

**Approche de la conservation  
et de la restauration  
du genévrier thurifère (*Juniperus thurifera* L.)  
au Maroc à travers l'exemple  
de la vallée des Aït-Bou-Guemmez  
(Haut Atlas)**

Mustapha RHANEM \*

*Cet article est dédié à MM. Camille PEYRE de Bram et François ROMANE de Saint-Gély-du-Fesc. Le premier pour m'avoir fait découvrir et partager son expérience inestimable de la montagne marocaine et initié à la topoclimatologie ; le second, dont la gentillesse et l'expérience internationale m'ont été d'un grand secours, pour m'avoir ouvert les portes du Centre d'Écologie Fonctionnelle et Évolutive (alias C.E.P.E. Louis EMBERGER) à Montpellier et cela pendant plus d'une dizaine d'années.*

**Résumé :** La haute vallée des Aït-Bou-Guemmez se situe dans le *Hotspot* du Haut Atlas marocain, qui représente, avec le Moyen Atlas, le plus important centre de biodiversité et d'endémisme d'Afrique du Nord. Elle abrite différentes essences forestières parmi lesquelles le genévrier thurifère (*Juniperus thurifera* L.) occupe la deuxième place en terme de surface, mais qui joue un rôle de premier plan aux altitudes élevées. Taxon endémique ouest méditerranéen, apparu au cours du Tertiaire, il est, en effet, l'une des rares espèces arborées capable de résister encore aux conditions climatiques actuelles particulièrement difficiles régnant au niveau des limites inférieures de la haute montagne atlasique. Toutefois, ces thuriferaies périglaciaires relictées, d'un intérêt écologico-floristique, socio-économique et patrimonial évident, sont fortement dégradées en raison de l'action anthropozoogène ce qui nécessite, pour limiter les menaces qui pèsent sur elles, des mesures concrètes de conservation et de restauration. C'est une tâche d'autant plus urgente que, une fois dégradé, l'écosystème est bien souvent lent ou incapable de se reconstruire puisque sa résilience est faible ou nulle, ce qui fait penser qu'un ou plusieurs seuils d'irréversibilité écologique ont pu être franchis. Aussi,

---

\* M. R. : Unité de Phytodiversité et Écologie Montagnarde, Faculté des Sciences, BP 11201, Zitoune, MEKNÈS, MAROC. Courriel : mrhanem@gmail.com

tout processus de gestion durable doit prendre en compte la spécificité écologique de chacune des thuriféraires tout en s'assurant de la participation des populations locales, qui dépendent des ressources forestières, dans le processus décisionnel, afin qu'elles conservent un contrôle, qui doit, toutefois, être redéfini, sur les usages et les bénéfices qui découlent de leur exploitation.

**Mots clés :** genévrier thurifère, relict, point chaud, dégradation, conservation, restauration, Aït-Bou-Guemmez, Haut Atlas.

**Abstract :** The high valley of Aït-Bou-Guemmez is located in the hotspot of the High Atlas of Morocco, which, together with the Middle Atlas, is the most important center of biodiversity and endemism in North Africa. The valley is colonized by different tree species including the thuriferous juniper (*Juniperus thurifera* L.), also called Spanish juniper, ranks second in terms of area, but plays a leading role at high altitudes, since it is one of the rare tree species present there. Endemic taxon of western Mediterranean, appearing during the Tertiary, this species is able to withstand even the current particularly difficult weather conditions prevailing at the lower limits of the High Atlas mountains. However, these relict periglacial formations, of exceptionally high ecological, floristic, socio-economic and cultural heritage value, are strongly degraded due to intensive wood removal and livestock activity. In order to reduce or halt the threats to the species survival, specific measures of conservation and restoration involving the local population are needed. The task is all the more urgent because, once degraded, this ecosystem is often slow or unable to regenerate given that its resilience is low or nil, since apparently one or more thresholds of irreversibility have been crossed. Also, any process of sustainable management must take into account the specificity of each ecological *Juniperion thuriferae* formation while ensuring the participation of local people who depend on forest resources in decision making so that they retain control, which, however, must be redefined on the uses and benefits arising from their exploitation.

**Key words :** Incense juniper, relict, hotspot, degradation, conservation, restoration, Aït-Bou-Guemmez, High Atlas.

## 1 - Introduction

La région méditerranéenne bénéficie d'une biodiversité et d'un « capital nature » parmi les plus riches au monde (N. MYERS, 1988 et 1990 ; F. MÉDAIL et P. QUÉZEL, 1997 ; J. BLONDEL & *al.*, 2010) et constitue par ailleurs un centre majeur d'endémisme (P. QUÉZEL et F. MÉDAIL, 2003), d'où son originalité floristique et écologique. Il s'agit, en effet, d'une écorégion formant un écotone biogéographique et bioclimatique entre les régions européenne, saharienne et irano-touranienne où coexistent des lignées et des territoires biogéographiques hétérogènes (D. M. OLSON *et al.*, 2001 ; D. M. OLSON et E. DINERSTEIN, 2002). Elle figure ainsi parmi les 25 points chauds (*hot spots*) de la biodiversité mondiale, identifiés par N. MYERS *et al.*, 2000) et où la pression de l'homme ne connaît pas de répit à cause d'une démographie humaine en nette croissance (R. P. CINOTTA *et al.*, 2000 ; R. P. CINOTTA et R. ANGELMAN, 2000). Aussi, contrairement à ce que l'on pourrait penser, les risques encourus par les espèces

menacées d'extinction y sont plus accentués que dans les régions tropicales en raison des disparités dans la perte d'habitats naturels et de la protection (J. M. HOEKSTRA *et al.*, 2005).

Or, si en termes de stratégie mondiale de conservation, ces hotspots doivent constituer des zones d'actions prioritaires (W. V. REID, 1998), il n'en demeure pas moins qu'ils nécessitent une hiérarchisation des secteurs de conservation (N. MYERS & *al.* 2000), avec notamment une attention toute particulière pour les populations périphériques des zones de transition autant que celle accordée aux espèces rares, menacées ou en voie d'extinction (T. B. SMITH *et al.* 2001 ; G. LEPPIG et J. W. WHITE, 2006).

Il en découle que la plupart des écosystèmes méditerranéens sont fortement transformés (J. BONDEL et F. MÉDAIL, 2009) et composés d'espèces ayant différentes origines géographiques ; une grande partie d'entre eux sont des forêts qui sont constituées par près de 250 espèces arborescentes avec 14 genres qui leur sont particuliers (P. QUÉZEL, 1999). Leurs structures écologiques actuelles, leurs fonctionnements, la biodiversité qui les caractérisent, sont dus, en plus de relations complexes entre sols, géologie et climat (P. QUÉZEL, 1985), à une histoire humaine à la fois ancienne et très variée aux niveaux des paysages et des régions (J. BLONDEL & *al.*, 2010). Mais, ils sont aussi l'héritage d'une longue histoire évolutive qui a concerné tout le bassin circumméditerranéen et qui, depuis des millions d'années, a façonné, affiné en lentes co-évolutions des interdépendances souvent subtiles, élaboré la plasticité des espèces et des systèmes écologiques. Cette dynamique évolutive a été fortement influencée par des variations plus ou moins cycliques des climats dont les alternances du Quaternaire ne sont que les récentes vicissitudes.

Ce sont ces multiples événements paléogéographiques et les cycles climatiques contrastés qui ont permis également l'émergence d'une biodiversité inhabituellement élevée dans le Haut et Moyen Atlas marocains, mais aussi en raison de la vigueur de leurs reliefs dont les dénivelés avoisinent parfois les 1 500 mètres avec de nombreux sommets à plus de 3 000 m, voire plus de 4 000 m (4 167 m pour le massif du Toubkal et 4 075 m pour le massif du Mgoun dans le Haut Atlas). En plus de ces caractéristiques hypsométriques qui font d'eux le seul endroit du bassin méditerranéen où apparaissent les deux séquences complètes des bioclimats d'EMBERGER et des étages de végétation d'OZENDA-QUÉZEL (M. RHANEM 2008 a), ce sont aussi les premiers centres d'endémisme du pays (M. FENNANE & M. IBN TATTOU, 1999) comptant parmi les 10 spots méditerranéens de diversité végétale (F. MÉDAIL et P. QUÉZEL, 1997 ; F. MÉDAIL & N. MYERS, 2004).

Toutefois, si la plus grande partie de cette flore est méditerranéenne jusqu'au sommet (L. EMBERGER, 1964), elle comporte néanmoins des éléments holarctiques boréo-alpins reliques de l'époque glaciaire, abandonnés dans le sillage des glaciers lors de leur retrait, et réfugiés, pour la plupart, dans la montagne du Haut Atlas marocain (F. MÉDAIL et K. DIADEMA, 2009). Au moins 160 d'entre eux se trouvent dispersés sur les plus hauts sommets de cette chaîne dont certains, endémiques, ont vu leur aire se disloquer pendant ces dernières décennies et ne sont plus représentés que par un petit nombre d'individus sous la pression d'un intense surpâturage estival (J. MATHEZ *et al.*, 1985).

Cependant le paysage le plus caractéristique de la haute montagne marocaine est constitué de formations asylvatiques supraforestières dominées par les chaméphytes en coussinets et il commence, d'un point de vue botanique, à partir de la limite supérieure des arbres (2 600-3 400 m). Il en va ainsi dans la vallée des Aït-Bou-Guemmez où il apparaît en moyenne aux alentours de 2 700 mètres d'altitude. Il relaie vers le bas des formations arborées constituées principalement par des peuplements très ouverts de genévrier thurifère distants les uns des autres d'au moins une dizaine de mètres (photo 1), alors que la quasi-totalité de la surface du sol est occupée par des formations pulvinées (M. RHANEM, 2008 b). Toutefois, en raison des prélèvements incessants auxquels le genévrier thurifère est confronté, la valeur indiquée ci-dessus risque fort bien d'être revue à la baisse d'ici quelques années. En effet, au niveau de cet écotone, il représente, du point de vue biomasse, la principale ressource végétale à cause de la quasi-inexistence de la strate herbacée d'autant que son bois est réputé pour ses qualités de solidité et d'imputrescibilité, ce qui fait qu'il a été souvent utilisé pour les charpentes de construction, le chauffage et la cuisson, ainsi que pour l'extraction, à partir de la distillation des branches, d'une sorte de goudron utilisé en médecine vétérinaire alors que son feuillage est destiné au troupeau.

Or, malgré sa résistance et sa vitalité extraordinaire, qui font de lui le seul arbre véritablement de haute montagne capable de se développer dans ce type de milieu, les menaces de sa disparition ne font que s'accroître en raison de la surexploitation (coupes, ébranchages, défrichements anarchiques), d'un pâturage excessif (parcours permanent et incontrôlé) et de l'absence d'alternatives économiques. Ce constat s'avère d'autant plus alarmant en raison d'une part de la disparition progressive des sols par piétinement et érosion et, d'autre part, d'une absence quasi totale de régénération naturelle, mais aussi par la perte de son aptitude à la production de graines (W. BADRI *et al.*, 2006). Il faut ajouter à cela le fait que la charge pastorale et la pression sur le genévrier thurifère pour alimenter le bétail et satisfaire les besoins domestiques est devenue très supérieure aux possibilités des milieux.

Devant l'ampleur de cette destruction, réparer, réhabiliter et recréer les thuriferaies dégradées devient une tâche primordiale. Déjà en 1938, L. EMBERGER tirait la sonnette d'alarme lorsqu'il écrivait, en faisant d'ailleurs allusion au genévrier thurifère : « La restauration intégrale de la haute montagne marocaine est, hélas, une tâche surhumaine, tant sont grandes les ruines déjà accumulées depuis des siècles », et d'ajouter un peu plus loin que « le problème n'est pas insoluble, il est d'ordre botanique et technique ». En même temps, des actions de prévention, de conservation et de gestion adaptées devraient aussi être entreprises bien qu'il soit difficile de les concilier avec les besoins de la population locale comme cela a été évoqué par plusieurs auteurs (D. MASELLI, 1995 ; M. GEELHAAR, 1995 ; D. GOEURY, 2007 ; J. MILIAN, 2007).

Cependant, la justification de cette étude ne se limite pas seulement à ces considérations évoquées ci-dessus, elle provient aussi de ce que la vallée des Aït-Bou-Guemmez est une zone de haute montagne méditerranéenne où l'une des composantes principales du paysage végétal n'est autre que le genévrier thurifère dont certains individus sont fortement dégradés (photo 2)

en raison de perturbations anthropozoogènes, mais aussi à cause de fortes contraintes naturelles liées autant à l'orotopographie générale et à la nature du substrat, qu'à la rigueur et l'irrégularité du climat. Dans ce contexte, il est donc justifié de réaliser une identification des peuplements de genévrier thurifère à sauvegarder, à préserver et à restaurer.

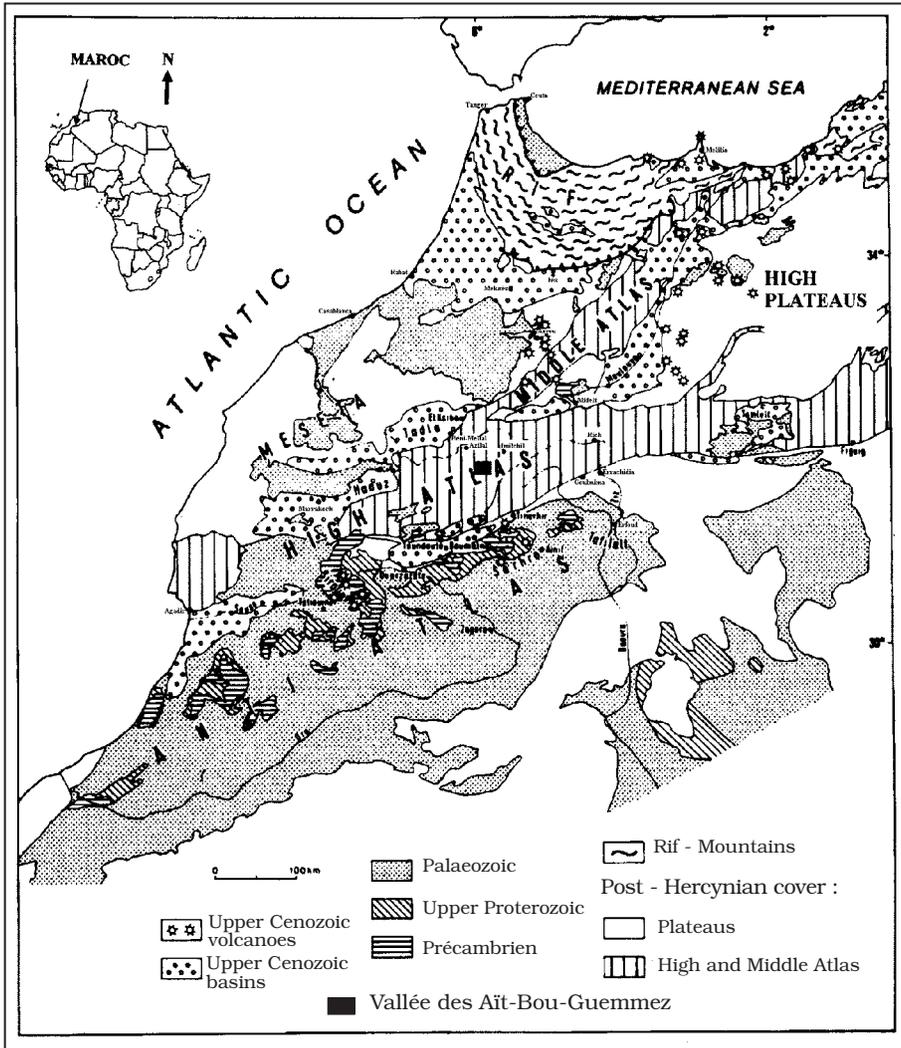
À ces caractéristiques s'ajoute un fait biotique important : la variété des formes d'utilisation des ressources végétales par l'homme, les animaux domestiques et les animaux sauvages. C'est sans doute à cause de la nature de l'impact de l'homme que le territoire choisi peut être considéré comme un champ d'étude remarquablement intéressant. En effet, cette influence humaine évolue en raison des modifications de l'accessibilité des lieux (route asphaltée aux  $\frac{3}{4}$  entre Aït-Mhammed et Tabant) ainsi que des aménagements de refuges (Izourar), de gîtes d'étapes et l'afflux des visiteurs étrangers.

