoologie forestière, Orléans, France
4. Centre régional de la recherche forestière, Marrakech, Maroc
5. Laboratoire de chimie organique appliquée, Département de chimie, Université Cadi Ayyad, Marrakech, Maroc

**Résumé**

*Actuellement, les écosystèmes des deux cupressacées forestières menacés au Maroc, le Genévrier thurifère et le cyprès de l'Atlas, sont très perturbés : sous-bois presque absent, sol érodé, et régénération très réduite. S'y ajoute l'impact des ravageurs (acariens et insectes), spécialisés dans l'exploitation des galbules ou des cônes et des graines, sur la production de graines susceptibles de germer. Cet impact des ravageurs diminue de manière notable le nombre de graines susceptibles de donner naissance à des plantules.*

*La présente étude a pour but de : 1) établir l'inventaire de la faune entomologique liée aux galbules/cônes et aux graines de ces deux conifères, 2) mesurer son impact sur les potentialités de régénération, 3) préciser les relations phénologiques entre ces ravageurs et leur plante hôte.*

*Pour cela, on a choisi plusieurs sites dans l'aire naturelle marocaine des deux cupressacées. Pour le Thurifère, les sites choisis incluaient plusieurs espèces de* Juniperus *afin de pouvoir préciser si des espèces de ravageurs pouvaient passer de l'une à l'autre, et quelles étaient les différences éventuelles entre les populations de ravageurs présentes sur chaque essence. Pour le cyprès de l'Atlas, on s'est également efforcé de collecter des cônes de l'espèce voisine introduite, le cyprès toujours vert, afin de surveiller les échanges de faune possibles entre ces essences. Sur chacun des sites, des récoltes des cônes/galbules ont été effectuées fin mai. Le pourcentage de cônes/galbules attaqués par les insectes et acariens a été estimé, puis les graines ont été extraites pour être radiographiées afin d'estimer le potentiel de graines viables.*

*Une étude plus précise a été menée sur les punaises du genre* Orsillus*, afin de comparer leur réponse vis-à-vis des deux espèces de cyprès.*

**Mots clés :** thurifère, cyprès, ravageurs, insectes, acariens.

**Abstract**

*Currently, two cupressaceae ecosystems threatened forest in Morocco; the thuriferous juniper and the cypress of the high Atlas, are very unsettled with almost absent undergrowth, an eroded soil, and regeneration greatly reduced. Added to the impact of pest mites and insects specialized in the exploitation of cones and seed.*

*The present study aimed to 1) establish an inventory of the insect fauna associated with cones and seeds of two conifers 2) to measure its impact on the potential regeneration 3) clarify the relationship between phenology and pest host plant.*

*For this, we selected several sites within the natural range of the thuriferous juniper and the cypress of the high Atlas. For the thuriferous*

**Keywords:** Juniper, cypress, insects, mites.

*juniper the selected sites included others species of* Juniperus *in order to clarify whether pest species could go from one to another, and what were the possible differences between the populations of pests present in each species.*

*For the* Cupressus atlantica*, it has also sought to collect cones of* Cupressus sempervirens *to monitor wildlife trade possible between these species. On each site, crops of cones were conducted in late May. The percentage of cones attacked by insects and mites has been estimated, and then the seeds were extracted to be radiographed to estimate the potential for viable seeds.*

*In addition, for the Cypress, a more detailed study was conducted on the seeds of such bugs* Orsillus *to compare their response to the two species of cypress.*

*Within these pests we noted the presence of a single specific species of seed of* Juniperus thurifera *(*Megastigmus thuriferana*). This is a spermatophagous (according to the classification established by Turgeon* et al. *1994). While* Trisetacus quadrisetus*, second spermatophagous species was identified in the other two* Juniperus: J. oxycedrus *and* J. phoenicea.

*For the four species conospermatophagous only* Argyresthia reticulata *is specific of thuriferous juniper in Morocco. Regarding the impact of these pests, we should note the importance of attack seeds by insects and mites, including* Trisetacus quadrisetus*,* Pammene oxycedrana*,* Argyresthia reticulata*. These results confirm those of other previous work on the role of mites and insects in reducing the stock of seeds can germinate (El Alaoui El Fels 1999; El Alaoui El Fels & Roques 2006).*

*For Atlas cypress, one can note the presence of the native species* Megastigmus atlanticus *(spermatophagous species, according to the classification of Turgeon* et al. *1994), with the other species subservient evergreen cypress especially in the edge Mediterranean (Guido* et al. *1995; Bouaziz & Chakali 1997; El Alaoui El Fels 1999; Roques* et al. *1999). For damage, seeds Atlas cypress are the most attacked by pests. However, laboratory experiments conducted on the choice of* Orsillus depressus *over two cypress cones show no significant difference.*

## Introduction

Au Maroc les milieux forestiers s'étendent sur une superficie d'environ 9 millions d'hectares et occupent environ 12 % du territoire national (Hceflcd 2004). Le domaine forestier est considéré comme stratégique en raison de ses divers rôles socio-économiques et écologiques (Aafi *et al.* 2002 ; Aafi 2004). Néanmoins, l'évolution de la forêt naturelle se trouve limitée suite aux défrichements et au surpâturage qui entravent les mécanismes de la régénération naturelle et amplifient les processus de dégradation. Il en résulte une disparition annuelle de près de 31 000 ha. Ainsi, plusieurs essences forestières marocaines connaissent une régression alarmante. Au sein des espèces forestières menacées au Maroc, le Genévrier thurifère (*Juniperus thurifera*) et le cyprès de l'Atlas (*Cupressus atlantica*) souffrent d'une régénération naturelle très faible voire nulle, due à l'exploitation excessive et au surpâturage. À cela s'ajoute, particulièrement, l'action des ravageurs qui détruisent les graines susceptibles de germer. Cette situation place les deux cupressacées comme espèces en danger.

## Matériels et méthodes

Pour le Genévrier thurifère (*Juniperus thurifera* L., 1 753), l'échantillonnage des galbules a été effectué en juin 2011 dans le peuplement de Tizrag (altitude moyenne : 2 400 m, longitude : W 7º 53' et latitude : N 31 º13'). Dix arbres ont été choisis au hasard et pour chaque arbre on a collecté deux branches fructifères, choisies de manière aléatoire, chacune d'environ 50 cm de longueur. Après chaque récolte, 100 galbules ont été séparés de chacune des branches, examinés, et les dégâts, les larves ou/et les adultes des ravageurs ont été identifiés à l'aide d'une clé d'identification (figure 1). En outre, on a collecté et examiné des galbules dans d'autres peuplements de Thurifère, dans le Haut Atlas, qui incluaient les deux autres espèces de *Juniperus* (*J. oxycedrus* et *J. phœnicea*), afin de pouvoir préciser si des espèces de ravageurs pouvaient passer d'une essence à une autre.

Pour le cyprès de l'Atlas (*Cupressus atlantica* Gaussen, 1950), l'échantillonnage a été effectué à Idni, site naturel du cyprès atlasique (altitude moyenne : 1 500 m, longitude : W 8º 17' et latitude : N 30º 54'). Sur ce site, le pourcentage de cônes attaqués par les insectes et acariens a été estimé, puis les graines ont été extraites des cônes (cône par cône) pour être radiographiées afin d'estimer le potentiel de graines viables subsistant dans chaque cône. On s'est également efforcé de collecter des cônes de l'espèce voisine introduite, le cyprès toujours vert (*Cupressus sempervirens)*, afin de vérifier les échanges de faune possibles entre ces essences. Nous avons également effectué des expériences pour étudier le choix des punaises (*Orsillus*

**Figure 1 – Clé d'identification des ravageurs des galbules et des graines de *J. thurifera* (El Alaoui El Fels & Roques 2006).**

***Figure 1 – Identification key pests and seeds galbules* J. thurifera *(El Alaoui El Fels & Roques 2006).***

*depressus*) vis-à-vis des cônes du cyprès de l'Atlas (*C. atlantica*) et de l'espèce introduite, le cyprès toujours vert (*C. sempervirens*). En effet, dans un premier temps on a mis un couple de punaises avec trois cônes de *C. atlantica* pendant une semaine, puis trois cônes de *C. sempervirens* pendant une semaine (répété cinq fois). Dans une autre expérience on a mis un couple de punaises avec trois cônes de *C. sempervirens* pendant une semaine, puis trois cônes de cyprès de l'Atlas pendant une semaine (répété cinq fois).

## Résultats

Concernant le Genévrier thurifère, on a recensé un acarien et six insectes (tableau 1). Ces ravageurs ont été préalablement identifiés comme principales espèces attaquant les galbules et les graines du Genévrier thurifère au Maroc (El Alaoui *et al*. 1999 ; El Alaoui & Roques 2006).

La figure 2 donne l'importance des graines attaquées et des dégâts de chaque espèce s'at-

**Tableau 1 – Liste des ravageurs des galbules et des graines de *J. thurifera*, dans le peuplement du Tizrag (2011).**

***Table 1 – List of pests of cones and seeds of* J. thurifera*, in the population of Tizrag (2011).***

| Espèces | Spécificité/galbule |
|---|---|
| *Trisetacus quadrisetus* Thom (Acari. : Nalepellidae) | Spermatophage |
| *Megastigmus thuriferana* El Alaoui El Fels et Roques (Hym. : Torymidae) | Spermatophage |
| *Contarinia* sp. (Dip. : Cecidomyiidae) | Conospermatophage |
| *Nanodiscus transversus* Aubé (Col. : Curculionidae) | Conospermatophage |
| *Pammene oxycedrana* Mill. (Lep. : Tortricidae) | Conospermatophage |
| *Argyresthia reticulata* Stgr. (Lep. : Yponomeutidae) | Conospermatophage |
| *Holcogaster fibulata* Germ. (Homo. : Pentatomidae) | Hétéroconophyte |

**Figure 2 – Pourcentages des graines pleines, vides et attaquées de *J. thurifera* et importance des dégâts des ravageurs (nombre de galbules examinées = 2 000).**

***Figure 2 – Percentage of filled seeds, empty and attacked of* J. thurifera *and importance of pest damage.***

taquant aux galbules et aux graines. On note le pourcentage important des graines attaquées qui dépasse 68 %. Alors que le pourcentage des graines pleines non attaquées est inférieur à 14 %.

Concernant le cyprès de l'Atlas, l'inventaire a révélé la présence d'un acarien et cinq insectes (tableau 2). La majorité de ces espèces ont été identifiées dans ses cônes. Quant aux dégâts, la figure 3 montre que les ravageurs (acariens et insectes) diminuaient de 24 % le potentiel de régénération du cyprès de l'Atlas. Alors que chez l'espèce introduite, le cyprès toujours vert, ce taux avoisine 19 %. Cependant, il faut noter l'importance des graines pleines chez *C. sempervirens* (environ 44 %) pour seulement 31 % chez *C. atlantica*. Les cônes de cyprès de l'Atlas sont toujours les moins exploités par les punaises, même si ces cônes ont été offerts en premier temps (figures 4 et 5).

**Tableau 2 – Liste des ravageurs des cônes et des graines du cyprès de l'Atlas.**

***Table 2 – List of pests of cones and seeds of the Atlas cypress.***

| Espèces | Spécificité/cône |
|---|---|
| *Trisetacus* sp. (Acari. : Nalepellidae) | Conospermatophage |
| *Megastigmus atlanticus* Roques et slk (Hym. : Torymidae) | Spermatophage |
| *Megastigmus wachtli* Sietner (Hym. : Torymidae) | Spermatophage |
| *Pseudococcyx tessulatana* (Staudinger) (Lep. : Totricidae) | Conospermatophage |
| *Orsillus depressus* Dallas (Hem. : Lygaeidae) | Spermatophage |
| *Nanodiscus transversus* Aubé (Col. : Curculionidae) | Conophage |

**Figure 3 – Pourcentages des graines pleines, vides et attaquées et importance des dégâts des ravageurs (n = 1 000 graines).**

***Figure 3 – Percentage of filled seeds, empty and attacked and extent of damage from pests.***

## Discussion

Au sein de ces ravageurs, on a noté la présence d'une seule espèce spécifique stricte des graines du Thurifère (*Megastigmus thuriferana* ; Hymenoptera, Torymidae). C'est une espèce conophyte spermatophage selon la classification établie par Turgeon *et al.* (1994). Alors que *Trisetacus quadrisetus* (Acari. Nalepellidae), espèce conophyte spermatophage, a été identifiée dans les galbules des deux autres genévriers (genévrier oxycèdre et genévrier de Phénicie). Pour les quatre espèces conospermatophages, seule *Argyresthia reticulata* (Lepidoptera Yponomeutidae) est spécifique des galbules du Thurifère au Maroc (El Alaoui El Fels & Roques 2006). Concernant les dégâts, il faut noter l'importance du taux d'attaque des graines par l'acarien (*Trisetacus quadrisetus*) et les insectes, notamment *Pammene oxycedrana*

**Figure 4 – Expérience choix des punaises (3 cônes *C. atlantica* pendant 1 semaine, puis 3 cônes *C. sempervirens* pendant 1 semaine).**

***Figure 4 – Experiment selection bugs (3 cones C.* atlantica *for 1 week and 3 cones C.* sempervirens *for 1 week).***

**Figure 5 – Expérience choix des punaises (3 cônes *C. sempervirens* pendant 1 semaine, puis 3 cônes *C. atlantica* pendant 1 semaine).**

***Figure 5 – Experiment selection bugs (3 cones C.* sempervirens *for 1 week, and 3 cones C.* atlantica *for 1 week).***

**Figure 6 – Radiographie des graines du cyprès de l'Atlas.**

***Figure 6 – Radiography of the seeds of the Atlas cypress.***

(Lepidoptera Tortricidae) et *Argyresthia reticulata*. Ces résultats confirment ceux d'autres travaux antérieurs concernant le rôle des acariens et des insectes dans la réduction du stock de graines susceptibles de germer (El Alaoui El Fels 1997 ; 1999).

Concernant le cyprès de l'Atlas, on peut noter la présence de l'espèce native *Megastigmus atlanticus* (espèce conophyte spermatophage, selon la classification de Turgeon *et al*. 1994), avec l'autre espèce inféodée au cyprès toujours vert notamment dans le pourtour méditerranéen (Guido *et al*. 1995 ; Bouaziz & Chakali 1997 ; Roques *et al*. 1999 ; Rouault 2002 ; Roques & El Alaoui 2005 ; Bouaziz & Roques 2006). Les graines du cyprès de l'Atlas sont les plus attaqués par les ravageurs. Cependant, au laboratoire, les expériences menées concernant le choix des *Orsillus depressus* vis-à-vis des cônes des deux cyprès ne présentent pas de différence significative (Anova ; 0,096 > P = 0,05). Ces expériences doivent être complétées par d'autres, notamment le choix des punaises vis-à-vis des cônes de différentes tailles et des divers stades de développement de ceux-ci, afin de mieux comprendre les modalités d'attaque de ce ravageur qui peut être également vecteur du chancre du cyprès (*Seiredium cardinale*), dont les attaques ont été identifiées au Maroc sur *C. sempervirens* (El Hassani *et al*., 1994).

## Remerciements

Nous sommes reconnaissants aux instances du Prad (nº 08-10 Egide nº 16856YA), Cnrst/Maroc (Urac 35) et Cners/Maroc pour leur soutien à la réalisation de cette étude. Nous remercions également A. Tots (chef du secteur forestier d'Idni) et M. Ouchria (Centre régional de la recherche forestière de Marrakech) pour leur collaboration.

## Acknowledgements

We are grateful to the authorities of PRAD (Nº 08-10 EGIDE Nº 16856YA), CNRST/Morocco (URAC 35) and CNERS/Morocco for their support to this study. We also thank A. Tots (HCEFLCD, Idni) and M. Ouchria (Regional Centre for Forest Research/Marrakech) for their collaboration.

## Références

Aafi A., 2004. L'aménagement des forêts de genévrier thurifère : cas des principales thuriféraies du Moyen Atlas. *Revue du Muséum d'histoire naturelle de Marrakech, Naturalia Maroccana*, vol. 2, nº 1-2 : 149-152.

Aafi A., Fechtal M. & Taleb M.S., 2002. *Espèces remarquables de la flore du Maroc*. Mcef, Dref, Rabat, 146 p.

Bouaziz K. & Chakali G. 1997. Diversity and impact of cone and seed insects in Algeria. *In:* Battisti A., Turgeon J.J. (eds), *Proceeding of 5th Cone and Seed Insects IUFRO Working Party Conference*. University of Patova, Padova, Italy: 193-207.

Bouaziz K. & Roques A., 2006. Biology of the chalcid wasp, *Megastimus wachtli*, and its relationship to colonization of cypress seeds by the tortricid moth, *Pseudococcyx*. *Journal of Insect Science*: 48-ISSN: 1536-2442, Vol. 6: 1-16.

El Alaoui El Fels M. A., 1997. Entomofauna of some conifers in the occidental High Atlas mountains (Morocco). *In:* Battisti A., Turgeon J.J. (eds), *Proceeding of 5th Cone and Seed Insects IUFRO Working Party Conference*. University of Padova, Padova, Italy: 21-26.

El Alaoui El Fels M.A., 1999. *Les arthropodes liés à des conifères autochtones des Atlas marocains : biologie, distribution des principaux ravageurs des cônes et des graines et impact sur la régénération naturelle*. Thèse doctorat d'État ès sciences-entomologie, Université Cadi Ayyad, Faculté des sciences Semlalia-Marrakech, 129 p.

El Alaoui El Fels M. A., Roques A. & Boumezzough A., 1999. Les arthropodes liés aux galbules et aux graines du genévrier thurifère, *Juniperus thurifera* L., dans les Atlas marocains. *Ecologia mediterranea* 25 (1) : 95-110.

El Hassani A., Graf P., Hamdaoui M., Harrachi K., Messaoud J., Mzibri M. & Stiki A., 1994. *Ravageurs et maladies des forêts au Maroc. Guide pratique pour la protection phytosanitaire des forêts*. Rabat, Édition Dpvctrf, 203 p.

Guido M., Battisti A. & Roques A., 1995. A contribution to the study of cone and seed pests of the evergreen cypress (*Cupressus sempervirens* L.) in Italy. *Redia* LXXVIII: 211-227.

Hceflcd, 2004. *Haut Commissariat aux eaux et forêts et la lutte contre la désertification*. Rapport final de Hceflcd, 6 p.

Roques A., Markalas S., Roux G., Pun Y. & Sun J., 1999. Impact of insects damaging seed cones of cypress, *Cupressus sempervirens*, in natural stands and plantations of south-eastern Europe. *Ann. Sci. For*. 56: 167-177.

Roques A. & El Alaoui El Fels M. A., 2005. *Overview of the arthropod fauna that colonises seed cones in the Mediterranean region. Entomological research in Mediterranean forest ecosystems*. INRA editions: 59-78.

Rouault G., 2002. *Biologie et répartition des punaises du genre* Orsillus *(Heteroptera : Lygaeidae) associées aux Cupressaceae : une étude de l'impact d'un pathogène introduit sur les interactions cônes-insectes.* Thèse doctorat d'université d'Orléans.

Turgeon J.J., Roques A., & Degroot P., 1994. Insect fauna of coniferous seed cones: diversity, host plant interactions, and management. *Ann. Rev. Entomol.* 39: 179-212.

# Bryoflore épiphyte des Genévriers thurifères dans les Alpes françaises

## *Epiphytic bryophyte flora of Incense juniper in the French Alps*

Thomas LEGLAND[1], Luc GARRAUD[2], Vincent HUGONNOT[3]

1. Conservatoire botanique national alpin, Antenne Alpes du Nord-Ain, 148, rue Pasteur, 73000 Chambéry
E-mail : t.legland@cbn-alpin.org

2. Conservatoire botanique national alpin, Domaine de Charance, 05000 Gap
E-mail : l.garraud@cbn-alpin.org

3. Le bourg, 43270 Varennes-Saint-Honorat
E-mail : vincent.hugonnot@wanadoo.fr

**Résumé**

*Un inventaire de la bryoflore corticole du Genévrier thurifère a été réalisé dans les Alpes françaises. Sur les vingt-cinq populations échantillonnées réparties sur six départements, les résultats montrent une faible diversité spécifique : trente-quatre espèces dont neuf du genre* Orthotrichum*. Deux espèces remarquables ont été relevées :* Orthotrichum vittii *F. Lara, Garilleti & Mazimpaka et* Pseudoleskeella tectorum *(Funck ex Brid.) Kindb. ex Broth. Elles paraissent étroitement liées au Genévrier thurifère et participent à la valeur patrimoniale des thuriféraies alpines.*

**Abstract**

*An inventory of the corticolous bryophyte flora of incense juniper has been realized in the French Alps, where 25 populations spread over 6 departments have been sampled. The results show a low diversity: 34 species, including 9 of the genus* Orthotrichum*. Two remarkable species have been identified:* Orthotrichum vittii *F. Lara, Garilleti & Mazimpaka and* Pseudoleskeella tectorum *(Funck ex Brid.) Kindb. ex Broth., which appear to be closely related to incense juniper and contribute to the patrimonial value of the alpine juniper forests.*

## Abridged english version

Populations of incense juniper (*Juniperus thurifera* L.) are settled in specific ecological conditions, marked by severe aridity and wide seasonal variations of temperature. The epiphytic bryophyte flora of incense juniper is known to be highly specialized and includes rare species (Mazimpaka *et al.* 2004; Medina *et al.* 2010).

An inventory of corticolous bryophytes of incense juniper has been realized in the French Alps, which constitute the northern limit of its range. Twenty-five populations spread over 6 departments (Savoie, Isère, Drôme, Hautes-Alpes, Alpes-de-Haute-Provence and Alpes-Maritimes) have been sampled.

Low specific diversity is observed (34 species). Acrocarpous species are dominant, including 9 taxa of the genus *Orthotrichum*, while liverworts are poorly represented (only 3 species). Floristic richness is highly variable among sites: the species richness varies from 2 to 20 taxa. Two remarkable species have been recorded. *Orthotrichum vittii* was found in three sites, bringing to 4 the number of french stations known for this species. All of them correspond to old and well developed forests. *Pseudoleskeella tectorum*, which is a very rare species in France with a poorly understood ecology, was found in 9 stations. These 2 species show a high affinity for the incense juniper in the French Alps. An original species composition has been observed among the corticolous bryophytes colonizing the juniper bark, which included xerothermophilous, mesophilous and saxicolous species. This singular bryophyte flora and the presence of two remarkable species *Orthotrichum vittii* and *Pseudoleskeella tectorum* point out the patrimonial interest of alpine juniper forests that have to be protected.

**Mots clés :** bryophytes, *Juniperus thurifera*, *Orthotrichum vittii*, *Pseudoleskeella tectorum*, France.

## Introduction

De répartition méditerranéo-montagnarde occidentale, le Genévrier thurifère (*Juniperus thurifera* L.) trouve dans les Alpes françaises sa limite septentrionale. S'il peut former de beaux peuplements sur des versants rocailleux des Alpes du Sud, sa répartition se morcelle plus au nord et il ne subsiste plus qu'en individus isolés à la faveur de falaises bien exposées dans les Alpes du Nord (Garraud & Villaret 2000 ; base de données Flore Cbna 2011). Les peuplements de Genévrier thurifère sont considérés comme des habitats d'intérêt communautaire au regard de la directive Habitat 92/43/Cee (9560* : Forêts endémiques à *Juniperus* ssp. et 5210 : Matorrals arborescents à *Juniperus* ssp.).

Les conditions écologiques particulières des thuriféraies (forts écarts saisonniers de température et aridité marquée) ainsi que la structure des peuplements (arbres espacés les uns des autres) favorisent une flore bryophytique corticole spécialisée, héliophile et xérothermophile, adaptée à ces fortes contraintes.

Une étude récente (Medina *et al.* 2010) réalisée à l'échelle ouest-méditerranéenne sur l'ensemble de l'aire de répartition du Genévrier thurifère a montré l'originalité de cette bryoflore : des communautés globalement homogènes sur la surface d'étude ont été observées, incluant plusieurs espèces rares dont certaines étroitement liées au thurifère. Une seule thuriféraie alpine était concernée par cette étude (Saint-Crépin, Hautes-Alpes) ; tout comme quelques peuplements sous influence climatique atlantique, elle présentait la singularité d'associer aux espèces typiques du Genévrier thurifère des éléments mésophiles.

Au vu de ces travaux, il nous a paru intéressant d'étudier à l'échelle des Alpes françaises les bryophytes corticoles du thurifère afin d'avoir une meilleure connaissance des cortèges associés à ce genévrier dans la limite septentrionale de son aire de répartition.

**Figure 1 – Localisation des populations échantillonnées.**

***Figure 1 – Location of sampled populations.***

## Méthodes

Vingt-cinq populations de Genévrier thurifère ont été échantillonnées au cours de l'année 2010 (figure 1), réparties sur six départements des Alpes françaises : la Savoie, l'Isère, la Drôme, les Hautes-Alpes, les Alpes-de-Haute-Provence et les Alpes-Maritimes. Parmi ces vingt-cinq stations, vingt et une sont naturelles, et quatre correspondent à des arbres vraisemblablement plantés par l'homme, tout en étant situés à proximité (quelques kilomètres) de peuplements naturels (stations 2, 5, 6 et 9).

L'échantillonnage a été limité aux bryophytes établies sur les Genévriers thurifères (troncs et branches). Pour chaque espèce décelée sur le terrain, un prélèvement limité est réalisé pour identification au laboratoire avec le matériel optique approprié. L'ensemble des échantillons récoltés est conservé dans l'herbier bryologique du CBNA.

La nomenclature utilisée suit Hill *et al*. (2006) pour les mousses et Ros *et al.* (2007) pour les hépathiques.

## Résultats

L'inventaire réalisé révèle une faible diversité spécifique avec trente-quatre espèces rencontrées (tableau 1*)*. Parmi les espèces représentées, on note une dominance des acrocarpes (dix-neuf espèces) sur les pleurocarpes (douze espèces), avec notamment neuf espèces du genre *Orthotrichum*.

**Tableau 1 – Liste des espèces observées dans chaque localité échantillonnée.**
***Table 1 – List of the observed species in each sampled location.***

| | localités | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 |
| *Anomodon attenuatus* | x | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| *Bryum capillare* | | | | | | | | | | | | | | | | | x | | | | | | | | |
| *Bryum moravicum* | | | | | | | | | | | | | | | | | | x | | | | | | | |
| *Ctenidium molluscum* | | | | | | | | | | | | | | | | | x | | | | | | | | |
| *Fissidens dubius* | | | | x | | | | | | | | | | | x | | | | | | | | | | |
| *Frullania dilatata* | | x | x | | x | x | x | x | x | | | | x | x | x | x | x | x | | | | | x | | x |
| *Homalothecium lutescens* | x | x | | | | | | | | | | | | | x | | x | | | | x | | | | |
| *Homalothecium sericeum* | x | | | | | | | | | | x | | | | x | x | x | | | | x | | | | |
| *Hypnum cupressiforme (incl. var. filiforme)* | | x | x | | x | | x | | x | | x | x | | | x | | | | x | | x | | | | x |
| *Hypnum procerrimum* | | | | x | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| *Hypnum vaucheri* | x | | | | | | | | | | | | | | | | x | x | | | | | | | |
| *Leptodon smithii* | | | | | | | | | x | | | | | | | | | | | | | | x | | |
| *Leucodon sciuroides* | | x | | | x | | x | x | x | | x | x | x | x | x | x | x | x | | x | x | x | x | | |
| *Neckera complanata* | | | | | | | | | | | | | | | | | x | | | | | | | | |
| *Orthotrichum affine* | | x | | | x | | | | x | | | | | | x | x | x | x | | | x | | | x | |
| *Orthotrichum diaphanum* | | x | | | x | x | | | x | x | x | x | | | | x | x | x | | | x | x | x | x | x |
| *Orthotrichum lyellii* | | x | | | x | | x | | | | | | | x | | x | | | | | x | | x | | |
| *Orthotrichum obtusifolium* | | | | | | | | | | | | | | | | x | | | | | | | | | |
| *Orthotrichum pumilum* | | x | | | | | | | x | x | | | | | x | x | x | x | | | x | x | | | x |
| *Orthotrichum schimperi* | | | | | x | | | | x | | x | | | | | | x | x | | | x | | x | | |
| *Orthotrichum speciosum* | x | | | | | x | x | x | | x | x | x | | x | x | x | x | x | x | | x | x | x | | x |
| *Orthotrichum striatum* | | x | | | x | x | x | x | x | x | | | | x | x | x | x | | | | x | | x | | |
| *Orthotrichum vitii* | | | | | | | | | | | x | | | | | x | x | | | | | | | | |
| *Porella platyphylla* | x | x | | | x | x | | | | | | | x | | | x | | | | | x | | | | |
| *Pseudoleskeella nervosa* | x | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| *Pseudoleskeella tectorum* | x | | | | | | | | | | x | x | | | | x | x | x | x | | x | x | | | |
| *Radula complanata* | x | | | | x | | x | | x | | | | | | x | | x | | | | | | | | |
| *Syntrichia laevipila* | | x | | | x | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| *Syntrichia papillosa* | | x | x | | x | x | x | | x | | | | | | | x | | x | | | x | | x | | |
| *Syntrichia ruralis var. ruralis* | | | | | | | | | | | | | | x | | | x | | | | x | | | | |
| *Syntrichia ruralis var. ruraliformis* | | | | | | | | | | | | | | | | x | | | | | | | | | |
| *Syntrichia virescens* | x | x | x | | x | | | | x | | | | | | x | x | x | x | | | | x | | | |
| *Tortella tortuosa* | x | | | | | | | | | | | | | | x | | x | | | | | | | | |
| *Zygodon rupestris* | | | | | x | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Richesse spécifique | 11 | 13 | 4 | 2 | 14 | 6 | 8 | 5 | 12 | 4 | 8 | 5 | 3 | 6 | 13 | 16 | 20 | 12 | 3 | 1 | 15 | 6 | 9 | 2 | 5 |

**Savoie** – 1 : La Thuile, rocher de Beverau.
**Isère** – 2 : Proveyssieux, Le Charpenet ; 3 : Claix, rochers de Comboire ; 4 : Choranche, grottes de Choranche.
**Drôme** – 5 : Oriol-en-Royans, Les Jacots ; 6 : Saint-Laurent-en-Royans, Laval ; 7 : Sainte-Croix, Rocher de Sainte-Croix ; 8 : Mornans, forêt de Saoû ; 9 : Treschenu-Creyers, Reychas ; 13 : Pommerol, Les Aiguilles.
**Hautes-Alpes** – 10 : La Faurie, Serre la Croix ; 11 : Montmaur, Le Colombier ; 12 : Montmaur, le petit Devès ; 14 : Saint-André-de-Rosans, forêt de l'Eygues ; 15 : Chanousse, rocher du passé ; 16 : Savournon, Revuaire ; 18 : Espinasses, Pierre Feu.
**Alpes-de-Haute-Provence** – 17 : Le Caire, Roche des Prises ; 19 : Méolans-Revel, Roche Juan ; 20 : Barles, Les Vignes ; 21 : Prads-Haute-Bléone, Rocher de la Meichira ; 22 : Thorame-Haute, Le Cheinet.
**Alpes-Maritimes** – 23 : Saint-Sauveur-sur-Tinée, vallon de Mollières ; 24 : Tende, Rocher de Susarme ; 25 : Saorge, Vallerasse.

Six taxons appartenant à la famille des *Pottiaceae* ont été observés, parmi lesquels cinq appartiennent au genre *Syntrichia*. La grande rareté des hépatiques (trois espèces en tout) mérite d'être soulignée.

Deux espèces remarquables ont été observées : *Orthotrichum vittii* dans les Hautes-Alpes (deux stations) et les Alpes-de-Haute-Provence (une station), et *Pseudoleskeella tectorum* dans neuf stations réparties sur les Alpes-de-Haute-Provence, les Hautes-Alpes et la Savoie (figure 2).

Certains sites concentrent une grande richesse floristique (Savournon, Le Caire…) tandis que d'autres apparaissent extrêmement pauvres (Choranche, Tende…). La richesse floristique des sites varie de deux à vingt taxons.

Les taxons les plus fréquents dans les sites sont notamment : *Leucodon sciuroides*, *Orthotrichum speciosum*, *Frullania dilatata*, *Orthotrichum diaphanum*, *Orthotrichum striatum*, *Hypnum cupressiforme* (incl. *var. filiforme*), *Orthotrichum pumilum* et *Syntrichia papillosa*.

Les taxons les moins fréquents sont surtout : *Anomodon attenuatus*, *Bryum capillare*, *Bryum moravicum*, *Ctenidium molluscum*, *Hypnum procerrimum*, *Neckera complanata*, *Orthotrichum obtusifolium*, *Pseudoleskeella nervosa*, *Syntrichia ruralis var. ruraliformis* et *Zygodon rupestris*.

De façon remarquable les taxons à forte valeur patrimoniale ne sont pas parmi les plus rares : *Orthotrichum vittii* est présent dans 12 % des sites étudiés, *Pseudoleskeella tectorum* dans 36 %.

## Discussion

### Particularités du phorophyte

Les conditions xérothermiques des thuriféraies sont très contraignantes pour les peuplements de bryophytes épiphytes (Mazimpaka *et al.* 2004 ; Hugonnot & Gattus 2012). Ils sont généralement peu développés et restreints aux habitats les moins défavorables. Le

**Figure 2 – Localisation des stations de *Pseudoleskeella tectorum* (étoiles) et *Orthotrichum vittii* (cercles) observées.**

***Figure 2 – Locations of observed stations of* Pseudoleskeella tectorum *(stars) and* Orthotrichum vittii *(circles).***

port tortueux de certains arbres (procurant des zones abritées et ombragées) et l'écorce crevassée, pouvant même se desquamer sur les gros individus, favorisent la diversité des micro-milieux d'accueil. Cette diversification des niches participe à l'expression de plusieurs groupements bryosociologiques distincts qui n'ont pas été individualisés dans cet inventaire mais qui ont été étudiés plus en détail dans la thuriféraie du Revuaire (Hugonnot & Gattus 2012). De manière générale, les peuplements bryophytiques les mieux développés se trouvent préférentiellement sur les gros individus, en exposition nord, en dessous des zones d'insertion des branches (zone de ruissellement) ou sur des parties plus planes (troncs ou grosses branches) bénéficiant d'un certain ombrage.

## Groupes écologiques

D'après les préférences écologiques des espèces observées (Dierssen 2001), on peut distinguer trois principaux groupes écologiques.

Un premier groupe concerne les espèces répertoriées comme corticoles, xérophiles, héliophiles et thermophiles, telles qu'*Orthotrichum diaphanum*, *Orthotrichum pumilum*, *Orthotrichum schimperi* ou *Syntrichia virescens*. La présence des espèces de ce groupe était attendue, on la retrouve sur l'ensemble de l'aire de répartition du Genévrier thurifère (Mazimpaka *et al.* 2004 ; Medina *et al.* 2010).

Un deuxième groupe est caractérisé par des espèces corticoles à affinités mésophile et sciaphile, parmi lesquelles des pleurocarpes et des hépathiques à feuilles pouvant former des populations développées. On trouve ainsi fréquemment sur les Genévriers thurifères alpins des espèces telles que *Leucodon sciuroides*, *Hypnum cupressiforme*, *Frullania dilatata*, *Radula complanata* ou *Porella platyphylla*. Medina *et al.* (2010) avaient déjà remarqué ce groupe d'espèces mésophiles dans la thuriféraie de Saint-Crépin (Hautes-Alpes), groupe qui ne se retrouve pas dans les thuriféraies plus méridionales à l'exception des peuplements sous influence océanique.

Un troisième groupe est constitué d'espèces généralement admises comme cortico-saxicoles à saxicoles (*Homalothecium sericeum*, *Hypnum vaucheri, Pseudoleskeella tectorum…*), qui trouvent sur le Genévrier thurifère des conditions favorables à leur développement. La présence en situation corticole d'espèces habituellement saxicoles, sans doute favorisée par la xéricité du milieu, avait déjà été notée par Vitt (1981), Albertos *et al.* (2005) et Draper *et al.* (2006). Cette particularité semble également se retrouver dans les cortèges lichéniques du thurifère, qui intègrent eux aussi des espèces saxicoles (C. Rémy, comm. pers.).

Les espèces de ces trois groupes se retrouvent régulièrement en mélange au sein des stations inventoriées, traduisant une certaine homogénéité de ce cortège original à l'échelle des Alpes françaises.

## Espèces remarquables

*Orthotrichum vittii* est un taxon récent décrit en 1999 d'après des récoltes réalisées dans des thuriféraies espagnoles (Lara *et al.* 1999). Cette espèce est morphologiquement proche d'*Orthotrichum pumilum*, avec la particularité d'avoir à l'apex des feuilles des pointes hyalines bien développées (caractère partagé avec *Orthotrichum diaphanum*) (figure 3). Cette espèce a été découverte pour la première fois en France en 2004 dans la thuriféraie de Saint-Crépin (Hautes-Alpes) (Blockeel *et al*. 2006), et notre inventaire a permis de trouver trois nouvelles stations : thuriféraies du Colombier à La Cluse (Hautes-Alpes), du Revuaire à Savournon (Hautes-Alpes) et de la Roche des Prises au Caire (Alpes-de-Haute-Provence). Ces quatre stations sont des thuriféraies bien développées, anciennes, présentant chacune des zones où le Genévrier

**Figure 3 – *Orthotrichum vittii :* plante entière.**
***Figure 3* – Orthotrichum vittii: *entire plant.***

thurifère est exclusif dans la strate arborescente, avec présence de gros individus (base de données Flore Cbna 2011).

Quand il est présent, *Orthotrichum vittii* est toujours rare, en peuplements disséminés et peu fournis. Il est visiblement étroitement lié au Genévrier thurifère puisqu'il est à ce jour l'unique phorophyte connu en France à l'exception d'une seule récolte sur *Quercus humilis* Miller, au sein même de la thuriféraie du Revuaire (Hugonnot & Gattus 2012).

*Pseudoleskeella tectorum* est une *Leskeaceae* considérée par Husnot (1890) et Augier (1966) comme très rare en France. Elle est morphologiquement proche de *Pseudoleskeella catenulata* (Brid. ex Schrad.) Kindb. dont elle se distingue par les cellules foliaires aux parois fines, une ramification régulière, des rameaux courts et moins strictement julacés (figure 4). D'après la littérature (Dierssen 2001 ; Frey *et al.* 2006 ; Wilson & Norris 1989), ce taxon est habituellement considéré comme saxicole calcicole et pouvant se retrouver en contexte anthropique sur les murs ou les toits. Au niveau régional, les rares citations historiques (Husnot 1890 ; Burgisser & Price 2005) mentionnent justement l'espèce dans ces milieux anthropisés, alors que les quelques citations plus récentes (L. Chavoutier, comm. pers.) correspondent à des milieux primaires : rochers aux étages subalpin et alpin. Quelques auteurs signalent tout de même l'espèce comme rarement ou occasionnellement corticole (Augier 1966 ; Cortini-Pedrotti 2006 ; Wilson & Norris 1989).

Lors de cet inventaire, *Pseudoleskeella tectorum* a été observée dans neuf stations échantillonnées (soit plus d'une sur trois), où elle forme la plupart du temps des peuplements bien développés. Le Genévrier thurifère semble donc constituer pour cette rare bryophyte un support de prédilection dans les Alpes françaises.

On notera que ces deux espèces remarquables n'ont pas été trouvées dans les quatre stations non naturelles, ce qui laisse penser qu'au-delà du support, ces espèces sont favorisées par les conditions écologiques particulières des thuriféraies.

## Sites remarquables

Les deux thuriféraies les plus riches au vu de cet inventaire sont celles de la Roche des Prises (commune du Caire, Alpes-de-Haute-Provence) et du Revuaire (commune de Savournon, Hautes-Alpes) avec respectivement vingt et seize taxons. Elles accueillent toutes les deux *Orthotrichum vittii* et *Pseudoleskeella tectorum*.

La thuriféraie de la Roche des Prises est constituée d'un peuplement dense et monospécifique, situé au sommet d'une croupe rocheuse calcaire ; les arbres y sont gros et une forte régénération est observée. Elle est incluse dans le site Natura 2000 « Venterol – Piégut – Grand Vallon ».

La thuriféraie du Revuaire prend place au sein du synclinal de Saint-Genis ; le coteau de Revuaire y occupe le haut d'un versant calcaire exposé au sud-est. Le peuplement est clair, de type pré-bois, et riche en gros arbres. Elle est incluse dans le site Natura 2000 « Céüse – Montagne d'Aujour – Pic de Crigne – Montagne de Saint-Genis », et fait l'objet d'un projet de création de réserve biologique.

Sur ces deux sites, les présences de traces de brûlis et de nombreuses marques de taille témoignent d'une activité humaine (pastoralisme, foresterie…) ancienne et soutenue.

**Figure 4 – *Pseudoleskeella tectorum :* vue d'ensemble et feuilles.**
***Figure 4* – Pseudoleskeella tectorum: *global view and leaves.***

## Conclusion

Cet inventaire de vingt-cinq thuriféraies permet une meilleure connaissance du cortège bryophytique corticole du Genévrier thurifère dans les Alpes françaises. Celui-ci associe de façon originale des espèces xérothermophiles, des espèces mésophiles et des espèces à tendance saxicole. Il abrite en outre deux espèces hautement patrimoniales : *Orthotrichum vittii* et *Pseudoleskeella tectorum*. Ces deux espèces, ainsi que la singularité du cortège bryofloristique associé, participent à la valeur patrimoniale des thuriféraies alpines qu'il convient de préserver.

## Remerciements

À Marc Philippe qui a revu quelques échantillons, à Leica Chavoutier qui nous a renseignés sur les citations savoyardes de *Pseudoleskeella tectorum*, à Hugues Fertin qui a participé à la collecte d'échantillons et à Claude Rémy pour son éclairage sur les peuplements lichéniques du thurifère.

## Références

Albertos B., Lara F., Garilleti R. & Mazimpaka V., 2005. A survey of the epiphytic bryophyte flora in the northwest of the Iberian Peninsula. *Cryptogamie, Bryologie* 26(3): 263-289.

Augier J., 1966. *Flore des bryophytes*. Paris, Éd. Jouve, Éd. Lechevalier, 702 p.

Base de données Flore (version 2) (2011-). Cbna. F – 05000 Gap.

Blockeel T.L., Enroth J., Ertz D., Hedderson T.A.J., Holz I., Jafari M., Kürschner H., Lara F., Mazimpaka V., Medina R., Ramel G., Schäfer-Verwimp A., Shirzadian S., Sotiaux A., Sotiaux O., Stebel A. & Tavili A., 2006. New national and regional bryophyte records, 14. *Journal of Bryology* 18: 271-275.

Burgisser L. & Price M.J., 2005. Inventaire des mousses du canton de Genève (Suisse). Catalogue bibliographique (1791-2001). *Candollea* 60(2) : 513-562.

Cortini-Pedrotti C., 2006. *Flora dei muschi d'Italia. Vol. 2 : Bryopsida*. Ed. Delfino Antonia, 432 p.

Dierssen K., 2001. *Distribution, ecological amplitude and phytosociological characterization of European bryophytes*. Ed. J. Cramer, Coll. Bryophytorum Bibliotheca, Band 56, 289 p.

Draper I., Lara F. & Albertos B., 2006. Epiphytic bryoflora of the Atlas and Antiatlas Mountains, including a synthesis of the distribution of epiphytic bryophytes in Morocco. *Journal of Bryology* 28: 312-330.

Frey W., Frahm J.P., Fischer E. & Lobin W., 2006. The *Liverworts, Mosses and Ferns of Europe.* English edition, revised and edited by T.L. Blockeel. Colchester, Harley Books, 512 p.

