



Sur la rareté du Genévrier commun (*Juniperus communis* L.) au Maroc et ses relations avec la triade arbustive d'éboulis (*Berberis hispanica* Boiss. & Reut., *Buxus balearica* Willd. et *Ribes uva-crispa* L.) au sein et à la périphérie de l'écotone supraforestier dans les hauts massifs de l'Ayachi et du Tichchoukt ; intérêt de la géomorphologie

Mustapha RHANEM

Unité de Botanique et Écologie montagnarde,
Faculté des Sciences, Département de Biologie,
BP 11201, ZITOUNE, MEKNÈS, MAROC

Résumé : La richesse de la flore marocaine en taxons rares et/ou endémiques est bien connue. En revanche, leur autoécologie l'est moins bien. Sa connaissance est pourtant nécessaire à la mise en œuvre de leur conservation. Cupressacée arbustive très rare pour la flore de notre pays, *Juniperus communis* L. représenté au Maroc par sa sous-espèce *hemisphaerica* (C. Presl) Nyman, constitue un élément de biodiversité remarquable de haute valeur en terme de conservation de la nature et revêt au surplus, en raison d'une amplitude d'habitat restreinte et une aire de distribution réduite et disjointe, un intérêt biogéographique de premier ordre.

Sa seule présence sur les hautes montagnes de l'Ayachi et du Tichchoukt leur confère donc une indiscutable originalité, renforcée par leur situation de part et d'autre de la haute plaine de la Moulouya. Les comparer est d'un intérêt évident. Il paraît par ailleurs raisonnable, au vu de telles remarques d'ordre aréal, d'essayer de définir la forme de rareté que représente ce genévrier au Maroc selon les critères proposés par Rabinowitz.

Mots-clés : *Juniperus communis*, *Ribes uva-crispa*, *Berberis hispanica*, *Buxus balearica*, haute montagne, écotone supraforestier, périglaciaire, niches de nivation, ravins, talus d'éboulis, rareté, conservation.

Abstract : The richness of the Moroccan flora in rare and/or endemic taxa is well known. In contrast, the autecology of these taxa remains much less so. This understanding is nevertheless necessary for setting in place conservation measures. *Juniperus communis* L. represented in Morocco by its subspecies *hemisphaerica* (C. Presl) Nyman, a highly specialised shrubby Cupressaceae and a very rare element of the national flora, is noteworthy for its high conservation value and, due to a restricted habitat extension and small and disjointed distribution area, is of the highest biogeographical interest. The occurrence of the common juniper only in the high mountains of the Ayachi and Tichoukt is indisputably unusual, not least because it is found on either side of the upper plain of the Moulouya. The comparison of these areas is of evident interest. In light of these spatial remarks, it would seem appropriate to attempt to define the rarity type represented by this juniper in Morocco according to the criteria proposed by Rabonowitz.

Keywords : *Juniperus communis*, *Ribes uva-crispa*, *Berberis hispanica*, *Buxus balearica*, high mountain, upper timberline ecotone, periglacial, nivation hollows, ravine, talus slope, rarity, conservation.

I. Introduction

La végétation d'éboulis de haute montagne a, depuis bien longtemps déjà, retenu l'attention des botanistes et des géomorphologues. De nombreuses espèces rares et endémiques, soit qu'elles recherchent des conditions écologiques particulières, soit que les phénomènes de concurrence leur aient assigné cet habitat, végètent souvent sur ces pentes nappées d'éboulis, en réduisant au maximum leur appareil végétatif aérien au profit d'un plus grand développement de leur appareil souterrain. Mais la rareté n'est pas le seul attrait de ces plantes ; il s'agit en effet bien souvent d'espèces riches de signification biogéographique. Dès lors, ces habitats, au même titre que les falaises, les grottes et les avens, peuvent être considérés comme des stations refuges de tout premier ordre, à conditions climatiques très spéciales, où se sont maintenues des colonies d'espèces souvent très anciennes, hautement différenciées, à potentialité d'extension à peu près nulle. Il en résulte en dernier lieu une concurrence limitée et une végétation très clairsemée.