À cet égard, cette vallée, avec ses différentes composantes naturelles et anthropiques, pourrait constituer un modèle de gestion rationnelle pour de vastes territoires de la montagne marocaine classés dans la catégorie des zones rurales défavorisées, fragiles et sensibles. C'est d'ailleurs en raison de ces divers aspects qu'elle a suscité l'intérêt d'institutions internationales (américaines et européennes) et nationales, mais aussi d'organisations non gouvernementales (C. J. BARROW & H. HICHAM, 2000).

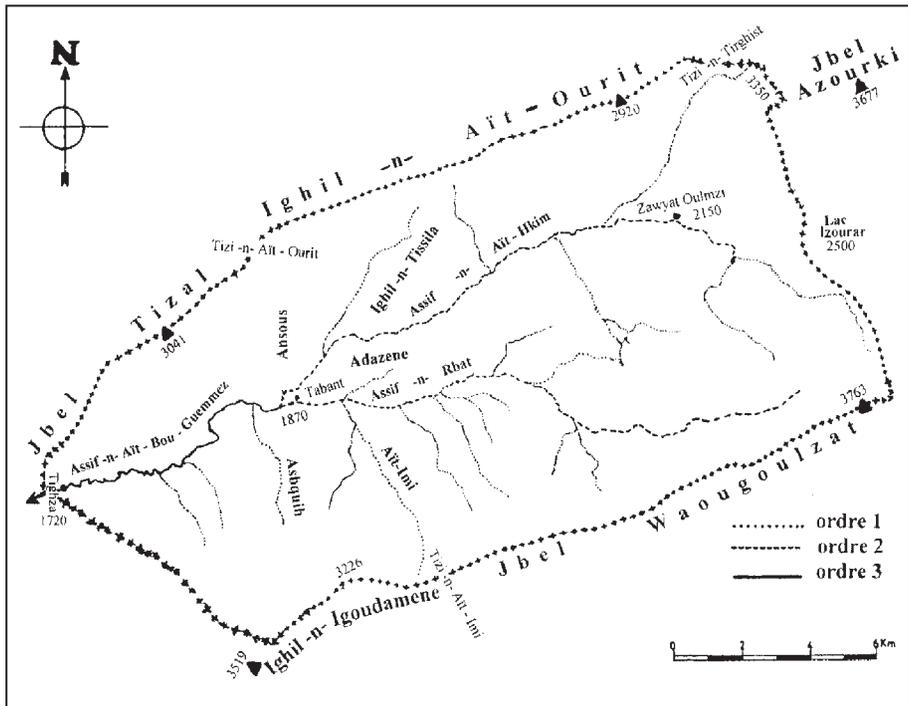
Dans cet article, après avoir au préalable rappelé les caractéristiques physiques de l'aire d'étude et de son contexte socio-économique, nous donnerons un aperçu des connaissances actuelles sur le genévrier thurifère. Dans un second temps, nous procéderons à la description des principales thuriféraires et de leurs variations spatiales suivant les principales conditions mésologiques, ainsi que quelques-unes de leurs caractéristiques édaphiques et climatiques. Enfin, dans une dernière partie, nous passerons en revue les causes majeures de la régression de l'aire du genévrier thurifère tout en suggérant quelques éléments de réponse quant aux moyens qu'il faut mettre en œuvre pour l'enrayer ou du moins l'arrêter.

## II – Situation et contexte

La vallée des Aït-Bou-Guemmez est située au cœur du Haut Atlas central calcaire (figure 1), dans la province d'Azilal de la région Tadla-Azilal. Elle s'étend à une altitude moyenne de 2 250 m (1 800-2 300 m) sur près de 30 km de longueur et sur 10 à 11,5 kilomètres de largeur, abritant une trentaine de villages. Elle compte quelque 13 000 habitants essentiellement berbères d'origines très diverses (B. LECESTRE-ROLLIER, 1992). Son drainage est organisé selon un système majeur hiérarchisé en Y ; les axes de deuxième ordre correspondent à deux sous bassins disposés parallèlement à l'orientation générale est-ouest de la vallée : la combe d'Aït-Hkim au nord et le val des Aït-Rbat au sud (figure 2). De forme générale rectiligne, cette vaste gouttière



**Figure 1 - Situation géographique de la vallée des Aït-Bou-Guemmez dans le système atlasique du Maroc (d'après V. H. JACOBSHAGEN, 1988)**



**Figure 2 - Cartographie des vallons et de la hiérarchisation du réseau hydrographique dans la vallée des Aït-Bou-Guemmez selon la méthode de STRAHLER (1952).**

La mise en place des axes de drainage et la détermination des ordres ont été réalisés à l'aide des cartes topographiques au 1/100 000 de Zawyat Ahançal et d'Azilal. Ont été considérés comme axes d'ordre 1 les cours d'eau ayant un vallon individualisé dans la topographie ; pour cela nous avons eu recours aux photographies aériennes. Chaque ordre (1, 2, 3) correspond, en surface drainée, à une partie du bassin versant et chacun de ces ordres inclut dans son aire de drainage celle de l'ordre immédiatement inférieur (d'après M. RHANEM, 1985, légèrement modifié).

longitudinale se présente sous la forme d'une large dépression fluviatile à fond plat (photo 3) suspendue, vers l'aval, au-dessus du défilé de l'Imi-n-Tighouza, obturé, à ce niveau, par un éboulement où l'Assif-n-Aït-Bou-Guemmez dévale comme un torrent, sur près de 3 km. La limite orientale du val est, quant à elle, formée par la plaine lacustre du poljé d'Izourar, perché à plus de 2 500 m. Cette dernière est une large ondulation synclinale entre les anticlinaux dissymétriques de l'Azourki, au nord, et du Waougoulzat au sud. Ces deux grandes murailles, dont les dénivelés dépassent le kilomètre, forment, avec les massifs du Tizal, de l'Aït-Ourit et de l'Igoudamène, l'ossature du relief qui se caractérise, dans sa constitution géologique, par la prédominance des séries sédimentaires du Jurassique avec, localement, des affleurements triasiques et des dépôts quaternaires (figure 3).

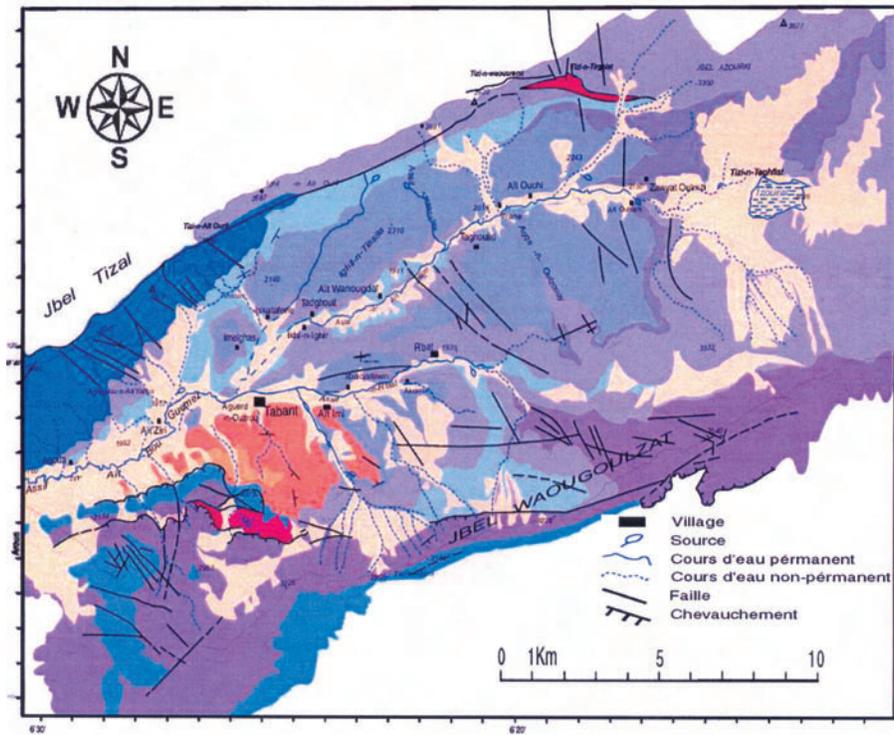
Les interfluves dépassent, pour la plupart d'entre eux, le seuil des 3 000 m avec respectivement, à l'adret, d'ouest en est : le jbel Tizal (3 041 m), le jbel Aït-Ourit (2 920 m) et le jbel Azourki (3 669 m) ; alors que, vers l'ubac, en revenant d'est en ouest, on trouve successivement le jbel Waougoulzat (3 743 m) et le jbel Igoudamène (3 545 m).

Du point de vue géomorphologique, le froid constitue ici l'élément climatique décisif et les phénomènes périglaciaires en sont l'un des aspects les plus frappants et dont l'intensité est favorisée par la sécheresse estivale. Ils sont avant tout cryo-nivaux, ce qui implique de nombreux cycles de gel-dégel permettant un abondant débitage du matériel rocheux affleurant en gélifractions, et des phénomènes de solifluxion, de dissolution liés au cycle enneigement-déneigement. Ainsi en va-t-il sur les ubacs rictés hérités du Quaternaire des massifs de l'Igoudamène et du Waougoulzat où les dépôts d'éboulis terreux sont remodelés par une combinaison de la gélifraction en surface et de glissements dans la masse. Néanmoins, la morphogenèse actuelle se caractérise aussi, comme sur la totalité des versants de la vallée, par une emprise vigoureuse de l'érosion linéaire, qui dissèque profondément et tend à détruire les formations superficielles.

En revanche, l'étage glaciaire est inexistant dans les conditions climatiques présentes où seulement quelques névés subsistent localement sur les auges sculptées au Quaternaire que l'on trouve dans la partie orientale des hauts de versants du massif du Waougoulzat (P. D. HUGHES & *al.*, 2004).

En ce qui concerne l'activité économique, à côté du tourisme de montagne (L. PÉZELET, 1996), artisanat, commerce et services, elle repose principalement sur l'agriculture et l'élevage qui s'organisent autour de trois milieux comprenant le secteur infraforestier (fond de vallée et bas-versant), le secteur intraforestier (mi-versant) et le secteur supraforestier asylvatique (haut-versant). Cependant, le pastoralisme occupe une place de premier ordre (G. COUVREUR, 1968) contrairement à ce que l'on observe dans les régions du Haut Atlas occidental (G. COUVREUR, 1979).

Cette organisation étagée des systèmes agro-sylvo-pastoraux est structurée perpendiculairement à l'axe montagnard avec respectivement de bas en haut : (1) l'agriculture vivrière de fond de vallée à laquelle succèdent les douars (villages) et quelques lopins de terres cultivés en sec sur les bas-versants ; (2) l'espace forestier du mi-versant utilisé pour la fourniture de



**Figure 3** - Lithologie et géologie de la vallée des Aït-Bou-Guemmez (d'après J. A. JOSSEN, 1988).

- Dépôts quaternaires : essentiellement des conglomérats.
- Formation des Aït Bouguemez : marnes versicolores, calcaires en plaquettes à faune naine de lamellibranches et brachiopodes (**Bajocien**).
- Formation de Tabant : calcaires, dolomies et marnes. Au sommet, slumps et mégabrèches intraformationnelles (**Bajocien/Aalénien**).
- Formation de Wazzant : conglomérats à éléments locaux, calcaires et dolomies du Lias inférieur et moyen (**Aalénien/Toarcién**).
- Formation Aït Bazzi : dolomies et marnes versicolores, avec des niveaux gypseux. Mégabrèches intraformationnelles (**Domérien/Carixien**).
- Formation d'Aganane : calcaires à oncolites, calcaires et dolomies à "bird's eyes" et laminites algaires (**Domérien/Carixien**).
- Formation du Jbel Rat : dolomies en bancs massifs, structures en teepee (**Sinémurien**).
- Formation d'Imi-n-Ifri : calcaires à oncolites (**Sinémurien**).
- Formation des Aït Bou Oulli : calcaires oolithiques en bancs massifs, calcaires et dolomies à "bird's eyes" et laminites algaires (**Sinémurien**).
- Basaltes des Aït Aadel : coulées de basaltes altérés (**Trias supérieur**).

bois domestique, le fourrage foliaire et le pâturage ; et (3) l'espace asylvatique de haut-versant qui constitue des parcours pour les troupeaux d'ovins et de caprins. Le système productif intègre les trois étages et les ressources disponibles aux différents moments de l'année ; il s'adapte en permanence à la brusque variabilité des conditions climatiques (B. LECESTRE-ROLLIER, 1997). Toutefois, les modalités d'accès et d'exploitation de ces ressources sont soumises à des règles bien précises (B. LECESTRE-ROLLIER 1992, B. ROMAGNY & al. 2008).

### **III - État actuel des connaissances sur la systématique, la répartition, l'architecture et l'écologie du genévrier thurifère**

La grande majorité des espèces du genre *Juniperus* (famille des *Cupressaceae*, s/g : *Sabina*) se développe dans l'hémisphère nord ; il compte, si l'on inclut les sous-espèces, et variétés, 101 taxons (R. ADAMS 2008), dont 15 sont particuliers au bassin occidental de la Méditerranée (T. GAUQUELIN 2006). Mais seul le genévrier thurifère est autochtone, c'est-à-dire de souche biogéographique strictement méditerranéenne au sens biogénétique (P. QUÉZEL 1999, P. QUÉZEL & al. 1999). Le nom latin de l'espèce (littéralement « porte-encens ») provient de son odeur caractéristique.

Au niveau de cette aire générale, il est présent uniquement autour de la Méditerranée occidentale ; autrement dit c'est une phanérophyte strictement ouest méditerranéenne (P. QUÉZEL, 1995 ; T. GAUQUELIN *et al.*, 2000) au double sens géographique et écologique de ce qualificatif. À l'échelon régional, ce taxon est typiquement méditerranéo-montagnard faisant partie de la flore oromésogéenne périglaciaire (P. QUÉZEL, 1981 ; P. QUÉZEL *et al.*, 1980). C'est un arbre ou un arbuste dioïque (T. GAUQUELIN & al. 2002, D. MONTESINOS 2007), rarement monoïque (A. BOREL A. & J.-L. POLIDORI 1983 ; L. LATHUILLIÈRE 1994).