Garraud L. & Villaret J.C., 2000. Historique, répartition et données écologiques du Genévrier thurifère dans les Alpes françaises. *In* : Office national des forêts, *Le Genévrier thurifère (*Juniperus thurifera *L.) dans le bassin occidental de la Méditerranée : systématique, écologie, dynamique et gestion*. Marignac, 26-27 septembre 1997 : 26-36.

Hill M.O., Bell N., Bruggeman-Nannenga M.A., Brugués M., Cano M.J., Enroth J., Flatberg K.I., Frahm J.P., Gallego M.T., Garilleti R., Guerra J., Hedenäs L., Holyoak D.T., Hyvönen J., Ignatov M.S., Lara F., Mazimpaka V., Mu oz J. & Söderström L., 2006. Bryological Monograph. An annotated checklist of the mosses of Europe and Macaronesia. *Journal of bryology* 28: 198-267.

Hugonnot V. & Gattus J.C., 2012. La flore et la végétation bryophytiques d'une thuriféraie des Hautes-Alpes (France). *Bull. Soc. Linn. Provence* 63 : 141-152.

Husnot P.T., 1890. *Muscologica gallica : descriptions et figures des mousses de France et des contrées voisines. Première partie : Acrocarpes. Deuxième partie : Pleurocarpes*. Paris, 458 p., planches.

Lara F., Mazimpaka V., Garilleti R. & Garcia-Zamora P., 1999. *Orthotrichum vittii*, a new epiphytic moss from Spain. *The Bryologist* 102(1): 53–60.

Mazimpaka V., Draper I., Lara F., Albertos B. & Garilleti R., 2004. Aperçu sur la bryoflore des thuriféraies et autres forêts d'altitude du Maroc. *Naturalia Maroccana* 2(1-2) : 109-114.

Medina R., Lara F., Albertos B., Draper I., Garilleti R. & Mazimpaka V., 2010. Epiphytic bryophytes in harsh environments: the Juniperus thurifera forests. *Journal of Bryology* 32: 23-31.

Ros R. M., Mazimpaka V., Abou-Salama U., Aleffi M., Blockeel T.L., Brugués M., Cano M.J., Cros R.M., Dia M.G., Dirkse G.M., El Saadawi W., Erda A., Ganeva A., González-Mancebo J.M., Herrnstadt I., Khalil K., Kürschner H., Lanfranco E., Losada-Lima A., Refai M.S., Rodríguez-Nuez S., Sabovjlevi M., Sérgio C., Shabbara H., Sim-Sim M. & Söderström L., 2007. Hepatics and Anthocerotes of the Mediterranean, an annotated checklist. *Cryptogamie, bryologie* 28 (4): 351-437.

Vitt E., 1981. Adaptative modes of the moss sporophyte. *The Bryologist* 84: 166-186.

Wilson P. & Norris D.H., 1989. Pseudoleskeella in North America and Europe. *The Bryologist* 92(3): 387-396.

# Toponimia relacionada con sabinas y enebros (Gén. *Juniperus*) en la España peninsular. Primera aproximación

## *Première approche à la toponymie basée sur les genévriers (Gen.* Juniperus*) en Espagne péninsulaire*

Luis VILLAR[1], Mario SANZ[2]

1. Instituto Pirenaico de Ecología, IPE-CSIC, Apdo. 64, 22700 Jaca (Huesca, España)
E-mail : lvillar@ipe.csic.es

2. Gerencia Territorial del Catastro, Ministerio de Hacienda y Administraciones Públicas, Segovia (España)
E-mail : mario.sanz@catastro.minhap.es

**Resumen**

El género *Juniperus* incluye 11 especies y subespecies en la Península Ibérica, 7 de hoja acicular y 4 de hoja escuamiforme. En España, sólo la especie principal –*J. thurifera* L.– ocupa más de 100.000 ha y encontramos sabinas o enebros desde 0 a 3 000 m de altitud. Sus comunidades conforman hábitats priorizados para su conservación a escala europea y bastantes lugares de interés comunitario (LIC) llevan sus nombres. Por tratarse de plantas leñosas muy útiles han recibido decenas de nombres vernáculos, entre los cuales observamos casos de sinonimia y polisemia. También se han formado muchos topónimos juniperinos individuales o colectivos. De ellos hemos recopilado –con especial atención a Castilla y Aragón– 432 referidos a las tres especies de la sect. *Sabina*, *J. phoenicea*, *J. sabina* y *J. thurifera.* Junto al topónimo menor o mayor se anotan localidad, nombre científico de la especie que lo originó, provincia y comunidad autónoma. Desde un punto de vista etnobotánico, los topónimos estudiados indican referencia geográfica, utilidad –leñas y madera, alimento para herbívoros, abrigo, etc.– u otras características. Aunque en el siglo XXI se pierdan algunos de esos usos, los fitotopónimos persisten y ayudan a comprender la antigua explotación de esas formaciones forestales, su situación actual e incluso su evolución futura.

**Palabras clave :** fitotopónimos, *Juniperus* sect. *Sabina*, sinonimia-polisemia, etnoecología, España.

**Resumé**

Le genre *Juniperus* comprend onze taxons ibériques (sept à feuilles piquantes et quatre à feuilles en écaille). En Espagne, seul *J. thurifera* L. couvre beaucoup plus de 100 000 ha mais les genévriers se distribuent depuis 0 m jusqu'à 3 000 m d'altitude. Les junipéraies constituent des habitats prioritaires au niveau européen et de nombreux sites d'intérêt communautaire (SIC) portent leurs noms. Ces espèces ligneuses très utiles possèdent des dizaines de noms vernaculaires, parmi lesquels des synonymes et noms polysémiques. Surtout pour la Castille et l'Aragon, on retrouve ainsi beaucoup des toponymes « juniperains » individuels ou collectifs et nous en avons recensé 432 basés sur les espèces de la section *Sabina*, *J. phoenicea*, *J. sabina* et *J. thurifera*. À coté du nom de lieu nous avons noté les noms scientifiques des espèces concernées, la localité, province et région. Du point de vue ethnobotanique, les toponymes étudiés viennent indiquer une référence géographique, leur utilisation (bois, alimentation des herbivores, abri, etc.) ou d'autres caractéristiques. Même si, aujourd'hui, certains de ces usages sont en train de se perdre, les phytotoponymes persistent et nous rappellent l'intégration ancienne de l'homme dans son environnement. Leur étude peut nous aider à mieux comprendre l'exploitation ancienne de leurs formations forestières, leur situation actuelle et même leur évolution future.

**Mots clés :** phytotoponymes, *Juniperus* sect. *Sabina*, synonymie-polysémie, ethnoécologie. Espagne.

## Introducción

El género *Juniperus* (Cupressaceae) incluye en la Península Ibérica una docena de especies y subespecies mayormente conocidas como sabinas –con hoja adulta escuamiforme– y enebros, de hoja acicular (Villar 2013). Se trata de arbustos o árboles útiles al hombre para muy diversos fines o peligrosos en ciertos aspectos (Villar *et al.* 1987 ; Villar & Ferrández 2000). En la Península Ibérica podemos encontrar sabinas desde el nivel del mar hasta los 2 100 m y enebros hasta los 3 000 m de altitud ; la especie principal, *J. thurifera* L., endémica del Mediterráneo occidental, solo en Castilla y León ocupa más de 100 000 ha (Yagüe *et al.* 2006). En España y otros países, estas leñosas ha sido aprovechadas desde tiempos prehistóricos (Costa *et al.* 1990) ; así, en unos lugares sus formaciones se fueron aclarando e incluso destruyendo, mientras que en otros se mantuvieron en el seno de un paisaje agro-silvo-pastoral. Ciertas especies definen comunidades vegetales características (Rivas-Martínez *et al.* 2011), ciertos ejemplares se consideran árboles singulares (Sanz & Agón 1997) y algunas de sus masas son objeto de protección legal a escala regional. Aún más, en Europa conforman hábitats priorizados para su conservación y por tanto ayudan a delimitar lugares de interés comunitario (Lic), por ejemplo el llamado « Sabinares de la Sierra de Cabrejas », en Soria.

Castilla y León, junto con Aragón y territorios limítrofes, albergan todas las especies de *Juniperus* y aunque en ambas regiones se habla español, también siguen vivas otras lenguas o llegan influencias : gallego y portugués por el oeste ; astur-leonés o bable por el noroeste ; aragonés y catalán por el este ; vascuence y gascón por el N ; árabe por el S, etc.

En la Tabla 1 alistamos las cinco especies principales, de las cuales tres son de hoja adulta escuamiforme y dos de hoja acicular. Además de sus nombres científicos latinos hemos anotado las decenas de nombres vernáculos que han recibido en las diversas lenguas peninsulares (véanse Morales *et al.* 1996 ; Ruiz de la Torre 2006 ; Vidaller 2004 ; Villar *et al.* 1997-2001, etc.). Puede observarse que no existe correspondencia entre nombres cultos y vulgares sino frecuentes casos de sinonimia –varios nombres se dan a una sola especie– y de polisemia : una sola voz sirve para nombrar varias especies.

Esta dificultad llamó la atención de nuestro amigo el Prof. T. Gauquelin en el Coloquio de Soria, y su interés por el tema nos llevó a preparar esta comunicación.

Como era de esperar, sobre la base de ese conocimiento fitonímico, las poblaciones humanas han ido dejando a lo largo de los siglos numerosos topónimos individuales o colectivos (Villar 2005a y b ; Sanz & González 2006, etc.). Aparte de su interés lingüístico, estas voces suelen llevar asociada información etnobotánica que nos interesa (Villar & Ferrández 2000 ; Villar 2003).

En los últimos años venimos recogiendo en ese ámbito muchos topónimos mayores o menores relacionados con enebros y sabinas. Son fitotopónimos, sinfitotopónimos o hagiotopónimos con los que formamos las correspondientes bases de datos. En esta comunicación presentaremos una muestra de los topónimos juniperinos basados en taxones de la Sect. Sabina : *Juniperus phoenicea, J. sabina y J. thurifera*, es decir, aquellos que presentan hojas adultas escuamiformes.

Ante esta situación, en esta nota nuestros objetivos consisten en (1) averiguar la especie o especies en que se basan ; (2) interpretar el saber etnoecológico que reflejan (Villar 2010) en el seno de sus paisajes humanizados (González Bernáldez 1992 ; Barrios *et al.* 1992) –ya que no sólo denotan referencias geográficas sino también múltiples aprovechamientos en el espacio y en el tiempo : abrigo, obtención de leñas, madera de construcción, fabricación de muebles, utensilios y objetos, remedios medicinales o veterinarios, bebidas, repelente de insectos, alimento o complemento mineral para animales domésticos, ornamento, etc.– y (3) contribuir al esclarecimiento y conservación de este patrimonio cultural, ya que como dice Aguilella (2011) muestra una fragilidad o riesgo de pérdida todavía mayor que el de la información genética o ecológica. En efecto, tras la despoblación rural sufrida a lo largo de la segunda mitad del siglo XX, algunos de estos nombres perdieron vitalidad o cayeron en el olvido.

## Fuentes, material y métodos

Nuestro conocimiento previo (Villar *et al.* 1997-2001 ; Sanz 2008) de los variados nombres vulgares de sabinas y enebros en el

**Tabla 1 – Especies del género *Juniperus* presentes en la Península Ibérica, con sus correspondientes nombres vulgares individuales, colectivos y principales usos etnobotánicos.**

***Table 1 – The* Juniperus *species living in the Iberian Peninsula, together with their correspondent popular names – individual and collective – and some ethnobotanical uses.***

***Gén. Juniperus***

| Nombre cientítfico | Nombres vulgares en la Península Ibérica y Baleares (individual) | Nombres vulgares en la Península Ibérica y Baleares (colectivo) | Principales Usos |
|---|---|---|---|
| *J. communis* L. s.l. | Galaico/Portugués : cimbro, xenebreiro/zimbro, zimbro-comum | xenebral, xenebrerial, cimbral, xinebreiral, jinebreiral, jiniebral/zimbral | Artesanal, alimentación, medicinal y veterinaria, ornamental |
| | Español : enebro, enebro común, enebro real, ginebro, grojo, jabino, sabino, sabina, sabina morisca | enebral, enebredo, ginebral, nebral, nebredo, sabinar | |
| | Castilla y León : árguma, carrasco, chaparro, enebra, enebro, enebro de los pinchos, enhambri, enhembri, jabina, jabino, sabino (algunas localidades de Sg), churro (Valdivielso Bu), cimbro, xinibro, nebral, nebro (Sayago Za), eneblio, enebrio (Montaña de Luna Le), enebro (Sierra Demanda Bu ; Za) enebro común (general), esquena, esqueno (algunas zonas del centro y sur de Bu y P y de Va), grojo (valle Ebro en Bu), inebro, jinebro, jineblo, jinieblo (Treviño Bu), jinebrerira, jiniebra, xinibreira (Sanabria y Carballeda Za), jiniebro (valle de Mena Bu), nebreira, nebrera (La Cabrera y Valdería Le), xinebreira (La Cabrera Le), xinebru (Montaña de Luna, Montaña de Riaño Le), zainu (mamolar Bu) | enebral, enebredo, nebral, nebredo, sabinar | |
| | Otros : Aragonés : azotacristos, chinarro, chinastra, chinebre, chinebre bord, chinebrero, chinebro, chinepro, chinestra, chinibro, chinibra, chinipro, enebro, ginebro, inebro, xinastra, xinebre, xinebro | chinebral, chinipral, chiniprar, enebrada, ginebral, ginebrar, inebrada, inebral | |
| | Catalán : ginebre, ginebró | ginebreda | |
| | Vascuence : larraon, orre, orri, ipar, ipar ipurua, ipar orrea, ipuru | orreadi, orreaga | |
| | Otros : Gorbezu, gorbiñu, gurbañu (Asturias) | | |
| | Otros : Árabe : ârâr. Bereber : aífs, aïfs. Bereber : tamerbut (ssp. hemisphaerica) | | |
| | Otros : Aragonés : subsp. alpina : Chinebriza, chinepro | chinebral | |
| | Otros, subsp. alpina, Castilla y León : gorbizo, gorbizu, (Montaña de Luna Le), gurbiezo (Montaña de Luna, Montaña de Riaño) ; nebro, jimbro (Za) | | |
| | Otros, subsp. alpina : enebro de montaña (Andalucía) ; garbizo (Asturias) | | |
| *J. oxycedrus* L. s.l. | Galaico/Portugués : -/Cedro-de-espanha, oxicedro, piorro, zimbreira, zimbro-bravo, zimbro-molar | /jimbrial, junbrial, zimbral, zimbreiral | Artesanal. Medicinal y veterinario. Ritual. Repelente de insectos. Ornamental. Carbón |
| | Español : enebro, enebro de la miera, enebro español, cada, cade, oxicedro | enebral | |
| | Castilla y León : boninas, la jimbre, jimbru, joimbre, jumbrial, jumbrio, jimbro (Arribes del Duero en Sa y Za), broja, grojo blanco (valle del Ebro en Bu), chaparro (algunas localidades de Sg), chirrichín (algunas localidades del norte So), enebro de la miera, nebro (algunas localidades de Av), enhembre, jembre, jumbriu (algunas localidades de Sa), espiteño Valle del Arlanza Bu), esqueno, espiniego, esquino albarizo (algunas localidades del oeste de Bu), inebru (Aliste Za), jabino mayor, sabino (diversas áreas de Sg, Va y So), jimbrio (general), jiniebro (algunas localidades del norte de So), nebru, niebro (algunas localidades del oeste y norte de Le) | enebral, enebredo, nebral, nebredo, sabinar | |
| | Castilla-La Mancha : enebro, nebro (Toledo) | | |
| | Otros : Aragonés : Azotacristos, chinebra, chinebre, chinebrero, chinebro, chinebro de flor (macho), chinestra, chinibro, chinipro, enebro, ginebro, inebro, jinebro, xinebre, xinebro | enebril ? inebrada nebral ? | |
| | Catalán : càdec, càda | ginebreda ? | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | Vascuence : hego-ipurua, hego-orrea | | |
| | Otros : Enebro albar (Andalucía) | | |
| | Otros : Árabe : ârâr, araar. Tamazight o bereber : aïfstaga, taqqa, tasnubar, tiqqi | | |
| | Otros, subsp. badia : ajarje, azotacristo, enebro, nebro, pino, sestia (en Badajoz, Extremadura) | | |
| *J. phoenicea* L. s.l. | Galaico/Portugués : -/Sabina-da-praia, sabina-das-areias, zimbro-das-areias, zimbreira da praia, | /sabinal, zimbreiral | Artesanal. Medicinal y veterinario. Tóxica y abortiva. Ritual. Leña y Carbón |
| | Español : sabina, sabina negra, sabina negral, sabina mora, sabina suave, sabina pudia | sabinal, sabinar | |
| | Castilla y León : alón, grojo romero (Las Merindades, Montes Obarenes Bu), barda, enebro de barda (algunas localidades del nordeste de So), enebro, enebro de risco (valle del Ebro en Bu, algunas localidades del este de So), minebra (Las Merindades Bu) | | |
| | Otros : Aragonés : Pudia, sabina, sabina alta, sabina de roca, sabina negra, sabina negral | | |
| | Catalán : Savina ; sivina (Baleares) | savineda, savineta | |
| | Vascuence : Miter beltza, miter feniziarra, miterra, sabina beltza, sabina feniziarra, sabina gorria | | |
| | Otros : Sabina fenicia (Andalucía) | sabinar | |
| | Otros : Árabe : ârâr, ârâr-ha-adom, ârâr-el-horr. Bereber : aïfs | | |
| | Otros, subsp. turbinata (Guss.) Nyman : Sabina marina (español) ; savina marítima (catalán) ; sabina, sebina (Canarias) | | |
| *J. sabina* L. | Español : sabina, sabina chaparra, sabina rastrera, sabina ratiza, sabina real, sabina terrera | sabinar | Medicinal, veterinaria, tóxica. Ornamental |
| | Castilla y León : corveza, gorbizo liso (montaña de Riaño Le), enebro corveño (diversas localidades del norte de Le, P y Bu), nebrina rastrera, nebriu gurbizu, nebru chaparru, nebru corveñu (Montaña de Luna, Montaña de Riaño Le) | | |
| | Otros : Aragonés : chaparra, sabina, sabina rastrera, sabina rastronera, sabina ratiza | | |
| | Catalán : Savina de muntanya | | |
| | Vascuence : miter arrunta | | |
| | Otros : Sabino (La Rioja) | | |
| | Otros : Sabín (Andalucía Oriental) | | |
| *J. thurifera* L. s.l. | Español : Cedro de España, enebro, sabina, sabina albar, sabina albarra, sabina áspera, sabina blanca, tarabina, trabina | sabinar | Industrial y artesanal. Alimentación animal. Medicinal y veterinario. Tóxica |
| | Castilla y León : bardera, enebro de la bardera (algunas localidades de Sg), enebro, nebredo (general), enebro de incienso (diversas localidades y zonas de P, Bu, So, Sg y Le), neblu, nebro, nebru escenseru (diversas localidades del norte y oeste de Le), nebriu (Montaña de Luna Le), sabina (algunas localidades del sureste de So). Los ejemplares de gran tamaño o venerables se llaman enebras (general) | enebral, enebrada, nebreda | |
| | Castilla-La Mancha : sabina albar (Cuenca), Sabina roma (Guadalajara) | | |
| | Catalán : savina turífera ; travina | savineda, savineta | |
| | Vascuence : intzentsu-miterra | | |
| | Otros : Aragón : Enebro albar, sabina, sabina vera, trabina | sabinar, trabinal, trabinar, trevinar | |
| | Otros : Árabe : ârâr, ârâar. Bereber : aval, awal, adruman, taualt, tawalt, tiqqi | | |
| Abreviaturas | Av : Ávila<br>Bu : Burgos<br>Le : León | Na : Navarra<br>P : Palencia<br>Sa : Salamanca | Sg : Segovia<br>Va : Valladolid<br>Za : Zamora |

ámbito que nos ocupa se basaba en repertorios lexicográficos (Benito 2002), diccionarios (Vidaller 2004 ; Coromines 1989-1997) y en nuestra familiaridad con buena parte de las lenguas citadas. Pero además, varias fuentes nos han servido para extraer la información toponímica que buscábamos.

En primer lugar hemos revisado c. 120 000 topónimos mayores –es decir, núcleos de población como El Sabinar, Valdenebro, etc., accidentes orográficos, hidrografía o vías de comunicación– en la base de datos georreferenciada de nombres geográficos NOMGEO, versión 29.09, del Instituto Geográfico Nacional, hoy en el Ministerio de Fomento. De entre ellos hemos anotado 8 081 registros fitotoponímicos, de los cuales 159 corresponden a las especies de *Juniperus*. Asimismo incluimos algunos santuarios o ermitas relacionados, es decir, hagiotopónimos como la Ermita de la Virgen de Sabina o Nuestra Señora de los Enebrales (Morales & Villar 2003).

En segundo lugar, respecto a los topónimos menores o microtopónimos, es decir, los nombres de parajes o pagos, empezamos por revisar nuestras bases de datos previas sobre fitotopónimos de Aragón (Villar 2005a y b ; Sanz & Agón 1997) más Castilla y León (Sanz & González 2008) o territorios limítrofes, consistentes en varios miles de registros. Luego acudimos a los nutridos datos toponímicos de la Dirección General del Catastro (Ministerio de Hacienda y Administraciones públicas), cedidos por las Gerencias Territoriales en forma de listados municipales. A ellos cabe añadir los catálogos provinciales de Montes Públicos, en el caso de Aragón actualizados para las provincias de Zaragoza, Huesca y Teruel (Pérez-Soba 2010 ; BOA 2011a, 2011b), más otras fuentes bibliográficas o documentales : mapas, atlas lingüísticos (Alvar *et al.* 1980, García Sánchez 2007, Gordaliza & Canal, 1993) y monografías diversas. Así las cosas, el número de microtopónimos revisados sobrepasa los 700 000.

De unos y otros extrajimos los nombres relacionados con las tres especies citadas de *Juniperus*, ya sean fitotopónimos individuales –como Fuentenebro, Turó de la Savina Rodona (Aymerich & Villar 2013) o Sabinazo–, sinfitotopónimos –bien sean plurales como Las Enebras o colectivos como Negredo, Enebral, Corvezal–, abundanciales como Sierra de Sabinós, etc.

Por este procedimiento confeccionamos una base de datos específica con más de 1 100 registros, de los cuales aproximadamente el 55 % corresponden a Castilla y León y el 45 % a Aragón. Finalmente, de ella hemos seleccionado 432 basados en las especies de la Sect. Sabina. Junto al nombre del paraje o topónimo mayor, añadimos otros campos como provincia, municipio, entidad agregada y taxón o taxones de *Juniperus* implicados en su formación. El proceso puede parecer sencillo pero no está exento de dificultades y nos ha obligado a corregir los errores observados –de transcripción u otros–, a evitar repeticiones, a resolver dudas sobre la especie o especies a que se refiere el topónimo, a matizar o averiguar los conocimientos etnoecológicos subyacentes, a eliminar algún neotopónimo sin base etnobotánica tradicional, etc.

## Resultados y discusión

En la Tabla 2 se presentan esos 432 fitotopónimos relacionados con las especies juniperinas de hoja escuamiforme, y su análisis nos permitirá algunos comentarios. Dentro de cada comunidad autónoma y provincia, los parajes o topónimos mayores se ordenan por orden alfabético y se añade luego el municipio o municipios correspondientes, para terminar con el taxón o taxones de *Juniperus* implicados en su formación.

Destaquemos en primer lugar cómo la voz *enebro* y sus variantes –procedente precisamente del latín *Juniperus*–, es la más polisémica del género, ya que puede referirse a sus cinco especies peninsulares, las dos de hoja acicular (*J. communis* s.l., *J. oxycedrus* s.l.) y las tres de hoja escuamiforme : *J. thurifera* s.l. mayormente, *J. phoenicea* s.l. alguna vez y *J. sabina* excepcionalmente.

Por otra parte, el nombre *sabina* –y derivados con la misma raíz : jabina, jabino, sabino, trabina[1], trevina– no se refiere solo a cualquiera de las tres especies de la Sect. Sabina (*Juniperus thurifera* s.l., *J. phoenicea* s.l. y *J. sabina*), como podríamos pensar, sino también –en algún caso– a las especies de hoja acicular (*J. communis, J. oxycedrus*) ; es decir, se muestra asimismo polisémico,

Por tanto, ante un topónimo determinado, en muchas ocasiones no sabemos con certeza a qué especie o especies debe asociarse. Las

1. Según el DRAE significa « el fruto de la sabina », acepción que indica originaria de Andalucía.

**Tabla 2 – Relación de topónimos *juniperinos mayores* y menores recogidos en las provincias de Aragón (Huesca, Teruel y Zaragoza) más Castilla y León (Burgos, León, Palencia, Segovia, Soria y Valladolid) con indicación de la especie o especies en los que se basan.**

***Table 2 – List of plant place names based on the* genus Juniperus *– major and minor – collected in Aragón provinces (Huesca, Teruel, and Zaragoza) and Castilla y León (Burgos, León, Palencia, Segovia, Soria, and Valladolid provinces) with an indication of the correspondent species.***

| Comunidad autónoma | Provincia | Topónimo | Municipios | Taxón |
|---|---|---|---|---|
| Aragón | Huesca | Camino de la Sabina | Sariñena | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Huesca | Camino de los Sabinales | Sariñena | *Juniperus phoenicea/ Juniperus thurifera* |
| Aragón | Huesca | Camino del Sabinal | Sena | *Juniperus phoenicea/ Juniperus thurifera* |
| Aragón | Huesca | La Estacada | Lalueza | *Juniperus phoenicea/ Juniperus thurifera* |
| Aragón | Huesca | La Sabinosa | Castillonroy | *Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Huesca | La Sabinosa | Viacamp y Litera | *Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Huesca | Matabinas | Bernues | *Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Huesca | Puy Sabina | Alcubierre | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Huesca | Sabina | Hoz y Costean, Barluenga, San Miguel de Cinca | *Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Huesca | Sabina | Lanaja, Torralba de Aragón | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Huesca | Sabinal | Las Peñas de Riglos | *Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Huesca | Sabinal | Alcolea de Cinca, Huerto | *Juniperus phoenicea/ Juniperus thurifera* |
| Aragón | Huesca | Sabinal | Villanueva de Sigena | *Juniperus phoenicea/ Juniperus thurifera* |
| Aragón | Huesca | Sabinales | El Grado | *Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Huesca | Sabinales | Sariñena | *Juniperus phoenicea/ Juniperus thurifera* |
| Aragón | Huesca | Sabinar | Alberuela de Tubo | *Juniperus phoenicea/ Juniperus thurifera* |
| Aragón | Huesca | Sabinares | Nocito | *Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Huesca | Sabinera | Botaya | *Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Huesca | Sabinera | Triste | *Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Huesca | Sabinera | Veracruz | *Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Huesca | Sabineta | Albelda | *Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Huesca | Santa Sabina | El Grado | *Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Huesca | Saso Sabinar | Alcolea de Cinca | *Juniperus phoenicea/ Juniperus thurifera* |
| Aragón | Huesca | Sobinol | Gerbe, Griébal | *Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Huesca | Valsabina | Blecua y Torres | *Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Huesca | Vereda del Sabinal | Sena | *Juniperus phoenicea/ Juniperus thurifera* |
| Aragón | Teruel | Barranco del Cerro Sabinas | Teruel | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Teruel | Barranco del Sabinar | Tronchon, Teruel, Riodeva, Nogueruelas, Lagueruela | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Teruel | Barranco del Travinarejo | Abejuela | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Teruel | Barranco del Gayubar | Corbalan | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Teruel | Cabezo la Sabina | Obon | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Teruel | Camino al val del Sabinar | Los Olmos | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Teruel | Camino de la Paridera del Sabinar | Blancas | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Teruel | Camino de la Sabina | Villarquemado | *Juniperus thurifera/ Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Teruel | Camino de los Coscollares | Cortes de Aragón | *Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Teruel | Camino de Sabinarejo | Santa Eulalia del Campo | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Teruel | Camino de Sardera a Castellote | Castellote | *Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Teruel | Camino del Collado la Sabina | Veguillas de la Sierra | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Teruel | Camino del Sabinar | Riodeva, Nogueruelas, Calamocha, Blancas, Albentosa | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Teruel | Camino del Sabinar | Tronchon, Teruel | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Teruel | Camino del Sabinarico | Fuentes de Rubielos | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Teruel | Camino del Trevinarejo | Abejuela | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Teruel | Cañada del Sabinar | Blancas | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Teruel | Caseto Sabinar | La Puebla de Valverde | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Teruel | Cerna | Calamocha | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Teruel | Cerno | Escucha | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Teruel | Cerrada del Sabinar | Torrijo del Campo | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Teruel | Cerrada Sabinar | Alcala de la Selva | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Teruel | Cerro Alto-Sabinar | Cuevas Labradas | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Teruel | Clotes de Estacas | Albentosa | *Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Teruel | Collado la Sabina | Veguillas de la Sierra | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Teruel | Corral de la Sabina | La Puebla de Valverde | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Teruel | Corral del Sabinar | Nogueruelas | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Teruel | Dehesa | Fortanete, Griegos, Guadalaviar | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Teruel | Dehesa del Sabinar | Urrea de Gaen | *Juniperus thurifera* |

| Comunidad autónoma | Provincia | Topónimo | Municipios | Taxón |
|---|---|---|---|---|
| Aragón | Teruel | Dehesa Mayor | Griegos | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Teruel | Fuente Sabina | Moscardón | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Teruel | Gallubares | Alpeñés | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Teruel | Gayubar | Manzanera | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Teruel | Hoya de la Sabina | Albentosa | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Teruel | Hoya de la Sabina | Valbona | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Teruel | Hoyica Sabina | Vivel del Rio Martín | *Juniperus thurifera/ Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Teruel | La Sabina | Samper de Calanda | *Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Teruel | Las Dehesas | Fortanete | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Teruel | Llano Estacada | Alba del Campo | *Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Teruel | Loma del Trabinal | Tronchon | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Teruel | Loma la Sabina Gorda | Manzanera | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Teruel | Loma Sabina | Monteagudo del Castillo | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Teruel | Los Gayubares | El Pobo | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Teruel | MUP[1] 218 Collado Sabina | Camarena de la Sierra | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Teruel | MUP-21a « dehesa mayor » | Griegos | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Teruel | Paso de la Sabina | Cella, Celadas | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Teruel | Paso Ganados Sabinilla | La Puebla de Valverde | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Teruel | Paso la Sabina Grande | Cortes de Aragón | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Teruel | Pieza Sabina | Cella | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Teruel | Prado Sabinotes | Royuela | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Teruel | Rambla Sabina | Santa Eulalia del Campo | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Teruel | Sabina | Calanda, Ejulve, Alcorisa | *Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Teruel | Sabina | Mas de las Matas | *Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Teruel | Sabina | Veguillas de la Sierra, Fuenferrada, Montalban, Monteaguno del Castillo, Moscardón, Torres de Albarracín, Teruel, Noguera, Linares de Mora, El Cuervo, Cosa, Cella, Castejón de Tornos, Cascante del Río, Calamocha, Bronchales, Arcos de las Salinas, Albentosa, Abejuela | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Teruel | Sabina | Villarquemado | *Juniperus thurifera/ Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Teruel | Sabina Bataneros | El Cuervo | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Teruel | Sabina Blas | Veguillas de la Sierra | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Teruel | Sabina Cacharro | Moscardón | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Teruel | Sabina del Aire | Gea de Albarracin | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Teruel | Sabina Gorda | Tormon, Cascante del Río | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Teruel | Sabina Grande | Cortes de Aragón | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Teruel | Sabina los Royos | Veguillas de la Sierra | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Teruel | Sabina Morenos | Moscardón | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Teruel | Sabina Podrida | Maicas | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Teruel | Sabina Pudia | Alacon, Alloza | *Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Teruel | Sabina Redonda | Arcos de las Salinas | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Teruel | Sabinago | Tormón | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Teruel | Sabinal | La Ginebrosa, Torrijas, Oliete | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Teruel | Sabinar | La Mata de los Olmos | *Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Teruel | Sabinar | Hijar, Valbona, Urrea de Gaén, Alpeñes, Utrillas, Torrijo del Campo, Teruel, Rubielos de la Cérida, Royuela, Obón, Nogueruelas, Mora de Rubielos, Los Olmos, La Puebla de Valverde, El Vallecillo, La Hoz de la Vieja, Las Parras de Martín, Loscos, Sarrión, Cuevas Labradas, Crivillén, Camarena de la Sierra, Calamocha, Blancas, Arcos de las Salinas, Alcalá de la Selva, Abejuela | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Teruel | Sabinar cruz | Fuentes de Rubielos | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Teruel | Sabinar del barranco lobo | Albarracin | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Teruel | Sabinar del pozo | Mora de Rubielos | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Teruel | Sabinar lobos | Abejuela | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Teruel | Sabinarejo | Veguillas de la Sierra, Toril y Masegoso, Santa Eulalia del Campo, Royuela, Arcos de las Salinas | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Teruel | Sabinares | Alcañiz | *Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Teruel | Sabinares | Veguillas de la Sierra, Josa, Royuela, Arcos de las Salinas | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Teruel | Sabinarico | Fuentes de Rubielos | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Teruel | Sabinaricos | Teruel | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Teruel | Sabinas negras | Loscos | *Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Teruel | Sabinasos | Valderrobres | *Juniperus thurifera/ Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Teruel | Sabinaza | Veguillas de la Sierra | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Teruel | Sabinazo | Veguillas de la Sierra | *Juniperus thurifera* |

1. Monte de Utilidad Pública (MUP).

| Comunidad autónoma | Provincia | Topónimo | Municipios | Taxón |
|---|---|---|---|---|
| Aragón | Teruel | Sabinejo | Toril y Masegoso | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Teruel | Sabinica | Abejuela | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Teruel | Sabinilla | Loscos | *Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Teruel | Sabinilla | Veguillas de la Sierra, Torrijo del Campo, Pozuel del Campo, La Puebla de Valverde, Fonfría | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Teruel | Sabinosa | Tramacastiel, Sarrión, Manzanera, Griegos | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Teruel | Sabinoso | Tramacastiel | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Teruel | Sabinotes | Royuela | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Teruel | Santa Sabrina | Teruel | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Teruel | Sardetas | Loscos | *Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Teruel | Senda de la Sabinosa | Sarrión | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Teruel | Senda del Cabezo la Sabina | Obon | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Teruel | Senda Sabinar | Teruel | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Teruel | Senda Sabino | Cuevas Labradas | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Teruel | Solano de la Sabina | Villarluengo | *Juniperus thurifera/ Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Teruel | Trevinarejo | Abejuela | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Teruel | Val de Sabinar | Los Olmos | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Teruel | Val Sabina | Ejulve | *Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Teruel | Vereda de Santa Sabinilla | La Puebla de Valverde | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Zaragoza | Abejar Sabinos | Tarazona | *Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Zaragoza | Alto Sabina | Monreal de Ariza | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Zaragoza | Arroyo del Coscojar | Sigüés | *Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Zaragoza | Barranco de Gayubar | Cimballa | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Zaragoza | Barranco de la Sarda | Los Pintanos | *Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Zaragoza | Boquero Sabinoso | Perdiguera | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Zaragoza | Camino de la Corona Sabinosa | Leciñena | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Zaragoza | Camino de la Sabina | Abanto | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Zaragoza | Camino de las Sardillas | Pina de Ebro | *Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Zaragoza | Camino de los Sabinales | Monegrillo | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Zaragoza | Camino de Sabinales a Monegrillo | Monegrillo | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Zaragoza | Camino de Val Sabinosa | Pina de Ebro | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Zaragoza | Camino del Cerro de Val Sabinosa | Pina de Ebro | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Zaragoza | Camino del Corral de la Sarda | Samper del Salz | *Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Zaragoza | Camino del Sabinar | Mediana de Aragón | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Zaragoza | Camino del Sabinar | Castiliscar | *Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Zaragoza | Camino del Sabinoso | Ariza | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Zaragoza | Camino Planar del Sabinar | Sástago | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Zaragoza | Camino Sabina | Luna | *Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Zaragoza | Camino Varella de Sabina | Valmadrid | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Zaragoza | Campo de la Sabina | Alborge | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Zaragoza | Campo la Sabina | Valmadrid | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Zaragoza | Cordel de las Sardillas | Pina de Ebro | *Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Zaragoza | El Sabinar (macrotopónimo) | Ejea de los Caballeros | *Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Zaragoza | El Sabinarejo | Calmarza | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Zaragoza | El Sardon | Tosos | *Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Zaragoza | Enebrada | Sisamón | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Zaragoza | Ermita ntra sra Virgen Sabina | Farlete | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Zaragoza | Galluboso | Atea | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Zaragoza | Gayubar | Olvés | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Zaragoza | La Estacada | Alfajarin | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Zaragoza | La Sabinilla | Berdejo | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Zaragoza | La Sabinilla | Embid de Ariza | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Zaragoza | La Sarda | San Mateo de Gállego | *Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Zaragoza | La Sarda Alta | San Mateo de Gállego | *Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Zaragoza | La Sarda Negra | Zaragoza | *Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Zaragoza | La Sardilla | Perdiguera | *Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Zaragoza | Las Sabinas | Lagata | *Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Zaragoza | Las Sardas | Farlete | *Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Zaragoza | Loma Sabina | Villamayor de Gállego | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Zaragoza | Loma Sabina | Zaragoza | *Juniperus thurifera/ Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Zaragoza | Los Sabinales | Monegrillo | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Zaragoza | Morron del Coscojar | Used | *Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Zaragoza | Parada la Sabina | Zaragoza | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Zaragoza | Paso Sabina | Torralba de los frailes | *Juniperus thurifera/ Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Zaragoza | Plana del Sabinar | Jaulín | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Zaragoza | Puisabina | Zuera | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Zaragoza | Sabina | Zaragoza | *Juniperus thurifera/ Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Zaragoza | Sabina | Villamayor de Gállego, Villanueva de Huerva, Torrehermosa, Bijuesca, La Almolda, Alhama de Aragón, Abanto | *Juniperus thurifera* |

| **Comunidad autónoma** | **Provincia** | **Topónimo** | **Municipios** | **Taxón** |
|---|---|---|---|---|
| Aragón | Zaragoza | Sabina | Clarés de Ribota | *Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Zaragoza | Sabina | Sestrica, Navardún, Morata de Jiloca, Clarés de Ribota | *Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Zaragoza | Sabina Albar | Torrehermosa | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Zaragoza | Sabina del Montero | Monegrillo | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Zaragoza | Sabinal | Farlete | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Zaragoza | Sabinal Hondo | Monegrillo | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Zaragoza | Sabinar | Castiliscar | *Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Zaragoza | Sabinar | Plenas, Jaraba, Castiliscar | *Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Zaragoza | Sabinar | La Almolda, Abanto | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Zaragoza | Sabinaro | Torralba de los Frailes | *Juniperus thurifera/ Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Zaragoza | Sabinilla | Torralba de los Frailes | *Juniperus thurifera/ Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Zaragoza | Sabinosa | Pina de Ebro | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Zaragoza | Sabinosa | Lecera | *Juniperus thurifera/ Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Zaragoza | Sabinoso | Moneva | *Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Zaragoza | Sabinoso | Ariza, Embid de Ariza | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Zaragoza | Sarda | Zuera, Villanueva de Gállego, Rueda de Jalón, Pedrola, Nigüella, Murillo de Gállego, Mara, Fuendejalón, Farlete | *Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Zaragoza | Sarda Baja | Zaragoza | *Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Zaragoza | Sarda Baladino | Sierra de Luna | *Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Zaragoza | Sarda Bona | Sierra de Luna | *Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Zaragoza | Sarda Cosme | Perdiguera | *Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Zaragoza | Sarda Covatillas | Niguella | *Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Zaragoza | Sarda de Campo | Zaragoza | *Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Zaragoza | Sarda del Molino | Zaragoza | *Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Zaragoza | Sarda del Tejar | Zaragoza | *Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Zaragoza | Sarda Fuente | Niguella | *Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Zaragoza | Sarda Hornaz | Tauste | *Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Zaragoza | Sarda las Vacas | Sierra de Luna, Nigüella | *Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Zaragoza | Sarda Madero | Sierra de Luna | *Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Zaragoza | Sarda Marcial | Perdiguera | *Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Zaragoza | Sarda Soltera | Zaragoza | *Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Zaragoza | Sardera | Fuendejalón | *Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Zaragoza | Sardeta | Sástago, Pedrola | *Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Zaragoza | Senda de la Sabina | Abanto | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Zaragoza | Senda de las Sabinas | Lagata | *Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Zaragoza | Senda Sabinas Común | Samper del Salz | *Juniperus thurifera/ Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Zaragoza | Umbria del Gayubal | Ariza | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Zaragoza | Vago Sabina | Belmonte de Gracián | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Zaragoza | Val Sabinosa | Pina de Ebro | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Zaragoza | Valdesabina | Biota | *Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Zaragoza | Varella Sabina | Valmadrid | *Juniperus thurifera* |
| Aragón | Zaragoza | Vereda de la Sabina | El Frago | *Juniperus phoenicea* |
| Aragón | Zaragoza | Vereda de la Sarda | Plenas | *Juniperus phoenicea* |
| Castilla y León | Burgos | Arroyo de la Enebra | Tubilla del Lago | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | Arroyo de Nebreda | Nebreda, Solarana | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | Arroyo Negredales | Merindad de Río Ubierna | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | Arroyo Negredo | Quintanapalla, Merindad de Río Ubierna | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | Camino de Aceitenebro | Contreras, Barbadillo del Mercado | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | Camino de Fuentenebro | Moradillo de Roa | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | Camino de Fuentenebro | Torregalindo | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | Camino de la Enebra | Lerma, Revillarruz | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | Camino de la Fuente de la Enebra | Gumiel de Izán | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | Camino de los Tres Enebros | Torresandino | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | Camino de Nebreda | Ciruelos de Cervera, Lerma, Cebrecos, Solarana, Pineda-Trasmonte, Tejada, Valdeande | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | Camino de Negredales | Merindad de Río Ubierna | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | Camino del Enebral | Arauzo de Torre, Lerma | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | Camino del Enebron | Mambrillas de Lara | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | Camino del Enebrón | Caleruega | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | Carrefuentenebro | Torregalindo | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | Carrelosenebros | Solarana | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | Carrenebrada | Solarana | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | Carrenebreda | Quintanilla del Agua-Tordueles | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | Cauce de Enebro | Roa | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | Colada del Enebrillo al Corral | Bahabón de Esgueva | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | Colector de Nebreda | Lerma | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | El Enebro Alto | Fuentelcésped | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | Enebra | Castrillo de la Vega, Covarrubias, Lerma, Oquillas, Sotillo de la Ribera, Tubilla del Lago, Villalba de Duero | *Juniperus thurifera* |