Le genévrier thurifère perdure depuis l'ère Tertiaire (M. COSTA TENERIO & al. 1987) et a connu son maximum d'expansion au cours des périodes froides du pléistocène (A. TERRAB & al. 2008). Toutefois, depuis la dernière glaciation, il a vu sa surface diminuée en raison du réchauffement climatique progressif et des activités anthropiques, qui ont probablement provoqué la fragmentation de son aire façonnant ainsi sa répartition actuelle (P. QUÉZEL et F. MÉDAIL 2003) confinée au climat méditerranéen froid et semi-aride (G. JALUT & al. 2000). Il s'agit donc d'une relique qui se serait maintenue dans certains milieux grâce à ces préférences écologiques et à l'absence de concurrence d'autres arbres. Outre donc son importance biogéographique, le genévrier thurifère

présente aussi un caractère relictuel qui est à l'origine de son grand intérêt patrimonial (L. LATHUILLIÈRE, 1996).

Actuellement, son aire est très disloquée et se répartit principalement entre le Maroc et l'Algérie pour l'Afrique du Nord, l'Italie, la France et l'Espagne pour le continent européen, (M. BARBERO *et al.*, 1994) où la problématique de son maintien et de sa préservation est différente du sud au nord (T. GAUQUELIN *et al.*, 1999). Ces deux ensembles géographiques correspondent à deux sous-espèces distinctes d'un double point de vue biométrique et phytochimique (T. GAUQUELIN *et al.*, 1988 ; T. GAUQUELIN *et al.*, 2000). La première, *Juniperus thurifera* subsp. *africana* (Maire) Gauquelin *et al.* est strictement nord-africaine, alors que la deuxième, *Juniperus thurifera* subsp. *thurifera*, est constituée de trois sous-ensembles populationnels répartis entre la Corse et le sud de l'Europe. Plus récemment, R. ADAMS (2008) et A. TERRAB & *al.* (2008), utilisant d'autres approches, n'ont pu que confirmer cette distinction, alors que A. ROMO & A. BORATYNSKY (2007) n'ont apporté que quelques précisions sur les modalités conventionnelles de sa dénomination.

Au Maroc, sa répartition est également très fragmentée (A. ROMO & A. BORATYNSKY, 2005), témoignant d'un morcellement en isolats écologiques résiduels de l'aire de l'espèce à partir d'une étendue plus compacte et plus ample à la suite de la perte d'habitat du genévrier thurifère et l'isolement de ses populations. Il occupe ainsi toute la chaîne atlasique (sauf le massif des Seksaoua) et l'Anti-Atlas à l'intérieur desquels il forme des patches (parcelles, plaques) constituant autant d'habitats plus ou moins favorables ; toutefois, il est absent dans la montagne du Rif pour des raisons essentiellement écologiques (L. EMBERGER, 1939). Il se développe dans une large amplitude altitudinale allant de 1 700-1 800 à 3 200-3 400 m et occupe ainsi l'ensemble de l'étage de végétation montiméditerranéen *sensu* QUÉZEL-OZENDA. Il peut même se maintenir, à l'état sporadique, dans l'étage oroméditerranéen inférieur où il constitue d'ailleurs, souvent, la limite supérieure des arbres sous forme d'individus isolés et rabougris à aspect chétif ou tourmenté. À ce niveau, il peut également adopter, dans certaines conditions (milieux très ventés), une forme chaméphytique naine hémisphérique qui n'est autre qu'une convergence morphologique avec les espèces pulvinées qui le concurrencent en haute altitude. En plus de cette silhouette témoignant d'une adaptation écomorphologique, le genévrier thurifère est plutôt une espèce arborescente à structure monocaule et aux formes très variées : énorme champignon ligneux (EMBERGER 1938 b), conique, cupressoïde, ovoïde, quenouillé (A. BOREL & J.-L. POLIDORI 1983, L. LATHUILLIÈRE 1994, N. MOMTÈS 1999). Toutefois, il peut présenter une structure multicaule dont les bases des tiges deviennent coalescentes simulant un tronc unique (BERTAUDIÈRE *et al.* 2004). Selon ces auteurs, cette structure semble être un avantage adaptatif à l'environnement sévère où le genévrier thurifère se développe, mais n'exclut pas le rôle important que peut jouer la forte pression anthropique qui peut induire des phénomènes de régénération adaptative à la coupe répétée des troncs.

Du point de vue bioclimatique *sensu* EMBERGER, il a une prédilection pour le semi-aride *sensu lato*, mais peut subsister dans le sub-humide (M. RHANEM, 1985 et 2008 b ; W. BADRI *et al.*, 1994). En plus de ces

particularités, le genévrier thurifère possède une remarquable plasticité et une rusticité exceptionnelles. C'est ainsi qu'il accepte l'ombre et la lumière, le calcaire et la silice, les rocailles aussi bien que les alluvions limoneuses et les dépôts de pentes pierro-terreux d'origine périglaciaire, en se contentant le plus souvent de sols squelettiques. Par ailleurs, parmi toutes les essences de conifères marocains, le genévrier thurifère est celui qui supporte le mieux le froid (C. LEMOINE-SEBASTIAN, 1965) ; il peut résister à de longues périodes de gel allant de novembre à mars généralement, mais pouvant durer selon les cas de fin septembre à juin (H. GAUSSEN, 1952). Toutefois, si au Maroc, il peut supporter des longues périodes de sécheresse, il n'en est pas de même en Espagne où il ne semble pas endurer plus de trois mois (J. M. GARCIA-LÓPEZ & C. ALLUÉ-CAMACHO, 2005). Enfin, cette essence longévive ne rejette pas de souche ; néanmoins, selon L. EMBERGER (1939), le genévrier thurifère réagit fortement à la coupe et aux mutilations et résiste longtemps au feu « grâce à un haut pouvoir de former des bourgeons adventifs » d'où le « tempérament d'acier » auquel il est souvent associé. Toutes ces caractéristiques lui permettent d'occuper les milieux les plus hostiles où d'autres espèces arborescentes ne peuvent rivaliser avec cette cupressacée.

#### **IV - Autoécologie du genévrier thurifère dans les Aït-Bou-Guemmez**

Dans les Aït-Bou-Guemmez la plupart des thuriféraires se trouvent en ambiance froide ; elles y occupent presque d'un seul tenant, entre 2 100 et 2 700 m d'altitude, les ubacs de la chaîne méridionale formée par les massifs du Waougoulzat et de l'Goudamène, dans des hémicycles bien abrités de l'influence des vents humides. Dans cette large gamme altitudinale, elles sont interrompues ici et là par des chénaies-thuriféraires mixtes à la faveur d'expositions plus ensoleillées. D'autres, en position basse en raison d'inversions thermiques, sont localisées sur les bas de versants des adrets de la cuvette d'Ansous et à l'amont du val des Aït-Bou-Guemmez. Par ailleurs, notons l'absence quasi complète de cette essence sur le versant méridional du massif du Tizal, entre le marabout de Sidi-Moussa et Tighouza probablement à cause des biotopes qui y règnent et qui sont relativement chauds et secs. Pour trouver du genévrier thurifère sur cette première muraille formée par le Tizal et l'Aït-Ourit, il faut aller aux environs du Tizi-n-Tirghist sur les pentes en exposition nord-est à des altitudes aux alentours de 2 500-2 700 m ; il faut dire qu'à ce niveau le genévrier thurifère est à l'abri, par effet d'écran, des influences océaniques directes qui sont interceptées auparavant par l'imposante muraille du massif d'Imizer-n-Idramar. Pour bien se rendre compte de l'effet néfaste de ces influences océaniques sur le comportement du genévrier thurifère, il suffit d'aller du côté septentrional du massif d'Aït-



**Figure 4** - Position des thuriféraires de la vallée des Aït-Bou-Guemmez par rapport aux autres formations végétales

- Junipéraie à *Juniperus thurifera*
- Chênaie à *Quercus ilex*
- Junipéraie à *Juniperus phoenicea*
- Buxaie à *Buxus sempervirens*
- Junipéraie mixte à *Juniperus thurifera* et *J. phoenicea*
- Junipéraie à *Juniperus oxycedrus*
- Buxaie-frênaie
- Frênaie à *Fraxinus dimorpha*
- Steppe à *Artemisia mesatlantica*
- Steppe à *Ormenis scariosa*
- Steppes à pulvinées (xérophytes épineux de haute montagne)
- Cultures

Ourit. Ce dernier, en effet, reçoit assez fréquemment de plein fouet les masses d'air humide lors des perturbations, aussi faibles soient-elles, ce qui a pour conséquence immédiate l'élimination du genévrier thurifère dans la compétition avec les autres essences. Dans le cas présent, il est remplacé par le buis sempervirent (*Buxus sempervirens*). Cette répartition semble indiquer que le genévrier thurifère recherche des conditions thermiques froides du montiméditerranéen *sensu lato* (-6 < moyenne des minima du mois le plus froid < -3 °C), relativement humides (500 < Précipitations < 700 mm) ; néanmoins cette espèce est éliminée dès que la nébulosité (couverture nuageuse) devient fréquente. En plus du buis toujours vert, le genévrier thurifère peut constituer des peuplements mixtes avec le genévrier de phénicie (*Juniperus phoenicea* L.), le genévrier oxycèdre (*Juniperus oxycedrus* L.), le chêne vert (*Quercus ilex* L.), et l'aubépine (*Crataegus laciniata* Ucria). Quant aux chaméphytes, ils sont un peu plus nombreux ; ainsi parmi la dizaine de thuriféraires inventoriée dans la vallée des Aït-Bou-Guemmez (M. RHANEM, 2008 b), l'on trouve les espèces suivantes classées par ordre alphabétique : *Alyssum spinosum* L., *Arenaria armerina* Bory, *Berberis hispanica* Boiss & Reuter, *Bupleurum atlanticum* Murb., *Bupleurum spinosum* Gouan (= *B. frutescens* L. subsp. *spinosum* Gouan), *Cistus laurifolius* L., *Cytisus purgans* subsp. *balansae* (Boiss.) Maire (= *Cytisus balansae* (Boiss.) Ball), *Eryngium triquetrum* Vahl., *Genista scorpius* L. (DC.), *Koeleria vallesiana* (Honk.) Gaudin, *Ormenis scariosa* (Ball) Litt. & Maire, *Pterocephalus depressus* Cosson & Balansa, *Rhamnus lycioides* L., *Vella mairei* Humbert.

Du point de vue édaphique, les thuriféraires se déploient sur différents types de substrats dont le bilan hydrique varie selon la position topographique, la teneur en argiles et la conformité ou non du pendage des couches géologiques avec la surface topographique. Parmi ceux-ci, l'on trouve :

- des colluvions hétérogènes plus ou moins stabilisées de mi-versant de type cryo-nival, mais fossiles ; elles sont formées d'un ennoyage de gélifracsts calcaires et d'argile brune. C'est le substrat le plus étendu où la densité des genévriers thurifères est la plus élevée de toute la vallée. Il s'agit d'un mélange relativement épais et plus ou moins compact, parfois encroûté, de terre et d'éléments grossiers de toutes dimensions (graviers, cailloux, pierres et blocs) qui favorisent son aération. La charge en terre fine permet une bonne rétention d'eau alors que sa profondeur augmente la réserve utile en eau. La majeure partie des thuriféraires se développe sur ce genre de substrat :

- des colluvions pierreuses de bas de pente mobile dont la rétention en eau est nulle mais qui favorise cependant un bon drainage ; à l'opposé, elles évitent une forte évaporation de l'eau contenue dans le sous-sol ;

- des alluvions de fond de vallée, plus ou moins favorables en fonction de leur compaction et de leur teneur en sable ;

- des substrats rocheux gréseux constitués de véritables platières à pendage horizontal et à surface graveleuse, recouvertes d'un mince revêtement issu de l'altération de la roche de grès rouge en place. Le caractère filtrant de ce substrat est favorisé par la forte teneur en éléments grossiers (sable) ; toutefois, une partie non négligeable des précipitations ruisselle. Aussi, les stations de ce

type sont-elles humides pendant les saisons pluvieuses et deviennent sèches en été en raison de l'absence de la fraction limono-argileuse ;

- des substrat rocheux gréseux où les bancs de grès, à contre-pendage, forment des ressauts, vires et anfractuosités qui constituent autant de pièges à neige permettant un maintien plus long de l'humidité. Par conséquent le ruissellement est plus faible, alors que l'infiltration de l'eau de fonte est maximale. Le bilan hydrique de ce type de situation s'en trouve nettement amélioré par rapport au cas précédent ;

- des substrats rocheux sur pentes rocailleuses où les bancs calcaires occupent la quasi-totalité de la surface du sol. Ici les genévriers thurifères sont très disséminés et installés dans les fentes de rochers, là où la terre fine et la matière organique ont pu s'accumuler ;

- des substrats terro-rocheux lapiazé, constitués irrégulièrement de rochers calcaréo-dolomitiques et de poches rouges d'argiles de décalcification. Toutefois, ces poches argileuses présentent un double inconvénient que les jeunes plantules de genévrier thurifère doivent surmonter : en période humide, elles s'engorgent d'eau et deviennent asphyxiantes, alors qu'en période sèche, elles retiennent fortement l'eau engendrant une aridité édaphique et une exagération de la sécheresse.

## **V - Quelques données sur le climat auquel est soumis le genévrier thurifère dans la vallée des Aït-Bou-Guemmez**

Le climat de la haute vallée des Aït-Bou-Guemmez se caractérise par une faiblesse générale des précipitations (caractère de vallée intra-atlasique relativement sèche) ; les valeurs des précipitations annuelles varient, en fonction de l'altitude, de manière significative avec notamment une sécheresse des adrets (300 à 700 mm/an), une pluviosité supérieure sur les ubacs (400 à 900 mm/an), un profil pluviométrique de fond de vallée s'échelonnant entre 300 mm vers l'aval (Tighza) à 500 mm/an vers l'amont (Zawyat-Oulmzi), et une pluviosité intermédiaire (environ 400 mm/an) dans la partie médiane de la vallée à hauteur du méridien de Tabant. Concernant le genévrier thurifère, si l'on tient compte de l'altitude et de l'exposition des différentes thuriféraires présentes dans la vallée, on peut estimer les totaux pluviométriques recueillis par celles des adrets entre 400 et 500 mm, alors que celles des ubacs reçoivent entre 500 et 700 mm.

En revanche, le régime pluviométrique est le même pour les deux types ; il est de nature bimodal avec un maximum en hiver et un au printemps encadrant deux minimums en automne et en été (HPAE). L'essentiel de ces précipitations se fait sous forme neigeuse, se répartissant sur l'hiver et le printemps. La durée d'enneigement varie de deux jours dans le fond de vallée à quatre mois en

moyenne dans les sommets abrités. Il convient, cependant, de distinguer deux types de situations en fonction de l'importance des précipitations neigeuses, de l'épaisseur du manteau et de paramètres locaux :

- la première où l'enneigement n'est jamais prolongé ; la neige peut recouvrir le sol plusieurs fois durant l'hiver, mais elle ne tient pas : à cause d'une trop faible épaisseur pour pouvoir résister à l'ensoleillement. Cela se produit sur les adrets et le large fond de vallée en aval de Tabant, dans les secteurs sommitaux exposés aux vents, ou encore sur des pentes rocheuses trop raides. Néanmoins, la neige parvient à se maintenir dans les anfractuosités créées par une disposition particulière des bancs rocheux par rapport à la surface topographique (pendage non-conforme), dans des ravins et, enfin dans des ensembles (niches de nivation). C'est le cas notamment des thuriféraires de la retombée occidentale du jbel Azourki et de la terminaison orientale du jbel Aït-Ourit-Tizi-n-Tirghist ;

- la seconde où l'enneigement est prolongé ; la forte épaisseur du manteau neigeux ou sa position à l'abri du vent ou de l'ensoleillement permettent à la neige de persister de longues semaines, voire même la majeure partie de la saison froide, qui peut s'étaler jusqu'à la fin du printemps. Au cœur de l'été, des plaques de neige résiduelles témoignent encore de l'importance locale des accumulations hivernales et printanières. Tel est le cas des thuriféraires des ubacs des massifs de l'Igougamène et du Waougoulzat.

En outre, son climat est aussi caractérisé par un ensoleillement élevé et un degré hygrométrique qui reste assez élevé malgré l'effet de foehn que connaît la vallée par temps faiblement perturbé (Photo 4). Mais ce mécanisme s'estompe par temps fortement perturbé quand les influences océaniques débordent massivement les massifs du Tizal et de l'Aït-Ourit ou celles qui empruntent la cluse de l'oued Lakhdar (M. RHANEM, 2008 c).

Du point de vue thermique, et en l'absence de données chiffrées fiables dans la vallée des Aït-Bou-Guemmez, il a été procédé à des extrapolations qui ont été effectuées à partir des paramètres enregistrés dans les deux postes environnants d'Aït Mhammed, localisé à 25 km à vol d'oiseau au nord de Tabant, et d'Azilal, situé, lui, à 37 km au NNO de Tabant, (Tableau 1), en prenant toutefois quelques précautions en fonction de leurs situations locales respectives. D'une manière générale, et au vu des résultats obtenus (Tableaux 2 et 3), on peut dire que le climat thermique de la vallée des Aït-Bou-Guemmez présente une tendance assez nette à la continentalité avec une amplitude thermique relativement élevée. En revanche, dans le détail, la vallée offre une marquerie de topo-climats (M. RHANEM, 2008 c) dont quelques-uns ont été reportés, avec leurs caractéristiques, sur les tableaux 2 & 3. A la lecture de ces derniers, l'on peut relever par exemple pour Tabant (topo-climat de fond de vallée), les particularités suivantes : une température minimale moyenne de 4,6 °C et une température maximale moyenne de 20,2 °C, alors que la température moyenne annuelle est 12,4 °C. Celle-ci, comme c'est le cas des autres indicateurs thermiques, varie longitudinalement aussi bien que transversalement dans le sens d'une diminution ou d'une augmentation selon la nature du topo-climat envisagé (Tableaux 2 et 3).

Pour ce qui est du climat thermique de la zone du genévrier thurifère, les estimations obtenues des moyennes des minima du mois le plus froid permettent de placer ses populations centrales des mi-versants des ubacs des jbel Igoudamène et Waougoulzat dans la fourchette - 3 à - 4 °C, alors que ses populations périphériques de haut de versant se localisent dans l'intervalle - 4 à - 5 °C. Quant aux thuriféraires des adrets, moins étendues altitudinalement, le m est de - 4,5 °C par exemple pour la thuriféraire d'Azourki perchée à 2 500 m.

En conclusion, on peut dire le climat de la zone occupée par le genévrier thurifère est rude, il cumule, en effet, les « inconvénients » du climat méditerranéen (sécheresse) et de la haute montagne (froid-neige).

Nom et topoclimat de la station	Azilal (cuvette)	Aït-Mhammed (couloir)
Altitude (m)	1 430	1 680
Latitude nord	31°57'	31°53'
Longitude est	6°34'	6°28'
Période d'observation	1933-1963	1925-1949
Précipitations (mm)	510	561
Température des minima du mois le plus froid (°C)	2,2	- 4,3
Température moyenne annuelle des minima (°C)	9,2	4,3
Température moyenne annuelle des maxima (°C)	23,6	19,9
Température moyenne annuelle (°C)	16,4	12,1

**Tableau 1 - Postes climatiques retenus pour le calcul des paramètres de la vallée des Aït-Bou-Guemmez (d'après M. RHANEM, 2008 b).**

Nature du topoclimat	Altitude (m)	m (en°C)	T. max. (en°C)	T. min. (en°C)	T. moy. (en°C)
Sommet de l'Azourki	3 677	-11,0	10,4	-5,2	2,6
Sommet du Tizal	3 041	-7,8	13,8	-1,8	6,0
Fond de vallée (Tabant)	1 870	-1,3	20,2	4,6	12,4
Sommet de l'Igoudamène	3 519	-8,7	11,4	-4,2	3,6
Sommet du Waougoulzat	3 763	-9,9	10,9	-4,6	3,1

Gradient thermique de l'adiabatique sèche : 0,55 °C/100 m  
 Gradient thermique de l'adiabatique humide : 0,45 °C/100 m  
 m = moyenne des minima du mois le plus froid  
**T. max.** = Température maximale moyenne annuelle  
**T. min.** = Température minimale moyenne annuelle  
**T. moy.** = Température moyenne annuelle

**Tableau 2 - Valeurs repères des paramètres thermiques calculées pour quelques topoclimats répartis le long de profils altitudinaux sur l'adret et l'ubac de la haute vallée des Aït-Bou-Guemmez (d'après M. RHANEM, 2008 b).**

Nature du topoclimat	Altitude (m)	m. (en °C)	T. max. (en °C)	T. min. (en °C)	T. moy. (en °C)
Zawyat-Oulmzi	2 150	-2,7	18,8	3,2	11,0
Tabant	1 870	-1,3	20,2	4,6	12,4
Tighza	1 720	-0,6	19,5	3,9	11,7

(légende : voir Tableau 2)

**Tableau 3 - Profil thermique longitudinal de fond de vallée d'amont (Zawyat-Oulmzi) vers l'aval (Tighza) en passant par Tabant (d'après M. RHANEM, 2008 b).**

## VI - Menaces, contraintes et tendances évolutives

Trois essences forestières se partagent, en peuplements purs ou mélangés, une grande partie des versants de la vallée des Aït-Bou-Guemmez (figure 4) ; elles se succèdent le long de gradients longitudinaux et altitudinaux :

- le genévrier de phénicie (*Juniperus phoenicea*) croît entre 1 800 et 2 100 m ;
- le chêne vert (*Quercus ilex*) occupe la tranche altitudinale allant de 2 200 à 2 600 m ;
- le genévrier thurifère (*Juniperus thurifera*) se rencontre entre 2 100 et 2 700 m.

La déforestation (coupes, ébranchages, défrichements anarchiques) n'exclut aucune essence et atteint annuellement 0,6 % en surface (HAMMI et al., 2007). Ces derniers auteurs estiment à 21,5 % les forêts qui ont disparu dans la vallée depuis 1964. Cependant, contrairement aux autres vallées du Haut Atlas, même si la vallée des Aït-Bou-Guemmez a connu un doublement de sa population entre 1960 et 2004 passant de 6 778 habitants à 13 000 (P.-M. AUBERT & al. 2009), elle n'enregistre pas d'aggravation rapide des processus d'érosion et de déforestation à cause d'une organisation villageoise originale et presque unique en son genre dans le Haut Atlas, prenant en charge la gestion des ressources communes, (L. AUCLAIR, 1996 ; S. HAMMI et al., 2007 ; J.-B. CORDIER, 2007 ; B. ROMAGNY & J. RIAUX 2007, B. ROMAGNY & al. 2008). Ainsi que l'a signalé G. FAY (1986), il n'y a donc pas de relation simple dans le Haut Atlas entre densité de population et accroissement démographique, d'une part, surexploitation des ressources naturelles, d'autre part. Cependant, il faut bien admettre que le développement du tourisme et de l'agriculture commerciale a rendu abordable le prix du gaz butane à un nombre croissant de familles, d'où la réduction de la demande de bois de chauffe et de cuisson, alors que la diminution du pastoralisme a réduit le besoin de couper les feuilles

des arbres pendant l'hiver pour le fourrage, remplacé en partie par la luzerne (C. J. BARROW & H. HICHAM, 2000 ; P.-M. AUBERT & *al.* 2009).

Or si toutes les essences forestières de la vallée sont plus ou moins touchées par la dégradation, à des degrés divers, le cas du genévrier thurifère est beaucoup plus préoccupant et les menaces de sa disparition ne font que s'accroître en raison de l'action anthropozogène. Cependant, la baisse de ses effectifs peut aussi avoir d'autres causes indépendamment de toute intervention humaine. Ainsi, au fur et à mesure de l'augmentation de l'altitude sur les ubacs des massifs du Waougoulzat et de l'Igoudamène, il se produit une diminution de la densité des peuplements (photo 3) et de celle de sa reproduction (J. OBESO 2002 ; D. MONTESINOS 2010) et un raccourcissement de la durée de végétation qui a un impact négatif évident sur la productivité biologique moyenne (J. PAULSEN & *al.* 2000), d'autant plus que les sols sont souvent relativement pauvres quand ils existent. Ceci explique sa croissance très lente qui lui confère en revanche des caractéristiques mécaniques spécifiques très recherchées constituant ainsi un écosystème unique performant. Ainsi que l'ont signalé T. GAUQUELIN & *al.* (1999), il n'est pas rare de trouver des individus biséculaires ne dépassant guère 40 cm de diamètre. En outre, la capacité de régénération des milieux se trouve diminuée.

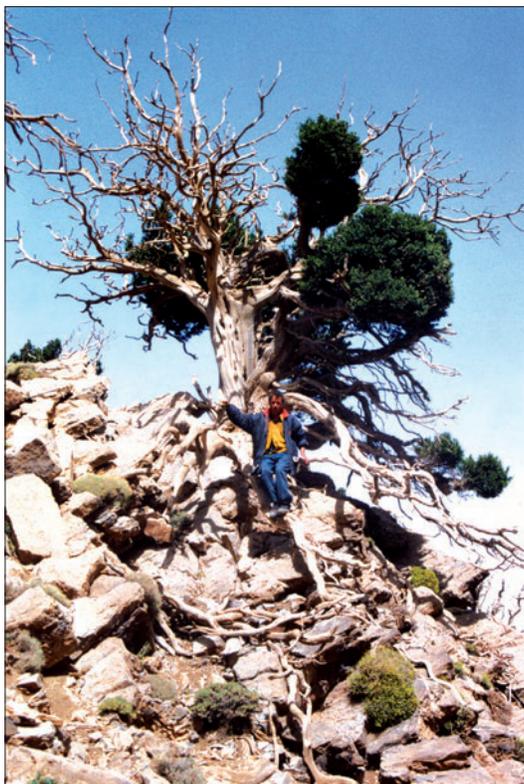
Enfin, il convient de signaler qu'au-delà d'un certain seuil, la mise en place de formations arborescentes ou arborées de genévrier thurifère n'est plus possible car il ne peut plus produire du bois pendant une très courte période végétative. Sa limite supérieure (« upper treeline ») est due principalement à des causes écophysiologicals dont on trouve un exposé détaillé dans W. TRANQUILLINI (1979) ; on se reportera aussi à R. F. GRIGGS (1946), P. WARDLE (1971 et 1974), F. K. HOLTMEIER (1973 et 2009), C. TROLL (1973), A. G. DOLUKHANOV (1978), P. MULLENBACH (1982), P. OZENDA (1985). Elle est également révélatrice d'un seuil bioclimatique et est, par conséquent, la manifestation visuelle la plus appropriée de l'étagement de la végétation (M. RHANEM 2008 a, b & c).

D'un point de vue dynamique, c'est à L. EMBERGER (1938 b) que l'on doit les premières estimations ; il évaluait ainsi sa superficie à environ de 50 000 ha. Mais en 1958, selon P. BOUDY, cette surface n'était plus que de 31 000 ha répartis en deux blocs : celui du Moyen Atlas avec 16 000 ha et celui du Haut Atlas avec seulement 15 000 ha, alors que sa surface climacique est estimée, elle, à environ 327 000 ha (H. MARCHAND 1990 ; M. BARBERO *et al.*, 1990). Ces mêmes auteurs évaluent la superficie réelle actuelle à seulement 20 000 ha, alors que T. GAUQUELIN & *al.* (1999) avancent le chiffre de 30 000. Signalons, à titre indicatif, qu'il s'agit de la surface occupée par l'espèce elle-même, et non celle de l'association végétale (H. MARCHAND, 1990). Le genévrier thurifère serait ainsi au Maroc, avec une perte d'environ 91 % de sa superficie, l'essence arborescente ayant le plus régressé par rapport à son aire de répartition potentielle (F. FROMARD et T. GAUQUELIN, 1993).

Encore convient-il de souligner que beaucoup de ces thuriféraires sont actuellement en état de simple survie et destinées à disparaître dans les prochaines décennies en raison de l'hyperdégradation du sol qui met à nu les souches et fragilise ces arbres (photo 1). Elles ne subsistent que tant que



**Photo 1** – Gradient de densité décroissant depuis le centre (mi-versant) vers la périphérie (haut de versant) de la thuriféraie à *Juniperus thurifera* des ubacs des jbelles Waougoulzat et Igoudamène. La zone asylvatique supra-forestière est, quant à elle, dominée par les xérophytes épineux. D'un autre côté, la treeline supérieure (2 800 m) forme un tracé en zigzag en relation avec la topographie (ensellement d'Aït-Imi) où la neige se maintient plus longtemps.



**Photo 2** - Un sujet de genévrier thurifère probablement multiséculaire très dégradé, traité en têtard à structure multicaulle. Perché à 2 700 mètres d'altitude, il se développe sur un substrat rocailleux sur blocs calcaires diaclasés où l'on peut deviner la couche de sol qui recouvrait ses racines. Celle-ci était constituée probablement d'un ennoyage de gélifraacts et d'argile brune d'origine périglaciaire comme on peut s'en rendre compte au bas de la photo. Ce substrat, hérité du Quaternaire, est imputable à une morphogénèse cryo-nivale qui n'est plus actuellement aussi active que ce qu'elle était par le passé. L'hyperdégradation subie a mis à nu la souche et les racines et fragilise le genévrier thurifère. Cependant, son ancrage puissant lui permet d'une part de mobiliser des réserves en eau profondes et, d'autre part de réduire considérablement l'érosion.

La strate buissonnante est formée par les xérophytes épineux hémisphériques (pulvinées) : *Bupleurum spinosum* et *Alyssum spinosum*.

les arbres encore en place ne seront pas détruits. Ces derniers n'arrivent à rester en place que grâce à leur enracinement plus profond (photo 1) ; ils constituent de ce fait de véritables fossiles vivants (M. BARBERO *et al.*, 1990). Ces formations fossilisées nécessitent l'établissement de zones protégées dans un avenir immédiat, car en l'absence totale de régénération de la strate arborée, une véritable banalisation de ces thuriféraires s'opère avec la mise en place de structures assez riches floristiquement mais qui n'ont rien à voir avec les ensembles structuraux initiaux. Elles sont en effet soumises au phénomène de thérophytisation forestière lié à leur envahissement généralisé par des espèces nitrophiles à large distribution, le plus souvent annuelles et disséminées essentiellement par les troupeaux. Ces thérophytes cèdent peu à peu la place à leur tour, en raison du surpâturage, à des plantes envahissantes constituées par des espèces toxiques ou épineuses, véritables bio-indicateurs d'une hyperdégradation du milieu (M. BARBERO *et al.*, 1990).