| Comunidad autónoma | Provincia | Topónimo | Municipios | Taxón |
|---|---|---|---|---|
| Castilla y León | Burgos | Enebrada | Caleruega, Carcedo de Bureba, Fuentelcésped, Hontoria de Valdearados, Mambrillas de la Jara, Nebreda, Pineda-Trasmonte, La Vid, Solarana | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | Enebradillas | Santo Domingo de Silos | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | Enebrados | Avellanosa de Muño | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | Enebrajo | Santa María del Campo | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | Enebral | Arauzo de Torre, Caleruega, Carazo, Fresneña, Galbarros, Hortigüela, Huerta del Rey, Los Altos, Nebreda, Puentedura, Quintana del Pidio, Quintanilla del Agua-Tordueles, Valdorros, Villamayor de los Montes | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | Enebral | Merindad de Valdivielso, Poza de la Sal | *Juniperus phoenicea* |
| Castilla y León | Burgos | Enebral | Valle de Mena | *Juniperus phoenicea* |
| Castilla y León | Burgos | Enebral de Alla | Huerta de Rey | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | Enebrales | Fresneda de la Sierra, Santa María del Campo, Santibáñez del Val, Valle de Valdelaguna, Zazuar | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | Enebralillo | Espinosa de Cervera | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | Enebras | Cabañes de Esgueva | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | Enebrazo | Arauzo de Miel | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | Enebrillo | Bahabón de Esgueva, Haza | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | Enebrillo | Moncalvillo, Pedrosa de Duero | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | Enebrillo | Valle de Mena | *Juniperus phoenicea* |
| Castilla y León | Burgos | Enebrillos | Mambrillas de Lara | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | Enebro | Fuentelcesped, Lerma, Moradillo de Roa, Quintanilla del Agua-Tordueles, San Juan del Monte, Villangomez, Villanueva de Gumiel | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | Enebro la Pedrosa | Santo Domingo de Silos | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | Enebro Portillo | Moncalvillo | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | Enebro Pudio | Moncalvillo | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | Enebro Redondo | Cebrecos | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | Enebro Ruyales | Moncalvillo | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | Enebro Sancho | Quintanilla del Coco | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | Enebro Santo | Fontioso | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | Enebron | Caleruega, Moncalvillo, Peñaranda de Duero | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | Enebrones | Mambrillas de Lara | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | Enebropobres | Cilleruelo de Arriba | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | Enebros | Pineda-Trasmonte, Valle de Valdelaguna, Villalbilla de Gumiel, Villamayor de los Montes, Villaverde del Monte | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | Enebros Pobres | Nebreda | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | Fuente de la Enebra | Gumiel de Izán | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | Fuente del Enebro | Santo Domingo de Silos | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | Fuente Enebrillo | La Vid | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | Fuente Nebrillo | Valle de Tobalina | *Juniperus phoenicea* |
| Castilla y León | Burgos | Fuentenebro (macrotopónimo) | Fuentenebro | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | La Javinada | Arandilla, Peñaranda de Duero | *Juniperus communis/ Juniperus oxycedrus* |
| Castilla y León | Burgos | La Negreda | Cabia | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | La Sabina del Val | Huerta de Rey | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | Los Nibriales | Monasterio de la Sierra | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | Monte Negredo | Cubillo del Campo | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | Montenegro | Cardeñadijo | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | Nebraleja | Nebreda | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | Nebreda | Covarrubias, Lerma, Peñaranda de Duero, Valdeande | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | Nebreda (macrotopónimo) | Nebreda | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | Nebrelos | Castildelgado | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | Negradela | Huerta de Arriba | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | Negrales | Villasandino | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | Negredal | Los Balbases | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | Negredales | Merindad de Río Ubierna | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | Negredales | Sargentes de la Lora | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | Negredales de Villafria | Sargentes de la Lora | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | Negredas | Atapuerca, Villadur de Herreros | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | Negredas | Quintanapalla | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | Negredas de Zaluen | Atapuerca | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | Negredos | Arcos, Barrios de Colina, Cardeñajimeno, Los Ausines, Ibeas de Juarros, Quintana-Vivar, Burgos, Merindad de Río Ubierna, Valle de Santibáñez, Villadiego, Villasur de Herreros | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | Negredos de Castejon | Cardeñuela de Rio Pico | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | Negredos de Valdemuñoz | Cardeñuela de Rio Pico | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | Peña Negredas | Atapuerca | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | Quiroñes Monte Nebreda | Nebreda | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | Raya Monte Negredo | Madrigal del Monte | *Juniperus thurifera* |

| Comunidad autónoma | Provincia | Topónimo | Municipios | Taxón |
|---|---|---|---|---|
| Castilla y León | Burgos | Sabina | Pineda-Trasmonte, Urbel del Castillo | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | Sabinillas | Quintanilla San-Garcia | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | Senda de la Enebra | Terradillos de Esgueva | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | Senda del Enebro | Huerta de Rey | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | Tres Enebros | Torresandino | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | Valdenebreda | Arauzo de Salce | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | Valdenebro | Valle de Mena | *Juniperus phoenicea* |
| Castilla y León | Burgos | Valdenegro | Coruña del Conde | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Burgos | Valle de la Enebra | Lerma | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | León | Corvezal | Acebedo | *Juniperus sabina* |
| Castilla y León | León | Corvezas | Villablino | *Juniperus sabina* |
| Castilla y León | León | Nebredos | Crémenes | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | León | Nebrera | Toreno | *Juniperus sabina* |
| Castilla y León | León | Nebrinas | Valderas | *Juniperus sabina* |
| Castilla y León | León | Savinales | Villares de Órbigo | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Palencia | Camino de Valdenebro | Belmonte de Campos, Reinoso de Cerrato | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Palencia | Camino del Enebral | Villaconancio | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Palencia | Camino del Enebral a Cobos | Tabanera de Cerrato | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Palencia | Camino del Enebrillo | Cevico de la Torre, Villahán | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Palencia | Camino del Negredo | Palenzuela | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Palencia | Corvezones | Velilla del Rio Carrion | *Juniperus sabina* |
| Castilla y León | Palencia | Enebral | Antigüedad, Cevico Navero, Tabanera de Cerrato, Villaconancio | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Palencia | Enebrillo | Castrillo de Onielo, Soto de Cerrato | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Palencia | Enebrillo | Cevico Navero, Palenzuela, Quintana del Puente, Tabanera de Cerrato, Villahán | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Palencia | Enebro | Amusco, Hontoria de Cerrato | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Palencia | La Sabina | Meneses de Campos | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Palencia | Los Negrales | Poblacion de Cerrato | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Palencia | Los Negredos | Lantadilla | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Palencia | Nebrillo | Cevico Navero | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Palencia | Negredo | Grijota, Palenzuela, Villahán | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Palencia | Valdenebro | Reinoso de Cerrato | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Segovia | Enebrada | Castroserracín, Laguna de Contreras, Cedillo de la Torre | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Segovia | Enebradas | Navares de Ayuso, Prádena | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Segovia | Enebrajos | Castrojimeno | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Segovia | Enebral | Arcones, Ayllón, Casla, Castro de Fuentidueña, Fuenterrebollo, Otero de Herreros, Prádena, Santo Tomé del Puerto, Torreadrada | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Segovia | Enebralejo | Castrojimeno, Santo Tomé del Puerto, Ventosilla y Tejadilla | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Segovia | Enebralejos | Pradena, san Miguel de Bernuy, Villaverde Montejo y Villalbilla | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Segovia | Enebras | Fresno de Cantespino | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Segovia | Enebrillo | Arahuetes, Calabazas, Corral de Ayllón, Languilla, Sepúlveda | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Segovia | Enebrillos | Olombrada, Sepúlveda | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Segovia | Enebrillos | Duruelo | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Segovia | Enebro | Armuña, Fuente el Olmo de Fuentidueña, Melque de Cercos, Olombrada, Otero de Herreros, Sacramenia, Santa María la Real de Nieva | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Segovia | Enebro Alto | Fuentesoto | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Segovia | Enebro Gordo | Orejana | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Segovia | Enebro Grande | Navalilla | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Segovia | Enebro Mojon | Santo Tomé del Puerto | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Segovia | Enebron | Castroserracín, Montejo de la Vega de la Serrezuela, Navares de las Cuevas | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Segovia | Enebros | Fresno de Cantespino, Navalilla, Torredarada | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Segovia | Enebros Altos | Castroserracín | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Segovia | Enebros Grandes | Santo Tomé del Puerto | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Segovia | Enebros Grandes | Valleruela de Pedraza | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Segovia | Enebros Nuevos | Navalilla | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Segovia | Enebros Viejos | Navalilla | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Soria | Arroyo Enebrillo | Valderrodilla | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Soria | Arroyo Fuente Enebro | Valderrodilla | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Soria | Camino de Cabeza de Enebro | Retortillo de Soria | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Soria | Camino de la Enebrada | Herrera de Soria | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Soria | Camino de los Enebrillos | Fuente Cambrón | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Soria | Camino del Enebral | Burgo de Osma-Ciudad de Osma | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Soria | Camino del Enebro | Retortillo de Soria, San Esteban de Gormaz | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Soria | Camino del Sabinar | Magaña, Santa María de Huerta | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Soria | Camino Fuente Enebrillo | Montejo de Tiermes | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Soria | Cañada Sabina Campo | Arcos de Jalón | *Juniperus thurifera* |

| Comunidad autónoma | Provincia | Topónimo | Municipios | Taxón |
|---|---|---|---|---|
| Castilla y León | Soria | Cerrada la Sabinilla | Medinaceli | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Soria | Cerratas del Enebral | Montejo de Tiermes | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Soria | Chozo del Sabinar | Magaña | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Soria | Corral Negrillo | Villasayas | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Soria | Corral Sabina | Coscurita | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Soria | Corrales del Enebral | Montejo de Tiermes | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Soria | Enebrada | Burgo de Osma-Ciudad de Osma, Espejón, Langa de Duero, Montejo de Tiermes | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Soria | Enebradas | Espejón, Talveila | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Soria | Enebradilla | Bayubas de Abajo | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Soria | Enebral | Burgo de Osma-Ciudad de Osma, Herrera de Soria, Montejo de Tiermes, Quiñonería, Retortillo de Soria, Valdeprado | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Soria | Enebralejo | Talveila, Tardelcuende | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Soria | Enebrales | Burgo de Osma-Ciudad de Osma, Fresno de Caracena, Espeja de San Marcelino, Quiñonería | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Soria | Enebrazo | Calatañazor | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Soria | Enebrillas | Langa de Duero | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Soria | Enebrillo | Burgo de Osma-Ciudad de Osma, Carrascosa de Abajo, Espeja de San Marcelino, Montejo de Tiermes, Quintana Redonda, Recuerda, Retortillo de Soria, San Esteban de Gormaz | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Soria | Enebrillos | Fuente Cambrón, Langa de Duero | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Soria | Enebro | Berlanga de Duero, Burgo de Osma-Ciudad de Osma, Golmayo, San Esteban de Gormaz | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Soria | Enebron | Montejo de Tiermes | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Soria | Enebros | Valdemaluque | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Soria | Enebrote | Burgo de Osma-Ciudad de Osma | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Soria | Eras Sabinilla | Arcos de Jalón | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Soria | Fuente Enebrillo | Montejo de Tiermes | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Soria | Fuente Enebro | Valderrodilla | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Soria | Hondo Jabinos | San Esteban de Gormaz | *Juniperus communis/ Juniperus oxycedrus* |
| Castilla y León | Soria | Hoya Enebrillo | San Esteban de Gormaz | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Soria | Hoya Sabina | Arcos de Jalón, Medinaceli | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Soria | Huerta Sabinilla | Arcos de Jalón | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Soria | Llano Sabina | Monteagudo de las Vicarías | *Juniperus thurifera/ Juniperus phoenicea* |
| Castilla y León | Soria | Llano Sabinar | Arcos de Jalón | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Soria | Llano Sabino | Deza | *Juniperus thurifera/ Juniperus phoenicea* |
| Castilla y León | Soria | Loma Negredo | Cabrejas del Campo | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Soria | Monte Enebral | Cabrejas del Pinar, Tardelcuende | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Soria | Negredillo | Viana de Duero | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Soria | Negredo | Cabrejas del Campo, Garray | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Soria | Negredos | Garray, Hinojosa del Campo, Pinilla del Campo, Viana de Duero | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Soria | Negrera | Renieblas | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Soria | Negrero | Soria | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Soria | Prado del Enebro | Rioseco de Soria | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Soria | Puntal la Sabinilla | Medinaceli | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Soria | Sabina | Almenar de Soria, Medinaceli | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Soria | Sabina | Cihuela, Monteagudo de las Vicarías | *Juniperus thurifera/ Juniperus phoenicea* |
| Castilla y León | Soria | Sabina Mocha | Arcos de Jalón | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Soria | Sabinada | Valdegeña | *Juniperus thurifera/ Juniperus phoenicea* |
| Castilla y León | Soria | Sabinal | Cigudosa | *Juniperus thurifera/ Juniperus phoenicea* |
| Castilla y León | Soria | Sabinal | Ágreda | *Juniperus sabina/ Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Soria | Sabinal | Arcos de Jalón, Castilruiz | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Soria | Sabinal | Cerbón | *Juniperus thurifera/ Juniperus phoenicea* |
| Castilla y León | Soria | Sabinal Alto | Castilruiz | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Soria | Sabinar | Arcos de Jalón, Magaña, Matalebreras, Santa Cruz de Yanguas, Santa María de Huerta, Valdelagua del Cerro | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Soria | Sabinares | Ciria | *Juniperus thurifera/ Juniperus phoenicea* |
| Castilla y León | Soria | Sabinazo | Arcos de Jalón | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Soria | Sabinilla | Medinaceli | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Soria | Sabinillo | Magaña | *Juniperus thurifera* |

| Comunidad autónoma | Provincia | Topónimo | Municipios | Taxón |
|---|---|---|---|---|
| Castilla y León | Soria | Sabino | Deza | *Juniperus thurifera/ Juniperus phoenicea* |
| Castilla y León | Soria | Senda de los Negredos | Hinojosa del Campo | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Soria | Valdenebro (macrotopónimo) | Valdenebro | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Soria | Valdenebroso | Langa de Duero | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Soria | Valnebrillo | Burgo de Osma-Ciudad de Osma | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Valladolid | Camino de la Enebrada | Viloria del Henar | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Valladolid | Camino de Valdenebro | Castromonte, Medina de Rioseco, Peñaflor de Hornija, Villaverde de Campos, Villalba de Los Alcores | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Valladolid | Camino del Enebro | Villanueva de los Infantes | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Valladolid | El Enebrillo | Langayo | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Valladolid | Enebrada | Pesquera de Duero, Viloria del Henar | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Valladolid | Enebral | Valbuena de Duero | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Valladolid | Enebro | Bahabon, Íscar, Villanueva de los Infantes | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Valladolid | Sendero Negredo | Traspinedo | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Valladolid | Sote enebral | La Parrilla | *Juniperus thurifera* |
| Castilla y León | Valladolid | Valdenebro de los Valles (macrotopónimo) | Valdenebro de los Valles | *Juniperus thurifera* |

posibilidades de que se refiera a varias de ellas a la vez son muy altas sobre todo en el Centro-Norte, Sistema Ibérico y Valle del Ebro, ya que pueden coincidir dos especies e incluso sus híbridos en la misma localidad. Son casos llamativos de polisemia si tenemos en cuenta que el mismo topónimo o similar puede aludir a formaciones arbóreas, arbustivas, matorrales e incluso a masas mixtas de unas y otros.

Para mayor abundamiento, esa sinonimia múltiple –cerca de 20 nombres vernáculos para la sabina albar, véase Tabla 1– nos lleva a casi todos los casos posibles de confusión entre los diversos topónimos generados. Por eso nos hemos visto obligados a anotar con frecuencia los dos taxones a que puede referirse el fitotopónimo. Cierto es que cuando se sitúan los fitotopónimos en el mapa y se cotejan con las áreas de distribución de las especies de hoja escamiforme (Ruiz de la Torre 2006) pueden resolverse algunas dudas. Por ejemplo, en ciertas localidades, un nombre designa inequívocamente a una de las especies ; así, el *Racó de la Savina* de Gandía (litoral valenciano) sólo puede señalar a *J. phoenicea*, mientras que en montes calizos del Sistema Ibérico, esa especie predomina a baja altitud, en tierras más altas *J. thurifera* va sola o en compañía de *J. sabina*. Aún más, esta última es común en lomas y áreas cimeras, desde el Moncayo a Gúdar y Javalambre, precisamente donde ya no sube *J. thurifera*. Otras veces el topónimo es compuesto ; entonces, al unir al nombre un calificativo certero y excluyente se torna diáfano : Sabina Pudia, Sabina Mora, Sabinas Negras –los tres ejemplos de *J. phoenicea*–, Sabina Albar (*J. thurifera*), etc.

En el caso concreto de *J. thurifera*, árbol que se extiende desde León y Castilla hasta La Rioja y Navarra, Aragón, Cataluña y Valencia, más Murcia, Almería y Granada, al anotar sus nombres en tan vasto dominio comprobamos que por el centro y oeste de Castilla y León se le llama mayormente *enebro* –de donde enebredas, enebradas, nebredas, negredos, etc.– y en menor medida *jabino*. Opuestamente, en la parte oriental de Soria y Guadalajara, más los antiguos territorios de la Corona de Aragón, Murcia, Andalucía, Cuenca y Ciudad Real se le llama *sabina* o *trabina*, dando topónimos como sabinar, sabinal, trabinal, sabineta, etc. Teniendo en cuenta que en los Alpes de Alta Provenza su nombre antiguo es *serbin*[2], como hipótesis se plantea que la influencia de la lengua occitana haya llegado al aragonés, se haya difundido por los antiguos territorios de la Corona de Aragón y haya podido alcanzar –quizá por los múltiples Caminos de Santiago[3]– tierras castellanas orientales. Esta inversión semántica, ya conocida en los medios forestales, ha sido tratada con algún detalle recientemente (Coronado 2006) y nosotros la ilustramos en el mapa adjunto (Figura 1).

2. Nos preguntamos si podría indicar árbol que da frutos como los del serbal (*server* en catalán) pero con un matiz despectivo, pues no son comestibles.

3. Los lingüistas han encontrado modismos del aragonés en los primeros documentos de San Millán de la Cogolla, cuna del español, los cuales se pueden explicar por el hecho de que este cenobio dependía del Monasterio aragonés de San Juan de la Peña, ambos situados en la ruta jacobea.

**Figura 1 – Inversión semántica de las voces enebro y sabina para nombrar a *Juniperus thurifera*/*J. communis* en Castilla y León al W por oposición a Aragón, Cataluña, Valencia y otras regiones del E y S de España.**

***Figure 1 – Semantic inversion of the names enebro and Sabina to* Juniperus thurifera/J. communis *in Western Castilia when compared with Aragon, Catalonia, Valencia ando other regions of E and S Spain.***

Los topónimos pueden atribuir el género masculino o femenino a una misma especie (jabino-sabina ; enebro-enebra) y ello puede tener connotaciones de edad o tamaño ; en efecto, ejemplares viejos o grandes se suelen asociar al femenino. También se dan aumentativos (Enebrón) o diminutivos (Sabinillas, El Enebrillo). Los fitotopónimos relativos a individuos o a pequeños grupos suelen ser bastante transparentes. Unas veces sirven de referencia espacial –Puysabina, en Alcubierre (Huesca) ; Collado Sabina, en Camarena, (Teruel) ; Mas de la Sabina, en Valencia–, otras llevan determinativos de propiedad –Sabina de Blas, en Veguillas (Teruel)–, calificativos de forma –Sabina Redonda, en Arcos de las Salinas (Teruel)–, etc.

Sin embargo, los nombres colectivos o sinfitotopónimos ya son algo más difíciles, al llevar sufijos y terminaciones diversas según la lengua de que se trate. Así, por ejemplo, el sufijo latino -*etum* puede dar sinfitotopónimos en -edo (Negredo) -eda (Valdenebreda) por toda Castilla, etc., algún -ito en Aragón (Yenefrito, derivado de Genebrito, en este caso basado en *J. communis*, de Panticosa, Huesca) y en -et -eta en Cataluña o Levante ; concretamente, el microtopónimo La Sabineta, recogido en Albelda (Huesca) y en Valencia, alude a *J. phoenicea* pero no se trataría necesariamente de un diminutivo, sino de un colectivo equivalente a Savineda.

El sufijo -*alis* da por todo el ámbito topónimos en -al como Enebral, en Burgo de Osma, etc. y Sabinal, en Cigudosa –ambos en Soria y mayormente basados en *J. thurifera*– o bien topónimos en –ar como Barranco del Sabinar, en Villanueva de Sigena, Huesca. La terminación -*osum* da los abundanciales en -osa -oso, castellanos sobre todo, y en -ós catalano-aragoneses. Sirvan de muestra la Val Sabinosa en Pina de Ebro (Zaragoza) y su equivalente

Valdenebroso (Langa de Duero, Soria), ambos bellos parajes poblados de sabina albar (*J. thurifera*).

Cabe añadir que hay topónimos « ocultos » etimológicamente, pero cuyo significado etnoecológico nos permite referirlos a sabinas y enebros. A partir del topónimo transparente Dehesa del Sabinar, de Urrea de Gaén, descubrimos la « Dehesa Mayor » de Griegos y Guadalaviar, en Albarracín, o simplemente la Dehesa en Fortanete y otros lugares del Sistema Ibérico, indicando el aprovechamiento ganadero extensivo de esas comunidades de *J. thurifera*. Aparte de los anotados, en la tabla quedan otros por comprobar la especie, por ejemplo la « Dehesa de los Enebrales » cerca de Daroca (Zaragoza) que podría haberse generado por *J. communis* o *J. oxycedrus*, pero donde también podría haber *J. phoenicea*. Asimismo, cabría seguir analizando el topónimo Cerna (Calamocha, Teruel), posiblemente generado por la « cierna », es decir, la lluvia lenta del polen de *J. thurifera*, tal como la llaman en Cabrejas (Soria).

Otro tanto ocurre con las decenas de sardas y derivados, más los coscojares o lentiscares, topónimos alusivos a un matorral dominado por *Quercus coccifera*, *Pistacia lentiscus* o *Rhamnus lycioides* en el que no suele faltar la sabina negral, *J. phoenicea* ; este « coscojar aragonés » (Montserrat 1964-1966) se extiende sobre todo por los cerros de la Cuenca del Ebro y lo pastan cabras y ovejas. También los topónimos basados en la voz gayuba, cuya primera acepción nos lleva a la ericácea rastrera *Arctostaphylos uva-ursi* (L.) Spreng. –la planta entera o su fruto–, podrían relacionarse con las sabinas, pues en los confines de Teruel y Valencia a la recolección de los gálbulos caídos de viejos pies de *J. thurifera* –para alimentación animal– se le llamaba « recoger gayubas » ; en todo caso, la ericácea y la sabina albar coinciden en « gallubares », « gayubosos », etc. de la Cordillera Ibérica, por ejemplo en los municipios turolenses de Alpeñés, El Pobo y Manzanera o en los zaragozanos de Ariza y Atea.

Prueba de la importancia de los *Juniperus* en el mundo rural ibérico serían los topónimos mayores que han generado, tanto en Aragón como en Castilla. Citemos, a título ilustrativo El Sabinar (Zaragoza), Fuentenebro y Nebreda (Burgos), Valdenebro (Soria), Valdenebro de los Valles (Valladolid), el citado Mas de la Sabina (Valencia), etc. Ahora bien, hay nombres de lugar como Sabiñán (Zaragoza) o Sabiñánigo (Huesca) que pueden llamar a error, ya que su etimología está más relacionada con antropónimos romanos –Sabinius, Sabinianus– que con nuestros árboles o arbustos (Miguel 2011).

Para terminar, mencionemos los hagiotopónimos o advocaciones marianas relacionadas : N.ª S.ª del Enebral (Moral de Hornuez, Segovia) –con viejos ejemplares de *J. thurifera* como los que ya llamaron la atención de l'Écluse (1576) en el siglo XVI–, N.ª S.ª de los Enebrales en Tamajón (Guadalajara) o N.ª S.ª de la Sabina en Farlete (Zaragoza) y Villaespesa (Teruel), lugares separados por una distancia de 200 km (Morales & Villar 2003).

## A guisa de conclusión

Gracias a los datos catastrales y a otras diversas fuentes, en Aragón más Castilla y León –regiones que albergan las mayores masas de enebros y sabinas peninsulares– hemos podido recoger 432 topónimos basados en las tres especies del género *Juniperus* de hoja escuamiforme, y ello sin contar repeticiones, ya que el mismo topónimo puede aparecer en uno o varios municipios. Como era de esperar, las especies de porte arbóreo son las más representadas : *J. thurifera* –unos 294 topónimos bastante variados– y *J. phoenicea*, unos 101 topónimos. Finalmente, la especie de porte rastrero *J. sabina* sólo ha dado 5 topónimos, tres plurales y dos colectivos, todos ellos en las provincias castellanas de Burgos, León y Palencia. Sin duda, la mayor cantidad de topónimos juniperinos de la Península Ibérica se concentra en las provincias de Teruel, Zaragoza y Burgos ; asimismo, el topónimo más extendido es « sabinar », ya que se repite en 27 lugares de Teruel y 7 de Zaragoza, entre otros.

La complejidad producida por las diversas lenguas habladas en el territorio considerado se traduce en los numerosos sinónimos –diferentes nombres para una misma especie– y opuestamente en los casos llamativos de polisemia : un solo nombre puede aludir a una, dos o tres de las especies implicadas, incluso dentro del mismo ámbito lingüístico. Por eso, la interpretación de los diversos fitotopónimos estudiados –mayormente microtopónimos–, resulta difícil y solo se podrá saber la especie

que los ha generado visitando sobre el terreno el paraje correspondiente.

Las múltiples facetas de los topónimos estudiados, expresadas a través de distintos dominios lingüísticos –occitano, aragonés, castellano, galaico-portugués, etc.–, reflejan que los sabinares y enebrales son formaciones modificadas o favorecidas por el hombre. Tradicionalmente eran bien conocidas, apreciadas y útiles en el seno de los paisajes agro-silvo-pastorales, aunque ahora se vean más o menos abandonadas en torno a los pueblos y despoblados de las sierras y páramos, por lo general bajo un clima continental de la Península Ibérica.

Llegado el siglo XXI, los nuevos modos de vida hacen que se pierda el significado etnobotánico de muchos de los fitotopónimos mencionados e incluso que se olviden algunos de ellos. Sin embargo, como ya hemos dicho (Sanz & González 2006 ; Villar 2010), este patrimonio cultural, bien recopilado e interpretado, contribuirá a comprender mejor la gestión de nuestras áreas forestales en el pasado, su situación actual e incluso su posible evolución en el futuro.

Agradecimientos.– A las Gerencias Territoriales del Catastro en Aragón y Castilla y León, así como al Instituto Geográfico Nacional por habernos cedido amablemente los datos de parajes y nombres geográficos.

## Bibliografía

Aguilella A., 2011. Protegiendo la biodiversidad. Etnobotánica y conservación. *Mètode* 72 : 53-64.

Alvar M., Llorente A., Buesa T. & Alvar E., 1980. *Atlas lingüístico y etnográfico de Aragón, Navarra y Rioja*, t. III : *Plantas*. Zaragoza, Ifc/Csic, láms. 342-484b.

Aymerich P. & Villar L., 2013. Sur les peuplements de Genévrier thurifère en Haut Pallars (Pyrénées centrales, Catalogne). Présentation géobotanique et écologique. Véase este mismo volumen, p. 41-53.

Barrios J.C., Fuentes M.T. & Ruiz J.P., 1992. *El saber ecológico de los ganaderos de la Sierra de Madrid*. Cuadernos madrileños del medio ambiente. Comunidad de Madrid, Madrid, 160 p.

Benito M., 2002. *Pueblos del Alto Aragón, el origen de sus nombres*. Servicio de Patrimonio Etnológico, Lingüístico y Musical. Diputación General de Aragón. Edición electrónica http://www.aragon.es/edycul/patrimonio/etno/pueblos/indice.htm

Boa, 2011a. Decreto 127/2011, de 31 de mayo, del Gobierno de Aragón, por el que se aprueba el Catálogo de Montes de Utilidad Pública de la Provincia de Huesca. *Boletín Oficial de Aragón* 115 : 14502-14596.

Boa, 2011b. Decreto 128/2011, de 31 de mayo, del Gobierno de Aragón, por el que se aprueba el Catálogo de Montes de Utilidad Pública de la Provincia de Teruel. *Boletín Oficial de Aragón* 115 : 14597-14657.

Coromines J., 1989-1997. *Onomasticon Cataloniae*. 8 vols. Ediciones Curial, Barcelona.

Coronado A., 2006. Enebros y sabinas. Un caso de doble inversión semántica. *Revista de Soria* 53 : 59-66.

Costa Tenorio M., García Antón M., Morla Juaristi C. & Sainz Ollero H., 1990. La evolución de los bosques en la Península Ibérica : una interpretación basada en datos paleobiogeográficos. *Ecología*, Fuera de Serie : 31-58.

García Sánchez J.J., 2007. *Atlas toponímico de España*. Arco Libros, Madrid, 407 p.

González Bernáldez F., 1992. *Los paisajes del agua. Terminología popular de los humedales*. J.M. Reyero Editor, Madrid, 258 p.

Gordaliza F.R. & Canal J.M., 1993. *Toponimia palentina*. Caja España, Palencia, 596 p.

L'Écluse Ch. de, 1576. *Rariorum aliquot stirpium per hispanias observatarum historia*. Amberes. [Edición en español de L.R. Laca & R. Morales publicada por la Junta de Castilla y León en 2005, bajo el título *Descripción de algunas plantas raras encontradas en España y Portugal*. Isbn : 84-9718-315-0. Valladolid, 379 p.]

Llorente A., 2003. *Toponimia salmantina*. Diputación de Salamanca, Salamanca, 311 p.

Miguel P., 2011. *Los nombres de Aragón : sus poblaciones*. Heraldo de Aragón, Zaragoza, 400 p.

Montserrat P., 1964-1966. Vegetación de la Cuenca del Ebro. *P. Cent. Pir. Biol. Exp.* 1 (5) : 1-22 + mapa.

Morales R., Macía J.M., Dorda E. & García Villaraco A., 1996. Nombres vulgares II. *Archivos de Flora iberica* 7 : 1-325.

Morales R. & Villar L., 2003. Advocaciones de la Virgen con referencia al mundo vegetal. *Revista de Folklore* 270 : 212-216.

Pérez-Soba I., 2010. *Catálogo de los montes públicos de Zaragoza*. Institución Fernando el Católico, Diputación de Zaragoza, 173 p.

Rivas-Martínez S. y coautores, 2011. Mapa de series, geoseries y geopermaseries de vegetación de España. *Itinera Geobotanica* 18-1 : 1-424 y 18-2 : 425-800.

Ruiz de la Torre J., 2006. *Flora Mayor*. Organismo Autónomo Parques Nacionales. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, 1 756 p.

Sanz Elorza M., 2008. *La flora y la fauna en la toponimia segoviana. Estudio sobre el léxico de la naturaleza en la provincia de Segovia*. Caja Segovia, Obra Social y Cultural, Segovia, 245 p.

Sanz Elorza M. & Agón S., 1997. *Árboles notables de la provincia de Huesca*. Publicaciones y Ediciones del Alto Aragón S.A. Huesca, 251 p.

Sanz Elorza M. & González Bernardo F., 2008. Toponimia de origen vegetal en la provincia de Segovia y su sentido ecológico y etnobotánico. *Lazaroa* 27 : 103-125.

Vidaller R., 1989. Dizionario sobre espezies animals y bexetals en o bocabulario altoaragonés. IEA, Huesca, *Cosas Nuestras* 7 : 1-330. [Reed., 2004. *Libro de as matas y os animals. Dizionario aragonés d'espezies animals y bechetals*. Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón, Zaragoza, 395 p.]

Villar L., 2003. *Los saberes científico y popular en torno a las plantas del Pirineo Aragonés. Un ejemplo de biodiversidad cultural*. Monografías de la Real Academia de Ciencias de Zaragoza nº 23. Zaragoza, 42 p.

Villar L., 2005a. Toponimia de origen vegetal en el Alto Aragón. Los nombres colectivos relacionados con especies arbóreas y su significado ecológico. *Alazet* 17 : 239-264.

Villar L., 2005b. Toponimia de origen vegetal en el Alto Aragón, II. Sinfitónimos relacionados con arbustos y su sentido ecológico. *Flora Montiberica* 29 : 43-53.

Villar L., 2010. La toponimia vegetal refleja el saber etnoecológico : el caso del Pirineo central (España). *In :* Pochettino M.L., Ladio A.H. & Arenas P.M. (eds.), *Tradiciones y transformaciones en Etnobotánica*. Cyted, San Salvador de Jujuy : 445-456.

Villar L., 2013. Le Genévrier thurifère, vieil arbre compagnon de l'homme en Méditerranée occidentale. Véase este mismo volumen.

Villar L. & Ferrández J.V., 2000. Usos etnobotánicos de la sabina albar y arbustos que le acompañan en Aragón. *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, Onf, coll. « Les dossiers forestiers » 6 : 130-139.

Villar L., Palacín J.M., Calvo C., Gómez D. & Montserrat G., 1987. *Plantas medicinales del Pirineo Aragonés y demás tierras oscenses*. Diputación Provincial e Instituto Pirenaico de Ecología-Csic, Huesca, 320 p.

Villar L., Sesé J.A. & Ferrández J.V., 1997. *Atlas de la Flora del Pirineo Aragonés*, vol. I. Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón e Instituto de Estudios Altoaragoneses, Zaragoza y Huesca, XCI + 648 p.

Villar L., Sesé J.A. & Ferrández J.V., 2001. *Atlas de la Flora del Pirineo Aragonés*, vol. II. Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón e Instituto de Estudios Altoaragoneses, Zaragoza y Huesca, XXII + 790 p.

Yagüe L., Sanz A., Peso C. del, Ordóñez C. & Pinillos F., 2006. Evolución de las masas puras de *Juniperus thurifera* L. en Castilla y León a partir de los datos de los inventarios forestales nacionales 2 y 3 (años 1992 y 2002). *In* : García-González M. D. (coord.), *Actas del III coloquio internacional sobre sabinares y enebrales* (Género Juniperus). Ecología y Gestión forestal sostenible, Junta de Castilla y León y Comunidad de Madrid, Soria, vol. II : 239-247.

# Plasticité phénotypique de l'expression sexuelle de *Juniperus phoenicea* L. dans les gorges de l'Ardèche (France)

## *Phenotypic plasticity of gender expression of* Juniperus phoenicea *L. in the "Gorges de l'Ardèche" (France)*

Jean-Paul MANDIN

Société botanique de l'Ardèche,
Réserve naturelle nationale des Gorges de l'Ardèche,
Les Juliennes, 07110 CHASSIERS
E-mail : jean-paul.mandin@educagri.fr

**Résumé**

Juniperus phoenicea *est une espèce composée essentiellement d'individus bisexués et d'individus femelles, ainsi que de quelques individus mâles.*

*L'état sexuel d'un individu peut changer d'une année à l'autre, probablement en fonction des conditions environnementales. Pour vérifier cette hypothèse, un suivi de l'état sexuel des genévriers de Phénicie a été mis en place dans six stations : trois sur le plat et trois en paroi rocheuse, où on a choisi au hasard vingt arbres sur lesquels on a calculé, pendant six ans (2007-2012), un « indice de féminité ». Dans l'ensemble de la population, il y a environ un quart de femelles, trois quarts de bisexués et aucun individu mâle constant : résultats très semblables à ceux obtenus par Pavón García (2006 et com. pers.) en Espagne. Très souvent, il y a une alternance interannuelle entre tendance mâle et tendance femelle. Quelques individus peuvent même changer totalement de sexe d'une année à l'autre. Dans leur grande majorité, les individus bisexués passent par un état mâle, c'est-à-dire une année où ils n'expriment pas leur sexe femelle.*

*En général, un individu qui a produit essentiellement des fleurs femelles et a donc, par la suite, investi beaucoup d'énergie dans le développement des fruits est nettement plus mâle l'année suivante ou ne fleurit pas du tout. Parmi les six stations, celles ayant les conditions environnementales les plus difficiles abritent des populations plus mâles et à expression sexuelle plus instable que celles ayant des conditions plus favorables qui ont des populations plus femelles et à expression plus stable. L'expression du sexe semble sous le contrôle de facteurs individuels et de facteurs externes : conditions stationnelles et état physiologique. L'âge de l'arbre ne semble pas avoir d'influence. L'espèce varie d'un état annuel particulier de trioécie à un état pluriannuel particulier de gynodioécie. Cette variabilité phénotypique de l'expression du sexe semble permettre une adaptation fine aux conditions très difficiles des parois rocheuses.*

**Mots clés :** *Juniperus phoenicea*, Ardèche, plasticité phénotypique, expression du sexe, gynodioécie, trioécie.

**Abstract**

Juniperus phoenicea *is a species made up of bisexual and female trees, with inconstant male trees.*

*The sexual status of a tree can vary from one year to another, probably due to environmental conditions. In order to confirm this hypothesis, we monitored 120 trees chosen randomly in 6 spots, 20 trees in each: 3 on flat grounds and 3 on cliffs, then a "female gender value" has been calculated, for the years 2007 to 2012. In the whole population, about one quarter is female, three quarters are bisexual, and no constant male at all, these results are very similar to those of Pavón García (2006 and com. pers.) in Spain. Very often there is an inter annual variation between the male and female trends. A few trees can even change gender entirely from one year to another. In most cases, bisexual trees go through a male phase, i.e. a year without expression of their female component. Generaly, when a tree produced a lot of female flowers and has consequently consumed a great deal of energy in bear-*

**Keywords:** *Juniperus phoenicea*, Ardèche, phénotypic plasticity, gender expression, gynodioecy, trioecy.

*ing fruit, it produces more male flowers or does not flower the following year. Among the 6 spots, those with the hardest environmental conditions have more male populations and with more labile gender than those with more favourable conditions which have more female populations and less labile gender. The gender seems to be under the control of individual as well as external factors such as ecological conditions and physiological status. The age of the trees seems not to influence the gender expression. The species varies from annual special trioecy to pluriannual special gynodioecy. This gender variations likely allow a good adaptation to the very rough environmental conditions of cliffs.*

## Abridged english version

*Juniperus phoenicea* is a species made up of bisexual and female trees, with inconstant male trees.

The sexual status of a tree can vary from one year to another, probably due to environmental conditions. In order to confirm this hypothesis, we monitored 120 trees chosen randomly in 6 spots, 20 trees in each: 3 on flat grounds and 3 on cliffs (West, South and North), then a "female gender value" (Lloyd 1979; Jordano, 1991) has been calculated from 2007 to 2011, as following:

$$G_i = g_i / (g_i + a_i \times E)$$

with:

$G_i$ = female gender value of the tree;
$g_i$ = total number of female cones produced on the 5 branches;
$a_i$ = is the number of polliniferous cones produced on the 5 branches;
$E = g_i / a_i$ = equivalence factor that equates the probability of androecial units and gynoecial units contributing genes to the next generation.

The gender value is 0 for a pure male, and 1 for a pure female.

### Results

Six categories of trees exist:
- stable female ($G_i$ = 0 every year);
- unstable female ($G_i$ = 0 every year, or no flower);
- stable male ($G_i$ = 1 every year);
- unstable male ($G_i$ = 1 every year, or no flower);
- stable bisexual ($G_i$ never 0 or 1);
- unstable bisexual ($G_i$ at least one time different from 0 or 1).

In the whole population, about one quarter is female, three quarters are bisexual, and there is no stable or unstable male at all, this result is very similar to those of Pavón García *et al.* (2006 and com. pers.) in Spain.

| Sexuel status (2007-2011) | Gorges de l'Ardèche | Spain (rocky soils) (Pavón García *et al.* 2006) | Spain (light soils) (Pavón García *et al.* 2006) |
|---|---|---|---|
| Bisexual | 74.2% (89) | 71.4% (137) | 67.9% (165) |
| Female | 25.8% (31) | 28.1% (54) | 31.3% (76) |
| Male | 0.0% (0) | 0.5% (1) | 0.8% (2) |
| Number of trees | 120 | 192 | 241 |

The results are quite different for the sex stability.

| Sexuel status (2007-2011) | Gorges de l'Ardèche | Spain (rocky soils) (Pavón García *et al.* 2006) | Spain (light soils) (Pavón García *et al.* 2006) |
|---|---|---|---|
| Stable | 8.3% (10) | 47.4% (91) | 76.5% (186) |
| Unstable | 91.7% (110) | 52.6% (101) | 23.5% (57) |
| Number of trees | 120 | 192 | 241 |

The great difference in the percentage of unstability is likely due to the importance of microclimatic stress.

Very often there is an between-year variation between the male and female trends. A few trees (7.5%) can even change sex entirely from one year to another. In most cases, bisexual trees go through a male phase, that is to say a year during which they don't show their female component. Everything happens as if a tree which has produced female flowers and has consequently consumed a great deal of energy in bearing fruit had a "rest phase" the following year, that is to say either behaving like a male tree or not flowering at all.

Among the 6 spots, those with the hardest environmental conditions have more male populations and with more labile gender than those with more favourable conditions which have more female populations and less labile gender. Phenician juniper have probably genes enabling them to produce both sexes on the same tree, but some of them never be male, likely because of a male sterility factor?

The gender expression seems to be under the control of individual factors such as genetical and physiological status, as well as external factors such as ecological conditions. More

over, the gender status of the trees seems to be independant from the age.

The sex state of breading system of *Juniperus phoenicea* varies from annual special trioecy (= "trimonoecy" i.e. male trees, female trees and bisexual trees with separate flowers) to between-year special gynodioecy (= "gynomonodioecy" i.e. female trees and unconstant bisexual trees with separate flowers). It seams to be on the path to reach dioecy as *Juniperus thurifera* did.

This gender variations likely allows a good adaptation to the very rough environmental conditions on cliffs.

## Introduction

La distinction entre espèces monoïques (individus portant des fleurs mâles et des fleurs femelles séparées), dioïques (deux catégories d'individus : certains portant des fleurs mâles et d'autres des fleurs femelles) et hermaphrodites (individus portant des fleurs bisexuées) est connue de longue date (Darwin 1877). Toutefois, de nombreux cas intermédiaires existent, comme la trioécie (espèce possédant des individus à fleurs mâles, des individus à fleurs femelles et des individus à fleurs hermaphrodites) et la gynodioécie (espèce possédant des individus à fleurs femelles et des individus à fleurs hermaphrodites) (figure 1 d'après Ainsworth 2000).

Dans le cas de *Juniperus phoenicea* L., la situation est plus complexe. Cette espèce est généralement considérée comme monoïque (Coste 1937) et parfois comme dioïque (Rameau *et al.* 2008). En fait, les nombreuses populations observées sur le terrain présentent toujours trois catégories d'individus : des mâles, des femelles et des individus bisexués, c'est-à-dire possédant les deux sexes sur le même arbre mais avec des fleurs mâles et femelles séparées. Il ne s'agit donc pas d'un cas de trioécie au sens strict puisque les individus bisexués ont des fleurs mâles et femelles séparées (comme les espèces monoïques) et non des fleurs hermaphrodites.

Pavón García *et al.* (2006) indiquent que ce trait est un caractère primitif chez les Cupressacées. Ils observent que la proportion des fleurs de chaque sexe varie selon les individus, allant d'arbres totalement mâles à d'autres totalement femelles. D'autre part, l'état sexuel des individus peut changer d'une année à l'autre, en fonction du stress et des conditions environnementales (Jordano 1991 ; Pavón García *et al.* 2006).

Afin d'étudier l'expression sexuelle de *Juniperus phoenicea* dans le temps et dans des conditions stationnelles différentes, nous avons mis en place un suivi pluriannuel dans les gorges de l'Ardèche.

**Figure 1 – Représentation classique de quelques stratégies sexuelles chez les végétaux (d'après Ainsworth 2000).**
***Figure 1 – Some classical sex strategies in plants (according to Ainsworth 2000).***

## Matériels et méthodes

Pendant l'hiver 2006-2007, dans la Réserve naturelle nationale des gorges de l'Ardèche et aux alentours, nous avons choisi six stations dans des conditions écologiques différentes, trois sur terrain plat et trois en paroi rocheuse, dans un rayon d'un kilomètre :

- plateau sans exposition bien définie (vers Saint-Remèze) : station R ;
- pied de paroi exposé au sud (Gaud, à la Clède), sur sol assez profond de colluvions : station T ;
- replat en exposition ouest (Gaud, à la Clède), sur sol très mince : station P ;
- paroi en exposition sud (Gaud, à la Clède) : station S ;
- paroi en exposition ouest (Gaud, au-dessus de la Dent noire) : station W ;
- paroi en exposition nord (Châtaigneraie, rive droite) : station N.