Il en résulte que la résilience et la capacité d'adaptation de ces thuriféraires se trouvent ainsi diminuées et cela vient s'ajouter à leur sensibilité vis-à-vis des perturbations pour expliquer leur fragilité face à tout impact direct ou plus éloigné, d'où le classement du genévrier thurifère dans la catégorie des espèces vulnérables (M. FENNANE et M. IBN TATTOU, 1998, T. GAUQUELIN 2006).

Or, ces phénomènes ne feront que se poursuivre au cours des années à venir, contribuant à une dégradation à la fois du « capital thurifère » qui a mis des siècles, voire des millénaires pour s'édifier et se stabiliser, mais aussi de l'équilibre écologique. De tels bouleversements engendrent souvent des dysfonctionnements graves qui peuvent avoir d'importantes répercussions sur les cycles biogéochimiques (C. JONG DE *et al.*, 2008), et risquent de les faire basculer dans une catégorie plus préoccupante car, une fois dégradé, l'écosystème est bien souvent lent ou incapable de se reconstruire ; sa résilience est faible ou nulle, un seuil d'irréversibilité écologique (J. ARONSON *et al.*, 1995) a pu être franchi. Il en est ainsi, par exemple, dans le Tizi-n-Tirghist et la retombée occidentale du Jbel Azourki où le genévrier thurifère, très disséminé, ne subsiste qu'à l'état de vieux arbres dépérissant ou morts sur pied. Ils souffrent d'autant plus qu'ils sont probablement multiséculaires et donc ont perdu une grande partie de leur immunité naturelle sinon la totalité.

En plus de ces facteurs, les transformations qualitatives et quantitatives des paysages végétaux peuvent être éventuellement liées au changement climatique (G.-R WALTHER, 2003 ; G.-R WALTHER & *al.*, 2002 ; G.-R WALTHER *et al.*, 2005 ; T. R. KARL et K. E. TRENBERTH, 2005 ; W. THUILLER, 2007)). Son impact a été le plus souvent recherché dans les montagnes (M. BENISTON, 2003), et plus particulièrement au niveau de la *timberline* et la *treeline* (J. L. INNES, 1991 ; W. H. MOIR et L. S. HUCKABY, 1994 ; M. BARBERO et P. QUÉZEL, 1995 ; C. PARMESAN, 2006 ; F. K. HOLTMEIER & G. BROLL, 2007 ; F. K. HOLTMEIER, 2009 ; W. K. SMITH & *al.*, 2009), où le déplacement d'espèces végétales est le plus marqué.

À la lumière de ces dernières indications, il est donc légitime de se demander quelles seraient les conséquences d'une augmentation de température au plan du fonctionnement des thuriféraires et du maintien du genévrier thurifère dans

sa « zone d'épreuve » au niveau de sa limite supérieure sur les versants de la vallée des Aït-Bou-Guemmez. En effet, dans cette « zone de combat » où le genévrier thurifère lutte dans la partie inférieure pour l'occupation de l'espace, puis plus haut pour sa simple survie, une hausse des températures moyennes consécutive au changement climatique global conduirait probablement à une progression vers le haut de la limite supraforestière. Ainsi, il se peut que l'on observe à terme l'apparition d'arbres, probablement du chêne vert, d'âges décroissants en remontant dans la steppe à pulvinées situées au contact des thuriféraires. En revanche, l'on notera une expansion de la limite supérieure du genévrier de Phénicie dont le taux de croissance est plus rapide et le résultat final à long terme pourrait être une détérioration, voire la suppression de ses niches écologiques. Cela suppose bien sûr une absence absolue de l'intervention de l'homme et des animaux. Mais dans ces deux cas, la prudence reste de règle, en attendant que l'acquisition des connaissances en ce domaine soit faite, d'autant qu'il est bien délicat de cerner la part imputable aux seuls changements climatiques à cause des impacts anthropiques évoqués plus haut.

De ce fait les gestionnaires forestiers doivent adapter leurs systèmes actuels et, le cas échéant, leurs objectifs, même si, comme l'a indiqué P. QUÉZEL (1999), les transformations des paysages resteront probablement minimales en raison des phénomènes de résistance et de résilience caractéristiques du capital biologique du bassin circumméditerranéen.

## VII - Orientations de gestion

La perte des thuriféraires anciennes, la simplification de leurs structures, la perte des habitats, la fragmentation et la diminution de leurs surfaces sont autant de menaces qui pèsent fortement sur ces différents écosystèmes. Cependant, ces différentes tendances peuvent être renversées, ou au moins ralenties, grâce à l'élaboration d'une base scientifique solide pour la préservation, la gestion et la restauration qui sont apparus dans les dernières années comme un enjeu important dans la gestion des milieux forestiers. La place de l'homme y est aujourd'hui plus que déterminante puisque ses impacts et ses choix de gestion déterminent les dynamiques des écosystèmes et la magnitude des phénomènes de raréfaction ou d'extinction des espèces.

À cet égard, l'implication des acteurs locaux est la clé d'une vraie protection de ces thuriféraires. Cela nécessite notamment qu'une véritable concertation s'établisse entre les gestionnaires chargés de ces forêts et les populations locales, par la mise en place d'outils appropriés qui permettraient d'aller au-delà de simples structures d'information à sens unique, génératrices de conflits ; ce qui devrait aboutir, à très court terme, à une véritable participation des parties prenantes avec l'utilisation au maximum des compétences et de main d'œuvre locales. Ceci présente le double avantage de réduire les coûts

et surtout, de favoriser grandement l'appropriation du projet d'aménagement par la population locale (J. DE MONTGOLFIER, 2006).

## 1 – Perspectives de conservation

Les racines les plus profondes de la biologie de la conservation sont largement répandues (F. VAN DYKE, 2008), mais son émergence en tant que discipline est généralement attribuée à la première conférence internationale sur la biologie de la conservation, tenue à San Diego, en Californie en 1978 (M. L. HUNTER JR & J. GIBBS, 2007). La biologie de la conservation s'est donc imposée dans les années 1980 en réponse à la crise d'extinction imminente et la perte critique des espèces et des habitats (R. B. PRIMACK, 2004). Considérée comme discipline de crise (M. L. HUNTER JR & J. GIBBS, 2007), c'est une science véritablement multidisciplinaire (R. B. PRIMACK, 2004) ; elle se veut une science appliquée des ressources naturelles dont le noyau central est constitué par les disciplines universitaires de la biologie de la population, la taxonomie, l'écologie et la génétique (M. E. SOULÉ, 1985, R. B. PRIMACK, 2004)). Toutefois, depuis un certain temps, son champ de préoccupation s'est vu élargir à de nouvelles disciplines de recherche telle que la génétique des populations, la biogéographie, les sciences sociales, l'écologie du paysage, l'écologie de la restauration, la gestion de l'environnement et l'économie (G. K. MEFFE *et al.*, 2006). Cependant, malgré ces progrès très significatifs depuis sa création, ses caractéristiques et ses objectifs, tels qu'ils ont été conçus par M. E. SOULÉ (1985), ont peu changé en ce sens qu'elle est soucieuse de la rentabilité des écosystèmes et son objectif est de fournir des principes et des outils pour préserver la diversité biologique. Elle diffère ainsi des autres disciplines traditionnelles appliquées de gestion des ressources parce qu'elle met davantage l'accent d'une part sur toutes les formes relativement plus grandes de la vie et leur valeur intrinsèque, alors que les autres sciences des ressources naturelles se concentrent généralement sur quelques espèces économiquement importantes (M. E. SOULÉ, 1985), et d'autre part sur la préservation à long terme de l'intégrité des écosystèmes dans un cadre de développement durable (R. B. PRIMACK, 2004).

Elle est souvent confondue avec la science de la perte de l'habitat et de la biodiversité (D. LINDENMAYER et M. BURGMAN, 2005). Ainsi, l'un des thèmes qui a été et qui continuera sans doute à occuper une place importante dans la biologie de la conservation se rapporte à la compréhension de la vulnérabilité et de la rareté, ainsi que ceux ayant traités aux processus menaçants et aux risques d'extinction, mais aussi à la nécessité de prendre des mesures pour anticiper, prévenir, réduire et/ou réparer les dommages écologiques qui en découlent.

Dans la vallée des Aït-Bou-Guemmez, au regard des différents éléments exposés ci-dessus et vu les problèmes liés aux différentes pratiques anthropiques (sylvoicoles, cultures de versants épisodiques et aléatoires, surpâturage continu et prolongé, collecte excessive du bois de feu et des feuilles pour le fourrage), la conservation des thuriféraires est une nécessité qui s'impose au premier plan. Ce souci de préservation *in situ* s'exprimera notamment par

la recherche des moyens appropriés qui permettent d'assurer leur pérennité effective. En effet, la simple présence d'une espèce dans une zone protégée n'est pas une garantie de sa conservation ; en fait elle nécessite aussi la protection de ses habitats les plus vulnérables et les plus menacés en ayant recours à des stratégies de conservation intégrée et l'emploi de certaines mesures spécifiques : des inventaires précis, des études scientifiques, la surveillance et le suivi des populations, une législation appropriée de la gestion des ressources et des terres, la restauration écologique, le renforcement des populations et, dans les cas extrêmes, la conservation *ex situ*.

Dans cette perspective il serait donc indispensable de conserver des peuplements représentatifs de chaque grand type stationnel. Toutefois pour faire preuve de prudence devant la fragmentation et la fragilisation de l'aire du genévrier thurifère, il convient de recourir à une stratégie de conservation basée sur l'application hiérarchique des notions de filtre brut (ou grossier) et fin (R. F. NOSS, 1987 ; JR. M. L. HUNTER, 1991 et 2004). Le filtre brut vise à maintenir la variété d'habitats forestiers représentatifs des thuriferaies naturelles ainsi que certaines de leurs caractéristiques clés. Il est donc conseillé à la fois de conserver de grands effectifs et de préserver les milieux dans lesquels le genévrier thurifère peut vivre. D'un point de vue génétique, pour lui permettre de continuer à exister, à se diversifier, à être le support de mutations ou de recombinaisons immédiatement adaptatives ou non et pour rendre possible la différenciation d'écotypes, il faut notamment que ces habitats soient suffisamment diversifiés pour exposer les différentes populations de l'espèce, sans aucune entrave, à l'ensemble des variations possibles de la sélection naturelle (stress écologique, compétition interspécifique et pression parasitaire...). Une telle approche vise à conserver la plus grande part de la diversité biologique. En effet, le principe de précaution nous pousse à tenter de maintenir l'ensemble de la diversité, puisque nous ne saisissons pas clairement l'impact qu'aurait la perte de un ou plusieurs éléments sur le fonctionnement de l'écosystème.

Quant aux thuriferaies périphériques ou ayant des exigences particulières et connues en termes d'habitat, une approche plus ciblée de filtre fin doit aussi être mis en place. En effet, comme l'ont souligné J.-C. RAMEAU et L. OLIVIER (1991), il faut aussi tenir compte de la marginalité chorologique : genévrier thurifère en limite d'aire de distribution ou en isolats) et/ou écologique. C'est le cas notamment d'une grande partie des thuriferaies de haut de versant dont les conditions écologiques qui ont vu leur installation ne sont, probablement, plus celles auxquelles elles sont soumises aujourd'hui, en raison d'une évolution du climat vers l'aridité. Dans ces conditions le ruissellement consécutif aux orages violents, que connaît cette partie de la vallée, entraîne une érosion de la terre fine encore en place. Cette perte est accentuée par un pâturage intensif quasi permanent. On ne s'étonnera donc pas que la régénération spontanée ne puisse plus avoir lieu quand un certain stade de dégradation a été atteint. Il se constitue de la sorte des thuriferaies fossiles, puis des cimetières de troncs morts ou agonisants (photo 2).

Cependant les mesures de conservation *in situ* des ressources génétiques du genévrier thurifère ne peuvent, à elles seules, assurer la sauvegarde et la pérennité

de l'espèce. D'abord, en raison des changements climatiques et de la régression des milieux naturels, ensuite à cause d'une pression humaine de plus en plus difficile à contenir. Aussi, la conservation et l'utilisation *ex situ* de ces ressources génétiques sur une large échelle aussi bien dans les pays d'origine que les pays d'adoption sont-elles urgentes et souhaitables.

## 2 - Éléments de restauration

L'origine de l'écologie de la restauration remonte à la fin des années trente du siècle dernier aux États-Unis d'Amérique. Elle a connu, toutefois, une progression rapide, semblable à celle qu'a subi la biologie de la conservation, au cours des deux dernières décennies (T. P. YOUNG, 2000) avec notamment la fondation de la SERI en 1987 et l'inauguration de la « *Restoration Ecology* » en 1993 qui ont établi le domaine de l'écologie de la restauration en tant que science (M. A. DAVIS et L. B. SLOBODKIN, 2004). En fait, bien qu'il existe de nombreux points communs et des objectifs partagés entre la biologie de la conservation et la restauration écologique, il y a aussi des différences importantes, tant sur le plan opérationnel que philosophique, avec, pour chacune d'elles, une culture, une histoire, des normes et des méthodes spécifiques (T. P. YOUNG, 2000).

Cette nouvelle discipline de l'écologie se propose d'étudier le processus qui assiste l'autoréparation d'un écosystème qui a été dégradé, endommagé ou détruit (SER 2004). Ses fondements et principaux concepts ont été abondamment traités ; on se reportera pour cela aux travaux de Jr. J. CAIRNS (1993), R. J. HOBBS et D. A. NORTON (1996), E. S. HIGGS (1997 et 2005), J. G. EHRENFELD (2000), SER (2005), D. A. FALK *et al.* (2006), J. ARONSON *et al.* (2007), A. F. CLEWEL et J. ARONSON (2007), J. B. ZEDLER (2008). Rappelons simplement qu'au-delà des approches classiques, soit techniques, soit écosystémiques, l'écologie de la restauration élargit aussi son champ aux sciences sociales. Les approches socioéconomiques et culturelles participent à l'évolution de la demande sociale (besoin de protection, perception des dégradations), alors que les approches techniques et écologiques définissent en quelque sorte l'offre possible en matière de restauration d'écosystèmes (Jr. J. CAIRNS et J. R. HECKMAN, 1996 ; R. J. HOBBS, 2007).

L'enjeu de la restauration s'inscrit dans la logique contemporaine du développement durable et doit s'appuyer sur une connaissance fine des processus écologiques, mais aussi sociaux, qui déterminent la production des milieux et la variabilité de leurs caractères. Il paraît en effet de plus en plus clair que l'écologie de la restauration représente une interface importante entre l'écologie de la conservation et le développement durable (A. F. CLEWELL et J. ARONSON, 2006).

Plus spécifiquement, la finalité de la restauration n'est pas seulement d'établir un diagnostic sur les causes profondes des dégradations dont la prise de conscience de leur importance ne sont pas toujours évidents, ni unanimement partagés ; c'est aussi de proposer des actions de réparation des dommages pour rétablir les équilibres écologiques, mais aussi socioéconomiques, perturbés ou disparus. En d'autres termes, la restauration vise à maintenir ou à rétablir la résilience des écosystèmes et donc des services qu'ils rendent.

Les méthodes de restauration vont de l'augmentation des populations avec des individus issus de stations localisées à proximité jusqu'à la création d'assemblages d'espèces entièrement nouvelles non natives (T. A. JONES, 2003). Or, même si la restauration est devenue une pratique répandue, on ne sait guère dans quelle mesure les praticiens devraient se préoccuper de la composition génétique des plantes utilisées dans la restauration (R. M. MONTALVO & *al.*, 1997 ; P. LESICA & F. W. ALLENDORF, 1999 ; T. A. JONES, 2003 ; T. A. JONES & T. A. MONACO, 2007).

Ainsi, l'un des éléments clés de la restauration et de la régénération des forêts méditerranéennes a été et reste encore le recours aux reboisements d'espèces forestières exotiques ou issues d'autres provenances du pourtour méditerranéen et des autres régions du globe à climat méditerranéen, plus productives et de meilleure qualité que les ligneux autochtones qui s'achètent à bon compte et en quantité suffisante sur le marché international des plantes. Toutefois ces plantations effectuées avec des essences méditerranéennes originaires de divers secteurs géographiques s'avèrent très insidieuses, car des phénomènes de pollution génétique par introgression ou hybridation surviennent souvent, gommant l'originalité intraspécifique et anéantissant le processus d'adaptation des populations locales (J.-C. RAMEAU et J. TIMBAL, 1987 ; P. QUÉZEL et F. MÉDAIL, & 2003) par la perte de la « mémoire génétique » du passé des événements sélectifs (J. K. McKAY & *al.*, 2005). Par ailleurs, d'un point de vue pratique, le croisement entre des populations adaptées à des environnements différents peut se solder par des phénotypes intermédiaires qui ne sont pas favorisés au niveau local. Cela peut réduire la viabilité de la population en augmentant la proportion d'individus mal adaptés (J. K. McKAY & *al.*, 2005). Par conséquent il convient de tenir compte de ces éventuels brassages lors de l'introduction à des fins de reforestation de taxons allochtones voisins des indigènes des points de vue taxinomique, mais aussi de populations génétiquement différentes d'un même taxon, afin d'éviter d'éventuelles pertes dramatiques du capital génétique.

Toutefois, certains auteurs comme L. M. BROADHURST (2008) recommandent que les semences de l'approvisionnement devraient moins se concentrer sur les provenances locales et plus sur la récolte de haute qualité et de graines génétiquement différentes. Toujours, selon ces mêmes auteurs, cette stratégie devrait maximiser le potentiel d'adaptation des efforts de restauration aux changements environnementaux actuels et futurs.

À la lumière de ces réflexions, se pose alors une question importante pour les stratégies de restauration ; c'est de savoir si des variations génétiques au sein des populations sont plus ou moins inquiétantes pour l'adaptation locale, sachant que la diversité génétique au sein des populations représente la matière première d'adaptation future (M. B. DAVIS & R. G. SHAW, 2001) et réduit le danger potentiel de dépression de consanguinité. Ce dilemme a été largement abordé par P. LESICA & F. W. ALLENDORF (1999).

Ainsi par exemple dans les thuriferaies dégradées (thuriferaie de Zawyat Oulmzi sur substrat gréseux à surface graveleuse) ou hyperdégradées (thuriferaie du jbel Azourki sur pentes calcaires rocailleuses), la réhabilitation peut consister à engager la régénération naturelle en essences pionnières

natives ou à les reboiser artificiellement afin de restaurer le milieu favorable à la germination naturelle des graines du genévrier thurifère ou encore à planter directement ses jeunes plantules. Ces espèces indigènes ont l'avantage, par rapport aux espèces exotiques, d'avoir accumulé dans leurs génomes des gènes d'adaptation car ayant été confrontées depuis des générations à divers aléas physiques (froid, sécheresse) et biologiques (maladies, insectes ravageurs). Dans ce cas, une régénération artificielle pourrait être alors envisageable par plantation de jeunes genévriers thurifères dans des boisements peu denses ou dans des secteurs ayant autrefois abrité le genévrier thurifère. Toutefois, au Maroc, en raison de la germination difficile des semences d'arbres indigènes, il n'est pas possible de constituer un stock de plants locaux nécessaires pour le reboisement (C. LEMOINE-SÉBASTIAN, 1958). Aussi, plutôt que faire appel à des espèces exotiques telle que *Cupressus arizonica* comme cela a été le cas sur le versant sud du jbel Azourki, nous recommandons de recourir à l'implantation de *Cedrus atlantica* Manetti afin de recréer des conditions similaires à celles créées par la cédraie continentale du Moyen Atlas (M. LECOMPTE, 1969) ou encore celle du Haut Atlas oriental (obs. pers.). Ces plantations pourraient être utilisées, à moyen terme, comme point de départ pour une régénération assistée du genévrier thurifère. En effet, le cèdre de l'Atlas, espèce indigène, a l'avantage de former naturellement dans le Moyen Atlas des peuplements mixtes avec le genévrier thurifère et d'avoir ainsi coévolué ensemble. Il peut, une fois installé, faciliter sa recolonisation d'autant que, comme l'ont souligné J.-M. AUBERT *et al.* (2009), l'avenir des plantations entreprises dans les Aït-Bou-Guemmez, aussi bien celle de *Cupressus arizonica* que celles de *Pinus halepensis* et *P. pinaster*, demeure incertain en l'absence de toute régénération. Cela aboutirait, à long terme, à la constitution d'un mélange de génotypes de populations proches climatiquement. Cette stratégie permettrait d'éviter la formation de grosses charges génétiques de génotypes mal adaptés aux conditions locales de la vallée, comme c'est le cas pour les plantations du cyprès de l'Arizona, tout en assurant une variation génétique suffisante au sein de la population rétablie, plus adaptée aux conditions locales.

À côté de ces opérations de réaffectation (ou réallocation) et de réhabilitation, à défaut d'une véritable restauration, d'autres actions doivent aussi être menées :

- protection stricte et efficace, accompagnée d'un arrêt de la dégradation du patrimoine existant. Les réserves ou les mises en défens à accès interdit sont à éviter. Faute d'y accéder, le parcours et le prélèvement de bois se rabattent sur le voisinage immédiat entraînant, à plus ou moins longue échéance, sa dégradation ;

- tenir compte de la dioécie du genévrier thurifère, au risque de provoquer une influence biaisée sur le sex-ratio naturel et donc sur la régénération et la croissance des pieds mâles et femelles (S. VAN UDEN & *al.* 1998) ;

- fournir aux habitants des nouvelles sources d'énergie pour les usages domestiques ;

- prévoir des boisements utilisables en bois de feu pour diminuer la pression sur les ligneux de la forêt ;



**Photo 3** - Vallée des Aït-Bou-Guemmez où l'on distingue au centre la plaine alluviale aménagée en terrasses surplombée du côté gauche respectivement par les jbel Tizal, Aït-Ourit et Azourki au fond. La présence de sols profonds et fertiles au fond de la vallée a donné lieu à des cultures irriguées commerciales (pommes et pommes de terre) et vivrières. En revanche, sur les bas versants peu pentus, les terrasses supportent des cultures pluviales comme l'on peut s'en rendre compte sur le premier plan de la photo. En revanche, la végétation spontanée, notamment arborée, se déploie strictement sur les versants.



**Photo 4** - Aspects visibles de l'effet de foehn dans la vallée des Aït-Bou-Guemmez (Haut Atlas central marocain) : ciel dégagé et lumineux au dessus de la vallée, sous le vent des versants des deux massifs du Tizal (à gauche, au fond) et d'Aït-Ourit (à droite, premier plan), alors que les nuages forment un voile dense (mur de foehn) du côté au vent. L'altitude moyenne inférieure des nuages tourne autour de 2 800 m. Au premier plan, des chênes verts traités en têtard sur des platières de grès rouge, substrat sur lequel se développe également le genévrier thurifère un peu plus en amont, au dessus du village de Zaouiyat-Oulmzi. Toutefois, ce dernier est absent au niveau de la limite supraforestière des hauts versants des adrets des jbel Tizal, Aït-Ourit en raison de l'excès d'humidité créé par la fréquence du phénomène de mur de foehn. Sous de telles conditions, il est remplacé par le chêne vert.

- restaurer les strates arbustives basses ;
- ne pas éliminer *Quercus ilex* ni *Juniperus phoenicea*, ni *J. oxycedrus* dans les peuplements mixtes ;
- limiter la surcharge pastorale en diminuant la charge actuelle en animaux sur certaines zones, soit pour équilibrer avec la production des parcours, soit encore temporairement pour permettre une régénération de la végétation actuellement surpâturée ;
- mettre en défens les zones surpâturées et dont la végétation possède une dynamique suffisante pour que la régénération soit possible. Les mises en défens de longue durée sont à éviter. Il vaut mieux introduire une charge en animaux plus faible que la charge d'équilibre qui stimule la repousse, ameublisse le sol et enfouit les graines ;
- végétaliser à des fins pastorales ;
- vulgariser davantage les actions zootechniques susceptibles d'augmenter l'efficacité de la production du bétail et de diminuer la mortalité (vaccinations, bains anti-parasitaires) ;
- ajuster la charge en animaux à la production du parcours et aménager les meilleurs d'entre eux par le système du pâturage différé ou des rotations ;
- encourager la production fourragère en sec et en irrigué, pour assurer aux animaux la complémentation nécessaire durant les périodes de disette, permettant une certaine stabilité des effectifs. Il faut favoriser la plantation d'arbustes fourragers par la population, en particulier dans les petits thalwegs trop étroits ou trop érodés pour que la culture y soit possible ;

Enfin, pour réussir toute démarche de réhabilitation et de restauration des écosystèmes dégradés de genévrier thurifère, il faut perfectionner nos connaissances sur leur fonctionnement, engager des recherches pertinentes sur les techniques et produits à mettre en œuvre et déterminer les modalités de recrutement de ses plantules (type de dormance des graines, variabilité spatiale de la germination, sources de variabilité de la survie des plantules...). Ces informations sur l'installation du genévrier thurifère sont essentielles pour déterminer les modalités de réintroduction ou de renforcement des populations et pour améliorer leur efficacité. Elle permettent d'identifier les micro-habitats ou les modes de gestion les plus favorables à la régénération, de choisir entre réintroduire des graines ou des plantules, et d'estimer le nombre de graines ou d'individus devant être réintroduits.

## VIII - Conclusions

La pression pastorale et le prélèvement de bois ont conduit à une réduction sévère des surfaces des thuriferaies montiméditerranéennes de la vallée des Aït-Bou-Guemmez. Cette diminution des surfaces boisées, couplée à un morcellement de ses populations aggravé par la topographie risque d'accroître l'isolement des peuplements en limitant les flux de gènes entre eux. Or, si la protection des thuriferaies s'impose dans la vallée des Aït-Bou-Guemmez et même sur l'ensemble du haut bassin de l'oued Lakhdar, il n'en demeure pas moins que l'approche de filtre fin est un complément nécessaire à la stratégie de filtre brut. En effet, en raison de leur nombre relativement faible, de leur fragilité, de leurs intérêts historiques, socio-économiques, patrimoniaux, les vieilles thuriferaies périphériques de haute altitude, constituées d'arbres de grande taille, sont encore fortement menacées et leur surface ne cesse de diminuer par rapport aux populations centrales formées d'arbres moins grands, plus jeunes, mais moins vulnérables. Elles doivent, par conséquent, être considérées comme des populations prioritaires où les efforts de conservation devraient se concentrer afin de maximiser la probabilité d'une réponse viable à l'évolution des conditions climatiques. Néanmoins, toutes ces populations périphériques ne sont pas écologiquement marginales et ne sont probablement pas génétiquement divergentes. Ainsi par exemple celles qui se trouvent isolées en raison d'une fragmentation récente ou celles assez proches de la population centrale où, par conséquent, le flux génétique empêche leur différenciation, ne seront pas concernées par la stratégie de filtre fin. Aussi est-il important d'évaluer la conservation des populations périphériques avant d'engager des dépenses pour leur protection.

Aussi, pour palier à cette érosion critique, l'intégration et l'application rapide des concepts, principes et méthodes de la planification de la conservation et de la restauration écologique fournit une base scientifique rigoureuse pour la gestion des paysages de genévrier thurifère en vue de la récupération d'une gamme, la plus large possible, de variabilité naturelle de structure et de fonction, et ce afin de préserver ses potentialités évolutives et adaptatives.

Ainsi, dans le cas présent, si l'on s'en tient aux seules indications apparentes de quelques-unes de ces thuriferaies reliques d'une situation caduque, cela conduira à l'échec de toute tentative de restauration de la thuriferaie de référence. L'état actuel de ces peuplements est la manifestation d'une longue histoire jalonnée par les coupes incessantes et persistantes, le pâturage et d'autres activités humaines. Protéger les arbres fragilisés restants anciens de l'exploitation, réduire au strict minimum le pâturage sont, sans doute, les mesures de conservation les plus en vue.

En raison de la spécialisation écologique élevée et afin d'éviter une dépense d'énergie supplémentaire en matière de compétitivité, la conservation *in situ*

semble adéquate pour une protection immédiate des habitats. Cela suppose aussi de favoriser au maximum la régénération naturelle ou le reboisement à partir de graines récoltées sur place, et la constitution éventuelle d'une zone tampon autour de ces noyaux limitant ou interdisant les transferts de gènes par pollinisation croisée. Il est également évident qu'une variété de traitements de restauration devrait être utilisée pour répartir les risques d'échec de toute approche. Une telle attitude active de gestion adaptative est sensible, sauf si elle est appliquée rigoureusement en établissant des protocoles expérimentaux et des plans de surveillance, et notamment des essais comparatifs d'hypothèses multiples. Il n'en demeure pas moins que cette double approche nécessite de définir une référence pour orienter les opérations et mettre en place un système de suivi adéquat pour permettre d'évaluer les travaux de gestion, de réaménagement et de restauration. Cette approche peut aider les gestionnaires dans la mise au point d'une politique d'aménagement « environnemental » intégrant Conservation, Aménagement et Restauration selon l'état (résilience, vulnérabilité,...) des écosystèmes de genévrier thurifère. Or, pour atteindre cet objectif, les gestionnaires devraient s'efforcer de tenir compte de la gamme de variabilité des conditions naturelles qui régissent les différentes formations de genévrier thurifère en présence dans la vallée des Aït-Bou-Guemmez qui diffèrent par leur composition, leur structure et leur fonction. Par conséquent, il n'y a pas de solution unique et miraculeuse à des problèmes de conservation parce que chaque situation constitue un cas particulier, et nous devons d'abord identifier les causes de la régression et des limitations qu'elles subissent en l'état présent du milieu qui les supporte. Elle doit donc passer par une reconnaissance des situations concernées (passées et actuelles) et par une définition de leurs caractères propres. Aussi, convient-il d'être prudent quant à d'éventuelles extrapolations.

En outre, il importe que les forestiers, qui sont familiers avec le terme de dégradation, se rendent compte que la dégradation de l'écosystème thuriféraire, peu compétitif pour les produits ligneux, peut se produire sans qu'il y ait nécessairement réduction de son potentiel de productivité, si par exemple sa structure et sa composition sont simplifiées (cas des thuriféraires « fossiles ») ; ce qui doit les inciter à considérer la thuriféraire, ainsi que l'ensemble des écosystèmes forestiers méditerranéens, comme un système de multi-usages, où la fonction de production ne représente plus forcément l'objectif principal (J. BONNIER et POULET D., 2002).

Enfin, les objectifs des entreprises de conservation et de restauration doivent replacer les coutumes et les pratiques des paysans dans le système de contraintes d'ordre physique, social, culturel et économique dont elles sont tributaires.