La localisation des six stations dans un rayon d'un kilomètre permet d'avoir un climat général identique, bien caractérisé par la station climatique Météo France de Vallon-Pont-d'Arc distante de six kilomètres. Le microclimat thermique des parois et des zones plates a été étudié à l'aide de stations d'enregistrement fonctionnant depuis janvier 2005 (Mandin 2011).

Dans chaque station, on a choisi vingt arbres au hasard. Une fiche descriptive de l'arbre a été établie (localisation, nombre de troncs, diamètre à la base du tronc, hauteur de l'arbre, torsade ou non du tronc, pourcentage de parties vivantes). L'âge des arbres n'a pas été déterminé pour ne pas les blesser. Toutefois, les trois stations plates ne présentent que des arbres jeunes, ayant moins d'un siècle, car les espaces concernés apparaissent sans végétation arborescente sur la première photographie aérienne de la zone, en 1948. Par contre, parmi les arbres des stations de paroi, de nombreux individus sont nettement plus âgés, sans que l'on puisse effectuer une estimation précise de leur âge en fonction de leur aspect extérieur, tant les vitesses de croissance sont lentes et variables (Mandin 2005, 2006 ; Mathaux 2012).

Sur chaque arbre, cinq branches ont été marquées et identifiées par une étiquette et un morceau de fil électrique coloré. Tous les ans, entre début février et mi-mars, selon la période de pleine floraison, on a noté le nombre de fleurs mâles et femelles de chaque rameau, entre le fil électrique et l'extrémité. Pour pallier les oublis lors du comptage des fleurs femelles qui sont petites et parfois très peu nombreuses, on a effectué deux vérifications. L'année suivante on a noté la présence éventuelle de galbules d'un an sur l'arbre. Lors de la récolte des galbules mûres, en août, on a examiné à nouveau l'arbre entier afin de voir si un arbre noté mâle n'avait pas fait quelques rares fruits. Quand c'était le cas, on a corrigé le « zéro » fleur femelle par la valeur minimale d'« une » fleur femelle pour l'ensemble de l'arbre.

Le suivi a duré de 2007 à 2012.

### Indice de féminité

Pour chaque arbre, on a calculé un « indice de féminité » qui reflète l'estimation du sexe fonctionnel de chaque arbre (Lloyd 1979 ; Jordano 1991) :

$$G_i = g_i / (g_i + a_i \times E)$$

Avec :

$G_i$ = indice de féminité de la plante ;

$g_i$ = nombre de fleurs femelles sur les cinq branches ;

$a_i$ = nombre de fleurs mâles sur les cinq branches ;

$E = g_i / a_i$ = facteur d'équivalence qui équilibre la probabilité de la contribution des gènes de gynoécie et androécie à la génération suivante.

L'indice $G_i$ varie de 0 pour un individu totalement et uniquement mâle, à 1 pour un individu totalement et uniquement femelle. Cet indice a été calculé pour les six années 2007 à 2012.

### Catégories d'arbres

Selon la variation de l'indice pendant la période de référence, on distingue plusieurs catégories d'arbres (Pavón García *et al.* 2006 ; et com. pers.).

**Femelle stable (Fs)** : indice égal à 1 tous les ans = individus ne produisant que des fleurs femelles tous les ans.

**Femelle instable (Fi)** : indice égal à 1 tous les ans ou pas de floraison = individus ne produisant que des fleurs femelles, mais ne fleurissant pas certaines années.

**Mâle stable (Ms)** : indice égal à 0 tous les ans = individus ne produisant que des fleurs mâles tous les ans.

**Mâle instable (Mi)** : indice égal à 0 tous les ans ou pas de floraison = individus ne pro-

duisant que des fleurs mâles, mais ne fleurissant pas certaines années.

**Bisexué stable (Bs)** : indice supérieur à 0 et inférieur à 1 tous les ans = individus produisant des fleurs mâles et des fleurs femelles tous les ans.

**Bisexué instable (Bi)** : indice supérieur à 0 et inférieur à 1 au moins une fois sur la période, différent les autres années (égal à 0, égal à 1 ou pas de floraison) = individus produisant à la fois des fleurs mâles et des fleurs femelles au moins une année, les autres années soit des fleurs mâles, soit des fleurs femelles, soit pas de floraison, soit les deux catégories de fleurs.

## Résultats et analyses

Les proportions des différentes catégories d'arbres (mâles, femelles et bisexués) changent d'une année à l'autre. Pour l'ensemble des 120 arbres, la proportion de « mâles purs » (indice 0) varie de 6 % (2007) à 37 % (2012), celle des arbres « femelles pures » de 11 % (2010) à 35 % (2008 et 2009), et celle des bisexués de 51 % (2011) à 63 % (2007).

En fait, dans la très grande majorité des cas, l'indice de chaque arbre varie d'une année à l'autre.

En Ardèche, l'année 2010 a été particulière. Nous n'avons trouvé que très peu d'arbres portant des fleurs femelles et encore en très petit nombre. En outre, de nombreux arbres n'avaient pas de fleurs mâles non plus. Seuls de très rares individus particulièrement bien abrités dans les falaises des gorges de l'Ardèche avaient une floraison femelle normale. L'observation des jeunes galbules l'année suivante a permis de corriger cette impression première. Plusieurs arbres présentaient une ou deux galbules résultant de fleurs qui étaient passées inaperçues.

L'observation attentive des rameaux sans fleurs a permis de voir de petits bourgeons noirs et desséchés. Il est probable que la succession d'une période de gel du 8 au 12 janvier, suivie d'une période chaude où la température est montée à 15 °C, puis d'une nouvelle période de gel du 12 au 15 février (minimum de –5 °C) a été fatale aux fleurs femelles et à de nombreuses fleurs mâles.

### Structure sexuelle de l'ensemble des populations

L'analyse des indices de féminité de l'ensemble des arbres regroupés sur un seul graphique montre qu'on a affaire à deux catégories d'individus (figure 2) :

– des femelles pures, qui restent toujours femelles ou qui ne fleurissent pas certaines années ; il y en a 31, soit 25,8 % ;
– des individus bisexués (89 individus, soit 74,2 %), parmi lesquels certains sont plutôt à tendance mâle, d'autres à tendance femelle, et d'autres, enfin, presque toujours intermédiaires.

L'analyse des indices maximaux et minimaux de chaque individu sur la période de six ans (figure 3) montre que :

– la très grande majorité des individus bisexués est passée par un état mâle, c'est-à-dire une année où ils n'ont pas exprimé leur sexe femelle (73 individus, soit 60,8 % de la population, mais 82 % des 89 bisexués) ;
– parmi les bisexués, seuls cinq individus (4,1 %) sont toujours restés strictement bisexués (ou n'ont pas fleuri), sans jamais être, au moins une fois, totalement mâles ou totalement femelles, et aucun n'a gardé un indice constant (le point serait situé sur la diagonale du graphique) ;
– il n'y a eu aucun individu, sur les 120 arbres, qui n'a jamais produit de fleurs femelles ;

**Figure 2 – Distribution des indices de féminité moyens (toutes stations, 2007-2012). Les barres indiquent les indices maximaux et minimaux atteints par chaque arbre.**

***Figure 2 – Distribution of average gender values (all plots, 2007-2012). Lines indicate maximum and minimum values of each tree.***

**Figure 3 – Représentation des indices de féminité maximaux et minimaux que chaque arbre a atteint pendant la période 2007-2012.**

***Figure 3 – Maximum and minimum gender values of each tree during the years 2007 to 2012.***

**Tableau 1 – État sexuel des 120 *Juniperus phoenicea* étudiés.**

***Table 1 – Gender status of the 120* Juniperus phoenicea *monitored.***

| État sexuel (2007-2011) | Nombre d'arbres | Pourcentage |
|---|---|---|
| Bisexué stable | 2 | 1,7 |
| Bisexué instable | 87 | 72,5 |
| Femelle stable | 8 | 6,7 |
| Femelle instable | 23 | 19,2 |
| Mâle stable | 0 | 0,0 |
| Mâle instable | 0 | 0,0 |
| **Total** | **120** | **100,0** |

**Tableau 2 – Comparaison de l'état sexuel des *Juniperus phoenicea* d'Ardèche avec les données espagnoles de Pavón García *et al.* (2006).**

***Table 2 – Comparison between gender status of the* Juniperus phoenicea *from Ardèche v/s Spain (Pavón García et al. 2006).***

| État sexuel (2007-2011) | Gorges de l'Ardèche | Espagne (sols rocheux) (Pavón García *et al.* 2006) | Espagne (sols meubles) (Pavón García *et al.* 2006) |
|---|---|---|---|
| Bisexué | 74,2 % (89) | 71,4 % (137) | 67,9 % (165) |
| Femelle | 25,8 % (31) | 28,1 % (54) | 31,3 % (76) |
| Mâle | 0,0 % (0) | 0,5 % (1) | 0,8 % (2) |
| Nombre d'arbres | 120 | 192 | 241 |

– neuf individus (7,5 %) ont changé au moins une fois totalement de sexe, passant de strictement mâle à strictement femelle, ou l'inverse ;
– vingt-neuf arbres (24,2 %) ont conservé leur sexe femelle, mais seulement huit (6,7 %) ont fleuri tous les ans.

L'ensemble des données détaillées de l'état sexuel des genévriers est présenté dans le tableau 1.

Le regroupement des catégories stables et instables permet de synthétiser les résultats (tableau 2) en bisexués, femelles et mâles.

Globalement, dans les gorges de l'Ardèche, il y a environ trois quarts d'individus bisexués et un quart de femelles.

Par ailleurs, en regroupant les individus mâles, femelles et bisexués à sexualité stable, d'une part, et ceux à sexualité instable, d'autre part, on obtient les résultats présentés dans le tableau 3. Seulement 8,3 % ont une expression sexuelle stable.

**Figure 4 – Variations des indices de féminité moyens de chaque station pendant la période 2007-2012.**

***Figure 4 – Variations of average gender values of each plot during the years 2007 to 2012.***

## Alternance de l'expression du sexe

Pour chacune des six stations d'étude, on a calculé l'indice de féminité moyen des vingt arbres (moyenne de leur indice individuel) ; leurs variations pendant les six ans de suivi sont représentées à la figure 4. Ces graphes font apparaître un léger phénomène d'alternance, des années à tendance plus femelle succédant à des années à tendance plus mâle. En particulier, l'année 2010 a produit nettement moins de « femelles » que les autres années, sauf dans le talus de Gaud (station T). Toutefois, ce phénomène est en partie masqué par des variations en sens inverse de certains arbres. Ainsi, quand on analyse les arbres individuellement, le phénomène devient beaucoup plus net.

Quelques exemples montrent bien la nature du phénomène, en rappelant que l'indice 0 caractérise un individu à fleurs uniquement mâles et 1, un individu à fleurs uniquement femelles (tableaux 4 et 5).

Tout se passe comme si les individus ayant produit des fleurs femelles, et qui ont ensuite investi beaucoup d'énergie dans le développement des fruits, se « reposaient » l'année suivante en faisant moins de fleurs femelles, devenant ainsi nettement plus mâle ou même en ne fleurissant pas du tout.

Quelques individus peuvent même changer totalement de sexe d'une année à l'autre, comme le montre le tableau 6.

**Tableau 3 – Comparaison des proportions de *Juniperus phoenicea* d'Ardèche à expression sexuelle stable ou instable avec les données espagnoles de Pavón García *et al.* (2006).**

***Table 3 – Comparison between stable or unstable gender status of the* Juniperus phoenicea *from Ardèche v/s Spain (Pavón García* et al. *2006).***

| **État sexuel (2007-2011)** | **Gorges de l'Ardèche** | **Espagne (sols rocheux)** (Pavón García *et al.* 2006) | **Espagne (sols meubles)** (Pavón García *et al.* 2006) |
|---|---|---|---|
| Stable | 8,3 % (10) | 47,4 % (91) | 76,5 % (186) |
| Instable | 91,7 % (110) | 52,6 % (101) | 23,5 % (57) |
| Nombre d'arbres | 120 | 192 | 241 |

**Tableau 4 – Exemples de variations interannuelles de l'expression sexuelle pour des individus bisexués à tendance femelle (0 = mâle ; 1 = femelle ; Rien = pas de floraison).**

***Table 4 – Examples of between-year variations of gender status for more or less female trees (0 = male ; 1 = female ; Rien = no flowers).***

| **Arbre** | **2007** | **2008** | **2009** | **2010** | **2011** | **2012** | **Moyenne** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| R5 | 1,0 | 0,4 | 0,9 | Rien | 0,7 | 0,4 | 0,7 |
| W15 | 0,5 | Rien | 1,0 | Rien | Rien | Rien | 0,8 |
| N2 | 0,9 | 1,0 | 0,4 | Rien | 0,0 | 0,9 | 0,7 |

**Tableau 5 – Exemples de variations interannuelles de l'expression sexuelle pour des individus bisexués à tendance mâle (0 = mâle ; 1 = femelle ; Rien = pas de floraison).**

***Table 5 – Examples of between-year variations of gender status for more or less male trees (0 = male ; 1 = female ; Rien = no flowers).***

| **Arbre** | **2007** | **2008** | **2009** | **2010** | **2011** | **2012** | **Moyenne** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| R19 | 0,7 | 0,1 | 0,2 | 0,0 | 0,3 | 0,4 | 0,3 |
| P4 | 0,1 | 0,6 | 0,1 | 0,0 | 0,5 | 0,0 | 0,2 |
| T15 | 0,3 | 0,2 | 0,1 | 1,0 | 0,0 | 0,0 | 0,3 |
| S20 | 0,3 | 0,1 | 0,2 | 0,0 | 0,4 | 0,0 | 0,2 |
| W8 | 0,2 | 0,0 | 0,5 | Rien | 0,0 | 0,5 | 0,3 |

**Tableau 6 – Exemples de changements complets de sexe (0 = mâle ; 1 = femelle ; Rien = pas de floraison).**

***Table 6 – Examples of complete between-year changing of gender status (0 = male ; 1 = female ; Rien = no flowers).***

| Arbre | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | Moyenne |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| R1 | 0,4 | 1,0 | 0,2 | 0,0 | 0,0 | 0,6 | 0,4 |
| R18 | 1,0 | 0,9 | 0,0 | Rien | 0,0 | 0,6 | 0,5 |
| S4 | 0,0 | 1,0 | 1,0 | Rien | Rien | Rien | 0,7 |

**Tableau 7 – Variation de la stabilité de l'état sexuel dans les stations de l'étude.**

***Table 7 – Variation of the gender satus stability in the 6 monitored spots.***

| | Station R | Station T | Station P | Station S | Station W | Station N |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Stables (%) | 10 dont 5 % | 40 dont 20 % | 20 pas de femelles stables | 20 pas | 20 pas | 30 dont 15 % |
| Instables (%) | 90 | 60 | 80 | 80 | 80 | 70 |

La variation de l'expression du sexe paraît donc constituer une règle générale chez les *Juniperus phoenicea* étudiés, sauf pour les 25 % d'individus femelles.

## Structure sexuelle des populations

### Stabilité des états sexuels

On a vu que la population des gorges de l'Ardèche avait une proportion d'individus à phénotype sexuel instable très importante. Cependant, les proportions de chaque catégorie dans les six stations échantillonnées sont elles aussi différentes (tableau 7).

Malgré le faible effectif (vingt individus), on peut noter que les taux de stabilité les plus forts s'observent dans les stations du talus et nord (T et N) (ensemble des phénotypes et femelles), où règnent les conditions stationnelles les moins stressantes.

### Indice de féminité

La structure sexuelle des six populations étudiées a été représentée graphiquement, en classant les indices selon des valeurs croissantes (figures 5-1 à 5-6). L'analyse des graphiques des six stations montre que le talus (T) et la paroi nord (N) présentent plus de femelles que les autres. La station du talus (T) possède un sol assez profond, la paroi nord (N) présente des conditions microclimatiques plus clémentes que les autres parois : moins forts ensoleillements ainsi qu'évaporation et températures moins élevées. Le plateau (P), les parois sud (S) et ouest (W) sont nettement plus mâles. Ces trois stations subissent les conditions les plus difficiles : sol très mince pour le plateau (P), parois ouest (W) et sud (S) soumises à de rudes conditions microclimatiques.

En général, dans les populations d'espèces dioïques ou monoïques, le rapport mâle/femelle augmente fréquemment quand les conditions stationnelles deviennent plus difficiles (Ortiz *et al.* 2002 ; Freeman *et al.* 1981).

Toutefois, chez les angiospermes, de nombreuses espèces dioïques ou trioïques ont un

**Figures 5 – Distribution des indices de féminité moyens des arbres de chaque station pendant la période 2007-2012. Les barres indiquent les indices maximaux et minimaux atteints par chaque individu.**

***Figures 5 – Distribution of average gender values of trees of each plot during the years 2007 to 2012. Lines indicate maximum and minimum values.***

**Figure 5-1 – Station R (Saint-Remèze). Indice de féminité moyen (2007-1012) : 0,46 ± 0,36.**

***Figure 5-1 – Plot R (Saint Remèze) Average female gender value (2007-1012): 0,46 ± 0,36.***

**Figure 5-2 – Station T (Talus). Indice de féminité moyen (2007-1012) : 0,56 ± 0,46.**

***Figure 5-2 – Plot T (Slope). Average female gender value (2007-1012): 0,56 ± 0,46.***

**Figure 5-3 – Station P (Plateau). Indice de féminité moyen (2007-1012) : 0,36 ± 0,40.**

***Figure 5-3 – Plot P (Plateau). Average female gender value (2007-1012): 0,36 ± 0,40.***

**Figure 5-4 – Station S (Falaise sud). Indice de féminité moyen (2007-1012) : 0,44 ± 0,41.**

***Figure 5-4 – Plot S (South cliff). Average female gender value (2007-1012): 0,44 ± 0,41.***

**Figure 5-5 – Station W (Falaise ouest). Indice de féminité moyen (2007-1012) : 0,45 ± 0,42.**

***Figure 5-5 – Plot W (West cliff). Average female gender value (2007-1012): 0,45 ± 0,42.***

**Figure 5-6 – Station N (Falaise nord). Indice de féminité moyen (2007-1012) : 0,58 ± 0,46.**

***Figure 5-6 – Plot N (North cliff). Average female gender value (2007-1012): 0,58 ± 0,46.***

sex-ratio qui varie en fonction de l'âge, en général avec un excédent de mâles dans les populations jeunes et un excédent de femelles dans les populations âgées (Allen & Antos 1993 ; Escarre & Houssard 1991 ; Gao *et al.* 2009 ; Harris & Pannell 2010 ; Sinclair *et al.* 2012 ; Yu & Lu 2011).

Nous avons cherché à vérifier s'il n'y avait pas une influence de l'âge des arbres sur l'expression de leur sexe. En l'absence de données précises sur les âges, nous avons comparé les indices de féminité, le nombre de femelles et de bisexués de l'ensemble des arbres des trois stations de plat (arbres jeunes) à celle de l'ensemble des arbres des trois stations de falaise (arbres nettement plus âgés). Les données du tableau 8 montrent qu'il n'y a aucune différence entre les deux catégories de stations. Il est donc très probable que l'âge n'intervient pas dans l'expression du sexe des *Juniperus phoenicea.*

**Tableau 8 – Comparaison des indices de féminité moyens, du nombre de femelles et de bisexués par catégories de stations : stations plates avec arbres jeunes, stations de falaise avec arbres plus vieux.**

***Table 8 – Comparison of gender values, females and bisexuals of flat plots v/s cliff plots.***

| Stations | Indice de féminité moyen | Nombre de femelles | Nombre de bisexués |
|---|---|---|---|
| Saint-Remèze (R) | 0,46 | 2 | 18 |
| Talus (T) | 0,56 | 9 | 11 |
| Plateau (P) | 0,36 | 4 | 16 |
| **Ensemble des trois stations plates (R + T + P)** | **0,46** | **15** | **45** |
| Paroi sud (S) | 0,44 | 4 | 16 |
| Paroi ouest (W) | 0,45 | 5 | 15 |
| Paroi nord (N) | 0,58 | 5 | 15 |
| **Ensemble des trois stations de falaise (S + W + N)** | **0,49** | **14** | **46** |

### Signification statistique des différences

Un test de Wilcoxon-Mann-Whitney (logiciel XLSTAT) a été appliqué aux données pour voir si les différences entre les résultats des six stations étaient significatives. Ce test est une méthode non paramétrique réputée pour comparer deux populations. On l'utilise pour tester l'hypothèse nulle selon laquelle les populations suivent la même distribution, en se basant sur la position de la médiane. Ce test est utilisé comme alternative au test t de Student, lorsque l'hypothèse de normalité paraît douteuse pour l'une ou les deux populations.

Cependant, les populations à comparer étant de vingt individus au maximum, les petites différences sont souvent non significatives.

Afin de voir si on pouvait mettre en évidence des différences de l'expression du sexe entre les arbres des six stations pendant les six ans de mesures, on a regroupé les indices de féminité des vingt arbres de chaque station mesurés pendant six ans, soit 120 données par station. Puis, on a comparé les séries entre elles. Les résultats synthétiques de ces comparaisons sont donnés dans le tableau 9.

La population de la station nord (N) est statistiquement différente de toutes les autres, excepté celle de la station du talus (T).

**Tableau 9 – Comparaison des indices de féminité des 20 arbres de chaque station pendant 6 ans (2007-2012 ; test de Willcoxon-Mann-Whitney).**

***Table 9 – Comparison of the gender values of the 20 trees of every plot for the 6 years monitoring period (2007-2012 ; Willcoxon-Mann-Whitney test).***

| Stations | R | S | W | P | T | N |
|---|---|---|---|---|---|---|
| R | 0 | 50 | 70 | 95 | 70 | 95 |
| S | | 0 | 40 | 70 | 80 | 95 |
| W | | | 0 | 25 | 90 | 95 |
| P | | | | 0 | 95 | 95 |
| T | | | | | 0 | 55 |
| N | | | | | | 0 |

0 : pas de différence significative entre les deux populations ; 95 (ou 90, 85…) : différence significative entre les deux populations avec un taux de confiance de 95 % (ou 90 %, 85 %…).

*0 : no statistical difference between the two populations; 95 (or 90, 85…): statistical difference between the two populations, using a 95% (or 90%, 85%…) confidence interval.*

## Stratégie sexuelle de *Juniperus phoenicea*

Nous avons vu que les populations de *J. phoenicea* étaient constituées d'un mélange d'individus mâles, femelles et bisexués portant des fleurs séparées, constituant un cas particulier de trioécie que l'on pourrait nommer « trimonoécie ». Toutefois, l'observation dans la durée montre qu'il n'y a pas d'individus mâles permanents, mais seulement des femelles permanentes et des individus à expression sexuelle fluctuante : généralement bisexués, pouvant aussi être mâles ou femelles.

On ne rentre pas dans la définition stricte de la gynodioécie puisque comme précédemment les individus bisexués ont des fleurs mâles et femelles séparées (comme dans le cas d'une espèce monoïque) et non des fleurs hermaphrodites. On pourrait appeler cette situation « gynomonodioécie » (figure 6).

*Juniperus phoenicea* semble donc être une espèce génétiquement « gynomonodioïque » exprimant selon les années et les conditions du milieu une « trimonoécie » avec des proportions variables des trois catégories d'individus.

**Figure 6 – Stratégie sexuelle de *Juniperus phoenicea*.**

***Figure 6 – Annual to multiannual sex strategies of* Juniperus phoenicea.**

## Discussion

Le tableau 2 permet de comparer les proportions de mâles, de femelles et de bisexués des populations ardéchoises et espagnoles (Pavón García *et al.* 2006 ; et com. pers.). Il est remarquable de constater les similitudes dans les proportions de ces différentes catégories dans les deux études. Toutefois, si les valeurs données par Jordano (1991) sont du même ordre de grandeur : 31 % de femelles dans la Réserve biologique de la Doñana (Espagne), 40 % à la Cañada de las Sabinas (Espagne), elles chutent à seulement 10 % dans l'Atlas marocain.

Ces nombres font fortement soupçonner un mécanisme génétique dans le déterminisme des proportions du sexe. Mais elles pourraient aussi dépendre de la nature des stations : plus les conditions environnementales sont difficiles, plus il y a d'individus bisexués et moins d'individus femelles.

En ce qui concerne la différence entre les taux de mâles (nul en Ardèche, moins de 1 % en Espagne), la raison en incombe probablement à la durée de l'expérimentation. Par exemple, dans les gorges de l'Ardèche, il y avait encore un mâle stable en 2010 (0,7 %), qui a produit deux fleurs femelles en 2011. En Espagne, en observant plus longtemps les trois individus mâles (0,7 %), on devrait probablement voir apparaître quelques fleurs femelles. Quant à la fréquence des bisexués, plus forte dans les gorges de l'Ardèche (74,2 %) qu'en Espagne (71,4 % sur sols rocheux et 67,9 % sur sols meubles), elle est probablement déterminée par la rudesse des conditions stationnelles.

Le tableau 3 permet de comparer les proportions d'individus à sexualité stable et instable des populations ardéchoises et espagnoles (Pavón García *et al.* 2006 ; et com. pers.).

La différence avec les populations d'Espagne devient très importante. Alors que 76,5 % des individus espagnols des sols profonds et meubles ont une expression sexuelle stable, ce groupe ne compte plus que 47,4 % d'individus dans les sols rocheux et seulement 8,3 % dans les sols extrêmes des gorges de l'Ardèche. Il semble donc que plus les conditions stationnelles sont difficiles, plus il y a d'instabilité dans l'expression du sexe.

Ces variations sont fréquentes chez les *Juniperus*. D'après Vasek (1966), chez *J. occidentalis* subsp. *australis* (Vasek) A. Holmgren & N. Holmgren (dioïque à 90-90 %), certains arbres mâles se transforment en bisexués et certains arbres femelles ne fleurissent pas ; par contre, chez *J. osteosperma* (Torr.) Little (monoïque à 85-90 %), les femelles et les mâles peuvent se transformer en bisexués et même certains mâles deviennent des femelles et vice versa. Chez *J. arizonica* (R.P. Adams) R.P. Adams (dioïque), certains arbres mâles développent des fleurs femelles. Des observations analogues ont été rapportées chez la plupart des espèces de *Juniperus* dioïques examinées (Adams & Thornburg 2011).

Chez *J. arizonica*, Freeman *et al.* (1981) signalent que les individus ont une proportion mâle/femelle plus élevée dans les stations xériques que dans les stations mésophiles. Il en est de même pour les angiospermes *Quercus gambelii* Liebm. et *Sarcobatus vermiculatus* (Hook.) Torr. Ces auteurs indiquent que ces variations semblent contrôlées à la fois par des facteurs génétiques et environnementaux.

Chez *Cupressus sempervirens* L., espèce monoïque, les arbres en conditions défavorables sont mâles ou montrent une tendance à la masculinité (Lev-Yadoun & Liphschitz 1987).

Bien que 52 % des gymnospermes soient dioïques (Givnish 1980), les modalités de leur reproduction ont donné lieu à moins de recherches que celles des angiospermes, et il manque encore trop d'informations pour conclure sur un éventuel contrôle génétique (Traveset 1999). C'est donc chez les angiospermes qu'on trouve les études les plus intéressantes, susceptibles d'expliquer les phénomènes observés chez *Juniperus phoenicea*.

Chez certaines angiospermes (Helsop-Harrison 1972 ; Friedlander *et al.* 1977), le sex-ratio des plantes d'espèces monoïques change en fonction des hormones (auxines et gibberellines). Chez l'espèce gynodioïque *Beta vulgaris* subsp. *maritima* (L.) Arcang., les individus femelles sont des mâles stériles en raison de différents gènes cytoplasmiques, contrebalancés par des allèles nucléaires de restauration de la fertilité mâle (Dufay *et al*. 2009).

Chez *Mercurialis annua* L., ont été mis en évidence trois loci qui régulent la production d'hormones (auxines et cytokinines) jouant un rôle dans la féminisation ou la masculinisation des plantes, mais on ne sait pas comment l'environnement agit sur ces gènes (Louis 1989 ; Durand 1969 ; Durand & Durand 1991 ; Pannell 1997 ; Ainsworth 2000).

Chez l'espèce gynodioïque *Plantago coronopus* L., Koelewijn et Van Damme (1996) indi-

quent que les femelles doivent être considérées comme des individus mâles stériles, et que cette stérilité peut être totale ou plus généralement partielle. Dorken et Barrett (2003) montrent que chez *Sagittaria latifolia* Willd. dont certaines populations sont monoïques et d'autres dioïques, cet état est déterminé par la ségrégation mendélienne d'allèles de deux gènes, l'un de stérilité mâle, l'autre de stérilité femelle.

Chez *Juniperus phoenicea*, les femelles stables pourraient donc être des individus possédant un gène de stérilité mâle.

D'autre part, l'expression du phénotype sexuel se trouve souvent aussi sous le contrôle de conditions environnementales. Tout d'abord, chez les espèces dioïques, on rencontre fréquemment un déséquilibre de la proportion de fleurs en faveur des mâles dans les milieux les plus secs. C'est le cas chez *Juglans major* (Torr.) A. Heller, les individus vivant en milieux xériques font plus de fleurs mâles que ceux vivant en zone humide (Stromberg & Patten 1990). Guillon *et al.* (2005) ont montré à l'aide de modélisations mathématiques, dans le cas où le pollen a une large dispersion et les graines une dispersion plus faible, que le sex-ratio était déséquilibré vers les mâles dans des environnements défavorables, et vers les femelles dans des environnements favorables.

Un système sexuel extrêmement instable peut conférer un avantage adaptatif, dans ce cas l'environnement doit exercer un certain contrôle sur l'expression du sexe. Des conditions de stress (limitation des ressources) font que les bisexués seraient incapables de maintenir les deux fonctions, ce qui favoriserait la séparation des sexes (Ainsworth 2000).

Chez l'espèce trioïque *Silene acaulis* (L.) Jacq., l'expression du sexe des individus change d'une année à l'autre, et les coussinets dominés par des fleurs femelles ont une expression sexuelle plus stable que ceux dominés par des fleurs mâles ou hermaphrodites (Alatalo 1997).

Dans les populations monoïques de *Sagittaria latifolia*, la proportion de fleurs mâles et femelles varie en fonction des conditions environnementales : il y a plus de fleurs femelles quand la plante se développe mieux (Sarkissian *et al.* 2001).

*Begonia gracilis* Kunth peut modifier son sex-ratio, dans le sens femelle dans un environnement riche en pollen, et au contraire dans le sens mâle quand le milieu est pauvre en pollen (López & Domínguez 2003).

Cette variation des systèmes sexuels peut se comprendre dans le cadre de la théorie de l'allocation d'énergie pour le sexe. Les systèmes sexuels des plantes allouent des ressources aux sexes mâle ou femelle afin d'optimiser l'efficacité reproductrice de la plante (Emms 1993).

Pour *Juniperus phoenicea*, l'expression du phénotype des individus bisexués paraît nettement sous la dépendance de facteurs environnementaux.

Selon Darwin (1877), la dioécie évolue à partir de l'hermaphrodisme, en passant par la subdioécie ; cette conception prévaut toujours actuellement. D'après Barret *et al.* (2010), la trioécie est souvent considérée comme un stade de l'évolution graduelle vers la dioécie via la gynodioécie. De même pour Ainsworth (2000), l'évolution vers la dioécie, qui semble le meilleur moyen d'éviter les effets délétères de la consanguinité, passe par le stade de la gynodioécie. Les espèces dioïques ont souvent des ascendants gynodioïques. Une simple mutation génique ou une stérilité mâle cytoplasmique générant des femelles peut se répandre dans la population, si les plantes mutantes sont mieux adaptées que les hermaphrodites. Toutefois, l'évolution d'une population gynodioïque vers une population dioïque nécessite une deuxième mutation provoquant la stérilité femelle chez les hermaphrodites, produisant des mâles.

*Juniperus phoenicea*, qui présente, d'une part, des individus bisexués donnant trois phénotypes sexués instables et, d'autre part, des femelles stables, semble sur la voie de l'évolution vers la dioécie. Ce stade a déjà été atteint par l'espèce voisine, *Juniperus thurifera* L. (Pavón García *et al.* 2006).

## Conclusions

*Juniperus phoenicea* est une espèce essentiellement « gynomonodioïque » qui montre une forte variabilité interannuelle la faisant apparaître comme « trimonoïque ». Un arbre bisexué peut présenter chacun des trois états : mâle, femelle ou bisexué selon les années. Environ un quart de la population est constitué de femelles stables. Tout individu semble posséder les gènes lui permettant d'exprimer les deux sexes (Jordano 1991). Leur expression paraît sous le contrôle de deux types de facteurs.

### Facteurs génétiques individuels

Certains arbres sont des femelles stables n'exprimant jamais le sexe mâle ; les autres sont bisexués soit à tendance femelle, soit à tendance mâle, soit enfin à tendance intermédiaire. La similitude des proportions d'individus bisexués et femelles dans les populations des gorges de l'Ardèche et en Espagne constitue une donnée qui plaide fortement dans ce sens.

### Facteurs externes

1. Chaque station a une structure particulière de sexe avec deux situations bien individualisées :
- les stations aux conditions environnementales les plus stressantes (parois sud et ouest, ainsi que le plateau) ont des populations où domine l'expression du sexe mâle et où la variabilité des phénotypes est la plus forte ;
- les stations les moins stressantes (paroi nord et talus) ont des populations où domine l'expression du sexe femelle et où la stabilité est la plus forte.

Les parois sud et ouest sont les milieux les plus secs de tous, comme la station du plateau de Gaud au sol très mince sans réserves d'eau. Donc, dans les conditions les plus difficiles – fort ensoleillement, fortes températures, humidité atmosphérique faible, peu de réserves hydriques dans le sol, saison de végétation la plus réduite –, l'arbre semble avoir moins d'énergie à mettre en jeu pour produire des fruits.

La paroi nord possède le microclimat le moins sec de toutes les parois, tandis que le talus présente un sol profond. Dans ces conditions les moins difficiles, les populations de genévriers donnent une proportion de femelles plus importante, car les arbres ont plus d'énergie disponible pour produire des fruits.

2. Les individus bisexués expriment de façon variable leur état reproducteur. L'indice varie d'une année à l'autre et la proportion d'arbres à expression sexuelle variable est d'autant plus forte qu'ils se trouvent dans des conditions stressantes. En particulier, il y a très régulièrement une alternance : après une année de forte expression femelle, un individu devient souvent nettement plus mâle l'année suivante. Là encore l'investissement énergétique semble jouer un rôle majeur. Après une année de forte production de fruits, l'arbre a moins de réserves pour une nouvelle production abondante : il devient nettement plus mâle ou ne fleurit pas.

Cette variabilité sexuelle de *J. phoenicea* semble donc correspondre à une adaptation aux conditions environnementales très difficiles des parois rocheuses.

## Remerciements

Le présent travail a pu être effectué grâce à l'aide financière et matérielle du Syndicat de gestion de la Réserve naturelle nationale des gorges de l'Ardèche, en particulier ses directeurs successifs, E. Buis, D. Boule, F. Gonnet-Tabardel ; son conservateur, D. Doublet et tout son personnel ; ainsi qu'au soutien du Conseil général de l'Ardèche. Mes plus sincères remerciements vont à J. Pavón García qui nous a donné l'idée de cette étude, nous a communiqué les résultats de ses propres travaux et nous a toujours fait profiter d'utiles remarques.

## Références

Adams P. & Thornburg D., 2011. Sexual change in *Juniperus arizonica*: facultative monecious? *Phytologia* 93(1): 43-50.

Ainsworth C., 2000. Boys and Girls come out to play: the molecular biology of Dioecious Plants. *Ann. Bot. London* 86: 211-221.

Alatalo J.M., 1997. Gender lability in trioecious *Silene acaulis* (Caryophyllaceae). *Nord. J. Bot.* 17(2): 181-183.

Allen G.A. & Antos J.A., 1993. Sex ratio variation in the Dioecious Shrub *Oemleria cerasiformis. Am. Nat*. 141(4): 537-553.

Barret S.C.H., Yakimowski S.B., Field D.L. & Pickup M., 2010. Ecological genetics of sex ratios in plant populations. *Philos. T. Roy. Soc. B*. 365: 2549-2557.

Coste H., 1937. *Flore descriptive et illustrée de la France, de la Corse et des contrées limitrophes*. 3 t. Second tirage. Paris, Éd. Librairie scientifique et technique, 416, 627 et 807 p.

Darwin C.R., 1877. *The different forms of flowers on plants of the same species*. London, UK, John Murray.

Dorken M.E. & Barrett C.H., 2003. Sex determination and the evolution of dioecy from monoecy in *Sagittaria latifolia* (Alismataceae). *P. Roy. Soc. Lond. B*. 271: 213-219.

Dufay M., Cuguen J., Arnaud J.F. & Touzet P., 2009. Sex ratio variation among gynodioecious populations of sea beet: can it be explained by negative frequency-dependent selection ? *Evolution* 63(6): 1483-1497.

Durand B., 1969. Sélection de génotypes mâles de *Mercurialis annua* L. (2n = 16) en fonction de leur sen-

sibilité aux cytokinines. *CR. Acad. Sci. D Nat*. 268 : 2049-2051.

Durand B. & Durand R., 1991. Sex determination and reproductive organ differentiation in *Mercurialis*. *Plant Sci.* 80: 49-65.

Emms S.K., 1993. On measuring fitness gain curves in plants. *Ecology* 74(6): 1750-1756.

Escarre J. & Houssard C., 1991. Changes in sex ratio in experimental populations of *Rumex acetosella*. *J. Ecol*. 79(2): 379-387.

Freeman D.C., MacArthur E.D., Harper K.T. & Blauer A.C., 1981. Influence of environment on the floral sex ratio of monoecious plants. *Evolution* 35: 194-197.

Friedlander M.D., Atsmon D. & Galun E., 1977. Sexual differentiation in cucumber: abscisic acid and gibberellic acid contents of various sex genotypes. *Plant Cell. Physiol*. 18: 681-692.

Gao P., Kang M., Wang J., Ye Q. & Huang H., 2009. Neither biased sex ratio nor spatial segregation of the sexes in the subtropical dioecious tree *Eurycorymbus cavaleriei* (Sapindaceae). *J. Integr. Plant Biol*. 51(6): 604-613.

Givnish T.J., 1980. Ecological constraints on the evolution of breeding systems in seed plants: dioecy and dispersal in gymnosperms. *Evolution* 34: 959-972.

Guillon J.M., Julliard R. & Leturque H., 2005. Evolution of habitat-dependent sex allocation in plants: superficially similar to, but intrinsically different from animals. *J. Evolution Biol*. 19: 500-512.

Harris M.S. & Pannell J.R., 2010. Canopy seed storage is associated with sexual dimorphism in the woody dioecious genus *Leucadendron*. *J. Ecol*. 98: 509-515.

Helsop-Harrison J., 1972. Sexuality of angiosperms. *In*: F.C. Steward (ed.), *Physiology of development: from seeds to sexualitay*. NY Academic Press.

Jordano P., 1991. Gender variation and expression of monecy in *Juniperus phoenicea* L. (Cupressaceae). *Bot. Gaz.* 152(4): 476-485.

Koelewijn H.P. & Van Damme J.M.M., 1996. Gender variation, partial male sterility and labile sex expression in gynodioecious *Plantago coronopus*. *New Phytol*. 132: 67-76.

Lev-Yadoun S. & Liphschitz N., 1987. The ontogeny of gender of *Cupressus sempervirens* L. *Bot. Gaz.* 148(4): 407-412.

Lloyd D., 1979. Parental stategies of angiosperms. *New Zeal. J. Bot*. 17: 595-606.

López S. & Domínguez C.A., 2003. Sex choice in plants: facultative adjustment of the sex ratio in the perenial herb *Begonia gracilis*. *J. Evolution Biol*. 16: 1177-1186.

Louis J.-P., 1989. Genes for the regulation of sex differentiation and male fertility in *Mercurialis annua* L. *J. Hered*. 89: 104-111.

Mandin J.-P., 2005. Découverte de très vieux genévriers de Phénicie (*Juniperus phoenicea* L.) dans les gorges de l'Ardèche (France). *J. Soc. Bot. France* 29: 53-62.

Mandin J.-P., 2006. *Morphologie des très vieux genévriers de Phénicie (*Juniperus phoenicea *L.) en parois rocheuses (gorges de l'Ardèche, France)*. Actas del 3º coloquio internacional sobre sabinares y enebrales (Género Juniperus ), Soria, 24-26 mai 2006, t.1 : 303-310.

Mandin J.-P., 2011. *Genévrier de Phénicie : inventaire, études et propositions de mesures de gestion 2009-2010-2011. Climatologie 2005-2010*. 2e plan de gestion de la Réserve naturelle nationale des gorges de l'Ardèche (2010-2019). Saint-Remèze, SGGA, 79 p.

Mathaux C., 2012. *Les vieux Genévriers rouges des parois dans le sud-est de la France : recensement, structure et dynamique des populations ; fonctionnement et adaptation des individus*. Master 2 BIOECO. IMBE. Univ. Aix-Marseille, 48 p.

Ortiz P.L., Arista M. & Talavera S., 2002. Sex ratio and reproductive effort in the Dioecious *Juniperus communis* subsp. *alpina* (Suter) Celak. (Cupressaceae) along an altitudinal gradient. *Ann. Bot. London* 89: 205-211.

Pannell J., 1997a. Mixed genetic and environmental sex determination in an androdioecious population of *Mercurialis annua*. *Heredity* 78: 50-56.

Pannell J., 1997b. Widespread functional androdioecy in *Mercurialis annua* L. (Euphorbiaceae). *Biol. J. Linn. Soc*. 61: 95-116.

Pavón García J., De la Cruz Rot M., Rejos Ballesteros J. & Bartolomé Esteban C., 2006. *Estrategía sexual de las poblaciones de sabina albar y sabina negral*. Actas del 3º coloquio internacional sobre sabinares y enebrales, Soria, 24-26 mayo 2006. T.1 : 365-372.

Rameau J.-C., Mansion D., Dumé G. & Gauberville C., 2008. *Flore forestière française*. Tome 3 : *Région méditerranéenne*. Éd. IFN, 2 432 p.

Sarkissian T.S., Barrett S.C.H. & Harder L.D., 2001. Gender variation in *Sagittaria latifolia* (Alismataceae): is size all that matters? *Ecology* 82(2): 360-373.

Sinclair J.P., Emlen J. & Freeman D.C., 2012. Biased sex ratios in plants: theory and trends. *Bot. Rev*. 78: 63-86.

Stromberg J.C. & Patten D.T., 1990. Floral production and floral ratios of a Southwestern Riparian tree, Arizona Walnut (*Juglans major*). *Am. Midl. Nat.* 124: 278-288.

Traveset A., 1999. Ecology of plant reproduction: mating systems and pollination. *In*: Pugnaire F.I. & Valladares F. (eds), *Handbook of Functional Plant Ecology*. New York, Marcel Dekkers Inc.: 545-588.

Vasek F.C., 1966. The distribution and taxonomy or three western junipers. *Brittonia* 18: 350-372.

Yu L. & Lu J., 2011. Does landscape fragmentation influence sex ratio of Dioecious Plants? A case study of *Pistacia chinensis* in the Thousand-Island Lake Region of China. PLoS ONE 6(8): e22903. doi:10.1371/journal.pone.0022903.

# Ecological characterization of the *Juniperus excelsa* stands in Lebanon

## *Caractérisation écologique des peuplements de* Juniperus excelsa *au Liban*

Bouchra DOUAIHY[1], Gwendal RESTOUX[2], Nathalie MACHON[3], Magda BOU DAGHER-KHARRAT[1]

1. Laboratoire « caractérisation génomique des plantes », Faculté des sciences, Université Saint-Joseph, Campus sciences et technologies, Mar Roukos, Mkalles, BP 1514, Riad el Solh, Beirut 1107 2050, Lebanon

2. Laboratoire écologie, systématique et évolution, UMR 8079, Université Paris-Sud 11, 91405 Orsay cedex, France

3. Département écologie et gestion de la biodiversité, CERSP, UMR 7204, Muséum national d'histoire naturelle, 61, rue Buffon, 75005 Paris, France

**Abstract**

Juniperus excelsa *is the second most widespread conifer tree in Lebanon. It grows in sites where no other conifer can survive. Despite its high ecological value, until now no field study was made in order to characterize these woodlands in Lebanon. We gathered data on the density, size structure, regeneration rate, cone production, proportion of filled seeds (using radiography) and spatial structure. The study was based on the monitoring of eight plots located in contrasted bioclimatic zones in Lebanon. We showed that the overall density of the Lebanese stands of* J. excelsa *is low and does not exceed 257 trees/ha. Moreover, the regeneration rate of these stands is lower than one and the percentage of filled seeds does not exceed 40%. The main threat affecting the survival of the Lebanese populations differs among sites including woodcutting, expansion of agricultural lands, overgrazing and the coupling with the hydric stress. This makes the future of the* Juniper *woodland in Lebanon largely uncertain.*

**Resumé**

Juniperus excelsa *pousse dans des sites où aucun autre conifère ne survit et souffre d'une forte pression anthropique. Il est cependant le second conifère le plus répandu au Liban. Malgré sa grande valeur écologique, à ce jour aucune étude de terrain n'a été effectuée pour caractériser les junipéraies du Liban. Dans cette étude nous avons récolté des données sur la densité, la structure en taille, le taux de régénération, la production de cônes, la proportion de graines fertiles (par radiographie) et la structure spatiale des populations. Les données ont été prélevées dans huit parcelles de zones bioclimatiques contrastées. La densité globale des peuplements est faible ne dépassant pas 257 arbres/ha. De plus, leur taux de régénération est inférieur à un et le pourcentage de graines viables ne dépasse pas 40 %. Les principales menaces qui pèsent sur ces populations diffèrent d'un site à l'autre, notamment le défrichage et l'expansion des terres agricoles, le surpâturage et le couplage avec le stress hydrique. Tout ceci rend le devenir des junipéraies libanaises très incertain.*

**Keywords:** *Juniperus excelsa*, autecology, regeneration, spatial structure, conservation, Lebanon.

**Mots clés :** *Juniperus excelsa*, autécologie, régénération, structure spatiale, conservation, Liban.

## Introduction

*Juniperus excelsa* in the east and *J. thurifera* in the west of the Mediterranean basin are considered as vicariate species with many

common morphological and ecological characteristics (Barbero *et al.* 1994; Gauquelin *et al.* 1999). *J. excelsa* is an arborescent conifer that can reach a height of 20-25 m. It is a wind pollinated monoecious and/or dioecious species and its seeds are mainly dispersed by *Turdus* birds like trushes and blackbird as well as by small mammals. Its life cycle from germination to sexual maturity is at least two years long (Ruguzov *et al.* 1994).

*J. excelsa* forms the treeline in the mountains of the East Mediterranean regions because of its adaptation capacity to very hard environmental conditions (summer drought coupled to winter frost, shallow soil and hard slopes) where no other tree species can survive. In these zones *J. excelsa* plays a major role in conserving the underground water as well as in preventing slopes erosion and thus protecting the associated flora and fauna (Abi Saleh *et al.* 1996).

In the East Mediterranean basin, *J. excelsa* woodlands extend from the Balkans (Greece, Albania and Bulgaria) to Lebanon and Syria through Turkey and Cyprus. In Lebanon, *J. excelsa* covers around 11,318 hectares which constitutes 9.93% of the total wooded area of the country and 26% of the total conifer forest cover (Figure 1) (Ministry of Agriculture/FAO, 2005). *J. excelsa* is an heliophilic and orophilic tree (Farjon 2005; Adams 2008). Its climatic distribution in Lebanon extends from the semiarid – 600 mm of mean annual precipitation per year (P) – to the sub humid climate (P>1,400 mm/year) (Abi-Saleh 1978). It is found in the northern part of the country on both the western and eastern slopes of Mount Lebanon and in Anti Lebanon. It colonizes different bioclimatic zones as defined by Abi-Saleh (1978), in the Mediterranean Mountainous (1,500-2,000 m), Oromediterranean (> 2,000 m), Mediterranean Mountainous pre-steppic (1,800-2,400 m) and Oromediterranean pre-steppic (> 2,400 m) stages.

The woodcutting of *J. excelsa* in Lebanon along with *Cedrus libani* started in the ancient time for the construction of Babylonian tem-

***Figure 1 – Distribution map of*** **Juniperus excelsa** ***in Lebanon (Forest Assesment MOA/FAO 2005). The geographic positions of the sampled sites are indicated as follow: 1. Qammoua (LAM), 2. Danniyeh (LDA), 3. Danniyeh Ras El Aarkoub (LDR), 4. Danniyeh Wadi El Njass (LWN), 5. Jbab El Homr (LJH), 6. Barqa (LBA), 7. Afqa (LAF), 8. Aarsal (LAR).***

ples and the trade with Egypt. The agro-pastoral communities established since the seventh century in the Lebanese mountains used the *Juniper* woodlands for grazing and for wood extraction (Salamé 1957; Talhouk *et al.* 2001). This long-term intensive exploitation that continues until today, coupled with a low natural regeneration, have resulted in the fragmentation of these woodlands (Abi-Saleh *et al.* 1996; Jomaa *et al.* 2007).

The aim of our study is to do a first evaluation of the actual status of these woodlands in different bioclimatic zones and to determine the key factors that affect their long-term survival (*i.e.* density and regeneration) by evaluating different ecological parameters.

## Material and methods

The data were collected during the year 2009 in eight sites of natural *J. excelsa* stands located in contrasted bioclimatic zones in Mount Lebanon and Anti Lebanon (Figures 1 and 2, Table 1).

We defined plots in six sites (LAF, LDA, LDR, LWN, LBA and LAR) for which we recorded all the individuals from seedlings to adult trees and collected the following data: Diameter at breast height (DBH) of all the tree stems, the sex (Female, F, Male, M, Monoecious, FM, Undetermined, I), the male and female organ densities using a 6 levels scale (0 = absent, 1 = very few, 2 = few, 3 = abundant, 4 = very abundant and 5 = completely covered), the damages observed on the trees by recording the presence/absence of a main stem cut and/or pruning. The tree height (H) was recorded in four sites (LAF, LBA, LDA and LDR). We classified the trees into 3 categories using the diameter of the biggest stem and the presence/absence of seed cones as follows: Reproductive adults (AR) with DBH > 8 cm (they were all having cones); young reproductive (JR) with DBH ≤ 8 cm and presence of seed cones and the juveniles (J) with DBH < 8 cm and absence of seed cones. We then defined a regeneration index determined by the ratio of the number of juveniles per adult tree (J/AR). Under a non-overlapping generations assumption (*i.e.* adults are replaced by the previous juveniles at each

Photos taken by B. Douaihy and M. Bou Dagher Kharrat.

***Figure 2*** **– Juniperus excelsa *woodlands in Lebanon in different bioclimatic altitudinal zones.***
***a) Danniyeh El Aarkoub (LDA) at 1,600 m, b) Barqa (LBA) (1,600 m),***
***c) Danniyeh Ras El Aarkoub (LDR) (1,800 m), d) Aarsal (LAR) (2,200 m).***

***Table 1. The abiotic characteristics of the studied sites. The abundance of the main understory species is indicated by $^{+++, ++, +, *}$ .***

| Bioclimatic zone | Mediterranean Mountainous Humid | | | | | | Oro-Mediterrannean Humid | Mediterranean Mountainous Pre-steppic | | Oro-Mediterrannean Humid | Oro-Mediterranean Pre-steppic |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Region | West Mount Lebanon | | | | | | | East Mount Lebanon | | | Anti Lebanon |
| | Qammouaa | Afqa | | Danniyeh | | | | Barqa | | Hermel | Aarsal |
| Site | - | *Makam El Nabi Hedouen* | *El Toghreh* | *El Aarkoub* | | *Ras El Aarkoub* | *Wadi El Njass* | *Rabiaa* | | *Jbab El Homr* | *Jroud Aarsal* |
| Plot | LAM | LAF1 | LAF2 | LDA1 | LDA2 | LDR | LWN | LBA1 | LBA2 | LJH | LAR |
| Plot area ($m^2$) | | 2.026 | 2.202 | 2.580 | 2.787 | 2.412 | 6.446 | 2.605 | 2.367 | - | 2.438 |
| Altitude (m) | 1,450-1,810 | 1,530 | 1,630 | 1,645 | 1,615 | 1,830 | 2,200 | 1,730 | 1,750 | 1,900-2,100 | 2,130 |
| Geographic Coordinates | N34°29' E36°14' | N34°03'46.5" E35°51'52.2" | N34°03'47.6" E35°53'50.2" | N34°23'26.6" E36°05'27.6" | N34°23'33.4" E36°05'22.3" | N34°23'05.6" E36°05'52.2" | N34°19'36" E36°03'47.3" | N34°11'43" E36°08'38.8" | N34°11'53.2" E36°08'02.2" | N36°12' E34°20' | N34°05'0.1" E36°28'40.9" |
| Perturbation | Grazing/ Woodcutting | Agriculture | Grazing/ Woodcutting | Agriculture | | Grazing/ Woodcutting | Grazing/ Woodcutting | Grazing/Localized agriculture | | Grazing | Agriculture/ Grazing/Carries |
| Mean annual rainfall (mm/year) | 900-1,000 | >1,400 | | 1,100-1,200 | | 1,100-1,200 | 1,200-1,300 | 700-800 | 800-900 | 900-1,100 | 600-700 |
| Geology | Hard limestone | | | | | | | | | | |
| Soil | Mountain yellow soil / White grewish soil | | | Red soil | | Mountain yellow soil | | | | Mountain yellow soil/ Gravel and landslides | Mountain yellow soil |
| Denivelation (m) | - | 10 | 20 | 10 | 5 | 20 | 30 | 10 | 5 | - | 20 |
| Main understory | - | *Phlomis sp.*$^{+}$<br>*Juniperus oxycedrus*$^{+}$<br>*Cotoneaster nummularia**| *Phlomis sp.* $^{++}$<br>*Berberis libanotica* $^{++}$<br>*J. oxycedrus*$^{+}$ | *B. libanotica* $^{++}$<br>*Astragalus gummifer* $^{++}$<br>*Phlomis* $^{+}$<br>*J. oxycedrus*$^{+}$<br>*C. nummularia* $^{+}$ *Prunus*$^{+}$ | *Phlomis*$^{+++}$<br>*J. oxycedrus*$^{++}$<br>*Astragalus gummifer*$^{++}$<br>*B. libanotica*$^{+}$<br>*Quercus ilex*$^{+}$ | *Phlomis* $^{++}$<br>*B. libanotica* $^{++}$<br>*A. gummifer* $^{+}$<br>*C. nummularia** | *B. libanotica*$^{+++}$<br>*Onobrychis cornuta*$^{+++}$<br>*Euphorbia macroclada*$^{+++}$ | *A. gummifer*$^{+++}$<br>*J. oxycedrus* $^{+}$<br>*Phlomis* •<br>*B. libanotica** | *A. gummifer* $^{+++}$<br>*J. oxycedrus*$^{+}$, *Phlomis**<br>*B. libanotica** *Quercus sp.* *<br>*Prunus sp.* *<br>*Astragalus hermoneum* *<br>*Crataegus sp.* * | - | *Onobrychis sp.*$^{+++}$<br>*Minuarita juniperina*$^{++}$<br>*Astragalus damsacena*$^{++}$ |

generation), an index of 1 indicates a stable population size whereas lower or higher values are synonymous of a population size decrease or increase respectively. Because of this strong and rarely fulfilled assumption, this index cannot be interpreted *per se* in our case (overlapping generations) but it can be useful for population comparisons in terms of regeneration.

The proportion of filled seeds was estimated in six sites (LAM, LDA, LBA, LAF, LWN and LJH) using ten seed cones from 18 to 30 "AR" trees for each site. Then we X-ray scanned a total of 8,598 seeds in the URFM lab "UR 629", at INRA of Avignon (France). The radiographies were done under a 25 Kv intensity delivered by a Faxitron X-ray source Mx-20 for 2 min 30 s. The image scan was done using an EZ240 scanner with 100 ms and 2 pixel-binning mean resolutions.

Finally we analysed the spatial structure of the stands using the linearized function *L(r)* of the Ripley's function *K(r)*, implemented in the SpatStat R package (1.25) (Ripley 1977; Baddeley & Turner 2005; R Core Team 2013). All the spatial analyses were conducted on a 50 x 50 m plot except for LBA and LWN for which the geographic positions of the trees were taken in a 100 x 100 m and a 100 x 50 m plot respectively to ensure a sufficient number of individuals to conduct the analyses.

## Results and Discussion

The results reflect the high ecological plasticity of *J. excelsa* which persists in spite of human disturbance in all the studied sites accentuated by the effect of the abiotic stress.

### Percentage of damaged trees and size class distribution

The highest percentage of cut and/or pruned trees was observed in the Danniyeh region on intermediate (LDA) and high altitude (LDR, LWN) with 66%, 84% and 97% of the adult trees damaged respectively (Figure 3).

For this study we were not able to determine the age class distribution of the stands because the majority of the trees (71%) were multistemmed with a maximum of 8 stems per tree leading to various "apparent age" per individual. Moreover the wood was often deteriorated inside making the stem discs unusable.

***Figure 3 – Proportion of damaged adult trees of* J. excelsa *across six sites. The sites acronyms are the same as in Table 1.***

The multicaulus structure can result from frequent frost events in high altitudes and/or chronic human disturbances (Bertaudière *et al.* 2001; Montès *et al.* 2006). However we assumed for a positive relationship between the DBH and the age class (Marion & Houle 1996; García *et al.* 1999).

At intermediate altitudes (LAF, LDA and LBA), a mean DBH around 30 cm with a unimodal class distribution deviated to the left indicates that these sites were dominated by relatively young age class trees. However, the bigger DBH classes are well represented which could indicate a continuous regeneration in these sites (Figure 4a). In Barqa (LBA), on the eastern slope of Mount Lebanon, the DBH classes reach values higher than in Afqa (LAF) and Danniyeh (LDA) on the western slopes of Mount Lebanon with a maximum DBH around 90 and 70 cm respectively. In the high altitude sites the mean diameters are much bigger (50 cm) especially in the Oromediterranean site on the western slope of Mount Lebanon LWN (78 cm) with a maximum DBH of 191 cm. Moreover the class distribution is deviated to the right indicating an aging of these populations and therefore their regression. The mean tree height over all the sites is 4.4 m (Standard error (SE) = Standard deviation/$\sqrt{n}$ = 0.1 m) with a maximum height of 8.5 m. The mean tree height is slightly higher in the LBA and LDR sites comparing to the LAF and LDA sites (Figure 4b).

*Figure 4 – a) Diameter size classes' distribution of* J. excelsa *in the six studied sites. b) Height classes' distribution in the four studied sites. M: mean value ± standard error, the sample size is indicated between brackets and the site acronyms are the same as in Table 1.*

***Figure 5 – Cone density (0 to 5) classes' distribution of* J. excelsa *in the six studied sites; a) female cones and b) male cones. The site acronyms are the same as in Table 1.***

## Sex ratio

In literature, *J. excelsa* is considered monoecious and/or dioecious (Farjon 2005). In Oman and Pakistan the subspecies *J. excelsa polycarpos* was reported as dioecious (Moinuddin *et al.* 1990; Fisher & Gardner 1995). The Kruskal-Wallis tests showed a significant effect of the site on both the female and male cone densities ($x^2 = 33.99$, df = 5, $p < 10e^{-4}$ and $x^2 = 110.70$, df = 5, $p < 10e^{-4}$, respectively; Figure 5). The LDA site has the highest mean seed cone production index 3.10 (SE = 0.14) whereas the lowest mean were observed in the high altitude sites, LDR, LWN and LAR, with a mean less than 2. The aging of these populations coupled with water stress, due to lack of precipitation and/or to the steppic nature of the soil, result in a weak allocation to the reproduction mainly to the female cones. The male cone density showed a different trend across the sites. The highest values were observed for the higher altitude site LDR (4.1, SE = 0.35) and the intermediate altitude site LDA (3.04 ± 0.16) in Danniyeh. On the other hand the lowest male cone density was observed for the high altitude site in Aarsal in the Anti-Lebanon (LAR) (0.45 ± 0.31). The near absence of male cone production in the site LAF could be explained by a low productive year since conifer trees often experience inter-annual variability of cone production.

To summarize, in our study monoecious trees were dominant in the intermediate altitude populations (62 to 93%); but not in the Oromediterranean populations where 80% of the trees were dioecious (Figure 6). Moreover, we found a higher proportion of dioecious trees in the steppic Mediterranean climate at intermediate altitudes on the eastern slope of Mount Lebanon – 48% in Barqa (LBA) – compared to the mountainous humid Mediter-

***Figure 6 – Proportion of female (F), male (M), monoecious (FM) and indetermined (I) adult trees of* J. excelsa *across seven sites. The sites acronyms are the same as in Table 1.***

ranean climate (between 0 and 21%). Nevertheless, the sex ratio was not significantly deviated from 1 in the dioecious population of the Oromediterranean climatic zone (LWN and LAR). An increase of the environmental stress with altitude could explain the higher proportion of male trees in the high altitude population from the mountainous moist Mediterranean climate (LDR) at 1,800 m relative to the intermediate altitude populations.

This suggests a trend toward more dioecious trees under more arid climatic conditions. Monoecy can be a mean to insure pollination but with the cost of increased inbreeding. The presence of dioecious trees in the case of a monoecious species like *Juniperus excelsa* in Lebanon, known as subdioecy, can reduce the self-pollination rate in the population (Ortiz *et al.* 1998). The variation between monoecy and dioecy was attributed to genetic plasticity for the dioecious species *Juniperus communis* subsp. *alpin*a (Ortiz *et al.* 2002).

Higher male/female ratio was also observed with increasing altitude in the case of *Juniperus communis* subsp. *alpina* (Ortiz *et al.* 2002). Moreover, Ortiz *et al.* (1998) showed a spatial segregation with an abundance of the male trees of *J. communis* in the most arid sites. In fact, the female reproductive effort has been demonstrated to be higher compared to the male for the majority of the tree species (Korpelainen 1992; Vasiliauskas & Aarsen 1992). However, studies comparing the vegetative growth allocation between male and female in *Juniperus* species showed the opposite (Gauquelin *et al.* 2002; Korpelainen 1992; Marion & Houle 1996). The contradictory explanation of the sex-ratios for Juniper species is due to the combination of genetic and environmental factors that can determine the sex of the tree (Ainsworth 1999; Pannell 1997).

The difference in sex-ratio in *Juniperus* can also be attributed to the population's age structure with lower male/female ratios in older populations (Falinski 1980; Gauquelin *et al.* 2002). Indeed we also observed a largely significant difference in female cone production according to the age status AR/JR ($x^2 = 23.57$, df = 5, $p = 6.10e^{-4}$; Figure 7a). This difference was weaker for male cones ($x^2 = 10.91$, df = 5, p = 0.05; Figure 7b). This indicates an increase of the allocation toward the female function. On the other hand, the male function behaves differently with an even distribution over cone density classes between the AR and the JR status; except that these latters exhibited more individuals not yet sexually mature. A long term monitoring of individuals over several years is thus needed to precise the variation of growth allocation in each sex and the relationship with respect to tree size or age in combination with environmental variations.

***Figure 7 – Cone density (0 to 5) classes' distribution of* J. excelsa *for juvenile reproductive (JR) and adult reproductive (AR) trees; a) female cones and b) male cones.***

## Density, regeneration rate and percentage of filled seeds

A total of 248 trees AR, 114 J and 24 JR were studied in the whole study range. The densities we observed in Lebanon are lower than the densities observed in other East Mediterranean countries (Carus 2004; Milios *et al.* 2006). The lowest densities of adult trees (AR) were obtained in the higher altitude sites in LDR, LWN and LAR with densities of 79, 50 and 45 trees/ha respectively. The highest density was observed in the western and eastern slope of Mount Lebanon on intermediate altitudes with 147, 121 and 111 trees/ha in LDA, LBA and LAF respectively (Figure 8).

This low density is coupled with a very low regeneration index (*i.e.* ratio juveniles/adult) with a mean ratio of 0.7 juvenile/adult with a high variability between the sites (= 0.35) (Figure 9). This low regeneration rate is also reported from regions like Greece, Pakistan and Oman (Moinuddin *et al.* 1990; Fisher &

Gardner 1995; Milios *et al.* 2006). The highest regeneration rates were observed in the intermediate altitude sites of Barqa (LBA) and Afqa (LAF) with 0.9 and 0.7 juveniles/adult respectively. The intermediate and high altitude sites of Danniyeh (LDA and LDR) exhibited a low regeneration rate with 0.3 juveniles/adults. Finally there is a quasi-null regeneration index in the high altitude sites in Mount Lebanon (LWN) and Anti Lebanon (LAR) (Figure 9). It is important to note that natural regeneration was observed in Wadi El Njass outside the plots in the bottom of the valleys, near human settlements and far from the mother trees. The densities and regeneration rates we observed were also highly variable among plots of the same site (data not shown).

The proportion of filled seeds varied between 30 and 40% in the sites of intermediate altitudes and the high altitude site in Hermel (LJH) but did not exceed 4% in the high altitude site in Danniyeh (LWN) (Figure 10). The mean percentage of filled seeds observed in Lebanon is higher than the one observed in Crimea Ukraine (1.3 to 26.4%) (Ruguzov *et al.* 1994); but coherent, even if a bit lower, with the results obtained for the genus *Juniperus* in the Mediterranean region (Ortiz *et al.* 1998; García *et al.* 2000; Juan *et al.* 2003; Juan *et al.* 2006). The very low proportion of filled seeds in the dioecious population of Wadi El Njass (LWN) could be the result of pollen limitation due to a low density of reproductive trees, the aging of the population and/or its geographical isolation that can result in bi-parental inbreeding. Indeed, inbreeding depression is common in conifer populations and often results in the early abortion of the embryo followed by the formation of empty seeds (Kormutak & Lindgren 1996; Williams & Savolainen 1996). Moreover, a very limited proportion of the filled seeds will be able to germinate and grow because of many biotic and abiotic factors (García 2001; Wesche *et al.* 2005; El Alaoui El Fels & Roques 2006).

However, in our study, the proportion of filled seeds does not seem to be the limiting factor for the regeneration of *J. excelsa* in Lebanon, since in the high altitude populations where we observed the lowest regeneration rates like in LDR and LJH, the proportion of filled seeds was similar to the one obtained for the intermediate altitude populations.

***Figure 8 – Adults and juvenile trees density of* J. excelsa *across six sites. The sites acronyms are the same as in Table 1.***

***Figure 9 – Regeneration index (Juveniles/adult trees) of* J. excelsa *across six sites. The sites acronyms are the same as in Table 1.***

***Figure 10 – Proportion of filled seeds in* J. excelsa *stands across seven sites. The sites acronyms are the same as in Table 1.***

### Spatial distribution of adults and juveniles

A high aggregation level was observed in the plot LBA1 in the eastern side of Mount Lebanon but in the other sites the adults did not deviate from a complete random distribution (Figure 11a). The aggregation of the adults (at a scale between 10 and 30 m) in LBA1 could be due to the spatial heterogeneity of the topographic characteristics in this site. We obtained a similar result for the juveniles with an aggregation between 0.1 and 25 m with a maximum between 5 and 7 m (Figure 11b); the juveniles are mainly found in rock holes that seem to be the predilection germination and growth sites that provide protection from grazing and summer drought. The spatial pattern for LDA2 plot showed aggregation of the juveniles around the adult trees that can be explained either by the facilitating role played by the adult tree for germination and seedling growth either by a limited dispersal of the seeds from the mother tree (Kunstler *et al.* 2007). On the opposite to LDA2, the juveniles in LBA1 plot in Barqa have a less limited dispersal pattern. The microsites favourable for *Juniperus* germination in this plot are located in the open areas at a minimal distance of 7 m from the mother tree. Despite the facilitating role of adult trees for the germination and seedlings growth, the heliophilous nature of juniper trees leads to a better juveniles' growth in open areas (Rosen 1988; Gray & Spies 1997; Van Auken *et al.* 2004).

## Conclusion

*J. excelsa* in Lebanon is found in two contrasted "ecological types". The populations from low and intermediate altitude (1,100 m-1,750 m) and the populations of high and very high altitude (> 1,800 m). The first type includes populations of relatively young trees characterized by a relatively high density, regeneration rate and female cone production with a dominance of monoecious trees.

The variability in monoecy and dioecy of *J. excelsa* across the populations changing with altitude and aridity and the aging of individuals is an interesting result that should be further investigated to better understand the reproduction of this species. Furthermore its evolutionary consequences in terms of reproductive success could bring new insights in the adaptation to changing environments.

The major threat to these populations is the rapid expansion of agricultural lands on the expenses of the juniper woodlands mainly in Danniyeh and Afqa. On the eastern slope of Mount Lebanon in Barqa the juniper stands have the highest regeneration rate and juvenile density. In this site the limiting factor is probably the suitable germination microsites because of the rocky nature of the site with a shallow steppic soil coupled with an intensive grazing. *J. excelsa* in this region was considered as invasive replacing Cedars and deciduous species due to intensive woodcutting, grazing and hydric stress (Zohary 1973).

***Figure 11 – Spatial structure in the plot LBA1. a) L(r) of the adult trees: the observed values (straight line) show an aggregation of the adults between 7 and 30 m, b) L(r) of the juveniles shows an aggregation between 0.1 and 23 m with a maximum at 5 m. The pointed lines correspond to 95% confidence interval of L(r) under a random distribution assumption.***

*J. excelsa* invests more in the establishment and the survival than in regeneration and reproduction. Thus any major perturbation like human disturbances will reduce drastically the regeneration of the juniper stands and can lead to an irreversible situation of regression like it is the case for the relict populations in the Oromediterranean stages. The extinction of these populations is slowed down only because of the very long life span of this species. These populations have a very high ecological value forming the tree line of the country. Even though the human exploitation of these stands is reduced since the mid-20th century, the cutting and pruning continue nowadays and the loss of these remaining populations is certain if the cutting is not stopped and the summer grazing regulated. The delimitation of protected zones is now a necessity to preserve Juniper woodland in Lebanon. This study is the first field investigation on *J. excelsa* stands in Lebanon. The data gathered should help in guiding future research work, conservation and reforestation projects.

## Acknowledgements

We would like to thank Alain Chalon for his help in seed scan as well as all the persons who helped in the field work.

## References

Abi-Saleh B., 1978. *Étude phytosociologique, phytodynamique et écologique des peuplements sylvatiques du Liban: signification bioclimatique et essai de cartographie dynamique*. Ph.D. Thesis. Aix-Marseille III, Université Saint-Jérôme.

Abi-Saleh B., Nasser N., Hanna H., Safi N., Safi S. & Tohmé H., 1996. *Étude de la diversité biologique du Liban : la flore terrestre*. Projet PNUE/GF/6105-92-72. Beyrouth, Liban.

Adams R. P., 2008. *Junipers of the world: The genus* Juniperus. 2 ed. Trafford, Victoria, BC.

Ainsworth C. C., 1999. *Sex determination in plants*. Bios Scientific Publishers, Oxford.

Baddeley A. & Turner R., 2005. Spatstat: an (R) package for analyzing spatial point patterns. *J. Stat Softw.* 12: 1-42.

Barbero M., Lebreton P. & Quézel P., 1994. Sur les affinités biosystématiques et phytoécologiques de *Juniperus thurifera* L. et de *Juniperus excelsa* M. Bieb. *Ecol. Med.* 20 : 21-37.

Bertaudière V., Montès N., Badri W. & Gauquelin T., 2001. La structure multicaule du genévrier thurifère : avantage adaptatif à un environnement sévère ? Comptes rendus de l'Académie des sciences, Séries III. *Sciences de la Vie* 324 : 627-634.

Carus S., 2004. Increment and growth in Crimean juniper (*Juniperus excelsa* Bieb.) stands in Isparta-Sütcüler Region of Turkey. *J. Biol. Sci.* 4: 173-179.

El Alaoui El Fels M.A. & Roques A., 2006. *Les arthropodes associés aux galbules et aux graines des genévriers autochtones dans la partie sud du bassin méditerranéen*. III Coloquio Internacional sobre los sabinares y enebrales (Género Juniperus) : Ecologia y Gestion Forestal Sostenible, Soria, Spain.

Farjon A., 2005. *A monograph of Cupressaceae and Sciadopitys*. Royal Botanic Gardens, Kew. Richmond, Surrey.

Fisher M. & Gardner A.S., 1995. The status and ecology of a *Juniperus excelsa* subsp. *polycarpos* woodland in the northern mountains of Oman. *Vegetatio*. 119: 33-51.

García D., 2001. Effects of seed dispersal on *Juniperus communis* recruitment on a mediterranean mountain. *J. Veg. Sci.* 12: 839-848.

García D., Zamora R., Gomez J.M., Jordano P. & Hodar J.A., 2000. Geographical variation in seed production, predation and abortion in Juniperus communis throughout its range in Europe. *Journal of Ecology Letters* 88: 436-446.

Gauquelin T., Bertaudière V., Montès N., Badri W. & Asmode J.-F., 1999. Endangered stands of thuriferous juniper in the western Mediterranean basin: ecological status, conservation and management. *Biodivers. Conserv.* 8: 1479-1498.

Gauquelin T., Bertaudière-Montès V., Badri W. & Montès N., 2002. Sex ratio and sexual dimorphism in mountain dioecious thuriferous juniper (*Juniperus thurifera* L., Cupressaceae). *Bot. J. Linn. Soc.* 138: 237-244.

Gray A.N. & Spies T.A., 1997. Microsite controls on tree seedling establishment in conifer forest canopy gaps. *Ecology* 78: 2458-2473.

Jomaa I., Auda Y. & Khater C., 2007. Contribution to the characaterisation of forest fragmentation on the eastern flank of Mount Lebanon over 33 years. *Lebanese Science Journal* 8: 59-74.

Juan R., Pastor J., Fernández 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. Bot.* 45: 69-78.

Juan R., Pastor J., Fernández I. & Diosdado J.C., 2006. Seedling emergence in the endangered *Juniperus oxycedrus* subsp. *macrocarpa* (SM.) Ball in southwest Spain. *Acta. Biol. Cracov. Bot.* 48: 49-58.

Kormutak A. & Lindgren D., 1996. Mating system and empty seeds in silver fir (*Abies alba* Mill.). *Forest Genetics* 3: 231-235.

Korpelainen H., 1992. Patterns of resource allocation in male and female plants of *Rumex acetosa* and *R. acetosella*. *Oecologia* 89: 133-139.

Kunstler G., Chadoeuf J., Klein E.K., Curt T., Bouchaud M. & Lepart J., 2007. Tree colonization of sub-Mediterranean grasslands: effect of dispersal limitation and shrub facilitation. *Revue canadienne de recherches forestières* 37: 103-115.

Marion C. & Houle G., 1996. No differential consequences of reproduction according to sex in *Juniperus communis* var. *depressa* (Cupressaceae). *Am. J. Bot.* 83: 480-488.

Milios E., Pipinis E., Petrou P., Akritidou S., Smiris P. & Aslanidou M., 2006. Structure and regeneration patterns or the *Juniperus excelsa* Bieb. stands in the central part of the Nestos valley in the northeast of Greece, in the context of anthropogenic disturbances and nurse plant facilitation. *Ecol. Res.* 22: 713-723.

Moinuddin A., Shahid S.S. & Hafeez B.A., 1990. Population Structure and Dynamics of *Juniperus excelsa* in Balouchistan, Pakistan. *J. Veg. Sci.* 1: 271-276.

Montès N., Vila B., Badri W., Gauquelin T. & Bertaudière-Montès V.. 2006. Diversity of *Juniperus thurifera* L. tree shapes: origins and consequences on biomass allocations. *In*: *III Coloquio Internacional sobre los sabinares y enebrales (*Género Juniperus*)*. Ecologia y Gestion Forestal Sostenible, Soria, Spain : 337-344.

Ortiz P.L., Arista M. & Talavera S., 1998. Low Reproductive Success in Two Subspecies of *Juniperus oxycedrus* L. *J. Plant. Sci.* 159: 843-847.

Ortiz P.L., Arista M. & Talavera S., 2002. Sex ratio and reproductive effort in the dioecious *Juniperus communis* subsp. *alpina* (Suter) Celak. (Cupressaceae) along an altitudinal gardient. *Ann. Bot.* London 89: 205-211.

Pannell J., 1997. Mixed genetic and environmental sex determination in an androdioecious population of *Mercurialis annua*. *Heredity* 78: 50-56.

R Core Team, 2013. *R: A Language and Environment for Statistical Computing.* R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

Ripley B.D., 1977. Modelling spatial patterns. *J. Roy. Stat. Soc. B.* 39: 172-212.

Rosen E., 1988. Development and seedling establishment within a *Juniperus communis* stand on Oland, Sweden. *Acta botanica neerlandica.* 37: 193-201.

Ruguzov I.A., Sklonnaya L.U. & Kostina V. P., 1994, vol. 51 P., 1994. Cytoembryological principles of conservation of threatened species of genus *Juniperus* L. in The Crimea/Ukraine (in russian). *Botanical Journal* 51: 211-216.

Salamé M., 1957. Une tribu chiite des montagnes de Hermel (Liban), les Nacer Ed-Dine. *Revue de géographie de Lyon* 32 : 115-126.

Talhouk S.N., Zurayk R. & Khuri S., 2001. Conservation of the coniferous forests of Lebanon: past, present and future prospects. *Oryx*. 35: 206-215.

Van Auken O.W., Jackson J.T. & Jurena P.N., 2004. Survival and growth of *Juniperus* seedlings in *Juniperus* woodlands. *Plant. Ecol.* 175: 245-257.

Vasiliauskas S.A. & Aarsen L.W., 1992. Sex ratio and neighbor effects in monospecific stands of *Juniperus virginiana*. *Ecology*. 73: 622-632.

Wesche K., Ronnenberg K. & Hensen I., 2005. Lack of sexual reproduction within mountain steppe populations of the clonal shrub *Juniperus sabina* L. in semi-arid southern Mongolia. *J. Arid. Environ.* 63: 390-405.

Williams C.G. & Savolainen O., 1996. Inbreeding depression in coniferes: implications for breeding strategy. *Forest Sci.* 42: 102-117.

Zohary M., 1973. *Geobotanical foundations of the Middle East*. Stuttgart.

# Distribution area of *Juniperus oxycedrus* L. in Central Spain (Madrid)

## *Distribution de* Juniperus oxycedrus *L. dans la région de Madrid (Espagne)*

F. ALLENDE ÁLVAREZ[1], P. DE LAS HERAS PUÑAL[2], P. FERNÁNDEZ-SAÑUDO[3], N. LÓPEZ ESTÉBANEZ[1], M. J. ROLDÁN MARTÍN[3]

1. Department of Geograph, Autónoma University of Madrid, Faculty of Arts and Humanities
2. Department of Ecology, Complutense University of Madrid
3. Environmental Research Centre of Madrid Region

Corresponding author: Fernando Allende Álvarez
Department of Geography Autónoma University of Madrid
Faculty of Arts and Humanities
Francisco Tomás y Valiente, 1. 28049 Madrid, Spain
E-mail: fernando.allende@uam.es

**Abstract**

*The Iberian populations of* Juniperus oxycedrus *L. subsp.* oxycedrus *have been studied by several authors who consider their condition as unfavourable. In the Madrid Region, current status, dynamic and distribution area are unknown even when their populations, specifically those who form arborescent shrubs, are included in the type 5210 (Habitat Directive 92/43/EEC). These formations are developed in austere Mediterranean mountain typical of agro ecosystems of high value that have interesting dynamics of recolonization, especially in those areas where agricultural and livestock systems have suffered a setback. This study aims to understand the distribution of juniper in the region of Madrid as the first step to identify and assess the dynamic changes in recent decades.*

*To update the cartography of this species the available information has been checked and completed with photointerpretation and fieldwork. Based on this cartography and the information relating to the physical and biotic variables four types of juniper were differentiated by multivariate methods. On the other hand, two types of dynamics were recognized and it was studied in depth the genesis of changes produced in these forests in the last decades.*

**Keywords:** *Juniperus oxycedrus* subsp. *oxycedrus*, woodland structure, Guadarrama Range, Land-use change, Mediterranean landscape.

**Résumé**

*Les populations ibériques de* Juniperus oxycedrus *L. subsp.* oxycedrus *L. ont été étudiées par plusieurs auteurs qui considèrent leur état de conservation comme mauvais. Dans la région de Madrid, la situation actuelle, la dynamique et l'aire de répartition de ces junipéraies sont mal connues, même si celles qui sont arborescentes sont incluses dans le type 5210 (directive Habitat 92/43/CEE). Ces formations sont développées dans des ambiances montagnardes méditerranéennes continentales, où se développent des agro-écosystèmes de grande valeur présentant une dynamique intéressante de recolonisation, liée à la déprise agricole. Cette étude vise à mieux comprendre la répartition du Cade dans la région de Madrid, première étape à la compréhension et à l'évaluation des changements dynamiques intervenus dans les dernières décennies.*

*Pour mettre à jour la cartographie de cette espèce, l'information disponible a été vérifiée et complétée par photo-interprétation et sur le terrain. Sur la base de cette cartographie et les informations relatives aux variables physiques et biotiques, quatre types de junipéraies ont été différenciés par des méthodes multivariées. D'autre part, deux types de dynamiques ont été reconnus et il a été étudié en profondeur la genèse de changements qui se produisent dans ces forêts dans les dernières décennies.*

**Mots clés :** *Juniperus oxycedrus* subsp. *oxycedrus*, structure forestière, Sierra de Guadarrama, changement de l'utilisation des terres, paysage méditerranéen.

## Introduction

The formations of *J. oxycedrus* L. subsp. *oxycedrus* in Madrid Region are usually developed in middle mountain austere systems of high landscape value. The information about this species in this region is very limited. The first references on its presence in the Iberian Peninsula considered this species typically Mediterranean, occupying the altitudinal lower areas to the formations of *Quercus pyrenaica* Willd., generally on south-facing slopes, with steep slopes (Rivas-Martínez, 1964). This species can appear either in formations in which dominates the tree and shrub layer, or in mixed masses with individuals of *Quercus faginea* subsp. *faginea* Lam., *Quercus ilex* subsp. *ballota* (Desf) Samp., *Quercus pyrenaica, Pinus nigra* Arnold. subsp. *salzmannii*, *Pinus pinaster* Ait. and *Pinus sylvestris* L. The floristic composition is very variable depending on the biogeographic region and the climatological, geographical and other environmental conditions of the places where each population is located (Costa Tenorio *et al*., 1993). The most frequent accompanying woody species belong to the genera *Cistus, Genista, Thymus* and *Lavandula.* Nevertheless, at present, basic aspects as its distribution area, ecology or the structure and function of its populations are not known in Madrid Region (Ríos Insúa 1987; García *et al*. 1999, 2000; Montesinos 2007).

In general, populations of *J. oxycedrus* are subjected to various threats. To global scale, the major risk is the reduction of the rainfalls and the increase of the temperatures due to the climate change. This could sharply reduce population recruitment and fertility, increasing their vulnerability to parasites and forest plagues, and intensify the interspecific competition, reducing its area of distribution (Montesinos & García 2009). To local scale, hunting and the recreative noisy activities can bother seed dispersers birds, impacting negatively on the biology of this species. In addition, urbanization of the territory and infrastructure construction fragment juniper populations taking them to a considerable state of degradation (Ríos Insúa 1987; García *et al.* 1999, 2000; Montesinos 2007).

Due to its ecological importance and the threats outlined above, the arborescent bushes of *Juniperus* spp. have been included in the list of the Habitat Directive 92/43, in particular, the habitat 5210 Arborescent matorral with *Juniperus* spp., which includes juniper formations of *J. oxycedrus* and *J. thurifera* L. (CD 92/43 EEC, 1992, Montesinos & García 2009). In Spain, the area occupied by the habitat 5210 in the Mediterranean biogeographical region is 503,278 ha, of which 1.83% is in Madrid Region (Montesinos & García 2009).

The aims of this study are: 1) to know the current distribution of the formations of *Juniperus oxycedrus* subsp. *oxycedrus* in Madrid Region, particularly those located in the piedmont and mountain slopes; 2) to elaborate the actual cartography of the species in this region; 3) to characterize the forest and biogeographic facies; and 4) to identify the populations dynamics occurred in a temporary wide series.

## Methods

The study area corresponds to the entire Madrid Region located in the centre of the Iberian Peninsula (Figures 1 and 2).

To make the cartography of this species was carried out a preliminary analysis of existing cartographic information in digital format. Two different types of variables were considered: those that collect information on the distribution of species and those that collect information on abiotic variables. The last ones were used in the subsequent multivariate analysis. Among the first were considered, with different scales of precision: the cartography of the Third National Forest Inventory (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2007), the Vegetation Map of Madrid Region (Ingeniería y Gestión Medioambiental, 2006) and the Forest Map of the Madrid Region (Comunidad de Madrid 2009a).

The second ones include aspects such as geomorphology, lithology, bioclimatic belts, slopes, aspects, etc. (26 variables in total). All layers are managed in a format compatible with ArcGIS 9.3 (shapefile, coverage or GRID) referred to the WGS84 ellipsoid and UTM coordinates Zone 30. The information was integrated into a Geographic Information System which is intersected by overlaying techniques. Depending on the result of the overlapping, the fieldwork was designed for the checking *in situ* of the absence or presence

***Figure 1 – Location of study area. 1: Sierra (1,800-2,400 m); 2: Granitic and metamorphic piedmont; 3: Tajo Basin; 4: Páramos over limestones; Ft: Torrelodones fault.***

of juniper in the obtained polygons. Once we have identified possible mistakes, those were solved using orthophotography (Plan Nacional de Ortofotografía Aérea, 1:12,500) for those polygons that need to be redefined, created or deleted. The accuracy of the reference map unit depending on the type of area, establishing a minimum of 0.5 ha, similar to that used in other studies with this orthophotography scale in forest formations (SIOSE 2011). Also on the orthophotography were required some data about the phytostructure and percentages of canopy cover. If necessary, we worked with DGPS techniques (GPS Trimble Nomad 6GB) to refine the polygons shape. To this was added to the interpretation of the historical sequence of occupation by photointerpretation of flights of 1956 (United States Air Force), 1975 (Spanish Air Force) and orthophotography of 2009 (PNOA). This type of information allowed us to characterize the types of evolutionary dynamics.

To describe juniper populations a data matrix was made (Figure 3). The observations correspond to the juniper polygons and the variables to each of its abiotic and biotic characteristics. The elements of the matrix are the relative area (ha) of each variable (slope,

***Figure 2 – Distribution area of* Juniperus oxycedrus *subsp.* oxycedrus *in Madrid Region.***

lithology, bioclimatic belts, etc.) in each polygon. Subsequently, by means of multivariate ordination techniques (Principal Component Analysis) and hierarchical classification (squared Euclidean distance and Ward method), the main types of juniper and its characterization in terms of these variables were obtained (SPSS 19.0, 2011).

Finally, we analyzed the dynamics of juniper to know the progression, regression or stabilization of this species. To do this we compare the aerial photographs (USAF 1956) and the orthophoto of Madrid Region (PNOA 2009). At last, we checked the previously identified dynamics with fieldwork.