## Références bibliographiques

- ADAMS R. P., 2008 - *Juniper of the world : The genus Juniperus*. Trafford Publishing Co, Vancouver, 420 p.
- ARONSON J., FLORET C., LE FLOC'H E., OVALLE, C. et PONTANIER R., 1995 - *Restauration et réhabilitation des écosystèmes dégradés en zones arides et semi-arides. Le vocabulaire et les concepts*. Pages 11-29 in PONTANIER, R., M'HIRI, A., AKRIMI, N., ARONSON, J. & Le FLOC'H, E. (Eds.) « L'Homme peut-il refaire ce qu'il a défait ? », John Libbey Eurotext, Paris.
- ARONSON J., MILTON S. J. et BLIGNAUT J. N., 2007 - *Restoring natural capital : Definitions and rationale*. In ARONSON J., MILTON S. J. & BLIGNAUT, J. N. (eds). *Restoring natural capital. Science, Business, and practice*, Island Press, Washington, p. : 3-8.
- AUBERT P.-M., LERO M. et AUCLAIR L., 2009 - Moroccan forestry policies and local forestry management in the High Atlas : A cross analysis of forestry administration and local institutions. *Small-scale forestry*, **8** : 175-191.
- AUCLAIR L., 1996 - L'appropriation communautaire des forêts dans le Haut Atlas marocain. *Cah. Sci. hum.*, **32** (1) : 177-194.
- BADRI W., GAUQUELIN T., MINET J. et SAVOIE J.-M., 1994 - Données météorologiques nouvelles sur le massif de l'Oukaimeden (2 570m, Haut Atlas de Marrakech, Maroc) : un exemple de climat de haute montagne méditerranéenne. *Pub.de l'Assoc. Inter. de Climatologie*, **7** : 190-198.
- BADRI W., GAUQUELIN T., BERTAUDIÈRE V., MONTES N. et FOUGRACH H., 2006 - *État et dynamique des peuplements à Genévrier thurifère (Juniperus thurifera L.) dans les Atlas marocains*. III Colloquio International sobre Los Sabinares y enebrales (Genero *Juniperus*): Ecología y Gestion Forestal Sostenible, Soria (Espagne), 24-26 Mai, 2006 : 111-118.
- BARBERO M. et QUÉZEL P., 1995 - *Desertification, desertisation, aridification in the mediterranean region and « global change »*. In : BELLAN D., BONIN G. et EMIG C. (Eds), *Functioning and dynamics of natural and perturbed ecosystems*. Lavoisier, Intercept Ltd, Paris, pp. 549-569.
- BARBERO M., QUÉZEL P. et 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*, **XII** : 193-215.
- BARROW C. J. et HICHAM H., 2000 - Two complimentary and integrated land uses of the western High Atlas Mountains, Morocco : the potential for sustainable rural livelihoods. *Applied Geography*, **20** : 369-394.
- BENISTON M., 2003 - Climatic change in mountain regions : a review of possible impacts. *Climatic Change*, **59** : 5-31.

- BLONDEL J. et MÉDAIL F., 2009 - *Biodiversity and conservation*. In "J. WOODWARD (Eds) : The physical geography of the Mediterranean., pp. 615-650, Oxford University Press.
- BLONDEL J. , ARONSON J., BODIOLU J.-Y et BŒUF G., 2010 - *The mediterranean basin – biological diversity in space and time*. Oxford University Press, Oxford.
- BONNIER J. et POULET D., 2002 - Problématique de la forêt méditerranéenne. AIFM, *Forêt médit.*, hors série, n° 1, Marseille, 191p.
- BORELA. et J.-L. POLIDORI J.-L., 1983 - Le genévrier thurifère (*Juniperus thurifera* L.) dans le Parc National du Mercantour (Alpes-Maritimes). *Bull. Soc. Bot. Fr.*, **130**, lettres bot., 3 : 227-242.
- BOUDY P., 1958 - *Genévrier thurifère, Juniperus thurifera L var. maroccana (Maire). Economie forestière Nord-Africaine, II : Monographie et traitement des essences forestières*. Univ. Paris V, 878 p. : 754-758.
- BROADHURST L. M., LOWE A., COATES D. J., CUNNINGHAM S. A., Mc DONALD M., VESK P. A. et YATES C., 2008 – Seed supply for broadscale restoration: maximizing evolutionary potential. *Evolutionary Applications*, **1** : 587-597.
- CAIRNS Jr. J., 1993 - *Ecological restoration : replenishing our national and global ecological capital*. In « SAUNDERS D. A., HOIBBS, R. J. & EHRlich P. R. (eds) Nature conservation, 3 : reconstitution of fragments ecosystems. Surrey Beatty & Sons, p. 193-208.
- CAIRNS Jr. J. et HECKMAN J. R., 1996 - Restoration ecology : the state of an emerging field. *Ann. Rev. Energy Environ.*, **21** : 167-189.
- CINCOTTA R. P. et ENGELMAN R., 2000 - *Nature's place. Human population and the future of biological diversity*. Population Action International, Washington DC, 80 p.
- CINCOTTA R. P., WISNEWSKI J. et ENGELMAN R., 2000 - Human population in the biodiversity hotspots. *Nature*, **404** : 990-992.
- CLEWEL A. F. et ARONSON J., 2006 - Motivations for the restoration of ecosystems. *Conservation Biology*, **20** : 420-428.
- CLEWEL A. F. et ARONSON J., 2007 - *Ecological restoration. Principles, values, and structure of an emerging profession*. Island Press, Washington, D.C. 216 p.
- CORDIER J.-B., 2007 - *Impact écologique des pratiques d'agdal sur les peuplements forestiers et proposition de gestion alternative – Vallée des Aït Bougmez, Haut Atlas Central, Maroc*. Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur Forestier, ENGREF - IRD LPED, Montpellier - Marseille.
- COSTA TENORIO M., MORLA M. et SAINZ H., 1987 – Contribución a la tipificación de los sabinas albares (*Juniperus thurifera* L.) en et sistema ibérico meridional. *Lazaroa*, **7** : 307-317.
- COUVREUR G., 1968 - La vie pastorale dans le Haut Atlas central. *Rev. Géog. Maroc*, **13** : 3-54.
- COUVREUR G., 1979 - Conditions naturelles, peuplement et genres de vie dans le Haut Atlas (Maroc). *Méditerranée*, **1-2** : 23-25.
- DAVIS M. A. et SLOBODKIN L. B., 2004 - The science and values of restoration ecology. *Restoration Ecology*, **12** : 1-3.
- DAVIS M. B. et SHAW R. G., 2001 - Range shifts and adaptive responses to Quaternary climate change. *Science*, **292** : 673-679.

- DOLUKHANOV A.G., 1978 - The timberline and the subalpine belt in the caucasus mountains, ussr. *Arctic and Alpine Research*, **10**, 2 : 409-422.
- EHRENFELD J.G., 2000 - Defining the limits of restoration : the need for realistic goals. *Restoration Ecology*, **8** (1) : 2-9.
- EMBERGER L., 1938 a - La restauration de la zone forestière supérieure des montagnes marocaines. *Bull. Soc. Sc. Nat. du Maroc*, **XVIII** : 213-217.
- EMBERGER L., 1938 b - *Les arbres du Maroc et comment les reconnaître*. Ed. Larose, Paris, 317p.
- EMBERGER L., 1939 - Aperçu général sur la végétation du Maroc. Commentaire de la carte phytogéographique du Maroc 1 : 1 500 000<sup>ème</sup>. *Veröff. Geobot. Inst. Rübel in Zürich*, **14** : 40-157.
- EMBERGER L., 1964 - La position phytogéographique du Maroc dans l'ensemble méditerranéen. *Al Awamia*, **12** : 1-15.
- FALK D. A., PALMER M. A. et ZEDLER J. B., 2006 - *Foundations for restoration ecology*. SERI, Island Press, Washington, 364 p.
- FAY G., 1986 - Désagrégation des collectivités et dégradation des milieux dans le Haut Atlas marocain. *Rev. de l'Occident Musulman Méditerranéen*, **41-42** : 234-248.
- FENNANE M. et IBN TATTOU, M., 1998 - Catalogue des plantes vasculaires rares, menacées ou endémiques du Maroc. Raimondo F.M. & Valdés B. (ed.), *Herbarium Mediterraneum Panormitanum, Palermo, Bocconea*, **8** : 1-243.
- FENNANE M. et IBN TATTOU, M., 1999 - Observations sur la flore vasculaire endémique, rare ou menacée du Maroc. *Flora Mediterranea*, **9** : 113-124.
- FROMARD, F. et GAUQUELIN T., 1993 - Les formations à genévrier thurifère des montagnes marocaines : actions de recherche et de conservation sur un milieu et un espace en régression. *Unasylya, F.A.O.* **44** (172) : 52-58.
- GARCÍA LÓPEZ J. M. et ALLUÉ CAMACHO Y. C., 2005 - Caraterización potencialidades fitoclimáticas de la sabina albar (*Juniperus thurifera* L.) en la península ibérica. *Invest Agrar : Sist Recur For*, **14** (1) : 98-109.
- GAUQUELIN T., 2006 - *Les genévriers du monde et du bassin occidental de la Méditerranée : diversité, stabilité, expansion, régression*. Colloquio III International los sabinares y enebrales (Género *Juniperus*) : Ecología y Gestión Forestal Sostenible, Soria (Espagne), 24-26 de Mayo de 2006, Junta de Castilla y León, Ponencia inaugural : 25-32.
- GAUQUELIN T., IDRISSE-HASSANI M. et LEBRETON P., 1988 - Le genévrier thurifère (*Juniperus thurifera* L.), Cupressacées : analyse biométrique, propositions systématiques. *Ecologia Mediterranea*, **XIV** (3/4) : 31-42.
- GAUQUELIN T., BERTAUDIÈRE V., MONTÈS N., BADRI W. et ASMODÉ J.-F., 1999 - Endangered stands of thuriferous juniper in the western basin : ecological status, conservation and management. *Biodiversity and Conservation*, **8** : 1475-1498.
- GAUQUELIN T., ASMODE J. F. et LARGIER G., 2000 - *Le genévrier thurifère (Juniperus thurifera L.) dans le bassin occidental de la méditerranée : répartition et enjeux*. Actes du colloque « le genévrier thurifère (*Juniperus thurifera* L.) dans le bassin occidental de la Méditerranée : systématique, écologie, dynamique et gestion », 26-27 septembre 1997, Marignac (Haute-Garonne). *ONF, Les Dossiers Forestiers*, **6** : 14-24.

- GAUSSEN, H., 1952 - Les résineux d'Afrique du Nord. Écologie, reboisements. *Rev. Int. Bot. Appl. et Agric. Trop.*, **361-362** : 505-532.
- GEELHAAR M., 1995 - Mutations socio-économiques dans le Bassin de Tagoundaft, Haut Atlas, Maroc. *Geographica Bernensia, African Studies Series*, **A12** :199-219.
- GOEURY D., 2007 - Place et rôle des ONG dans l'acceptation des parcs nationaux : le cas du Haut Atlas oriental marocain. *Géocarrefour*, **82** (4) : 231-241.
- GRIGGS R. F., 1946 - The timberlines of Northern America and Their interpretation. *Ecology*, **27**, 4 : 275-289.
- HIGGS E. S., 1997 - What is good ecological restoration ? *Conservation Biology*, **11** (2) : 338-348.
- HIGGS E. S., 2005 - The two-culture problem : ecological restoration and the integration of knowledge. *Restoration Ecology*, **13** (1) : 159-164.
- HOBBS R. J., 2007 - Setting effective and realistic restoration goals : key directions for research. *Restoration Ecology*, **15** (2) : 354-357.
- HOBBS R. J. et NORTON D. A., 1996 - Towards a conceptual framework for restoration ecology. *Restoration Ecology*, 4(2) : 93-110.
- HOEKSTRA J. M., BOUCHER T. M., RICKETTS T. H. et ROBERTS C., 2005 - Confronting a biome crisis: global disparities of habitat losds and protection. *Ecology Letters*, **8** : 23-29.
- HOLTMEIR F. K., 1973 - Geocological aspects of timberlines in Northern and central europe. *Arctic and Alpine Research*, vol. **5**, n° 3, Pt. 2 ; A45-A54.
- HOLTMEIER F. K., 2009 - Mountain timberlines. Ecology, Patchiness, and Dynamics. *Advances in Global Change Research*, **36**, Springer, 437 p.
- HOLTMEIER F. K. & BROLL G., 2007 - Treeline advance – driving process and adverse factors. *Landscape Online*, **1** : 1-33. DOI : 10.3097/LO.200701.
- HUGHES P. D., GIBBARD P. L. & WOODWARD J. C., 2004 - *Quaternary glaciation in the Atlas mountains of North Africa*. In EHLERS J. and GIBBARD P. L. (eds) *Quaternary glaciation – Extent and chronology*, Vol. 3, Asia, Latin America, Africa, Australia, Antarctica. Elsevier, Amsterdam, p. 255-260.
- HUNTER JR. M. L., 1991 - *Coping with ignorance : the coarse-filtre strategy for maintaining biological diversity*. Pages 266-281 in K. KOHN (eds) *Balancing on the brink of extinction*. Island Press, Washington, D.C.
- HUNTER JR. M. L., 2004 - A mesofilter conservation strategy to complement fine and coarse filters. *Conservation Biology*, **19** (4): 1025-1029.
- HUNTER JR. M. L. et GIBBS J., 2007 - *Fundamentals of conservation biology*. Third ed., Blackwell Publishing, 497 p.
- INNES J. L., 1991 - High-altitude and high-latitude tree growth in relation to past, present and future global climate change. *The Holocene*, **1** (2) : 168-173.
- JACOBSHAGEN V. H., (Ed.), 1988 - The Atlas system of Morocco. *Lecture Notes in Earth Sciences*, **15**, Springer-Verlag, 499 p.
- JALUT G., ESTEBAN AMAT A., GAUQUELIN T., AUBERT S., IGLESIAS M., BOUCHETTE A. et BELET J.-M., 2000 - Rôle du genévrier thurifère dans la mise en place de la couverture végétale du sud de l'Europe à la fin du dernier épisode glaciaire. Actes du colloque « le genévrier thurifère (*Juniperus thurifera* L.) dans le bassin occidental de la Méditerranée : systématique, écologie,