## Results and discussion

### Distribution area and characterization of *J. oxycedrus* subsp. *oxycedrus* in Madrid Region

From the cartographic and photographic analyses described above, the total area of juniper in this region was delimited (more than 18,700 ha, Figure 2). These populations are spread over a fringe that runs parallel to the Guadarrama Range along about 130 km in northeast-southwest direction. The lithology is mostly intrusive rocks (granites) and metamorphic rocks (gneisses) but, in the most eastern zone, is located a group of junipers over limestone (Cretaceous), slates and schists (Palaeozoic). The current cartography of *Juniperus oxycedrus* subsp. *oxycedrus* in Madrid shows that this subspecies is distributed principally by the piedmont, located about 800 m.a.s.l and on the

*Figure 3 – Juniper typification from PCA and hierarchical clustering. Axis 1 variability is determined by a gradient of increasing slope and the appearance of geisses in the substrate. The axis 2 difference groups base on bioclimatic belts, the presence of granite on the substrate and the accompanying flora species. The results shows four different types of juniper.*

slopes up to 1,700 m.a.s.l. Its lower limit is in Torrelodones fault (Figure 1), where the transition occurs from the arkosic sedimentary basin to the granitic massif. On the other hand, we detected only minor spots about 600 m.a.s.l.

The obtained cartography determines the limits of the species in this region. The techniques used allowed the identification of species. The reinterpretation of the orthophoto defines the shape and structure of the juniper areas, resulting in a real distribution adjusted to the current progression of the species. In the previous cartographic resources, several errors were found, mainly due to the identification as juniper patches other species with greater forest interest (such as *Quercus ilex* subsp. *ballota*).

The typification obtained as a result of multivariate analysis allowed to identify four types of juniper populations that synthesize the variability observed in the study area based on biotic and abiotic characteristics (Figure 3). Figure 4 shows the location of each type and 5 to 8 illustrate through photographs examples of these types.

The first type (Figures 4 and 5) is the best represented in terms of surface area (10,961 ha) and is developed mostly on granitic bedrocks (berrocal) and arkosic piedmont. This type is extended throughout longitudinal fringe from northeast to southwest. These mixed communities of juniper and oak with other Mediterranean shrubs (*Cistus ladanifer* L., *Retama sphaerocarpa* L., *Rosa* spp., *Rubus* spp., etc.) are associated with intense transformations derived from its management. This type is distributed on the upper Mesomediterranean belt or in the lower levels of the Supramediterranean belt, in an altitudinal range of 625 m.a.s.l. (570-1,200 m.a.s.l.). A spot of 5,250 ha stands out for its extension and is located around Hoyo de Manzanares village (Figure 4A).

***Figure 4 – Distribution area of the four types from PCA. Type 1 (A, Hoyo de Manzanares). Type 2 (B, Zarzalejo-Santa María de la Alameda; C, Garganta de los Montes-Lozoyuela). Type 3 (D, La Cabrera-El Berrueco). Type 4 (E, Torrelaguna; F, Colmenar Viejo-Tres Cantos).***

*Figure 5 – Type 1, juniper colonizing granitic domes in Hoyo de Manzanares (1) and forming open woodland in the south face of Cerro de San Pedro (2).*

*Figure 6 – Type 2, juniper shrub and open woodland communities on steep slopes –Hueco de San Blas– (1) and mixed woodlands with* Pinus pinaster *–Robledo de Chavela– (2).*

The second type (Figures 4 and 6) is represented by mixed communities of juniper and *Quercus ilex* subsp. *ballota*, or *Q. pyrenaica*, or *Pinus* spp., accompanied by *Retama sphaerocarpa* and *Cistus* shrubs. These populations extend over 4,035 ha at 966 m.a.s.l. average altitude (768-1,734 m.a.s.l.). The best examples of these juniper formations can be found on steeped slopes of the upper Supramediterranean belt over metamorphic substrates

***Figure 7 – Type 3, open woodland in El Berrueco.***

***Figure 8 – Type 4, juniper shrub with* Quercus faginea *subsp.* faginea *in Torrelaguna.***

(gneisses). One of this can be found in the southwest area (Figure 4B, Zarzalejo-Santa María de la Alameda) and another in the northeast area, at Garganta de los Montes-Lozoyuela area (Figure 4C).

The third type (Figures 4 and 7) are monospecific formations of *Juniperus oxycedrus* subsp. *oxycedrus* on granite massif at medium slopes. This type extends over 2,544 ha, on the lower Supramediterranean belt, from 785 to 1,260 m.a.s.l. La Cabrera-El Berrueco (Figure 4D) can be pointed out as good example of this type.

The fourth type (Figures 4 and 8) covers both the smallest extent area (1,216 ha) and altitudinal range (from 653 to 940 m.a.s.l.). It occupies the marly-limestone slopes (Figure 4E, Torrelaguna) and arkosic hills characteristic of distal sector of piedmont (Figures 4F. Colmenar Viejo-Tres Cantos). It corresponds to the Mesomediterranean belt, and is represented by mixed forest of *Juniperus oxycedrus* subsp. *oxycedrus* and *Quercus faginea* subsp. *faginea* with *Lavandula* spp. and *Retama sphaerocarpa* shrubs.

## Juniper dynamics in Madrid Region

Using fieldwork and the historical and photographic resources (USAF 1945, 1956; Spanish Air force 1975; PNOA 2009) has been detected two dynamics types: a progressive dynamic colonisation and a significant increase of juniper density.

The *progressive dynamic* is highly visible on the territory, particularly in some piedmont areas. Progression appears in three different

*Figure 9 – Densification on abandonment grazing areas (Hoyo de Manzanares).*

*Figure 10 – Progression over ancient agricultural areas (El Berrueco).*

*Figure 11 – Expansion on ancient grazing ($E^1$) and agricultural areas ($E^2$); densification (D) in* Quercus *open woodland (Robledo de Chavela).*

forms: 1) either for colonization of uncultivated land or grazing areas, 2) for advancing over agricultural areas or 3) for progression on undergrowth canopy in forest formations. The first type is the most widespread process and it occupies ancient extensive grazing lands (Figure 9). The second type is located in Torrelaguna Basin (NE of Madrid Region) over limestone and loams substrates that, due to their greater fertility, have been productive until nowadays (Figure 10). The second type is normally over soft and removed soils (Gómez 1991) where juniper colonizes abandoned lands. And the third type has been observed in gaps of *Quercus ilex* subsp. *ballota* open woodland (Figure 11) or below *Pinus nigra* subsp. *salzmannii* and *Pinus pinea* L. canopy.

The other observed dynamic is the densification of juniper populations in abandoned grazing areas. These formations change their structure turning from open woodlands, with dispersal isolated trees generated for grazing, to more dense and complex forested areas. Both types of dynamics are consequence of land uses changes during second half of twentieth century. Until this moment, traditional agrosilvopastoral systems of Guadarrama Range and piedmont determined the structure and forest boundary. These land uses were based in the management of standing and transhumant herds (bovine, sheep and, to a lesser degree, goat). These herds used to graze (feed on) meadows from the valley bottom, temporary uncultivated lands, coppice and open woodlands and mountain pastures. At the same time public forest provided grazing land, charcoal and beams. Other land use was rye crop over slopes and stony glacis. This agrosystem limited the extension of woodlands by controlling the forest growth and allowing the development of grasslands (Gil & Pardo 2004; Sáez 2001; Manuel 1996).

The abandonment of traditional land uses in mountain areas during the second half of the twentieth century resulted in the progression of natural vegetation dynamics. Nowadays, seventy years later, can be observed a new forest landscape structure (López 2006; López *et al.* 2010; De las Heras *et al.* 2011; Fernández-Sañudo *et al*. 2007). Goat and sheep herds have disappeared in Guadarrama Range, with the progressive reduction of extensive grazing (Mangas 1981; Gil 2004). In addition with reduction in livestock production the farms are specialized in bovine (beef cattle or bucking bulls). But, dry lands (rye cultivation) were abandoned changing into extensive or semi-extensive pastoral system with seasonal grasslands and scattered juniper trees. A similar changing process has also occurred with the abandonment of traditional forest uses. There, on the contrary, hunting has become the main resource. This has significant consequences in forestry structure favouring allowing secondary succession and transforming open woodlands in dense shrub communities.

## Conclusions

This research have provided a real and current cartography of the distribution of *Juniperus oxycedrus* subsp. *oxycedrus* in Madrid Region. This cartography allowed us to distinguish four types of juniper formations depending on biotic and abiotic parameters: juniper and oak formations with other mediterranean shrubs; mixed communities with *Quercus* and *Pinus* accompanied by mediterranean shrubs; monospecific formations; and mixed forest with *Quercus faginea* on marly-limestone slopes.

Similarly to the process suffered by other *Juniperus* trees as *J, thurifera*. Changes in land use and loss of multifunctionality of theseagroecosystems and forests have been the main causes of the expansive evolution of this species in the Madrid Region. These changes are translated essentially in two dynamics: the progression of these juniper masses on grasslands and non-cultivated lands next to them, and the densification juniper woodlands.

The results indicate the need for further research on the structure of these new areas of juniper, its viability as well as the advance in the knowledge of characteristics of juniper dynamics and their territorial significance, especially taking into account its importance as an European habitat listed in the Habitat Directive 92/43.

## Aknowledgements

This research was partially funded by the Spanish Ministerio de Educación y Ciencia (projects CSO2009-12225-C05-02 and CSO2009-14116-C03-0102956-BOS).

## References


Comunidad de Madrid., 2009a. *Mapa de Terreno Forestal de la Comunidad de Madrid*. Consejería de Medio Ambiente, Vivienda y Ordenación del Territorio. Madrid, Comunidad de Madrid.

Comunidad de Madrid., 2009b. *Ortofotografía con resolución 50 x 50 m*. Consejería de Medio Ambiente, Vivienda y Ordenación del Territorio. Dirección General de Urbanismo y Estrategia Territorial. Madrid, Comunidad de Madrid.

Coplaco, 1975. *Vuelo fotogramétrico*. Comisión de Planeamiento y Coordinación del Área Metropolitana de Madrid. Madrid, Ministerio de Obras Públicas.

Costa Tenorio, M., Gómez Manzaneque, F., Morla Juaristi, C. & Sáinz Ollero, H., 1993. Valoración fitogeográfica de la flora vascular de los sabinares albares de la Península Ibérica. *Ecología* 7 : 127-148.

De las Heras P., Fernández-Sañudo P., López Estébanez N. & Roldán Martín M.J., 2011. Territorial dynamics and boundary effect in a protected area in the central Iberian Península. *Cent. Eur. J. Geosci*. 3: 1-11.

DO, 1992. *Directiva 92/43/Cee del Consejo de 21 de mayo de 1992, relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres*. DO L 206 de 22 del julio de 1992.

Ejército del Aire, 1975. *Vuelo fotográmétrico*. Centro Cartográfico y Fotográfico del Ejército del Aire, España.

Fernández-Sañudo P., López Estébanez N., Roldán Martín M.J. & De las Heras P., 2007. Relationship between socio-economic and natural dynamics in a Protected Natural Area (Parque Regional de la Cuenca Alta del Manzanares, Madrid, Spain). *In*: Bunce R.G.H., Jongman R.H.G., Hojas L. & Weel S. (eds.), *25 Years of Landscape Ecology: Scientific Principles in Practice. Proceedings of the 7th IALE World Congress*. Wageningen, The Netherlands, 8-12 July 2007: 736.

García D., Zamora R., Hódar J.A. & Gómez J.M., 1999. Age structure of *Juniperus communis* L. in the Iberian Peninsula: Conservation of remnant populations in Mediterranean mountains. *Biological Conservation* 87: 215-220.

García D., Zamora R., Gómez J.M., Jordano P. & Hodar J.A., 2000. Geographical variation in seed production, predation and abortion in *Juniperus communis* throughout its range in Europe. *Journal of Ecology* 88: 436-446.

Gil Sánchez L., 2004. *La transformación histórica del paisaje forestal en España*. Dirección General para la Biodiversidad, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid.

Gil L. & Pardo F., 2004. The impact of traditional land use on woodlands: a case study in the Spanish Central System. *Journal of Historical Geography* 31: 390-408.

Gómez Manzaneque F., 1991. *Los sabinares de* Juniperus thurifera *L. de la Península Ibérica: cartografía, flora, tipificación y consideraciones paleobiogeográficas*. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Madrid, Madrid.

Ingeniería y Gestión Medioambiental, 2006. *Mapa digital continuo de vegetación de la Comunidad de Madrid*. Dirección General de Urbanismo y Planificación Territorial, Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Madrid, Comunidad de Madrid.

López Estébanez N., 2006. Dinámicas forestales sobre matorrales, *Juniperus thurifera* L. *Pinus sylvestris* L. y *Pinus pinaster* Aiton en el sector oriental del Sistema Central madrileño. Universidad de Alcalá de Henares. *Serie geográfica* 13 : 25-41.

López Estébanez N., Gómez Mendoza J., Gómez Mediavilla G., Madrazo García de Lomana G. & Sáez Pombo E., 2010. Forest dynamics in the Spanish Central Mountain range. *Landscape Archaeology & Ecology* 20: 98-110.

Mangas J.M., 1981. *El régimen comunal agrario de los concejos de Castilla*. Madrid.

Manuel Valdés, C.M., 1996. *Tierras y montes públicos en la Sierra de Madrid (sectores central y meridional)*. Serie Estudios. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Secretaría General Técnica, Madrid.

Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2007. *III Inventario Forestal Nacional (1997-2007)*. Madrid.

Montesinos D., 2007. *Juniperus thurifera* : una especie dioica, vecera y relíctica. *Ecosistemas* 16 : 172-185.

Montesinos D. & García D., 2009. 5210 Matorrales arborescentes de *Juniperus spp*. *In*: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, *Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España*. Madrid.

Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (Pnoa), 2009. Instituto Geográfico Nacional, Centro Nacional de Información Geográfica, Ministerio de Fomento.

Ríos Insúa V., 1987. Contribución al estudio de la biología de *Arceuthobium oxycedri* (DC) M. Bieb (1819). *Boletín de Sanidad Vegetal-Plagas* 13 : 53-62.

Rivas-Martínez S., 1964. Esquema de la vegetación potencial y su correspondencia con los suelos en la España peninsular. *Anales del Instituto Botánico Cavanilles* 22 : 341-405.

Sáez Pombo E., 2001. *Montes públicos, territorio y evolución del paisaje en la Sierra Norte de Madrid*. Publicaciones de la Universidad Autonóma de Madrid, Comunidad de Madrid y Obra Social de Caja Madrid, 245 p.

Siose V.2., 2011. *Sistema de Información de Ocupación del Suelo en España*. Documento Técnico SIOSE 2005. D.G. Instituto Geográfico Nacional, Servicio de Ocupación del Suelo, S.G. de Cartografía. Madrid.

SPSS Inc., 2011. *SPSS 19.0 for Windows*. Chicago, Illinois, USA.

United States Air Force (Usaf), 1945. *Vuelo fotográmétrico del Ejército del Aire Eeuu, Serie A*. Centro Cartográfico y Fotográfico del Ejército del Aire, España.

United States Air Force, 1956. *Vuelo fotográmétrico del Ejército del Aire Eeuu, Serie B*. Centro Cartográfico y Fotográfico del Ejército del Aire, España.

# Phytodiversity of the remnants of Canarian endemic juniper woodlands on El Hierro, Canary Islands

## *La phytodiversité dans les rémanents de la forêt endémique de genévrier d'El Hierro, îles Canaries*

Angel ROMO[1, 3], Montserrat SALVÀ-CATARINEU[2, 3]

1. Botanical Institute of Barcelona, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, IBB-CSIC-ICUB, Passeig del Migdia s/n., 08038 Barcelona, Spain
E-mail : a.romo@ibb.csic.es

2. Departament de Geografia Física i Anàlisi Geogràfica Regional, Universitat de Barcelona, Montalegre 6, 08001 Barcelona, Spain
E-mail : salva@ub.edu

3. Grup de Recerca Paisatge i Paleoambients a la muntanya mediterrània

**Abstract**

*Hot spots of endemicity such as the Canary Isles are of particular interest as far as conserving biodiversity is concerned. The most westerly of these oceanic islands preserve dry woodlands dominated by the Canarian juniper (*Juniperus turbinata *subsp.* canariensis*). The island of El Hierro has been studied because it conserves the biggest extension of this kind of dry forest in the Canary Islands. In this context, the arid zones are reputed as being zones that present a low biodiversity.*

*A study of 24 plots of 200 m$^2$ has been carried out. All the vascular taxa present have been identified, and the degree of cover and gregarianism has been calculated using the Braun-Blanquet methodology. For each one of the taxa the biological type and the chorology have been assigned. Tables with relevés have been elaborated and an analysis of clusters and dendrograms to see the affinities between the studied plots has been drawn up.*

*Although less than a tenth part of the natural vegetation is composed of juniper woodlands dominated by* Juniperus turbinata *subsp.* canariensis*, it contains more than a fifth of the total of wild vascular plants from the island. This flora associated with junipers contains 30,6% of the endemic taxa from the Macaronesian region. Between them it represents 22,1% of endemics from the Canary Islands, 4,6% of endemics from Canary islands and Madeira, 3,1% of endemics for El Hierro and 0,8% of endemics from the Canary, Madeira and Cape Verde islands.*

*The analysis of phytodiversity of the different plots studied reflects a high affinity between the dry juniper woodlands from the lowlands and the others situated in more elevated places. From these we can differentiate those situated in moister conditions, which enter in contact with laurel forests on one hand, and those in close proximity with the* Pinus canariensis *forest, on the other.*

**Resumé**

*Les points chauds d'endémicité, tels que le sont les îles Canaries, sont particulièrement intéressants pour la conservation de la biodiversité. Les îles les plus occidentales des Canaries préservent des forêts sèches dominées par le genévrier* Juniperus turbinata *subsp.* canariensis*. Notre étude se concentre sur l'île d'El Hierro, parce qu'elle présente la plus grande extension de ce type de forêt sèche dans l'ensemble des îles Canaries. Dans ce contexte, les zones arides sont réputées pour avoir une faible biodiversité.*

*Nous avons étudié 24 parcelles de 200 m$^2$, pour lesquelles toutes les plantes vasculaires ont été*

**Keywords:** dendrogram, dry forest, endemicity, hot-spot, Macaronesian.

**Mots clés :** dendrogramme, endémicité, forêt sèche, hot-spot, Macaronésie.

*identifiées, leur couverture et leur sociabilité ont été calculées en employant la méthodologie établie par Braun-Blanquet. Pour chaque taxon, le type biologique et la chorologie ont été précisés. Nous avons élaboré des tableaux avec l'ensemble des relevés et, afin de connaître les affinités des parcelles étudiées, nous présentons également les résultats sous forme de clusters et de dendrogrammes.*

*Bien que la forêt de genévriers (dominée par* Juniperus turbinata *subsp.* canariensis*) représente moins d'un dixième de la végétation naturelle, on y trouve un cinquième du total de la flore vasculaire de l'île d'El Hierro. La flore associée avec le genévrier comprend 30,6 % des taxons endémiques de la région macaronésique, parmi lesquels 22,1 % d'endémiques des îles Canaries, 4,6 % d'endémiques des îles Canaries et Madeira, 3,1 % d'endémiques d'El Hierro, et 0,8 % d'endémiques des îles Canaries, Madeira et Cap Vert.*

*L'analyse de la phytodiversité des différentes parcelles étudiées reflète une très forte affinité entre les forêts sèches de genévriers des parcelles les plus basses et les forêts de genévriers des parcelles de plus haute altitude. Parmi les parcelles plus élevées, on peut différencier celles situées dans des conditions plus humides près de la forêt laurifoliée, de celles situées à proximité des forêts de* Pinus canariensis *en ambiances plus sèches.*

## Introduction

The Canary Islands are a centre for plant biodiversity (Médail & Quézel 1999). They are usually included in the Mediterranean hotspot, a biodiversity hotspot recognized at a world level (Blondel & Aronson 1999; Myers *et al.* 2000). Within this archipelago our study is focused on the juniper woodlands from the island of El Hierro. It is on this island and Gomera island that the greater surfaces of juniper woodlands in the Canary archipelago are to be found (Fernández Palacios *et al.* 2008). These Canarian juniper woodlands, dominated by *Juniperus turbinata* Guss. subsp. *canariensis* (Guyot) Rivas-Mart., Wildpret & P. Pérez, have been defined as thermophilous woodlands (Santos 1980). They are located in low and middle areas "*medianías*" of the most westerly Canary islands (Otto *et al.* 2006). They are dry forests with a low tree canopy and, in fact, they are formed by canopy and intercanopy patches where nanophanerophytes, chamaephytes and therophytes grow. These woodlands have suffered considerable regression due to anthropic activity, and now only small fragments of them remain (Otto *et al.* 2006). Only a few phytosociological studies have been made on El Hierro's juniper woodlands, and these rather general and included within standard vegetation works (del Arco *et al.* 1996; von Gaisberg 2005). In this scenario we would like to answer the following questions: what level of phytodiversity do these woodland environments at present manifest? and which environmental factors are conditioning this biodiversity?

## Material and methods

El Hierro island is located in the southwestern extreme of the Canary Isles, lying between 17º52'-18º09'W and 27º38'-27º51'N. It is a small island (278.5 km$^2$), the most oceanic island of the Archipelago (Nogales *et al.* 2009), and geologically the youngest, being 1 M yr of age (Fuster *et al.* 1993). In order to know the phytodiversity of these juniper woodlands 24 plots of 200 m$^2$ have been studied, each plot being situated at different levels, aspects and slopes (Figure 1). The plots are found between 206 m and 1.012 m above see level. As well as the habitat conditions, all the vascular plants were identified in each plot, and their cover and degree of gregariousness were calculated; for this purpose the Braun-Blanquet (1979) method was employed. The life form and chorology of each taxon were then assigned (Stierstorfer & von Gaisberg 2006). With this combined data two tables have been elaborated (Tables 1 and 2). One with the physical characteristics of the plots, and another with their phytodiversity. In order to establish the affinities between the studied plots, the results are presented in cluster and dendrogram form (Figure 5). Dendrograms were produced according to the unweighted pair-group mean arithmetic method (UPGMA), using B-Vegana software (De Cáceres *et al.* 2003).

## Results

Although the total area of *Juniperus turbinata* subsp. *canariensis* woodland covers less than a tenth part of the natural vegetation of the island, within it is found more than a fifth of the total amount of the vascular flora of El Hierro. More than 131 (Table 2) out of the

***Figure 1 – Location of the studied plots on El Hierro island.***

***Table 1 – Characteristics of the plots studied.***

| Plots | Code | Latitude | Longitude | Altitude (m) | Aspect | Slope (°) | Richness |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 [P_05]: El Cres | CR1 | 27°44'22"N | 18°07'26"W | 740 | WNW | 17 | 29 |
| 2 [P_06]: El Cres | CR2 | 27°43'53"N | 18°07'09"W | 750 | N | 31 | 26 |
| 3 [P_07]: Barranco de la Charca | BC1 | 27°44'41"N | 18°08'34"W | 342 | W | 14 | 15 |
| 4 [P_08]: El Julán | JU2 | 27°42'59"N | 18°03'43"W | 990 | SSW | 32 | 16 |
| 5 [P_09]: Sabinosa | SA2 | 27°44'50"N | 18°05'11"W | 254 | NNW | 35 | 24 |
| 6 [P_10]: Sabinosa | SA1 | 27°44'51"N | 18°05'04"W | 265 | NNE | 42 | 31 |
| 7 [P_11]: Sabinosa | SA3 | 27°44'48"N | 18°05'10"W | 292 | NE | 40 | 16 |
| 8 [P_12]: El Sabinar | SR6 | 27°44'55"N | 18°07'34"W | 608 | NW | 18 | 24 |
| 9 [P_13]: El Sabinar | SR2 | 27°45'07"N | 18°07'33"W | 589 | WNW | 20 | 28 |
| 10 [P_14]: El Sabinar | SR5 | 27°44'59"N | 18°07'35"W | 595 | W | 10 | 21 |
| 11 [P_15]: El Julán | JU3 | 27°42'59"N | 18°04'03"W | 982 | S | 38 | 15 |
| 12 [P_16]: El Julán | JU1 | 27°43'01"N | 18°04'04"W | 1 012 | S | 40 | 22 |
| 13 [P_17]: El Sabinar | SR1 | 27°45'13"N | 18°08'38"W | 304 | SE | 12 | 18 |
| 14 [P_18]: Barranco de la Charca | BC2 | 27°44'41"N | 18°08'30"W | 363 | NNW | 21 | 26 |
| 15 [P_19]: El Sabinar | SR3 | 27°45'05"N | 18°07'45"W | 536 | NW | 17 | 16 |
| 16 [P_20]: El Sabinar | SR4 | 27°45'01"N | 18°07'41"W | 505 | NNW | 19 | 14 |
| 17 [P_21]: El Sabinar | SR7 | 27°45'17.6"N | 18°07'46.4"W | 515 | NNE | 19 | 17 |
| 18 [P_22]: El Sabinar | SR8 | 27°45'21.0"N | 18°07'34.5"W | 530 | NW | 10 | 21 |
| 19 [P_23]: El Julán | JU4 | 27°43'00.2"N | 18°04'44.3"W | 947 | SSE | 20 | 16 |
| 20 [P_24]: EL Julán | JU5 | 27°42'36.8"N | 18°03'17.9"W | 649 | W | 29 | 20 |
| 21 [P_25]: El Cres | CR3 | 27°44'01.5"N | 18°06'58.1"W | 776 | WSW | 12 | 31 |
| 22 [P_26]: El Cres | CR4 | 27°43'58.4"N | 18°06'47.6"W | 817 | W | 14 | 31 |
| 23 [P_27]: Sabinosa | SA4 | 27°44'57.6"N | 18°06'11.5"W | 206 | N | 37 | 31 |
| 24 [P_28]: Sabinosa | SA5 | 27°44'54.1"N | 18°02'27.6"W | 298 | N | 42 | 33 |

***Table 2 – Vascular plants of the plots studied.***

| | P_05 [1] | P_06 [2] | P_07 [3] | P_08 [4] | P_09 [5] | P_10 [6] | P_11 [7] | P_12 [8] | P_13 [9] | P_14 [10] | P_15 [11] | P_16 [12] | P_17 [13] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Aeonium canariense* Webb ex Bertel var. *palmense* (Webb ex Christ) H.Y. Liu | 1.1 | . | . | . | + | 2.3 | 1.2 | . | . | . | . | . | . |
| *Aira caryophyllea* L. subsp. *caryophyllea* | . | . | . | . | . | . | + | . | . | . | . | . | . |
| *Anagallis arvensis* L. | + | + | . | . | + | . | . | + | + | + | . | . | + |
| *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. | . | . | + | + | . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| *Arenaria leptoclados* (Reichenb.) Guss. | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| *Argyranthemum hierrense* | + | + | . | . | . | + | . | 1.2 | 1.1 | 1.1 | . | . | . |
| *Artemisia thuscula* Cav. | + | . | . | . | 2.3 | 1.2 | 1.2 | . | . | . | . | . | . |
| *Asphodelus ramosus* L. subsp. *distalis* Z. Diaz & Valdes | . | . | 1.1 | . | + | + | . | . | . | . | . | . | + |
| *Biserrula pelecinus* L. | . | . | . | + | . | . | . | . | . | . | 1.1 | . | . |
| *Brachypodium distachyon* (L.) Beauv. | . | . | . | . | . | + | + | + | + | 1.1 | + | 1.1 | . |
| *Bromus diandrus* Roth | 1.1 | 1.1 | . | + | . | . | . | 3.3 | 1.1 | 2.2 | . | + | . |
| *Carlina salicifolia* Cav. | . | . | . | . | . | 1.1 | . | . | + | . | . | . | . |
| *Cheilanthes catanensis* (Cosent.) H.P. Fuchs | . | . | + | + | + | . | . | . | . | . | . | . | . |
| *Chenopodium murale* L. | . | . | . | . | . | . | . | + | . | . | . | . | . |
| *Cistus monspeliensis* L. | . | . | 2.2 | . | . | . | . | . | 2.2 | 2.2 | . | . | . |
| *Cuscuta planiflora* Ten. | . | . | . | . | . | + | . | . | . | . | . | . | + |
| *Davallia canariensis* (L.) Sm. | . | . | . | + | . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| *Drusa glandulosa* (Poir.) H. Wolf ex Engl. | . | . | . | . | + | . | . | . | . | . | . | . | + |
| *Echium hierrense* Webb ex Bolle | . | . | . | + | . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| *Echium plantagineum* L. | . | . | . | + | . | . | . | + | . | 1.1 | 1.1 | 1.1 | . |
| *Erodium cicutarium* (L.) L'her. subsp. *cicutarium* | + | + | . | . | . | . | . | 1.1 | . | . | . | . | . |
| *Eruca vesicaria* (L.) Cav. subsp. *vesicaria* | + | . | . | . | . | . | . | + | . | . | . | . | . |
| *Euphorbia balsamifera* Ait. | . | . | 2.3 | . | . | 1.1 | 1.1 | 1.2 | 1.2 | . | . | . | . |
| *Euphorbia lamarckii* Sweet subsp. *wildpretii* (Molero & Rovira) Rivas-Mart. & Gaisberg | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | 2.2 | 2.2 |
| *Galium parisiense* L. | . | + | . | . | . | . | . | . | . | . | . | + | . |
| *Geranium rotundifolium* L. | . | . | . | . | . | . | . | + | . | . | . | . | + |
| *Hyparrhenia sinaica* (Delile) Llaurado ex G. Lopez | . | . | . | 1.1 | . | . | . | . | . | . | 2.2 | 3.3 | . |
| *Ifloga spicata* (Forskal) Schultz Bip. subsp. *spicata* | . | . | . | . | . | + | . | . | + | . | + | . | . |
| *Juniperus turbinata* Guss. | 2.3 | 2.3 | 2.2 | 3.4 | 2.2 | 2.2 | 2.3 | 3.3 | 3.3 | 1.2 | 1.2 | 2.2 | 2.3 |
| *Kleinia neriifolia* Haw. | + | . | 1.1 | . | 2.3 | 1.2 | . | . | . | . | . | . | 1.1 |
| *Lagurus ovatus* L. | + | + | . | . | . | . | . | + | 1.1 | 1.1 | . | . | . |
| *Lathyrus articulatus* L. | . | + | . | . | + | . | . | . | . | . | . | . | . |
| *Leontodon taraxacoides* (Vill.) Merat subsp. *taraxacoides* | + | . | . | . | + | . | . | + | + | . | . | + | . |
| *Lobularia canariensis* (DC.) L. Borgen subsp. *intermedia* (Webb) L. Borgen | . | . | . | . | . | + | + | . | + | . | . | . | . |
| *Matthiola incana* (L.) R. Br. subsp. *incana* | + | 1.1 | . | . | . | + | + | . | . | 1.1 | . | . | . |
| *Micromeria hyssopifolia* Webb & Berthel. | 2.3 | 1.2 | 1.1 | 2.3 | + | 1.1 | . | + | + | 3.3 | 2.2 | 3.3 | + |
| *Misopates orontium* (L.) Rafin. | . | . | . | . | . | + | . | . | . | . | . | . | . |
| *Ononis dentata* Solander ex Lowe | . | + | . | . | . | + | . | . | . | . | . | . | . |
| *Paronychia canariensis* (L.f.) Juss | 1.1 | . | . | . | . | . | . | . | 2.2 | . | . | . | . |
| *Pericallis murrayi* (Bornm.) B. Nord. | . | . | . | . | . | + | . | . | . | . | . | . | . |
| *Periploca laevigata* Aiton subsp. *laevigata* | . | . | . | . | + | 1.2 | 2.3 | . | . | . | . | . | . |
| *Petrorhagia nanteuilii* (Burnat) P.W. Ball & Heywood | . | . | . | + | . | . | . | . | . | . | 1.1 | + | . |
| *Phagnalon umbelliforme* DC. | . | . | . | . | . | + | . | . | . | . | . | . | + |
| *Plantago lagopus* L. | + | 1.1 | + | . | . | + | . | 1.2 | . | + | . | . | . |
| *Polycarpaea divaricata* (Aiton) Poir. | 1.1 | . | + | . | . | . | . | . | + | + | + | . | + |
| *Polycarpon tetraphyllum* (L.) L. | . | . | . | . | + | + | . | . | . | . | . | . | . |
| *Psoralea bituminosa* L. | 1.1 | 1.1 | . | . | 2.2 | 2.2 | 2.2 | 2.3 | 1.1 | 1.2 | . | . | . |
| *Rubia fruticosa* Ait. | 1.1 | . | 1.2 | . | 2.2 | 1.2 | . | 1.2 | 1.2 | 1.1 | . | . | 1.1 |
| *Rumex bucephalophorus* L. subsp. *canariensis* (Steinh.) Rech. f. | . | . | . | . | + | + | . | . | + | . | . | . | . |
| *Rumex lunaria* L. | . | . | . | . | 1.1 | 1.1 | 1.1 | . | . | . | . | . | . |
| *Sagina apetala* Ard. subsp. *apetala* | . | . | . | . | + | + | . | . | . | . | . | . | . |
| *Schizogyne sericea* DC. | . | . | 3.3 | + | 1.2 | 1.2 | . | . | . | 1.2 | . | 1.1 | 4.4 |
| *Senecio incrassatus* Lowe | . | . | . | . | . | . | 2.2 | . | + | 1.2 | . | . | . |
| *Silene gallica* L. | 1.1 | 1.1 | . | . | . | + | . | 1.1 | . | . | . | + | . |
| *Sisymbrium erysimoides* Desf. | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | + |
| *Sonchus hierrensis* (Pit.) Boulos | . | 2.2 | 1.1 | . | + | 1.1 | . | . | + | . | . | . | . |
| *Stachys arvensis* (L.) L. | . | . | . | . | + | . | . | . | . | . | . | . | . |
| *Stipa capensis* Thunb. | . | . | + | + | . | . | . | . | . | . | 1.2 | 1.2 | . |
| *Trifolium angustifolium* L. | 1.1 | 1.1 | . | . | . | . | . | . | 1.1 | . | . | . | . |
| *Trifolium arvense* L. | 1.1 | 1.1 | . | 1.1 | + | . | . | . | + | 2.2 | 1.1 | 1.1 | . |
| *Trifolium campestre* Schreber | 1.1 | 1.1 | . | . | + | . | . | + | 1.1 | 1.2 | . | 1.1 | . |
| *Trifolium scabrum* L. subsp. *scabrum* | 1.1 | . | . | + | . | + | . | + | + | 1.1 | 1.1 | 1.1 | . |
| *Tuberaria guttata* (L.) Fourr. | 1.1 | 1.1 | . | . | . | . | . | . | 1.1 | 1.1 | . | 1.1 | . |
| *Urtica urens* L. | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | + |
| *Vicia angustifolia* L. | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | + | + | . |
| *Vicia cirrhosa* C. Sm. ex Webb & Berthel | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| *Vicia lutea* L. subsp. *lutea* | + | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| *Vulpia myuros* (L.) C.C. Gmelin | . | . | . | . | . | . | + | . | 1.1 | . | . | 1.1 | . |
| *Wahlenbergia lobelioides* (L. f.) Link subsp. *lobelioides* | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | + |

| P_18 [14] | P_19 [15] | P_20 [16] | P_21 [17] | P_22 [18] | P_23 [19] | P_24 [20] | P_25 [21] | P_26 [22] | P_27 [23] | P_28 [24] | [Syn] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | I |
| . | . | . | . | . | . | . | . | . | 1.1 | + | I |
| + | . | . | . | . | + | + | + | + | . | . | III |
| . | . | . | . | . | . | . | . | + | . | . | I |
| . | . | . | . | . | . | . | + | + | + | . | I |
| . | 1.1 | . | . | + | . | . | . | . | . | . | II |
| + | . | . | . | + | . | . | . | . | . | . | II |
| + | . | . | + | . | . | . | . | . | . | 1.1 | II |
| . | . | . | . | . | 1.2 | 1.1 | . | . | . | . | I |
| . | . | + | . | . | + | . | + | + | . | . | III |
| . | . | + | . | . | . | . | 1.1 | + | . | . | III |
| . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | 1.2 | I |
| . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | I |
| + | + | . | . | . | . | . | + | . | . | . | I |
| 1.1 | 1.1 | 3.3 | 3.3 | 2.3 | . | . | . | . | . | 1.2 | II |
| + | . | . | . | . | . | . | . | . | . | + | I |
| . | . | . | . | . | . | . | . | . | + | 1.2 | I |
| + | . | . | + | 1.1 | . | . | . | . | . | . | II |
| . | . | + | . | + | 1.2 | . | . | . | . | . | I |
| . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | II |
| . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | I |
| . | . | . | . | . | . | . | + | . | . | . | I |
| . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | II |
| 2.2 | 2.2 | 1.1 | 1.1 | 1.1 | . | . | + | . | II | | |
| . | . | . | . | . | . | + | . | + | . | . | I |
| + | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | I |
| . | . | . | . | . | 1.1 | 3.4 | . | . | . | . | II |
| . | . | . | . | . | + | . | . | . | . | . | I |
| 4.4 | 4.4 | 4.4 | 4.4 | 3.4 | 2.3 | 2.3 | 2.2 | 2.3 | 1.2 | 2.3 | V |
| 1.1 | 2.2 | + | 2.2 | 2.2 | . | . | . | . | 1.1 | + | III |
| . | . | . | . | . | . | . | 1.1 | 1.1 | . | . | II |
| . | . | . | . | . | . | . | . | . | + | . | I |
| . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | II |
| + | 1.1 | + | . | + | . | + | . | . | 1.1 | . | II |
| . | . | . | . | . | . | . | . | + | . | . | II |
| . | + | . | . | + | 3.4 | . | 3.3 | 2.2 | 1.2 | + | IV |
| + | . | . | . | . | . | + | + | . | + | . | II |
| . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | + | I |
| . | . | . | + | . | + | . | . | + | . | . | II |
| . | + | + | . | 1.2 | . | . | + | + | 1.1 | . | II |
| . | . | . | . | . | . | . | . | . | 1.1 | + | II |
| . | . | . | . | . | + | + | . | . | . | . | II |
| + | . | . | . | . | + | + | . | . | . | + | II |
| + | . | + | . | . | . | . | + | + | . | . | III |
| . | . | . | . | . | . | . | . | . | 1.2 | . | II |
| + | . | . | . | . | . | . | . | . | + | . | I |
| . | . | . | . | . | . | . | 1.1 | 1.1 | 1.1 | 1.1 | III |
| 1.1 | 3.3 | 2.2 | 1.2 | 1.1 | . | . | 1.1 | . | 1.1 | 2.2 | IV |
| . | . | . | . | . | . | . | . | . | 1.1 | . | I |
| . | + | 1.1 | . | . | . | . | . | . | 1.1 | 1.1 | II |
| . | . | + | . | . | . | . | . | . | . | . | I |
| 2.2 | . | . | + | . | . | . | . | . | + | . | III |
| . | . | . | + | + | . | . | . | . | . | . | II |
| + | . | . | . | . | + | + | + | 1.1 | 1.1 | . | III |
| + | . | . | + | . | . | . | . | . | . | . | I |
| . | + | + | . | . | . | . | . | + | 1.1 | 1.1 | III |
| . | . | . | . | . | + | + | + | + | + | . | II |
| . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | I |
| . | . | . | . | . | . | + | . | . | . | . | I |
| . | . | . | . | + | + | 1.1 | . | . | 1.1 | . | III |
| . | . | . | . | . | . | 1.1 | + | . | + | + | III |
| . | . | . | . | . | . | + | . | . | . | . | II |
| . | . | . | . | . | + | . | . | + | . | . | II |
| + | + | . | + | 1.1 | . | . | . | . | . | . | II |
| . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | + | I |
| . | + | . | + | + | . | + | + | . | . | . | II |
| . | . | . | . | . | . | . | + | + | . | + | I |
| + | . | . | . | . | + | . | . | + | . | . | II |
| + | + | . | + | + | . | + | + | . | 2.2 | . | II |

Taxons with constancy lower than 3:

*Aeonium hierrense* (RP Murray) Pit & Proust in 23(+) 24(+)
*Allium subvillosum* Salzm. ex Schultes & Schultes fil. in 24(+)
*Androcymbium hierrense* A. Santos in 9(+)
*Andryala pinnatifida* Ait. in 1(+) 9(+)
*Anthoxanthum aristatum* Boiss. subsp. *aristatum* in 2(1.1) 24(+)
*Asparagus umbellatus* Link in 24(+)
*Asterolinon linum-stellatum* (L.) Duby in 2(+)
*Bidens pilosa* L. in 22(+)
*Briza maxima* L. in 1(+) 2(1.1)
*Calendula arvensis* L. in 21(+)
*Carduus baeocephalus* Webb subsp. *microstigma* Gaisberg & Wagenitz in 17(+) 18(+)
*Ceballosia fruticosa* (L. f.) G. Kunkel in 13(1.1)
*Centaurium tenuiflorum* (Hoffmanns. & Link) Fritsch subsp. *tenuiflorum* in 10(+) 20(+)
*Cerastium glomeratum* Thuill. in 24(+)
*Convolvulus althaeoides* L. subsp. *althaeoides* in 21(+)
*Cosentinia vellea* (Aiton) Tod. in 11(+) 12(+)
*Crassula tillaea* Lester-Garland in 17(+) 22(+)
*Crepis foetida* L. subsp. *foetida* in 2(+) 7(+)
*Ebingeria elegans* (Lowe) Chrtek. & Krisa in 2(1.1) 24(1.1)
*Echium aculeatum* Poir. in 21(+) 22(+)
*Erica arborea* L. in 24(+)
*Erodium botrys* (Cav.) Bertol. in 14(+) 21(+)
*Erodium chium* (L.) Willd. subsp. *chium* in 22(+)
*Erysimum bicolor* (Hornem.) DC. in 23(+)
*Foeniculum vulgare* Mill. subsp. *vulgare* in 24(+)
*Galium aparine* L. in 24(+)
*Geranium purpureum* Vill. in 24(+)
*Gnaphalium luteo-album* L. in 4(+) 5(+)
*Habenaria tridactylites* Lindl. in 24(+)
*Hippocrepis multisiliquosa* L. in 11(+) 21(+)
*Hirschfeldia incana* (L.) Lagreze-Fossat in 1(+) 21(+)
*Hypericum canariense* L. in 23(2.2) 24(2.3)
*Hypochoeris glabra* L. in 20(+) 22(+)
*Lamarckia aurea* (L.) Moench in 23(+)
*Lathyrus tingitanus* L. in 7(+)
*Limonium pectinatum* var. *solandri* (Webb & Bertel.) Kuntze in 13(+)
*Lolium canariense* Steud. in 8(1.1) 22(+)
*Lotus sessilifolius* DC. in 7(1.1)
*Marrubium vulgare* L. in 22(+)
*Mercurialis canariensis* Obbard & S.A. Harris in 21(+)
*Nicotiana glauca* R.C. Graham in 18(+)
*Orobanche minor* Sm. in 2(+)
*Parietaria debilis* Forster fil. in 17(+) 18(+)
*Pinus canariensis* Sweet ex Sprengel in 12(1.2) 20(+)
*Plantago afra* L. in 3(+) 14(+)
*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn in 23(1.2)
*Reichardia ligulata* (Vent.) G.Kunkel & Sunding in 6(+) 23(+)
*Rumex angiocarpus* Murb. in 23(+)
*Scandix pecten-veneris* L. subsp. *pecten-veneris* in 22(+)
*Selaginella denticulata* (L.) Link in 24(2.3)
*Senecio teneriffae* Sch. Bip. ex Bolle in 21(+)
*Sherardia arvensis* L. in 2(+)
*Silene vulgaris* (Moench) Garcke in 22(+) 24(+)
*Solanum nigrum* L. subsp. *nigrum* in 8(+)
*Sonchus oleraceus* L. in 15(1.1)
*Sonchus tenerrimus* L. in 8(+) 21(+)
*Stellaria media* (L.) Vill. subsp. *media* in 22(+)
*Tolpis umbellata* Bertol. in 12(+)
*Trifolium glomeratum* L. in 21(+) 22(+)
*Trifolium pratense* L. in 1(1.1)
*Trifolium subterraneum* L. in 8(+)
*Umbilicus horizontalis* (Guss.) DC. in 14(+) 18(+)

***Figure 2 – Chorology of the taxa living in the juniper woodlands. Mac.: endemic from Macaronesia floristic biogeographic region as defined by Tahtajan (1986); endem.: endemic from Canary Isles, Madeira Islands; CV: Cape Verd Isles; Med.: Mediterranean floristic biogeographic region as defined by Tahtajan (1986); Introd.: introduced; Plurireg.: pluriregional.***

***Figure 3 – Life forms of the taxa living in the juniper woodlands. (Ch: chamaephytes; G: geophytes; Hm: Hemicryptophytes; liana: lianas; NP: nanophanerophytes; peren.: perennifolious; Ph and P: Phanerophytes; suc.: succulent; Th: Therophytes).***

total 550 taxa found on the island (Stierstorfer & von Gaisberg 2006) have been detected in these juniper woodlands.

The associated flora of these juniper woodlands makes up 30.6% of the endemic taxa from the Macaronesian floristic region, such as defined by Tahktajan (1986), of which 22.1% are Canary island endemics, 4.6% are endemics from the Canary and Madeira archipelagos, 3.1% are endemics from El Hierro, and 0.8% endemics from the Canary Isles, Madeira and Cape Verde (Figure 2). A second group of taxa is formed by species of a pluriregional distribution, with a 30.5% representation. The Mediterranean taxa are represented by a further 28.2%. Another portion, 7.6%, is made up of plants living in the Mediterranean and Macaronesia. In final place, the allochtonous taxa growing in the juniper woodlands are reduced to a mere 2.3%.

The biodiversity analysis, using cluster analyses UPGMA method and Chord coefficient for the different studied plots, reflects a great affinity between the plots located in the low areas, on the one hand, and those located in the more elevated areas on the other. From these latter ones we can distinguish the plots located in wetter environmental conditions, near the laurel forest (plots P_05, P_13; P_14), from those located near the Canary pine *Pinus canariensis* (plots P_08, P_15; P_16), zone, in drier environmental conditions. There also exist differences between the plots located on northern exposed slopes (“*barlovento”* in Spanish), which receive the influence of the wet winds (air masses a of a very humid nature) and the plots located on southern sheltered slopes “*sotavento*”, where the descending air is drier.

The number of species on the studied plots oscillates between 14 and 33 taxa. We have observed two maximums in the decreasing number as the altitude descends; one between 200 and 400 m above sea level, and another between 500 and 800 m. The slope does not seem to greatly affect the number of species, but orientation, however, has a great influence. The highest biodiversity is observed on the plots with a N and NNE aspect, which have a correlation with the northern winds “*alisos*” (“alisios” in Spanish). These winds model the aerodynamic forms of the adult individuals sampled (Salvà-Catarineu & Romo 2008). A second block, with remarkable but slightly less biodiversity, is observed

in the plots with a south-facing aspect. No stands of juniper woodland have been observed on the E or SW aspects (Figure 4).

The dendrogram reflects the affinity between the dry juniper woodlands from the lowlands and the others situated in more elevated stations (Figure 5). From these we can differentiate those situated in moister conditions, which enter in contact with laurel forests on one hand, and those in close proximity with the *Pinus canariensis* forest, on the other.

## Discussion

The obtained results are comparable to the results provided by Fernández Palacios *et al.* (2008) for Tenerife and La Gomera islands. But their approach was somewhat different, and therefore their results, in particular for the island of Tenerife, because the therophytes were not taken into account.

Bearing this in mind, when it comes to introduced plants, Fernández Palacios *et al.* (loc. cit.) give an amount of 14%, as opposed to our 2.3%. This lower value can be explained by the much reduced anthropic impact on the natural vegetation of El Hierro and by the presence of a lower number of habitats opened to invasive plants on this island.

The globally widespread species, that is, the pluriregional ones, make up 29% in Fernández Palacios *et al.*'s survey, and we have found a similar value 30.5%, for El Hierro.

These authors detected 48% of macaronesian endemics, whereas we found only 31%. Finally Fernández Palacios *et al.* gave an amount superior to 20% for the Canary endemics, as opposed to the 25.2% detected by us. All these values could be explained by the reduced surface of El Hierro, as compared with Tenerife (2.034 km$^2$).

In relation to the life forms, the elevated number of therophytes here is remarkable (Figure 3). These make up more than a half of the species (56%). There is a lack of comparable data from other Canary islands, since the annuals were not studied by these authors. Nevertheless, this elevated number of annuals can be explained by the structure of this plant community, which is formed by woodland patches that contain gaps, with a very shallow soil, in which only therophytes can grow.

*Figure 4 – Relation between number of taxa and aspect.*

*Figure 5 – Dendrogram that reflects the floristic affinities between the plots studied. Cluster analyses using UPGMA method and Chord coefficient. P_05 to P_14 are wet Canarian juniper woodlands from el Golfo area; P_08 to P_06 are dry Canarian juniper woodlands from el Julán area; P_07 to P_10 are dry Canarian juniper woodlands from the Sabinosa area; P_11 to P_27 are dry Canarian juniper woodlands from the El Sabinar area. To see the correspondence between code plots and relevées see Table 1.*

The phanerophytes, including the different nanophanerophytes, constitute a 52.34%, and the chamaephytes a 20.9% (the therophytes have been eliminated in order to compare our data with that of Fernández Palacios *et al.* [loc. cit.]). In other words, woody plants represent 73.24% of the total and perennial non-woody species make up 26.76% of the total. Together, greater values are obtained for the studied plots on El Hierro. This can be explained by the better state of conservation of the natural vegetation on this small island.

Concerning the number of species (Table 1), and taking into account the fact that in Fernández Palacios *et al.* the plots were of 314 $m^2$ and our plots are of 200 $m^2$, the number of taxa oscillates between 14 and 33 obtained by us and 9-41 by Fernández Palacios *et al.* This difference is considered to be of little significance. Prior to this, Gaisberg (2005) obtained between 9 and 49 taxa for plots whose surface oscillated between 10-20 $m^2$, del Arco *et al.* (1996) recorded a range of 4-21 taxa for plots of 100 $m^2$, and Hernández (1987) obtained between 4 and 8 species for plots that had between 25 and 100 $m^2$ of surface area.

## Conclusion

The juniper woodlands from El Hierro island exhibit a high degree of biodiversity. This phytodiversity richness seems more related to the physical properties of the sampled localities than to general environmental conditions (Salvà-Catarineu *et al.* 2012). These results are congruent with the ones obtained by Box & Fujiwara (2011) working on North American vegetation.

These open woodlands should be considered as hotspots within the greater hotspot of the Canary islands. Within them, Salvà-Catarineu & Romo (2008) observed practically no regeneration, and therefore we conclude that measures to preserve and manage them should be urgently drawn up.

The protection of areas within El Hierro such as the "Parque Rural de Frontera and La Reserva Integral de Mencafate", that are SCI (Sites of Community Importance, as defined by the European Commission Habitat Directive, 92/43/EEC) which contain Canarian juniper formations, is a welcome measure that reinforces the need for new studies on this type of open woodland dynamics.

Moreover, in our opinion, these dry woodlands – located in an Oceanic archipelago – are especially sensitive to climatic change, which in itself justifies the establishment of study programmes based on changes in their biodiversity over an extended period of time.

## Acknowledgements

To the Island authorities "Cabildo Insular del Hierro", for facilitating access to protected areas such as the Reserva de Mencáfate and the Julán. Especially to Claribel González and Miguel Angel Rodríguez. who helped improve information and documentation for these areas. Also to Montse Granados and Quirina Linares for their help during the fieldwork. This project was funded by Ministerio de Ciencia e Innovación-Spain (CSO2011-24425) and from our own resources. Two anonymous contributers have improved this paper with their criticism and advice.

## References

Blondel J., Aronson J., Bodiu J.Y. & Boeuf G., 2010. *The Mediterranean Region: biodiversity in space and time*. Oxford, Oxford University Press, 376 p.

Box E.O. & Fujiwara K., 2011. Sorting plots not taxa for studying vegetation structure and plant species richness. *Plant Biosystems* 145: 46-53.

Braun-Blanquet J., 1979. *Fitosociología*. Madrid, Ed. Blume, 820 p.

De Cáceres M, Font X., García R. & Oliva F., 2003. *B-VegAna, un paquete de programas para la gestión y análisis de datos ecológicos*. VII Congreso Nacional de la Asociación Española de Ecología Terrestre. Barcelona, Julio, 2003 : 1484-1497.

Del Arco M., Acebes J.R. & Pérez de Paz P.L., 1996. Bioclimatology and climatophilous vegetation of the island of Hierro (Canary Islands). *Phytocoenologia* 26: 445-479.

Fernández Palacios J.M., Otto R., Delgado J.D., Arévalo J.R., Naranjo A., González-Artiles F., Morici C., Barone R., 2008. *Los bosques termófilos de Canarias*. Excmo. Cabildo Insular de Tenerife, Santa Cruz de Tenerife, 192 p.

Fuster J.M., Herrán F., Cendrero A., Coello J., Cantagrel J.M., Ancochea E. & Ibarrola E., 1993. Geocronología de la isla de el Hierro (Islas Canarias). *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. Sec. Geol*. 88 : 85-97.

Hernández C., 1987. Flora y vegetación liquénica epifítica de los sabinares Herreños. *Bibliotheca Lichenologica*, 27. Berlin-Stuttgart, J. Cramer, 260 p.

Médail F. & Quézel P., 1999. Biodiversity hotspots in the Mediterranean Basin. Setting global Conservation Priorities. *Conservation Biology* 13: 1510-1513.

Myers N., Mittermeier R.A., Fonsecay G.A.G. da & Kent J., 2000. Biodiversity hotspots for conservation prioriries. *Nature* 403: 835-858.

Nogales N., Padrón B., Padilla D.P. & Nieves C., 2009. Germination patterns throughout an insular altitudinal gradient: The case of the Macaronesian endemic plant *Rubia fruticosa* Ait. (Rubiaceae) in El Hierro (Canary Islands). *Flora* 204: 543-548.

Otto R., Krüsi B.O., Schaffner S., Meuwly P., Delgado J.D., Arévalo J.R. & Fernández-Palacios J.M., 2006. Ecología, estructura y dinámica de las poblaciones de la sabina canaria (*Juniperus turbinata* ssp. *canariensis*) en Tenerife y la Gomera. *In: Actas del III Colloquio Internacional Sobre los Sabinares y Enebrales (Género* Juniperus*): Ecología y Gestión Forestal Sostenible*, Soria, 24 a 26 de Mayo 2006, Tomo 1 : 151-159.

Salvà-Catarineu M. & Romo A., 2008. Uso de TIG para la conservación del sabinar de *Juniperus turbinata* subsp. *canariensis* en la isla de el Hierro. *In*: Hernández L. & Parreño J.M. (eds), *Tecnologías de la información geográfica para el desarrollo territorial*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC, Las Palmas de Gran Canaria : 766-776.

Salvà-Catarineu M., Romo A. & Salvador Franch F., 2012. « Estructura de edad y biodiversidad de los sabinares de Juniperus turbinata Guss. en El Hierro (Islas Canarias) ». *In*: Cunill R., Pèlacs A., Pérez-Obiol R. & Soriano J.M. (eds), *Las zonas de montaña: gestión y biodiversidad*. Sant Pere de Ribes, Ed. Falcó : 40-45.

Santos A., 1980. *Contribución a la flora y a la vegetación de la isla de El Hierro (Islas Canarias)*. Fundación Juan March, Serie Universitaria 114, Madrid, 51 p.

Stierstorfer C. & von Gaisberg M., 2006. Annotated check-list and distribution of the vascular plants of El Hierro, Canary Islands, Spain. *Englera* 27: 1-221.

Takhtajan A., 1986. *Floristic regions of the world*. University of California Press, Berkeley, California, 522 p.

Von Gaisberg M., 2005. Die vegetation der Fussstufe von El Hierro (Kanarischen Inseln). *Dissertationes Botanicae* 395: 1-364.

# Contribution à l'amélioration de la germination chez une endémique forestière du Maroc, le cyprès de l'Atlas

## *Contribution to the improvement of germination among a forest endemic of Morocco, the Atlas cypress*

Y. ARJOUNI[1,4], M. A. EL ALAOUI EL FELS[1,2], S. EL MERCHT[3], A. ABOU SY[1], F. EL WAHIDI[3], A. ROMANE[4], A. ROQUES[5] & A. YART[5]

1. Muséum d'histoire naturelle de Marrakech, Université Cadi Ayyad, Marrakech, Maroc
2. Laboratoire de biotechnologies, biochimie, valorisation et protection des plantes, Université Cadi Ayyad, Marrakech, Maroc
3. Centre régional de la recherche forestière, Marrakech, Maroc
4. Laboratoire de chimie organique appliquée, Université Cadi Ayyad, Marrakech, Maroc
5. INRA UR 633, Zoologie forestière, Orléans, France

**Résumé**

*La cupressacée à* Cupressus atlantica*, qui abrite une diversité biologique originale, joue un rôle socio-économique et écologique important. Cependant, ces formations, souvent présteppiques, sont soumises à des pressions croissantes d'origine principalement antropique. En outre, d'autres facteurs tels que la sécheresse, l'absence de régénération ou encore les ravageurs des cônes et des graines, menacent à terme l'avenir du cyprès de l'Atlas.*

*Actuellement, les services forestiers marocains adoptent des orientations qui consistent à utiliser de plus en plus des espèces autochtones, notamment le Cyprès atlasique, dans les programmes de reboisement. Ainsi, il est très important de maîtriser l'itinéraire technique de production des plants de qualité. Cela nécessite une intensification des efforts en matière de recherche pour améliorer les connaissances des différentes étapes de ce processus, depuis la collecte des semences jusqu'à l'acclimatation des plants en passant par le stockage et la germination des graines.*

*La présente étude vise à apporter une contribution concernant le comportement germinatif de ce conifère. En premier lieu, plusieurs traitements de prégermination (traitement chimique, traitement par l'eau à différentes températures, traitement mécanique qui consiste à frotter les graines avec du papier à sable) ont été expérimentés afin d'améliorer la germination par la levée de la dormance des graines. Les résultats relatifs à ces prétraitements ont montré que ces derniers jouent un rôle primordial dans la levée de la dormance et améliorent par conséquence la germination. En effet, les taux de germination les plus élevés 67,77 % et 75,55 % ont été enregistrés respectivement au niveau des graines traitées avec de l'eau chaude (60 °C) et par la scarification mécanique. Le traitement avec de l'acide sulfurique concentré a conduit à des taux de germination très faibles voire nuls, contrairement à ce qui a été observé chez d'autres espèces forestières et à ce qui avait été précédemment reporté chez le Cyprès atlasique.*

C. atlantica *possèdent une dormance physique attribuée au tégument dur, qui peut entraver la régénération naturelle. La scarification mécanique et l'eau chaude (60 °C) sont les traitements les plus efficaces pour améliorer la germination des graines du* C. atlantica*. Le stress hydrique et le stress salin ont un effet inhibiteur sur la germination des graines du cyprès de l'Atlas.*

*Ces résultats, concernant la germination, premier maillon de l'opération de reboisement, peuvent contribuer à la restauration des espaces dégradés et la réhabilitation des écosystèmes aride et semi-aride.*

**Mots clés :** *Cupressus atlantica*, germination, scarification.

**Abstract**

*The Cupressaceae* Cupressus atlantica *(Gaussen 1950), which shows a unique biological diversity, plays an important socio-economic and ecolog-*

**Keywords:** Atlas cypress, germination, scarification.

*ical role. However, these courses often presteppic are under increasing pressures mainly antropic origin which, with other factors such as dryness or pests of cones and seeds, eventually threatening the future of Atlas cypress.*

*Currently, Moroccan forestry adopt guidelines that are to use more native species, including the Atlas cypress in reforestation programs. Thus, it is very important to master the technical route of production of seed quality. This requires increased efforts in research to improve knowledge of the various stages of this process, from seed collection to the acclimatization of plants through storage and seed germination*

*To address this problem, it is very important to understand and control the technical route of seed quality production. This requires increased efforts in research to improve knowledge about various stages of this process, from seed collection to the acclimation of young plants through the collection/storage and seed germination.*

*This study aims to investigate the germination patterns of this conifer. First, several pretreatment techniques have been applied to improve the germination by removing the seed embryo dormancy.*

*Relating to the treatments of germinations, the result obtained with sulfuric acid showed very low germination rates or zero for concentrations of 50, 70 and 80%, contrary to what was quoted by Bechir (2004) at the Atlas cypress. These data also disagree with the results found by Zine El Abidine (2003) at the red juniper. The germination rate decreases significantly with increasing the concentration of sulfuric acid and also due to an increase of the temperature of the water. Similar observations were reported for other species such as* Acacia farnesiana *(FAO, 1992). It seems that mechanical scarification and the treatment the warm water (60 °C) induce germination much earlier than the witness. The same results were observed at several species such as* Acacia nilotica, Cassia fistula *and* Acacia farnesiana *(FAO 1992).*

*At the Atlas cypress, our results showed a decrease in germination according to the increase of water stress expressed by a rise in the concentration of PEG 6000. These results are consistent with what has been observed in other conifers such as* Cedrus libani *(Dirik 1999),* Pinus halepensis *and* Pinus brutia *(Calamassi* et al. *1980; Thanos & Skordilis 1987). Note that for this salt stress decreased germination rate as a function of salt stress is more remarkable (Figure 3). Moreover, to water stress, the tendency is almost the same as that observed in the salt stress. However, the delay of germination is less pronounced than in the salt stress (Figure 5). In general, the germination rate decreases significantly with increasing water stress. Similar results were recorded in several species such as cedar of Lebanon (*Cedrus libani*) (Dirik 1999).*

*The results presented in this work have shown the undeniable effect of mechanical scarification and hot water on seed germination of Atlas cypress. In addition, water stress and salt stress, expressed by the increase in polyethylene glycol (PEG 6000) and NaCl, have a depressive effect on seed germination of this endemic conifer studied, at least at the origin of Aghbar.*

## Introduction

Le cyprès de l'Atlas (*Cupressus atlantica*), « Sirow » Al Atlas en arabe, « Blinz » en arabe local ou encore « Imjed » en amazigh pour les tribus qui vivent dans la région où s'individualise ce conifère endémique. L'espèce, décrite pour la première fois en 1921 par Watier (Alifriqui 1995) dans la vallée de l'oued N'Fiss au sud de Marrakech, a été confondue avec le Cyprès vert (Cupressus *sempervirens* L.). Mais, c'est en 1950 que Gaussen donne à ce conifère natif le rang d'espèce et le nomme *Cupressus atlantica* Gaussen.

*Cupressus atlantica*, cantonné dans les monts de l'Atlas (Debazac 1977 ; Alifriqui 1992), se localise dans les zones les plus internes de cette chaîne montagneuse. Sa répartition est liée essentiellement aux conditions climatiques et géomorphologiques ; il s'individualise uniquement au niveau de la haute vallée du N'Fiss, région caractérisée par un climat lumineux, très contrasté (Alifriqui *et al*. 1992). L'aire naturelle de cette endémique forestière est comprise entre 30° 45' et 31° 5' de latitude nord et 8° 5' et 9° de longitude ouest et à une altitude entre 1 100 et 2 200 m. Dans ce périmètre réduit, la forêt reste la principale source d'énergie pour la population. En effet, le bois du cyprès de l'Atlas est utilisé généralement comme bois de chauffage, mais également comme bois de construction (portes, fenêtres, charpentes, etc.). Le feuillage est aussi utilisé comme fourrage pour le cheptel constitué principalement de caprins. On pratique, également, des massages du dos avec ce feuillage imbibé d'eau (El Alaoui El Fels 2007 ; El Alaoui El Fels & Alifriqui 2009). En outre, la décoction des cônes est employée, notamment dans cette vallée, comme antidiarrhéique et antihémorragique (Bellakhdar 1997).

Dans les années 1970, le Cyprès atlasique couvrait environ 7 000 ha au total, avec plusieurs populations relictuelles reconnues (Destremeau 1974), mais son aire a régressé très rapidement à moins de 1 500 ha (Ech-chamikh 1983 ; Barbero *et al*. 1990 ; Quézel 1991). *C. atlantica* est classé parmi les 17 espèces forestières mondiales dont le patrimoine génétique s'appauvrit (Fao 1976).

Afin de contrecarrer la dégradation des peuplements du Cyprès atlasique, qui sont souvent caractérisés par l'absence du sous-bois, l'érosion du sol et une régénération naturelle très limitée, il s'avère nécessaire d'amplifier les efforts en matière de recherche pour améliorer les connaissances des différentes étapes techniques dans la production des plants de qualité, depuis la collecte des cônes jusqu'à l'acclimatation des plants en passant par le stockage et notamment la germination des graines qui constitue un maillon important dans tout programme de reboisement. Ainsi, le présent travail vise à apporter une contribution concernant le comportement germinatif de ce conifère natif de la vallée de N'Fiss.

## Matériels et méthodes

### Collecte et stockage des graines

Les cônes ont été collectés pendant le mois d'août 2007 sur plusieurs arbres dans le peuplement d'Aghbar, provenance naturelle de la vallée de l'oued N'Fiss (tableau 1). Les semences ont été soumises à un test de viabilité selon le principe de flottaison dans l'eau (Willan 1992). Ainsi, les semences ont été placées dans un bécher contenant de l'eau. L'ensemble a été agité pendant 15 minutes puis nous l'avons laissé décanter pendant 5 minutes. Les graines pleines supposées viables se déposent au fond du bécher en fonction de leur poids, tandis que les graines vides flottent.

Les semences viables ont été désinfectées par trempage dans l'hypochlorite de Sodium (20 %) pendant 30 minutes. Après rinçage à l'eau distillée, les graines ont été soumises à une stratification pendant deux jours sous différentes températures (chaque jour 12 heurs à 4 ºC et les 12 autres heures à 18 ºC), (Bechir 2004). La stratification lève principalement la dormance embryonnaire des graines et améliore la germination (Tanaka 1984).

### Traitements de prégermination

Le phénomène de dormance est un ensemble de plusieurs barrières physiques et/ou physiologiques qui doivent être levées afin que la graine reprenne un métabolisme actif et puisse ainsi commencer le cycle de vie de la plante. Dans ce contexte, le semis est précédé de plusieurs prétraitements classés comme ainsi : un traitement chimique qui consiste au trempage des graines dans de l'acide sulfurique (d = 1.84, 95 %) à différentes dilutions dans de l'eau distillée (10, 30, 50, 70 et 80 %), pendant 15 minutes puis rinçage à l'eau distillée ; un traitement par l'eau effectué en trempant des graines dans de l'eau chauffée à deux températures (60 ºC et 100 ºC) pendant 15 minutes, technique susceptible d'accroître l'imbibition et améliorer les taux de germination ; un traitement mécanique qui consiste à frotter les graines avec du papier à sable. Un trempage des graines dans l'eau distillée à température normale est réalisé comme témoin.

Après avoir effectué les différents traitements, les graines sont placées dans des boîtes de pétri sur du papier-filtre imbibé de 10 ml d'eau distillée, à raison de 30 graines par boîte avec 3 répétitions par traitement puis placées dans un incubateur réglé à 20 ºC pendant un mois. Le contrôle de l'humidité et le comptage des graines germées ont été effectués tous les 2 jours. L'émergence de la radicelle de 1 mm de longueur est un signe de la germination des graines testées.

Les observations ont révélé pour chaque traitement le taux de germination journalier pendant les quatre semaines qui ont suivi les semis. À partir de ces observations ont été calculés les taux de germination et les vitesses moyennes de germination (TMG) :

$$T_{MG}\ (\text{jour}) = \sum (Gi \times Ji) / Gt$$

Avec : TMG = vitesse moyenne de germination
Gi = taux de germination du jour i
Ji = jour i : nombre de jours depuis le semis
Gt = nombre total des graines germées

**Tableau 1 – Données éco-géographiques de la station naturelle choisie de *Cupressus atlantica*.**
***Table 1 – Eco-geographical data of the selected natural area of* Cupressus atlantica.**

| Peuplement | Latitude nord | Longitude ouest | Altitude (m) | Exposition | Position | Climat |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Aghbar | 31º 18′ 521″ | 007º 57′ 44,8″ | 1 750 | S/SW | Bas versant | Semi-aride/froid |

### Test de germination sous stress salin et hydrique

Les graines, désinfectées et stratifiées, ont été scarifiées à l'aide d'un papier à sable. Rincées avec de l'eau distillée, les graines ont été placées dans des boîtes de pétri avec une large gamme de concentration en NaCl (0,01M, 0,015M, 0,02M, 0,04M, 0,06M et 0,08M) et polyéthylène glycol (PEG 6000) (20 g/l, 30 g/l, 40 g/l, 60 g/l, 80 g/l et 90 g/l). Pour chaque concentration, nous avons 3 répétitions à raison de 30 graines par boîte de pétri. L'ensemble a été placé pour incubation pendant 24 jours à une température de 20 °C.

## Résultats

### Traitements de prégermination

L'histogramme des taux de germination des différents traitements qui ont été effectués (figure 1) a montré qu'après 30 jours d'incubation à 20 °C la scarification mécanique se caractérise par le taux le plus élevé (75,55 %), suivi du traitement avec l'eau chaude à 60 °C (67,77 %). Les autres techniques ont montré des taux de germination inférieurs au témoin. Les graines traitées par de l'eau chaude à 100 °C et l'acide sulfurique 50 %, 70 % et 80 % n'ont pas pu germer.

Les traitements qui montrent un taux de germination très élevé diminuent considérablement le temps de germination des graines de cyprès de l'Atlas, notamment la scarification mécanique et le traitement à l'eau chaude (60 °C) qui induisent une germination beaucoup plus précoce que le témoin (figure 1). Le taux de germination moyen est de 60 % pour les graines traitées à l'eau chaude (60 °C) et par la scarification mécanique alors que pour le témoin ce taux n'est que de 50 %. Pour les autres traitements, le taux de germination reste inférieur à 30 %. Pour l'ensemble des traitements étudiés, le taux de germination se stabilise à partir du 26e jour.

### La germination sous stress salin et hydrique

Les résultats du pourcentage cumulé du taux de germination après 24 jours d'incubation ont montré que le cyprès de l'Atlas présente une grande sensibilité au stress salin et hydrique au moins au niveau de la germination. En effet, les taux de germination les plus élevés ont été enregistrés au niveau du témoin avec des valeurs de l'ordre de 73 % (figures 2 et 3). L'augmentation de la concentration de NaCl et du PEG 6000 induit une diminution du taux de germination pour les fortes concentrations.

Les résultats de la cinétique de germination sous stress salin après 24 jours d'incubation ont montré que la salinité a un effet dépressif sur la germination. En effet, les graines non stressées germent beaucoup plus vite que celles placées dans des solutions salines (figure 4). Le nombre de graines qui ont

**Figure 1 – Taux de germination (%) des graines de cyprès de l'Atlas en fonction des différents traitements (mécaniques, chimiques et physiques) incubées un mois à 20 °C.**

***Figure 1 – Percent of germination of Atlas cypress seeds according to the various treatments (mechanical, chemical and physical) incubated for one month at 20 °C.***

**Figure 2 – Pourcentage de germination (%) des graines de cyprès de l'Atlas en fonction des différentes concentrations de NaCl (T = 20 °C, 24 jours).**

***Figure 2 – Germination percent of seeds of Atlas cypress according to the various NaCl concentrations (T = 20 °C, 24 days).***

**Figure 3 – Pourcentage de germination (%) des graines de cyprès de l'Atlas en fonction des différentes concentrations du PEG 6000 (T = 20 °C, 24 jours).**

***Figure 3 – Rate of germination (%) of seeds of Atlas cypress according to the various concentrations of the PEG 6000 (T = 20 °C, 24 days).***

germées en fonction du temps diminue avec l'augmentation de la concentration du sel. Pour des concentrations de 0,06 et 0,08M de NaCl, la germination ne commence qu'à partir du 8e jour d'incubation.

Pour le stress hydrique, la tendance est presque la même que celle observée pour le stress salin. Cependant, le retard de germination est moins marqué que pour le stress salin (figure 5). Les germinations sont beaucoup plus précoces au niveau du témoin, alors que plus les concentrations du PEG 6000 augmentent, plus la germination est retardée. En général, le taux de germination diminue considérablement avec l'augmentation du stress hydrique.

**Figure 4 – Variation du pourcentage de germination (%) des graines du cyprès de l'Atlas en fonction du temps (jours) avec différentes concentrations de NaCl.**

***Figure 4 – Variation of the rate of germination (%) of seeds of the Atlas cypress according to time (days) with various NaCl concentrations.***

**Figure 5 – Variation du taux de germination (%) des graines du cyprès de l'Atlas en fonction du temps (jours) avec différentes concentrations de Peg 6000.**

***Figure 5 – Variation of the rate of germination (%) of seeds of the Atlas cypress according to time (days) with various concentrations of PEG 6000.***

## Discussion

Concernant les traitements de prégermination, le résultat obtenu avec de l'acide sulfurique a montré des taux de germination très faibles voire même nuls pour des concentrations de 50, 70 et 80 %, contrairement à ce qui a été cité par Bechir (2004). Nos données sont également en désaccord avec les résultats trouvés par Zine El Abidine (2003) chez le Genévrier rouge. On peut émettre l'hypothèse d'une lésion possible de l'embryon du cyprès de l'Atlas suite au trempage des graines dans de l'acide sulfurique concentré ou dans de l'eau très chaude, au moins pour les populations que nous avons étudiées. En effet, le taux de germination diminue d'une façon significative avec l'augmentation de la concentration de l'acide sulfurique et également suite à une augmentation de la température de l'eau. Des observations similaires ont été signalées pour *Casuarina equisetifolia* (Eze & Ahonsi 1993).

La scarification mécanique et le traitement à l'eau chaude (60 ºC) induisent une germination beaucoup plus précoce que le témoin. Des résultats similaires ont été signalés chez d'autres espèces forestières (Valbuena & Tarrega 1998 ; Patanè & Gresta 2006).

Chez le cyprès de l'Atlas, nos résultats ont montré une diminution de la germination en fonction de l'augmentation du stress hydrique exprimé par une élévation de la concentration du PEG 6000. Ces résultats sont en accord avec ce qui a été relevé chez d'autres conifères tels que *Cedrus libani* (Dirik 1999), *Pinus halepensis*, *P. brutia* (Calamassi *et al.* 1980 ; Thanos & Skordilis 1987) ou encore *P. resinosa* (Becker *et al*. 1987). Concernant la cinétique de germination sous stress salin après 24 jours d'incubation, nos résultats ont montré que la concentration de NaCl a un effet dépressif sur la germination. Le taux de germination diminue considérablement avec l'augmentation du stress hydrique. Des résultats similaires ont été obtenus chez le cèdre du Liban (Dirik 1999), le jojoba (Boulghalagh *et al.* 2006) et le *Leucaena leucocephala* (Benata *et al.* 2006). Par ailleurs, pour le stress hydrique, la tendance est presque la même que celle observée dans le stress salin. Cependant, le retard de germination est moins marqué que dans le cas du stress salin.

Les résultats présentés dans ce travail ont mis en évidence l'effet incontestable de la scarification mécanique et de l'eau chaude sur la germination des graines du Cyprès atlasique. En outre, le stress hydrique et le stress salin, exprimés par l'augmentation du polyéthylène glycol (PEG 6000) et du NaCl ont un effet inhibiteur sur la germination des graines du cyprès de l'Atlas, au moins au niveau de la provenance d'Aghbar.

Nonobstant, plusieurs questions de recherche restent posées pour mieux comprendre et améliorer la germination chez le Cyprès atlasique, spécialement l'étude de la germination des graines sur plusieurs populations notamment des sites semenciers.

## Remerciements

Nous sommes reconnaissants aux instances du PRAD (nº 08-10 EGIDE nº 16856YA), à l'Institut de protection des plantes Florence-Italie et à l'Association des amis du Muséum d'histoire naturelle de Marrakech, pour leur soutien à la réalisation de cette étude. Nous remercions également A. Tots (chef du secteur forestier d'Idni) pour sa collaboration.

## Acknowledgements

This work is part of the project Prad Nº 08/10 heading, underheme: "conservation and lasting management of a threatened species: the *Cupressus atlantica*".

We are grateful to the authorities of PRAD (Nº 08-10 EGIDE Nº 16856YA), the Institute of Plants Protection of Florence-Italy and the Association of the Natural History Museum-Marrakech, for their support the realization of this study. We also thank A. Tots (HCEFLCD, Idni) for his collaboration.

## Références

Alifriqui M., 1992. Place du Cyprès de l'Atlas (*Cupressus atlantica* Gaussen) dans les écosystèmes forestiers du Haut Atlas occidental (Maroc). *Actes des premières journées de l'Arbre*. Université Cadi Ayyad, Marrakech, p. 75-80.

Alifriqui M., 1995. La cupressaie endémique de *Cupressus atlantica* Gaussen, un espace présteppique de montagne menacée dans le Haut Atlas occidental marocain. *Colloque international BIO'MES 95*. 7e rencontre de l'ARPE, Digne-les-Bains, France, 25 et 26 octobre 1995 : 163-172.

Arjouni Y., Romane A., El Alaoui El Fels M. A., Boukir A., Romdhane M. Roques A. & Yart A., 2011.

Geographical Variations of the Essential Oils in Natural Populations of *Cupressus atlantica* Gaussen in High Atlas Mountains (Morocco). *Journal of Essential Oil Bearing Plants*. Har Krishan Bhalla & Sons. ISSN Print 0972-060X ISSN Online.

Barbero M, Quézel P. & Loisel R., 1990. Les apports de la phytoécologie dans l'interprétation des changements et perturbations induits par l'homme sur les écosystèmes forestiers méditerranéens. *Forêt méditerranéenne* 12 : 193-215.

Bechir A., 2004. *Évaluation de la variabilité génétique à l'aide des marqueurs adaptatifs et moléculaires du Cyprès de l'Atlas (*Cupressus atlantica *Gaussen) : impact sur la gestion des ressources génétiques endémiques et introduites (*Cupressus sempervirens *L. et* Cupressus arizonica *Green)*. Thèse doctorat ès science-biologie appliquée (spécialité : biodiversité et environnement). Université Ibn Zohr, Faculté des sciences Agadir, 113 p.

Becker C. A., Mroz G. D., Fuller L. G., 1987. The effects of plant moisture stress on red pine (*Pinus resinosa*) seedling growth and establishment. *Can. J. For. Res.* 17: 813-820.

Belkhadar J., 1997. *La pharmacopée marocaine traditionnelle*, Paris, Ibis press, 273 p.

Benata H., Berrichi A., Reda Tazi M., Abdelmoumen H. & Missbah El Idrissi M., 2006. Effet du stress salin sur la germination, la croissance et le developpement de trois espèces légumineuses : *Acacia tortilis* var. *raddiana*, *Leucaena leucocephala* et *Prosopis juliflora*. *Proceedings du Premier congrès national « Amélioration de la production agricole » Settat,* les 16 et 17 mars 2006.

Boulghalagh J., Berrichi A., El Halouani H. & Boukroute A., 2006. Effet des stress salin et hydrique sur la germination des graines du jojoba (*Simmondsia chinensis* [link] schneider). *Proceedings du Premier congrès national « Amélioration de la production agricole » Settat*, les 16 et 17 mars 2006.

Calamassi R., Falusi M. & Tocci A., 1980. Variazione geografica e resistenza a stress idrici in semi di *Pinus halepensis* Mill. *Pinus brutia* Ten. and *Pinus elderica* Medw. *Annali dell'Istituto Sperimentale per la Selvicoltura* XI: 195-230.

Debazac E. F., 1977. *Manuel des conifères*. Nancy, École nationale des eaux et forêts, 172 p.

Destremeau D. X., 1974. Précision sur les aires naturelles des principaux conifères marocaines en vue de l'individualisation des provenances. *Annales de la recherche forestière au Maroc* 14 : 5-28 et 67-76.

Dirik H., 1999. Effet du stress hydrique osmotique sur la germination des graines chez les provenances du Cèdre du Liban (*Cedrus Libani* A. Rich.) d'origine turque. *Ann. For. Sci.* 57 (2000) : 361-367. Inra, Edp Sciences.

Ech-chamikh S., 1983. *Productivité du thuya (*Tetraclinis articulata *vahl-Mast) et comportement du cyprès de l'Atlas (*Cupressus atlantica *Gaussen), dans le bassin versant du Nfis (Haut Atlas).* Mémoire de 3e cycle agronomie, option : eaux et forêts, Inst. Agro. Vétér. Hassan II, Rabat, 127 p.

El Alaoui El Fels M. A. & Alifriqui M., 2009. *Le Cyprès de l'Atlas. Jardins du Maroc Jardins du monde*. No 13, automne-hiver 2009 : 78-81.

El Alaoui El Fels M. A., 2007. Le Cyprès de l'Atlas : état des lieux et perspective. *Le Cyprès dans les pays Meda. MedCypre, projet interreg. pour renforcer la cohésion des peuples du Bassin méditerranéen*, Isbn 978-88-88228-19-8, 34 p.

Eze J. M. O., Ahonsi M. O., 1993. Improved germination of the seeds of whistling pine (*Casuarina equisetifolia*) Forst and Forst (*Casuarinaceae*) by various presowing treatments. *Agronomie* 13: 889-894. Food and Agriculture Organisation (1976). Fiches de renseignements.

Fao, 1976. Fiches de renseignements sur les essences dont le patrimoine génétique s'appauvrit. Informations sur les ressources génétiques forestières. *Doc. Fores. Occas*. 1976/1, 5 : 22-30.

Fao, 1992. *Guide de manipulation des semences forestières*. Étude Fao Foret 20/2, Rome.

Gaussen H., 1950. Espèces nouvelles de Cyprès : *Cupressus atlantica* au Maroc et *Cupressus lereddei* aux Ajjers. *Le monde des plantes* 270-271 : 5-56.

Joubert A., 1933. Formations forestières marocaines les Cupressinées. *Revue des Eaux et Forêts* 71 : 96-107 et 673-687.

Patanè C. & Gresta F., 2006. Germination of *Astragalus hamosus* and *Medicago orbicularis* as affected by seed-coat dormancy breaking techniques. *Journal of Arid Environnements* 67: 165-173.

Quézel P., 1991. Structure de végétation et flore en Afrique du Nord : leurs incidences sur les problèmes de conservation. *In:* M. Rejdali & V.H. Heywood (eds). *Proceedings, Conservation des ressources végétales*. Actes éditions, Rabat : 19-33.

Tanaka Y., 1984. Assuring seed quality for seedling production: cone collection and seed processing, testing storage and stratification. *In*: Duryea M.L. & Landis T.D. (ed.), *Forest Nursery Manual*. Oregon State University Corvallis, 386 p.

Thanos C. A. & Skordilis A., 1987. The effects of light, temperature and osmotic stress on the germination of *Pinus halepensis* and *P. brutia* seeds. *Seed Science and Technol*. 15: 163-174.

Valbuena L & Tarrega R., 1998. The influence of heat and mechanical scarification on the germination capacity of seeds. *New Forest*. 16: 177-183.

Willan R. L., 1992. *Guide de manipulation des semences forestières*. 20/2. Fao.

Zine El Abidine A., 2003. La germination des graines du genévrier rouge (*Juniperus phœnicea* L). *Naturalia Marocana* 1(1) : 193-199.

# Contribution à l'étude de la production en pépinière de jeunes plants chez une espèce forestière endémique du Haut Atlas (*Cupressus atlantica* Gaussen)

## *Contribution to the production normalization of high quality seedlings of endemic forest specie in the High Atlas (*Cupressus atlantica *Gaussen)*

F. EL WAHIDI[1], M. A. EL ALAOUI EL FELS[2,3]

1. Centre régional de la recherche forestière, Marrakech, Maroc
2. Muséum d'histoire naturelle de Marrakech, Université Cadi Ayyad, Marrakech, Maroc
3. Laboratoire de biotechnologies, biochimie, valorisation et protection des plantes, Université Cadi Ayyad, Marrakech, Maroc

**Résumé**

*La qualité des plants constitue un facteur important dans la réussite des actions de reboisement. Les orientations actuelles tentent à produire des plants de qualité par l'optimisation de différentes phases du processus de production. Il s'agit de pallier les inconvénients des techniques traditionnelles d'élevage des plants (sachets en polyéthylène, substrat tout venant…) par le choix de modes et de standards adéquats en pépinière. À l'évidence, chacune des combinaisons espèces-type de production possède ses propres exigences de culture. C'est dans cette optique que ce travail est mené pour déterminer l'effet du système conteneur-substrat sur la croissance et les qualités morphologiques propres aux plants du cyprès de l'Atlas (*Cupressus atlantica, Gaussen*).*

*Le dispositif expérimental a comparé l'effet de deux facteurs indépendants : (1) le type de mélange du substrat (terreau-compost ; terreau-tourbe ; terreau-compost-tourbe ; tourbe) et (2) le type (sachet de polyéthylène ou portoir rigide) et la dimension du portoir rigide (300 cm$^3$, 400 cm$^3$ et 500 cm$^3$). Plusieurs paramètres morphologiques ont été mesurés : la hauteur de la tige, le diamètre au collet, le quotient de vigueur, le poids frais, ainsi que le poids sec des parties aériennes et des racines des jeunes plants. La description du système racinaire se base sur le nombre de racines latérales et la longueur de pivot, la densité du chevelu racinaire, l'état de ramification et la présence des malformations.*

*Les résultats obtenus montrent un effet favorable de la tourbe sur la survie et l'installation des semis. Les deux facteurs étudiés constituent des modalités de culture avec des performances significativement différentes. Le mélange compost-terreau-tourbe en conteneur de 500 cm$^3$ permet la production de plants vigoureux dont la croissance (diamètre et hauteur), la biomasse, la densité et la ramification du chevelu racinaire sont significativement les plus élevées. Cette expérimentation constitue le premier pas vers l'élaboration des standards de production propre au plant de cyprès de l'Atlas. Elle répond au souci des pépinières appelées à changer leur technique traditionnelle de production de plants et au programme de reboisement de l'État.*

**Mots clés :** *Cupressus atlantica*, standard de production de plants, conteneurs, substrats, paramètres morphologiques.

**Abstract**

*Plant quality is an important factor in the success of reforestation actions. The current guidelines attempt to produce quality plants by optimizing various phases of production process in nursery. The goal is to overcome the drawbacks*

**Keywords:** *Cupressus atlantica,* norms of plants production, substrates, morphological parameters, containers.

*of traditional breeding of plants (polyethylene bags, uncontrolled substrate, etc.) by choosing appropriate methods and standards of high quality plants production. Obviously, each combination species-type of production has its own breeding requirements. Hence, this work is carried out to determine the effect of the container dimension/substrate type on growth and morphological variable of Atlas cypress (*Cupressus atlantica *Gaussen) seedlings.*

*The experimental design compared the effect of two independent factors: (1) the type of substrate mixture (forest soil-compost; forest soil-peat, compost-forest soil-peat, peat) and (2) the type (polyethylene bags or container) and the container size (300 cm$^3$, 400 cm$^3$ and 500 cm$^3$). Several morphological parameters were measured such as the height of the stem, root collar diameter, the vigour quotient and the fresh and dry weight both of the roots and the aerial part of the plant. The description of the root system aimed to quantify the number of lateral roots and the pivot length. The root hairiness, the branching degree and the presence-absence of root deformation were also evaluated.*

*The conclusions emanating from this work show a positive effect of peat on the survival and the installation of seedlings. The two studied factors constitute different breeding modalities with significantly contrasted performances. The combination of mixed substrate soil-compost-peat and the container of 500 cm$^3$ was indisputably observed as the most appropriate for plant production. It allows the production of vigorous plants whose growth (height and diameter), biomass, density and branching of the root hairs are significantly higher. This experimentation constitutes the first step towards the development of the production norms specific to the cypress plants. She answers the imminent concerns of the plant nurseries called to change their traditional technique of plants production and to support effectively the afforestation programme.*

## Introduction

Le cyprès de l'Atlas (*Cupressus atlantica*) est une essence méditerranéenne cantonnée à l'ouest du Haut Atlas marocain (Gaussen 1950). Cette endémique organise, dans son aire géographique restreinte, l'un des types d'écosystèmes naturels les plus remarquables au Maroc. Elle individualise des formations présteppiques localisées dans la haute vallée de N'Fiss dans le Haut Atlas occidental (Alifriqui 1992 ; Benabid 2000). Par son rôle primordial de préservation des équilibres naturels fragiles, dans des conditions écologiques précaires, et par son rôle socio-économique à travers ses multiples usages (El Alaoui El Fels 2007), la cupressaie constitue un écosystème forestier très original. Cependant, sa préservation se trouve hautement menacée face aux différents facteurs de dégradation. En effet, depuis 1976 cette endémique forestière a été répertoriée par la FAO parmi les espèces dont le patrimoine génétique s'appauvrit.