- dynamique et gestion » 26 et 27 septembre 1997, Marignac (Haute-Garonne). *ONF, Les Dossiers Forestiers*, **6** : 160-170.
- JONES T. A., 2003 - The restoration gene pool concept : beyond the native versus non-native debate. *Restoration Ecology*, **11** (3) : 281-290.
- JONES T. A. et MONACO T. A., 2007 - A restoration practitioner's guide to the restoration gene pool concept. *Ecological Restoration*, **25** (1) : 12-19.
- JONG DE C., CAPPY S., FINCKH M. et FUNK D., 2008 - A transdisciplinary analysis of water problems in the mountainous karst areas of Morocco. *Engineering Geology*, **99** : 228-238.
- JOSSON J. A., 1988 - *Carte géologique de Zaouiyat Ahançal 1/100 000*. Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc, Rabat, n° 335.
- KARL T. R. et TRENBERTH K. E., 2005 - *What is climate change*. In LOVEJOY T. E. & HANNAH L. (eds) *Climate Change and biodiversity*. p. 15-28 Yale University Press, New Haven & London.
- 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 FIF, ENGREF, Conservatoire Botanique National Alpin de Gap-Charance, 80 p.
- LATHUILLIÈRE L., 1996 - Le genévrier thurifère, élément remarquable du patrimoine naturel. *Le Courrier de la Nature*, **155** : 34-38 et **157** : 36-39.
- LECESTRE-ROLLIER B., 1992 - *Anthropologie d'un espace montagnard. Les Ayt Bou Guemez du Haut Atlas marocain*. Thèse de Doctorat en Anthropologie. Université René Descarte – Paris V, Paris.
- LECESTRE-ROLLIER B., 1997 - *Identité et altérité : la logique des contrats dans les sociétés berbères du Haut Atlas marocain*. In BROMBERGER C. « Jacques Berque. La Méditerranée, le Haut Atlas ». P.U.P, p. : 19-41.
- LECOMPTÉ M., 1969 - La végétation du Moyen Atlas central. Esquisse phytécologique et carte des séries de végétation au 1/200 000<sup>ème</sup>. *Trav. Inst. Sc. Chérif.*, *Sér. Bot. et Biol. Vég.*, Rabat, **13** : 1-34.
- LEMOINE-SÉBASTIAN C., 1958 - Essai de germination de quatre espèces du genre *Juniperus*. *Bull. Soc. Nat. Phys. Maroc*, **33** : 115-122.
- LEMOINE-SEBASTIAN C., 1965 - Écologie des Genévriers au Maroc. *Bull. Soc. Sc. Nat Phys., Maroc*, **45** : 49-116.
- LEPPIG G. et WHITE J. W., 2006 - Conservation of peripheral plant populations in California. *Madronò*, **53** (3) : 264-276.
- LESICA P. et F. W. ALLENDORF, 1999 - Ecological genetics and the restoration of plant communities : mix or match ? *Restoration Ecology*, **7** (1) : 42-50.
- LINDENMAYER D. & BURGMAN M., 2005 - *Practical conservation biology*. CSIRO Publishing, 609 p
- McKAY J. K., CHRISTIAN C. E., HARRISON S. et RICE K. J., 2005 - "How local is local" ?-A review of practical and conceptual issues in the genetics of restoration. *Restoration Ecology*, **13** (3) : 432-440.
- MARCHAND, H., 1990 - *Les forêts méditerranéennes. Enjeux et perspectives*. Les Fascicules du Plan Bleu, 2, P.N .U.E., Economica edit. ; Paris, 108 p.

- MASELLI D., 1995 - L'écosystème montagnard agro-sylvo-pastoral de Tagoundaft (Haut-Atlas occidental, Maroc) : ressources, processus et problèmes d'une utilisation durable. *Geographica Bernensia, African Studies Series*, **A12** : 1-199.
- MATHEZ J., QUÉZEL P. et RAYNAUD C., 1985 - *The Maghreb countries*. In : Gómez-Campo C. (eds), Plant conservation in the Mediterranean area. Dr. W. Junk Publishers, Dordrecht, pp. 141-157.
- MCKAY J. K., CHRISTIAN C. E., HARRISON S. et RICE K. J., 2005 - "How local is local ?" - A review of practical and conceptual issues in the genetics of restoration. *Restoration Ecology*, **13** (3) : 432-440.
- MÉDAIL F. et QUÉZEL P., 1997 - Hot-spots analysis for conservation of plant biodiversity in the mediterranean bassin. *Ann. Missouri Bot. Gard.*, **84** : 112-127.
- MÉDAIL F. et QUÉZEL P., 2003 - Conséquences écologiques possibles des changements climatiques sur la flore et la végétation du bassin méditerranéen. *Bocconea*, **16**, 1 : 397-422.
- MÉDAIL F. et MYERS N., 2004 - Mediterranean basin, In MITTERMEIER R. A., ROBLES G. P., HOFFMANN M., PILGRIM J., BROOKS T., MITTERMEIER C. G., LAMOREAUX J. et DA FONSECA G. A. B. (Coords.), Hotspots revisited : Earth's Biologically richest and most endangered terrestrial ecoregions, CEMEX (Monterrey), Conservation International (Washington) & Agrupación Sierra Madre (Mexico), p. 144-147.
- MÉDAIL F. et DIADEMA K., 2009 - Glacial refugia influence plant diversity patterns in the Mediterranean Basin. *J. Biogeogr.*, **36** : 1333-1345.
- MEFFE G. K., EHRENFELD D. et NOSS R. F., 2006 - Conservation biology at twenty. *Conserv. Biol.*, **20** : 295-296.
- MILIAN J., 2007 - Le dilemme entre développement et protection dans les montagnes du Maroc : le cas des parcs du Moyen Atlas. *Géocarrefour*, **82** (4) : 177-186.
- MOIR W. H. et HUCKABY L. S., 1994 - Displacement ecology of trees near upper timberline. *Int. Conf. For. Bear Res. and Manage*, **9** (1) : 35-42.
- MONTALVO A. M., WILLIAMS S. L., RICE K. J., BUCHMANN S. L., CORY C., HANDEL S. N., NABHAN G. P., PRIMACK R. et ROBICHAUX R. H., 1997 - Restoration biology : a population biology perspective. *Restoration Ecology*, **5** (4) : 277-290.
- MONTES, 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 Univ. Toulouse, le Mirail, 203 p.
- MONTESINOS D., 2007 - *Juniperus thurifera* : una especie dioica, vecera y relictica. *Ecosistemas*, **16** (3) : 172-185.
- MONTESINOS D., GARICA-FAYOS P. et VERDU M., 2010 - Relictual distribution reaches the top : Elevation constrains fertility and leaf longevity in *Juniperus thurifera*. *Acta Oecologica*, **36** : 120-125.
- MONTGOLFIER J. de, 2006 - Espaces forestiers méditerranéens et développement durable. *Rev. For. Fr.*, **LVIII**, 1 : 73-80.
- MULLENBACH P., 1982 - Les reboisements au voisinage de la limite altitudinale de la végétation forestière (limite sylvestre). Exemple de la station du Chazelet. Premiers résultats. *R. F. F.*, **XXXIV**, 5 : 50-71.

- MYERS N., 1988 - Threatened biotas : "Hot spots" in tropical forests : *Environmentalist*, **8** : 1-20.
- MYERS N., 1990 - The biodiversity challenge : expanded hot-spot analysis. *Environmentalist*, **10** : 243-256.
- MYERS N., MITTERMEIER R. A., MITTERMEIER C. G., DA FONSECA G. A. et KENT J., 2000 - Biodiversity hot spots for conservation priorities. *Nature*, 403 : 853-858.
- NOSS R. F., 1987 - From plant communities to landscapes in conservation inventories : a look at the Nature Conservancy (USA). *Biological Conservation*, **41** : 11-37.
- OBESO J. R., 2002 - The costs of reproduction in plants. *New Phytologist*, **155** : 321-348.
- OLSON D. M., DINERSTEIN E., WIKRAMANAYAKE E. D., BURGESS N. D., POWEL G. V. N., UNDERWOOD E. C., D'AMICO J. A., ITOUA L., STRAND H. E., MORISSON J. C., LOUCKS C. J., ALLNUTT T. F., RICKETTS T. H., KURA Y., LAMOREUX J. F., WETTENGEL W. W., HEDAO P. et KASSEM K. R., 2001 - Terrestrial ecoregions of the world : A new map of life on Earth. *BioScience*, **51**, 11 : 933-938.
- OLSON D. M. et DINERSTEIN E., 2002 - The global 200 : priority ecoregions for global conservation. *Ann. Missouri Gard*, **89** : 199-224.
- OZENDA P., 1985 - *La végétation de la chaîne alpine dans l'espace montagnard méditerranéen*. Masson, Paris, 340 p.
- PARMESAN C., 2006 - Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, **37** : 637-669.
- PAULSEN J., WEBER U. M. et KÖRNER CH., 2000 - Tree growth near treeline : Abrupt or gradual reduction with altitude ? *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 32 (1) : 14-20.
- PÉZELET L., 1996 - « Gîte d'étape chez l'habitant » dans le Haut Atlas central : logique touristique et sens de l'espace domestique. *Rev. Géog. Alpine*, **4** : 133-148.
- PRIMACK R. B., 2004 - *A primer of conservation biology*. Third ed., Sinauer Associates, Inc. Publishers, Sunderland, 320 p.
- QUÉZEL P., 1981 - Les hautes montagnes du Maghreb et du Proche-Orient : essai de mise en parallèle des caractères phytogéographiques. *Anales Jard. Bot. Madrid*, **37**, 2 : 353-372.
- QUÉZEL P., 1985 - Definition of the Mediterranean region and origin of its flora. In : GÓMEZ-CAMPO C. (eds) *Plant conservation in the Mediterranean area*. Dr. W. Junk, Publishers, Dordrecht, pp. 9-24.
- QUÉZEL P., 1995 - La flore du bassin méditerranéen : origine, mise en place, endémisme. *Ecologia mediterranea* **XXI** (1/2) : 19-39.
- QUÉZEL P., 1999 - Biodiversité végétale des forêts méditerranéennes, son évolution d'ici à trente ans. *Forêt méditerranéenne*, **XX** (1) : 3-8.
- QUÉZEL P. et MÉDAIL F., 2003 - *Écologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen*. Elsevier, Paris, 572 p.

- QUÉZEL P., MÉDAIL F., LOISEL R. et BARBERO M., 1999 - Biodiversité et conservation des essences forestières du bassin circum-méditerranéen. *Unasylva*, FAO, Rome, **50**, 197 : 21-28.
- QUÉZEL P., GAMISANS J. et GRUBER M., 1980 - Biogéographie et mise en place des flores méditerranéennes. Actes du colloque organisé à l'Institut de Botanique de Montpellier les 9 et 10 avril par la Fondation Louis Emberger, *Naturalia Monspeliensia*, 41-51.
- RAMEAU J.-C. et OLIVER L. 1991 - La biodiversité forestière et sa préservation. Intérêt patrimonial de la flore, de la végétation et des paysages forestiers. *Rev. For. Fr.*, **XLIII** (sp.) : 19-27.
- RAMEAU J.-C. et TIMBAL J., 1987 - Protection de la flore et foresterie. *Rev. For. Fr.*, 39 (1) : 25-32.
- RHANEM M., 1985 - *Étude phyto-écologique des versants de la vallée des Aït-Bou-Guemmez (Haut Atlas central septentrional, Maroc)*. Thèse Doct. 3<sup>ème</sup> cycle, U.S.T.L., Montpellier, 123 p. + 3 cartes.
- RHANEM M., 2008 a - Quelques aspects topo-climatiques de l'étagement de la végétation spontanée en montagne méditerranéenne, avec référence aux Moyen et Haut Atlas (Maroc). *Quad. Bot. Amb. Appl.*, **19** : 183-201.
- RHANEM M., 2008 b - Quelques résultats obtenus par l'analyse de l'information mutuelle sur les observations phyto-écologiques recueillies dans la vallée des Aït-Bou-Guemmez (Haut Atlas, Maroc). *Flora mediterranea*, **18** : 471-512.
- RHANEM M., 2008 c - Contribution à une typologie topo-climatique en montagne méditerranéenne. Application à une vallée du Haut Atlas central, Aït-Bou-Guemmez (Maroc). *Quad. Bot. Amb. Appl.*, **19** : 161-172.
- REID W. V., 1998 - Biodiversity hotspots. *Tree*, **13** : 275-280.
- ROMAGNY B. et RIAUX J., 2007 - La gestion communautaire de l'eau agricole à l'épreuve des politiques participatives : regards croisés Tunisie/Maroc. *J. Sc. Hydrol.*, **52** (6) : 1179-1196.
- ROMAGNY B., AUCLAIR L. et ELGUEROUA A., 2008 - La gestion des ressources naturelles dans la vallée des Aït-Bou-Guemmez (Haut Atlas) : la montagne marocaine à la recherche d'innovations institutionnelles. *Mondes en développement*, **141** (1) : 63-80.
- ROMO A. et BORATYNSKI A., 2005 - Chorology of *Juniperus thurifera* (Cupressaceae) in Morocco. *Dendrology*, **54** : 41-50.
- ROMO A. & BORATYNSKI A., 2007 - Nomenclatural note on *Juniperus thurifera* subsp. *africana* (Cupressaceae). *Ann. Bot. Fennici*, **44** : 72-75.
- SER, 2004 - The SER International primer on ecological restoration. Society for ecological restoration international. Science and policy working group, www.ser.org, Tucson.
- SER, (2005) - Guidelines for developing and managing ecological restoration project. Society for Ecological Restoration International, CLEWEL, A., RIGER, J. & MUNRO J. www.ser.org, Tucson.
- SMITH T. B., KARK S., SCHNEIDER C. J., WAYNE R. K. et MORITZ C., 2001 - Biodiversity hotspots and beyond : the need for preserving environmental transitions. *Trends in Ecology & Evolution*, **16** (8) : 431.

- SMITH W. K., GERMINO M. J., JOHNSON D. et REINHART K., 2009 - The altitude of alpine treeline : a bellwether of climate change effects. *Bot. Rev.*, **75** (2) : 163-190.
- SOULÉ M. E., 1985 - What is conservation biology ? *BioScience*, **35** (11) : 727-734.
- STRAHLER A. N., 1952 - Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Geological Society American Bulletin*, **63** : 1117-1142.
- TERRAB A., SCHONSWETTER P., TALAVERA S., VELA E. et 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.
- THUILLER W., 2007 - Climate change and the ecologist. *Nature*, **448** : 550-552.
- TRANQUILLINI W., 1979 - Physiological Ecology of the Alpine Timberline. The Existence at High Altitudes with Special Reference to the European Alps. Springer-Verlag, Berlin, *Ecological Studies*, **31** : 137 p.
- TROLL C., 1973 - The upper timberlines in different climatic zones. *Arctic and Alpine Research*, vol. **5**, n° 3, Pt. 2 : A3-A18.
- VAN DYKE F., 2008 - *Conservation biology. Foundations, concepts, applications*. Second ed., Springer, 477 p.
- VAN UDEN S., STEWART G. H. et DUNCAN R. P., 1998 - Implications of dioecy for sustainable forest management. *N. Z. Forestry*, 39-42.
- WALTHER J.-R., 2003 - Plants in a warmer world. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, **6** (3) : 169-185.
- WALTHER G.-R., POST E., CONVEY P., MENZEL A., PARMESAN C., BEEBEE T. J. C., FROMENTIN J.-M., HOEGH-GULDBERG O. et BAIRLEIN F., 2002 - Ecological responses to recent climate change. *Nature*, **416** : 389-395.
- WALTHER G.-R., HUGHES L., VITOUSEK P. et STENSETH N. CH., 2005 - Consensus on climate change. *Trends in Ecology and Evolution*, **20** (12) : 648-649.
- WARDLE P., 1971 - An explanation for alpine timberline. *New Zeal. J. of Bot.* **9** : 371-402.
- WARDLE P., 1974 - Alpine timberlines. Arctic and Alpine Environment, in J. D. IVES and R. G. BARRY ed., London Chapter 7 : 371-402.
- YOUNG T. P., 2000 - Restoration ecology and conservation biology. *Biological Conservation*, **92** : 73-83.
- ZEDLER J. B., 2008 - Ecological restoration : guidance from theory. Available at : [http://www.ser.org/content/ecological\\_restoration\\_primer.asp](http://www.ser.org/content/ecological_restoration_primer.asp).