Dans ces milieux dégradés, le cyprès de l'Atlas, par sa grande faculté de résister au froid de haute montagne, à un certain degré de sécheresse et du fait de son adaptation à des sols squelettiques pauvres, s'impose comme l'essence du premier choix pour les reboisements des montagnes sèches (Alifriqui 1995). Le Maroc produit chaque année 35 à 40 millions de plants forestiers destinés au reboisement. Cependant, l'augmentation de l'efficacité des opérations de reboisement passe par la production en pépinière de plants de la meilleure qualité possible répondant à des critères de qualité morphologiques et physiologiques très stricts. Ainsi, la présente étude s'inscrit dans le cadre de la maîtrise des procédés de production de plants du cyprès de l'Atlas de qualité en pépinière et leur normalisation au niveau national.

## Matériel et méthodes

### Matériel végétal

Dans ce travail, le matériel végétal utilisé est originaire de la station d'Aghbar (8° 28' ; 30° 54'), située à une altitude de 1 750 m en bioclimat semi-aride froid en amont de la vallée d'Oued N'Fiss.

L'extraction des semences a été effectuée manuellement après ouverture des cônes soumis au séchoir solaire (figure 1). Bien que les semences de cyprès de l'Atlas germent facilement, elles ont subi un traitement de prégermination avant leur mise en portoirs. Ce traitement consiste en un trempage dans de l'eau tiède (40 °C) pendant deux jours. Les semences sont ensuite mises dans un lit de germination et l'ensemble est placé dans une chambre obscure et fraîche (de 15 à 20 °C). Les semences ont été étalées en fine couche sur une toile en fibre régulièrement humectée en eau jusqu'à saturation. Après dix à quinze jours en lit de germination, les semences commencent à émettre leur radicelle, repiquée dans une alvéole du portoir rigide.

**Figure 1 – Les semences du cyprès de l'Atlas (a) extraites des cônes ouverts (b) après passage au séchoir solaire.**

***Figure 1 – The seeds of the cypress of the Atlas (a) extracted from open cones (b) after passing solar dryer.***

L'opération de mise en portoir des semis commence dès l'apparition de la radicelle. Elle consiste à repiquer deux à trois semis par alvéole. Les portoirs sont placés sous serre et suivent ensuite les règles de culture habituelles (arrosage, contrôle d'ombre, désherbage…) selon la démarche suivante :

– préparation des trous de semis. Ces derniers sont d'une faible profondeur et deux fois l'épaisseur de la graine (à peu près 1 à 3 mm d'épaisseur) (figure 2) ;
– mise en place de la graine prégermée dans le trou verticalement de façon à ce que la radicule soit en bas contre le fond du trou et le reste des graines en haut vers l'extérieur ;
– recouvrement de la graine avec le substrat ;
– arrosage et désherbage ont été effectués d'une manière régulière.

Photo El Wahidi F.

**Figure 2 – Mise en place des semences dans les conteneurs.**

***Figure 2 – Installation of the seeds in the containers.***

## Caractéristiques des conteneurs et des substrats de culture

Les conteneurs utilisés en expérimentation sont des sachets de polyéthylène et des portoirs alvéolés à parois rigides de volumes différents (tableau 1, figure 3). Ces derniers possèdent des rainures verticales intérieures qui dirigent les racines vers le bas pour éviter la croissance en spirale. Les alvéoles sont

**Tableau 1 – Caractéristiques des conteneurs.**

***Table 1 – Containers characteristics.***

| Désignation | Nombre d'alvéoles/ unité | Volume d'une alvéole (cm$^3$) |
|---|---|---|
| Cont500 | 28 | 500 |
| Cont400 | 38 | 400 |
| Cont300 | 50 | 300 |
| Sachet500 | 1 | 500 |

Photo El Wahidi F.

**Figure 3 – Sachet et trois dimensions de portoirs à parois rigides.**

***Figure 3 – Polyethylene bag and three size of containers.***

**Tableau 2 – Composition des substrats utilisés en expérimentation.**
***Table 2 – Composition of substrates used in experiment.***

| | Composition du mélange en % | | |
|---|---|---|---|
| | Terreau | Compost | Tourbe |
| **Substrats testés** | | | |
| Terreau-compost | 50 | 50 | |
| Terreau-tourbe | 50 | - | 50 |
| Terreau-compost-tourbe | 33 | 33 | 33 |
| Tourbe | - | - | 100 |

ouvertes à leur base pour permettre l'autocernage des racines. Les substrats utilisés dans notre expérimentation sont des mélanges composés de terreau, de compost et de tourbe avec des proportions variables (tableau 2).

## Dispositif expérimental

Le plan d'expérimentation adopté est un dispositif en parcelle divisée, *split-plot*, complètement aléatoire (Dagnelie 2012) combinant deux facteurs (substrats et conteneurs) de quatre modalités chacun. L'ensemble constitue une expérience factorielle de seize traitements répétés quatre fois. L'ensemble du dispositif expérimental a été placé sous ombrière (60 %) dans des conditions homogènes d'élevage de plants (lumière et arrosage quotidien) et sur des planchers surélevés du sol afin de favoriser l'autocernage des racines à la base des alvéoles (figure 4).

Photo El Wahidi F.

**Figure 4 – Dispositif expérimental des différentes modalités étudiées (pépinière du Crrf, Marrakech).**
***Figure 4 – Experimental device of the studied modalities (CRRF nursery, Marrakech).***

## Paramètres mesurés

Les mesures relevées concernent celles des paramètres de croissance (diamètre au collet, hauteur et quotient de vigueur[1]), de biomasse (rapport partie aérienne/partie souterraine) et de qualité et structure du chevelu du système racinaire.

La mesure de la hauteur et du diamètre au collet pour les plants de chaque traitement a été réalisée quatre mois après la date de plantation. Les mesures ont été relevées systématiquement à l'aide d'une règle graduée en centimètres pour la hauteur de la tige et d'un pied à coulisse pour le diamètre au collet.

Pour la mesure du poids sec de la tige et des racines (méthode destructrice des plants), nous avons prélevé de manière aléatoire quinze plants de chaque combinaison substrat/conteneur. Ces derniers ont été soigneusement dégagés des conteneurs afin de ne pas endommager le système racinaire. Ils ont été sectionnés au collet pour séparer la partie aérienne et la partie souterraine et placés dans des sacs en papier. L'ensemble a été placé par la suite dans une étuve à une température de 60 °C pendant 48 heures. Le poids sec de la partie aérienne et racinaire a été par la suite évalué par des pesées.

La description du système racinaire des quinze plants a été réalisée pour chaque plant. Cette description porte sur la longueur du pivot, le nombre de racines latérales, la densité du chevelu racinaire (variable semi-quantitative), le degré de ramification (variable semi-quantitative), et l'absence/présence des malformations (enroulement, remontée des racines et déviation du pivot).

## Traitement statistique

L'analyse des résultats a été effectuée par l'analyse de la variance à un et deux critères de classification, en l'occurrence le type de substrat et la dimension du conteneur. Elle a été réalisée en utilisant le package FactoMiner sous le logiciel R 2.12.2.

Les conditions d'application de cette analyse ont été vérifiées. En particulier, le caractère aléatoire et simple des observations est assuré par le dispositif *split-plot* à randomisation

1. Le quotient de vigueur est le rapport de la hauteur (en cm) sur le diamètre au collet (en mm). Il s'agit d'un coefficient de forme qui constitue un bon indicateur de la capacité des plants à résister aux dommages physiques (Thomson 1985).

complète. Pour la normalité des populations, il est à signaler que plusieurs auteurs (particulièrement Dagnelie 1975) ont montré que l'analyse de la variance est peu sensible à la non-normalité des populations dans le cas d'échantillons de taille suffisamment grande (100 individus), tant en ce qui concerne le niveau de signification que la puissance du test.

L'homogénéité des variances a été vérifiée en utilisant le test de Bartlett, basé sur la statistique $^2$. Quand cette hypothèse est rejetée, on fait appel au test Kruskal-Wallis. Il s'agit d'un test non paramétrique d'analyse de la variance qui peut remplacer le test F de Fischer de l'analyse de la variance (ANOVA) quand les conditions d'application sont violées (Montgomery & Runger 2003). Dans ce dernier cas, Montgomery & Runger (2003) recommandent d'utiliser les deux tests et préférer le test de Kruskal-Wallis en cas de résultats contradictoires.

À l'issue de l'analyse de la variance, quand on est amené à accepter l'effet significatif d'un facteur, il est nécessaire de procéder à une comparaison de moyenne. Celle-ci a été réalisée en utilisant le test de Newman-Keuls pour distinguer les groupes homogènes à un niveau d'erreur de 5 %.

## Résultats

### Taux de survie des plants en pépinière

Nos résultats montrent une supériorité du taux de survie enregistré pour le substrat à base de tourbe suivi par les mélanges terreau-tourbe et terreau-compost-tourbe et enfin terreau-compost (figure 5). La comparaison de moyenne entre les modalités du facteur substrat permet de distinguer deux groupes homogène (p. value = 1,82 e-05). Le premier groupe, ayant un taux de survie supérieur, est constitué de 3 mélanges de substrat : la *tourbe* (94,5 ± 2,5 %), *terreau-tourbe* (80,9 ± 4,7 %) et *terreau-compost-tourbe* (76,4 ± 9,1 %). Le second groupe à faible taux de survie ne dépassant guère 54 ± 7,6 %, est composé de la seule modalité du substrat *terreau-compost*.

**Figure 5 – Taux de survie moyen et intervalle de confiance ( $^2$ = 0.05) des plants après un mois de leur mise en portoir.**

***Figure 5 – Survival rate average and confidence interval ( $^2$ = 0.05) of seedlings after one month of their setting to portoir.***

### Effet du substrat et du conteneur sur les paramètres de croissance des jeunes plants

Les résultats du tableau 3 donnent une synthèse des effets des facteurs étudiés et de leur interaction. L'analyse de la variance a montré l'existence d'un effet significatif du substrat sur la hauteur des jeunes plants et un effet très hautement significative du facteur conteneur et de l'interaction conteneur × substrat (C*S) sur les trois paramètres morphologiques étudiés (hauteur, diamètre au collet et quotient de vigueur). La comparaison des moyennes (tableau 4) a montré que les valeurs les plus élevées en termes de hauteur, de diamètre au collet et de quotient de vigueur ont été observées pour les plants élevés dans le mélange *terreau-compost-tourbe* et placés au niveau du conteneur Cont500 et Cont400. Les valeurs les plus faibles ont été observées au niveau des jeunes plants placés dans le substrat à base de tourbe.

**Tableau 3 – Effet du substrat et du conteneur sur les paramètres de croissance (hauteur, diamètre au collet et quotient de vigueur).**

***Table 3 – Effect of substrate and container factors on the growth parameters (height, collar diameter and vigour ratio).***

| | | F | | |
|---|---|---|---|---|
| | ddl | Hauteur | Diamètre au collet | Quotient de vigueur |
| **Source de variation** | | | | |
| Effet substrat (S) | 3 | 3,518* | 2,372 | 1,039 |
| Effet conteneur (C) | 3 | 39,384*** | 23,665*** | 5,866** |
| S x C | 9 | 8,122*** | 4,569*** | 2,609** |

ddl : degré de liberté ; * P < 0,05 ; ** P < 0,01 ; *** P < 0,001.

**Tableau 4 – La comparaison des moyennes pour la hauteur, diamètre au collet et quotient de vigueur relativement aux deux facteurs étudiés (substrat et conteneur).**

***Table 4 – The mean comparisons for the height, collar diameter, and vigour ratio depending on the two studied factor (substrate and container).***

| Substrat | Conteneur | Hauteur | Diamètre au collet | Quotient de vigueur |
|---|---|---|---|---|
| Terreau-compost | Cont300 | 10,27 (0,29) e | 1,90 (0,05) cd | 5,38 (0,09) bcd |
| | Cont400 | 13,22 (0,36) cde | 2,28 (0,06) abcd | 5,79 (0,11) abcd |
| | Cont500 | 14,75 (0,52) cde | 2,40 (0,09) abcd | 6,23 (0,16) abcd |
| | Sachet500 | 10,61 (7,47) e | 2,19 (1,38) bcd | 4,79 (2,35) d |
| Terreau-tourbe | Cont300 | 10,50 (0,45) e | 2,04 (0,08) cd | 5,03 (0,14) d |
| | Cont400 | 12,62 (0,6) e | 2,68 (0,11) abcd | 5,59 (0,18) abcd |
| | Cont500 | 16,91 (0,6) bcd | 3,00 (0,11) abc | 5,44 (0,18) bcd |
| | Sachet500 | 16,28 (7,47) bcd | 2,95 (1,38) ab | 5,62 (2,35) bcd |
| Terreau-compost-tourbe | Cont300 | 16,43 (0,33) abc | 2,48 (0,06) abcd | 6,50 (0,1) ab |
| | Cont400 | 17,12 (0,37) ab | 2,55 (0,07abc | 6,67 (0,12) a |
| | Cont500 | 18,67 (0,49) a | 2,77 (0,09) a | 6,80 (0,15) ab |
| | Sachet500 | 14,91 (7,47) bcd | 2,16 (1,38) abcd | 7,01 (2,35) ab |
| Tourbe (100 %) | Cont300 | 7,11 (0,22) f | 1,27 (0,04) e | 5,82 (0,06) abcd |
| | Cont400 | 7,61 (0,34) f | 1,40 (0,06) e | 5,58 (0,1) abcd |
| | Cont500 | 7,15 (0,43) f | 1,28 (0,08) e | 5,80 (0,13) abcd |
| | Sachet500 | 11,76 (7,47) de | 1,87 (1,38) d | 6,30 (2,3) abc |

Dans la même colonne, les valeurs ayant des lettres distinctes sont différentes statistiquement au seuil $^2$ = 5 %.
In the same column, values with different letters are statistically different at the $^2$ = 5%.

**Tableau 5 – Effet du substrat et du conteneur sur le poids frais ($P_{FA}$) et sec aérien ($P_{SA}$), le poids sec racinaire ($P_{SR}$) et le rapport $P_{SA}/P_{SR}$ des jeunes plants.**

***Table 5 – Effect of substrate and the container factors for wet weight aerial part (PFA), dry weight arial part (PSA), root dry weight (PSR) and the ratio PSA/PSR.***

| | | F | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | ddl | $P_{FA}$ | $P_{SA}$ | $P_{SR}$ | $P_{SA}/P_{SR}$ |
| **Source de variation** | | | | | |
| Effet substrat (S) | 3 | 100,61*** | 83,01*** | 79,03*** | 37,18*** |
| Effet conteneur (C) | 2 | 32,74*** | 17,22*** | 17,30*** | 7,52** |
| S x C | 6 | 10,92*** | 7,02*** | 5,53*** | 2,33* |

ddl : degré de liberté ; * P < 0,05 ; ** P < 0,01 ; *** P < 0,001.

## Effet du substrat et du conteneur sur la production en biomasse des jeunes plants

L'analyse de la variance a montré un effet hautement significatif des deux facteurs (substrat et conteneur) et de leur interaction (substrat*conteneur) sur l'ensemble des paramètres analysés (le poids frais et sec aérien, le poids sec racinaire et le rapport poids sec aérien sur le poids sec racinaire) (tableau 5). Les valeurs les plus élevées en biomasse aérienne et racinaire ont été enregistrées au niveau des jeunes plants placés dans le

**Tableau 6 – Comparaison des moyennes pour le poids frais total ($P_{FT}$), sec aérien ($P_{SA}$), sec racinaire ($P_{SR}$) et le rapport $P_{SA}/P_{SR}$ des jeunes plants.**

***Table 6 – Mean comparisons for the total wet weight (PFT), dry aerial part (PSA), dry root part (PSR) and the ratio PSA/PSR.***

| Substrat | Conteneur | $P_{FT}$ | $P_{SA}$ | $P_{SR}$ | $P_{SA}/P_{SR}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| Terreau-compost | Cont300 | 2,77 (0,42) ef | 0,33 (0,09) de | 0,55 (0,06) c | 0,62 (0,06) |
| | Cont400 | 3,95 (0,49) de | 0,55 (0,11) de | 0,77 (0,07) bc | 0,69 (0,07) |
| | Cont500 | 5,59 (0,98) d | 0,71 (0,22) de | 0,91 (0,14) bc | 0,78 (0,15) |
| Terreau-tourbe | Cont300 | 3,54 (0,42) de | 0,62 (0,09) d | 0,49 (0,06) c | 1,34 (0,06) |
| | Cont400 | 5,17 (0,48) cd | 0,96 (0,10) c | 0,86 (0,07) b | 1,08 (0,07) |
| | Cont500 | 8,87 (0,98) b | 1,63 (0,22) b | 1,11 (0,14) b | 1,47 (0,15) |
| Terreau-compost-tourbe | Cont300 | 6,21 (0,47) bc | 1,17 (0,10) bc | 0,87 (0,07) b | 1,32 (0,07) |
| | Cont400 | 6,22 (0,49) b | 1,09 (0,11) bc | 0,88 (0,07) b | 1,14 (0,07) |
| | Cont500 | 12,15 (0,45) a | 2,13 (0,10) a | 1,38 (0,06) a | 1,58 (0,07) |
| Tourbe | Cont300 | 1,60 (0,40) f | 0,19 (0,09) e | 0,21 (0,05) d | 0,98 (0,06) |
| | Cont400 | 1,93 (0,49) f | 0,16 (0,11) e | 0,22 (0,07) d | 0,79 (0,07) |
| | Cont500 | 1,70 (0,45) f | 0,16 (0,10) e | 0,19 (0,06) d | 0,91 (0,07) |

Dans la même colonne, les valeurs ayant des lettres distinctes sont différentes statistiquement au seuil $^2$ = 5 %.
In the same column, values with different letters are statistically different at the $^2$ = 5%.

mélange terreau-compost-tourbe et le conteneur Cont500 (tableau 6). Les valeurs les plus faibles en termes de biomasse ont été observées au niveau des plants élevés dans le substrat à 100 % de tourbe.

## Effet du substrat et du conteneur sur la qualité des racines

Les résultats décrivant l'état du chevelu racinaire et la présence des malformations sont reportés dans le tableau 7 et illustrés par la figure 6. Les données montrent une densité du chevelu racinaire et un degré de ramification les plus élevés chez les jeunes plants élevés dans le mélange terreau-compost-tourbe, et placés dans les conteneurs Cont500 et Cont400. Les valeurs les plus faibles ont été observées au niveau des jeunes plants placés dans le substrat à base de tourbe. Les déformations racinaires les plus importantes ont été observées au niveau des jeunes plants placés dans le conteneur Sachet500 avec une densité moyenne du chevelu racinaire.

**Tableau 7 – Caractéristiques des paramètres semi-quantitatifs du système racinaire.**
***Table 7 – Semi-quantitative variables of the root system.***

| Substrat | Conteneur | DCR | État de ramification | Malformations |
|---|---|---|---|---|
| Terreau-compost | Cont300 | Faible | 2 | + |
| | Cont400 | Moyenne | 3 | – |
| | Cont500 | Moyenne | 3 | – |
| | Sachet500 | Moyenne | 3 | + |
| Terreau-tourbe | Cont300 | Moyenne | 3 | – |
| | Cont400 | Moyenne | 3 | – |
| | Cont500 | Élevée | 4 | – |
| | Sachet500 | Moyenne | 3 | + |
| Terreau-compost-tourbe | Cont300 | Moyenne | 4 | – |
| | Cont400 | Élevée | 4 | – |
| | Cont500 | Très élevée | 4 | – |
| | Sachet500 | Moyenne | 3 | + |
| Tourbe (100 %) | Cont300 | Très faible | 2 | – |
| | Cont400 | Faible | 2 | – |
| | Cont500 | Faible | 2 | – |
| | Sachet500 | Moyenne | 3 | + |

DCR : densité du chevelu racinaire (4 degrés) ; DCR: Hairiness of the roots (4 degrees).
+ : présence de malformations ; +: Presence of malformations.
– : absence de malformations ; –: Lack of malformations.
Degré de ramification : indice du nombre de racines secondaires ; Degree of branching: Index number of secondary root.

**Figure 6 – Distribution et analyse de la variance pour l'effet du conteneur sur le nombre moyen des racines latérales et de la longueur moyenne du pivot racinaire.**

***Figure 6 – Distribution and variance analysis of the container effect on the lateral roots average number and the length average of the pivot root.***

Quant au nombre moyen de racines latérales et la longueur moyenne des pivots, nous présentons les résultats relatifs aux modalités les plus performantes, en l'occurrence les conteneurs Cont300, Cont400 et Cont500 pour les plants élevés dans le mélange terreau-compost-tourbe.

Les résultats de l'analyse de la variance à critère de classification montrent (figure 6) l'absence d'effet du type de conteneur sur le nombre de racines latérales après quatre mois d'élevage en pépinière. Par contre, le facteur type de conteneur agit significativement sur la longueur du pivot racinaire. Les résultats les plus élevés sont enregistrés au niveau des jeunes plants placés dans le conteneur Cont500. Les valeurs les plus faibles sont observées au niveau des jeunes plants placés dans le conteneur de faible volume (Cont300). Les performances du conteneur Cont400 sont entre les deux groupes constitués par les conteneurs Cont300 et Cont500.

## Discussion

La croissance en pépinière des jeunes plants du cyprès de l'Atlas est influencée par la nature du substrat de base et le volume du conteneur. Concernant le substrat, son utilisation de manière homogène (100 % terreau ou 100 % tourbe) ne donne pas de résultat satisfaisant en termes de paramètre de croissance de jeunes plants du cyprès de l'Atlas. En effet, le terreau, habituellement utilisé en pépinière, caractérisé par une densité élevée, une faible porosité, une faible capacité de rétention d'eau et une faible capacité d'échange cationique, n'offre pas de conditions favorables pour la production des plants de qualité (Ammari *et al.* 2005). Concernant la tourbe, notre étude a montré que son utilisation de manière homogène (100 %) diminue énormément la qualité des jeunes plants du cyprès de l'Atlas par une réduction de l'ensemble des paramètres étudiés. Cette réduction de la croissance peut être expliquée par son pH acide. La même observation a été reportée par Hannah (2006).

Ainsi, les résultats présentés dans ce travail ont mis en évidence l'effet incontestable du substrat mixte composé de terreau (33 %), de compost (33 %) et de tourbe (33 %) sur la production de jeunes plants de dimensions importantes en termes de hauteur, de diamètre au collet et de biomasse. En effet, plusieurs auteurs ont soulevé l'importance des propriétés physico-chimiques du substrat de culture dans la production des plants de qualité (Ammari *et al.* 2006 ; Guedira *et al*. 2012). Ce dernier influe directement sur l'ensemble des fonctions racinaires des plants, notamment l'absorption de l'eau et des éléments minéraux (Landis 1990 ; Cpvq 1993).

Quant au conteneur, Juan et Rubira (2001) ont soulevé l'importance de son volume sur la taille des jeunes plants forestiers. En effet, dans notre étude c'est le portoir de 500 $cm^3$ de volume qui a favorisé la meilleure croissance et le meilleur développement racinaire. La production des plants dans les portoirs rigides permet de réduire significativement les déformations du système racinaire. En effet, l'ouverture au niveau de leur section inférieure et la présence des rainures permettent une orientation des ramifications du système racinaire, de limiter sa croissance excessive par l'autocernage et obtenir des plants équilibrés. Des observations similaires ont été reportées dans le cas de la production de jeunes plants de plusieurs espèces forestières (Tsouli 2003 ; Arbani 2004).

En outre, un plant de qualité doit également posséder un bon système racinaire permettant le démarrage de sa croissance aussitôt qu'il est mis en contact avec le sol et de survivre une fois placé en site de plantation (Cemagref 1989 ; Abourouh 1992 ; Ammari *et al.* 2006). En l'absence d'apport de fertilisants, ces données nous ont permis de déduire que l'utilisation d'un conteneur rigide de volume important (> 400 $cm^3$) combiné à un substrat équilibré à base de biomasse forestière (terreau) enrichi de matière organique (tourbe) et du compost favorise la production des plants de qualité du cyprès de l'Atlas.

Les résultats de cette expérimentation constituent les premiers pas vers une standardisation de la culture en pépinière de cette endémique (cyprès de l'Atlas). Ils ouvrent de bonnes voies pour proposer des solutions aux problèmes posés par l'utilisation des modes traditionnels d'élevage en pépinière se basant sur les sachets en polyéthylène et un substrat tout venant pour la production de plants en pépinière et qui expliquent en partie les échecs de reboisement par le cyprès de l'Atlas (tableau 8).

Nonobstant, plusieurs questions de recherche restent posées pour investir en détail cette problématique d'amélioration de la qualité des

**Tableau 8 – Évaluation des périmètres de reboisement du cyprès de l'Atlas au 31/10/2005 de toute la région du Haut Atlas *(El Alaoui El Fels 2007).***

***Table 8 – State of the Atlas cypress afforestation parcels in the Atlas height mountain until 31/10/2005 (El Alaoui El Fels 2007).***

| Localité | Superficie (en hectares) | Nombre de plantes mises en terre | Nombre de plantes survivantes au 31/10/2005 et % de réussite |
|---|---|---|---|
| Matate | 9 | 33 320 | 19 992 (60) |
| Ait Mizane | 7 | 5 831 | 524 (9) |
| Anafgayne | 23 | 19 159 | 7 663 (40) |
| | 15 | 12 495 | 3 748 (30) |
| Tighezrite | 10 | 8 330 | 3 998 (48) |
| Imin Eadart | 11 | 9 163 | 5 772 (63) |
| Al Hnayne (Amzmiz) | 11 | 9 000 | 0 |
| | 22 | 1 800 | 0 |
| Aghbar | 50 | 23 100 | 0 |

plants : quel est le statut nutritionnel des plants ? Comment évoluent les performances des modalités étudiées en présence d'un apport d'engrais et sous différents régimes d'arrosage ? Les modalités choisies performantes confirment-elles leur statut en périmètre de reboisement ?

## Remerciements

Nous sommes reconnaissants aux instances du PRAD (n° 08-10 EGIDE n° 16856YA) pour leur soutien à la réalisation de cette étude. Nous remercions également A. Tots (chef du secteur forestier d'Idni) pour sa collaboration.

## Acknowledgements

We are grateful to the authorities of PRAD (n. 08-10 EGIDE n. 16856YA) for their support to this study. We also thank A. Tots (HCEFLCD, Idni) for his collaboration.

## Bibliographie

Abourouh M., 1992. *Les plants forestiers : normes de qualité et techniques culturales. Actes de la première journée nationale sur les plants forestiers*. Rabat, Maroc : 17-33.

Alifriqui M., 1992. *Place du Cyprès de l'Atlas (*Cupressus atlantica *Gaussen) dans les écosystèmes forestiers du Haut Atlas occidental (Maroc). Actes des premières journées de l'arbre*. Université Cadi Ayyad, Marrakech, Maroc : 75-80.

Alifriqui M., 1995. *La cupressaie endémique de* Cupressus atlantica *Gaussen, un espace présteppique de montagne menacée dans le Haut Atlas occidental marocain*. Colloque international BIO'MES 95, 7e rencontre de l'ARPE, Digne-les-Bains, France : 163-172.

Ammari Y., Akrimi N., Lamhamedi M. S. & Zine El Abidine A., 2005. Influence des substrats d'élevage sur la survie et la croissance de jeunes plants de résineux en site de reboisement. *Annales de l'INRGREF*, numéro spécial 7 : 217-228.

Ammari Y., Lamhamedi M. S., Akrimi N. & Zine El Abidine A., 2006. Qualités physiologiques de jeunes plants de Pin d'Alep élevés en pépinière moderne sur différents substrats à base de compost. *Geo-Eco-Trop*. 30 (1) : 11-24.

Arbani A., 2004. *Contribution à l'élaboration des normes de qualité des plants forestiers : cas du chêne-liège, du thuya et du pin maritime var. atlantica*. Mémoire 3e cycle, École nationale forestière d'ingénieurs, Maroc, 107 p.

Benabid A., 2000. *Flore et écosystème du Maroc : évaluation et préservation de la biodiversité*. Paris, Ibis Press, 357 p.

CEMAGREF, 1989. *La culture hors sol des plants forestiers méditerranéens : le conteneur, le substrat, la mycorhization*. GEMAGREF, France, 34 p.

Conseil des productions végétales du Québec (CPVQ), 1993. *Pépinières, culture en conteneurs, substrats*, 19 p.

Dagnelie P., 1975. *Théorie et méthodes statistiques. Applications agronomiques*. Volume II. Gembloux, édition J. Duculot S.A., 451 p.

Dagnelie P., 2012. *Principes d'expérimentation : planification des expériences et analyse de leurs résultats*. Les Presses agronomiques de Gembloux, 414 p.

El Alaoui El Fels M.A., 2007. Le Cyprès de l'Atlas : état des lieux et perspective. *Le Cyprès dans les pays Meda. MedCypre, projet Interreg pour renforcer la cohésion des peuples du Bassin Méditerranéen*, ISBN : 978-88-88228-19-8, 34 p.

FAO, 1976. Fiches de renseignements sur les essences dont le patrimoine génétique s'appauvrit. Informations sur les ressources génétiques forestières. *Doc. fores. occas.* 5 : 22-30.

Gaussen H., 1950. Espèces nouvelles de cyprès : *Cupressus atlantica* au Maroc et *Cupressus lereddei* aux Ajjers. *Le Monde des plantes*, nº 270-271 : 5-56.

Guedira A., Lamhamedi M. S., Satrani B., Atrani M., Boulmane M., Serrar M. & Douird A., 2011. Valorisation des matières résiduelles et de la biomasse forestière au Maroc. Compostage et confection de substrats organiques pour la production de plants forestiers. *Nature & Technologie* 07 : 87-95.

Hannah J., 2006. Bonnes pratiques de culture en pépinière forestière. Directives pratiques pour les pépinières de recherche. *Manuel technique* nº 3, 90 p.

Juan L. & Rubira P., 2001. *Pépinières et production de plants forestiers pour des conditions méditerranéennes, cours approfondi*. Centre national d'amélioration forestière « El Serranillo », Gauadalajara, Espagne : 19-30.

Landis T. D., 1990. Growing media. *In*: *Containers and growing media*. Vol 2. *Agriculture Handbook.* 674. Washington DC, US, Department of Agriculture, Forest Service: 41-85.

Montgomery D. C. & Runger G. C., 2003. *Applied statistics and probability for engineers*. Third Edition, John Wiley & Sons, Inc. ISBN 0-471-20454-4, 702 p.

Tsouli A., 2003. *Contribution à l'élaboration des normes de qualité des plants forestiers : cas du chêne-liège, du thuya et du pin maritime des landes*. Mémoire 3e cycle, École nationale forestière d'ingénieurs, Maroc, 93 p.

Le comité éditorial de la revue ecologia mediterranea remercient les membres des comités d'organisation et scientifique du colloque pour leur investissement dans la réalisation de ce numéro spécial sur le Genévrier thurifère.

## Composition du comité d'organisation

Chondroyannis Pascal, Conservatoire botanique national alpin
Esmieu Bernard, commune de Saint-Crépin
Fiorletta Gil, commune de Mont-Dauphin
Garraud Luc, Conservatoire botanique national alpin
Gauquelin Thierry, Imbe, Aix-Marseille Université
Lathuillière Laurent, Office national des forêts
Liénard Bertrand, Office national des forêts
Marage Damien, AgroParisTech, Engref
Tuillière Emmanuelle, communauté de communes du Guillestrois
Metzinger Marine, communauté de communes du Guillestrois

## Composition du comité scientifique

Bertaudière-Montes Valérie, Lped et Aix-Marseille Université, France
Cambecèdes Jocelyne, Conservatoire botanique national des Pyrénées et Midi-Pyrénées, France
Chaber Laurence, association Epi, recherches ethnobotaniques, Mane, Alpes-de-Haute-Provence, France
Chondroyannis Pascal, Conservatoire botanique national alpin, France
Dolores García González, Consejería de Medio Ambiente, Junta de Castilla y León Soria, España
Duponnois Robin, Dr Ird, Marrakech, Maroc
Garraud Luc, Conservatoire botanique national alpin, France
Gauquelin Thierry, Imbe, Aix-Marseille Université, France
Hugot Laetitia, Conservatoire botanique national de Corse, France
Largier Gérard, Fédération des conservatoires botaniques nationaux, France
Lathuillière Laurent, Office national des forêts, France
Mandin Jean-Paul, Société botanique de l'Ardèche, réserve naturelle nationale des Gorges de l'Ardèche, France
Marage Damien, AgroParisTech, Engref, France
Montes Nicolas, Imbe, Aix-Marseille Université, France
Roques Alain, Inra Orléans, France
Talon Brigitte, Imbe, Aix-Marseille Université, France
Villar Luis, Instituto Pirenaico de Ecología, Ipe-Csic, Jaca, Huesca, España

Fabrication : Transfaire, 04250 Turriers
Dépôt légal juillet 2013
Impression sur papier recyclé

*ecologia mediterranea*

Editor-in-Chief : Pr Thierry Dutoit

UMR CNRS IRD IMBE
Université d'Avignon, IUT
Site Agroparc, BP 1207
84911 Avignon cedex 09
France

**Editorial Board**

**Dr James Aronson,** CNRS, Montpellier, France.
**Dr Alex Baumel,** Université Aix-Marseille, France.
**Dr Élise Buisson,** Université Avignon, France.
**Dr Marc Cheylan,** EPHESS, Montpellier, France.
**Dr Cécile Claret,** Université Aix-Marseille, France.
**Pr Thierry Dutoit,** Université Avignon, France.
**Dr Bruno Fady,** INRA, Avignon, France.
**Pr Thierry Gauquelin,** Université Aix-Marseille, France.
**Dr Raphaël Gros,** Université Aix-Marseille, France.
**Dr Frédéric Guiter,** Université Aix-Marseille, France.
**Dr Sandrine Jauffret,** Narges, Marseille, France.
**Dr Ioannis Vogiatzakis,** Open University of Cyprus, Cyprus.
**Pr Serge Kreiter,** Université Montpellier, France.
**Dr Audrey Marco,** École nationale supérieure du paysage, Marseille, France.
**Pr N.S. Margaris,** University of Mytilène, Greece.
**Pr Frédéric Médail,** Université Aix-Marseille, France.
**Pr François Mesléard,** Université Avignon – Tour du Valat, France.
**Dr Jérôme Orgeas,** Université Aix-Marseille, France.
**Dr Philippe Ponel,** CNRS, Aix-Marseille, France.
**Dr Roger Prodon,** EPHE, Montpellier, France.
**Dr Isabelle Schwob,** Université Aix-Marseille, France.
**Dr Brigitte Talon,** Université Aix-Marseille, France.
**Dr Éric Vidal,** Université Aix-Marseille, France.

**ISSN 0153-8756**

http://ecologia-mediterranea.univ-avignon.fr

# Instructions to authors

***ecologia mediterranea*** publishes original research reports and syntheses in the fields of fundamental and applied ecology of Mediterranean areas, except for descriptive articles or articles about systematic. The editors of ***ecologia mediterranea*** invite original contributions in the fields of: bioclimatology, biogeography, conservation biology, restoration ecology, populations biology, genetic ecology, landscape ecology, community ecology, microbial ecology, vegetal and animal ecology, ecophysiology, palaeoecology, palaeoclimatology, except marine ecology. Symposium proceedings, review articles, methodological notes, book reviews, Ph. D. thesis abstracts and comments on recent papers in ***ecologia mediterranea*** are also published.

## Manuscript reviews

Manuscripts are reviewed by appropriate referees, or by the Editors. The final decision to accept or reject the manuscript is made by the Editors. Please send an electronic copy of your manuscript (doc or rtf files) to our journal (thierry.dutoit @univ-avignon.fr). When the article is accepted, the authors should take reviewer's comments into consideration. They will send back to the journal Editorial Office, within 1 month, an electronic copy of the corrected manuscript (doc or rtf). Pass this delay, the manuscrpt will be considered as a new submission. Enclose the original illustrations. Corrected proofs must be returned to the journal Editorial Office without delay. Books and monographs to be reviewed must be submitted to the Editor-in-chief.

## Manuscript preparation

### Text

Manuscripts (typewritten with double spacing and A4 size for paper) should be preferably written in French, English. If the language is not English, you should join an English short version and English titles of figures and tables. The manuscript must be complete: e.g. French and English titles, author(s) and address(es), French and English abstracts, an English short version (if English is not the language used in the article), key-words, text, references, acknowledgements, figures and tables. For research papers, the text should normally consist of 4 sections: introduction, methods, results, discussion. In typing the manuscript, please clearly distinguish titles from others paragraphs. Titles and subtitles should not be numbered. Avoid letters to number subtitles. Use lower-case letter type for names. Do not underline any word. In English, there is one blank after any punctuation, never before. Copy editing of manuscripts is performed by the journal.

### Authors

The email address of the corresponding author should be mentioned on the manuscript. Each author's address should be specified. The first time, please precise the complete address of the correspondent author to which the proofs should be sent.

### Abstracts, keywords and short version

Abstracts should be no longer than 300 words. The English short version should not exceed one page long (1,000 words). Do not use more than six keywords. Keywords should not be present in the title.

### References

All publications cited in the text should be presented in a list of references following the text of the manuscript. The list of references should be arranged alphabetically on author's names, and chronologically for each author. You should abbreviate the titles of periodicals mentioned in the list of references (except if you are not sure of it). Check the manuscripts to make sure that all references are cited and that all citations in the text are included in the references. Use following system to write the references:

#### Journal article

Andow D.A., Karieva P., Levin S.A. & Okubo A., 1990. Spread of invading organisms. *J. Ecol*. 4: 177-188.

#### Book

Harper J.L., 1977. *Population biology of plants*. London, Academic Press. 300 p.

#### Book chapters

May R.M., 1989. Levels of organisation in ecology. *In*: Cherret J.M. (ed.), *Ecological concepts*. Oxford, Blackwell Scientific Public: 339-363.

#### Conference proceedings

Grootaert P., 1984. Biodiversity in insects, speciation and behaviour in Diptera. *In*: Hoffmann M. & Van der Veken P. (eds), *Proceedings of the symposium on "Biodiversity: study, exploration, conservation"*. Ghent, 18 November 1992: 121-141.

### Citations in-text

The words "figures" and "tables" announced in-text should be written in extenso and with lower-case letter type. In the text refer to the author's name and year of publication (followed by pages only if it is a quotation). If a publication is written by more than two authors, the name of the first author should be used followed by "*et al.*" (this indication, however, should never be used in the list of references: first author and co-authors should be mentioned in it). Examples: "Since Dupont (1962) has shown that…", or "This is in agreement with previous results (Durand *et al.* 1990; Dupond & Dupont 1997)…".

### Abbreviates, nomenclature and Latin words

Explanation of a technical abbreviate is required when the first use. International convention codes for nomenclature should be used. Latin words should be in italic (*et al*., *a priori*, etc.), particularly for plants or animals'denomination (the first time, please precise author's name: for example, *Olea europaea* L.).

### Figures and tables

All illustrations should be submitted separately and they should be preceded by the figures and tables legends on a separate page. Figures and tables should be sent ready to be printed, so their size should be 16 × 22 cm or 8 × 22 cm maximum. All the illustrations being in-text should be cited, increasing numbered, and should have a legend. Computerised table columns should not be represented by signs (: or |).

### Electronic file

Authors receive a free copy where their paper is published as well as an electronic version of their paper for distribution.

**SUBSCRIPTION**
**(contact: ecologia@naturalia-publications.com)**

**1 year = 2 issues**

| | Subscription | Postage | Total |
|---|---|---|---|
| **France** | **60 €** | **6 €** | **66 €** |
| **Europe** | **60 €** | **12 €** | **72 €** |
| **World** | **60 €** | **16 €** | **76 €** |

Mail this subscription to:

**SARL Transfaire**
**Immeuble Wanad**
**F-04250 TURRIERS**

Bank: CA SISTERON
IBAN: FR76 1910 6008 3913 9956 2600 062
BIC: AGRIFRPP891

*ecologia mediterranea* Vol. 39 (1) – 2013

# Actes du IVe Colloque international sur le Genévrier thurifère
## 5-8 octobre 2011, Mont-Dauphin et Saint-Crépin (Hautes-Alpes, France)

**La valeur patrimoniale du Genévrier thurifère est reconnue de longue date dans tout le bassin méditerranéen occidental, alors que sa vulnérabilité est manifeste. L'origine, la structure et le fonctionnement des populations et de leurs habitats ont fait l'objet d'études dans l'ensemble de son aire de répartition. Les connaissances restent cependant toujours à approfondir car le maintien à long terme de cette espèce passe nécessairement par une meilleure compréhension de l'arbre et de son écosystème.**

**Le Genévrier thurifère (*Juniperus thurifera* L.) est en effet un arbre à forte valeur écologique et patrimoniale dont l'aire de répartition est limitée à la partie occidentale du bassin méditerranéen (Alpes, Corse, Pyrénées, Espagne, Atlas marocains et Aurès d'Algérie). Sa croissance est lente mais il est connu pour sa grande longévité. Son bois résistant et odorant compte autant d'usages que de propriétés.**

**Trois colloques dédiés au Genévrier thurifère ont déjà été organisés : le premier dans les Pyrénées (à Marignac en 1997), le deuxième au Maroc (à Marrakech en 2001) et le troisième en Espagne (à Soria en 2006). Il était donc temps aujourd'hui de faire le point sur les dernières recherches menées dans ce domaine.**

**Le IVe Colloque international sur le Genévrier thurifère a donc été organisé entre les 5 et 8 octobre 2011 à Mont-Dauphin et Saint-Crépin (Hautes-Alpes, France). Il a rassemblé des chercheurs et des professionnels venus des deux rives de la Méditerranée. Il a ainsi été pour eux l'occasion d'échanger sur les dernières études menées sur cet arbre, sa répartition, son rôle écologique, sa vulnérabilité, sa valeur patrimoniale, ses usages ou encore sa gestion conservatoire. Ces thématiques ont été abordées lors de conférences, expositions, spectacles et sorties en forêt organisés pour le grand public. Une attention particulière a été portée aux peuplements alpins ainsi qu'à la gestion conservatoire de cette population d'intérêt majeur.**

**Les présentations et les débats ont aussi été élargis aux espèces affines, c'est-à-dire aux autres espèces de genévriers des milieux extrêmes ou encore aux espèces compagnes soumises aux mêmes contraintes.**

Revue indexée dans Pascal-CNRS et Biosis

ISSN 0153-8756