Parmi les 350 espèces environ que compte l'étage de haute montagne au Maroc, on dénombre plus de 100 espèces endémiques. Sa flore est le plus souvent hétérogène, mais la dominance des xérophytes épineux et l'absence quasi totale d'arbres en font un étage bien tranché du paysage. En effet, il n'est caractérisé que par un pourcentage relativement peu élevé de phanérophtes avoisinant les 5 % (EMBERGER, 1939). À ce titre et en l'état actuel de nos connaissances, parmi toutes les espèces arborées spontanées de nos hautes montagnes, à peine une vingtaine (EMBERGER, 1938), le Genévrier commun (*Juniperus communis* L.) en offre, certes à l'état de nanophanérophte, l'un des meilleurs exemples parmi les quatre représentants du genre dans notre flore. C'est en effet l'un des rares résineux qui pénètre nettement dans la zone asylvatique atteignant en certains points 3 300 m d'altitude comme l'a mentionné EMBERGER (1939, page 141), sans toutefois donner de précisions sur la localisation géographique du site concerné, et qui puisse s'accommoder de tels terrains extrêmement superficiels, à condition que l'approvisionnement

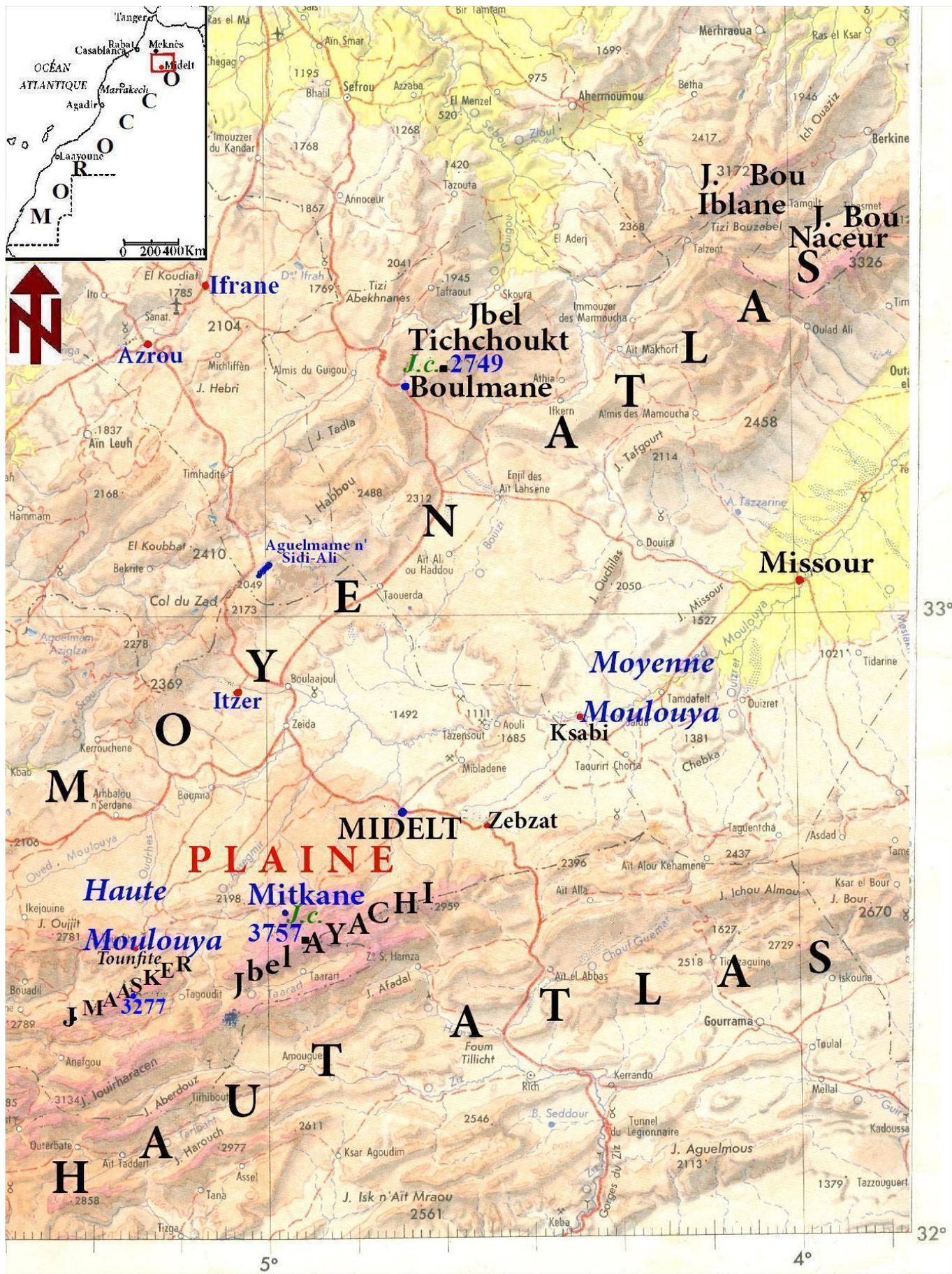


Figure 1. Aire typiquement morcelée de *Juniperus communis* (J.c.) aux confins de la haute plaine de la Moulouya comprenant deux groupes séparés, à vol d'oiseau, par une centaine de kilomètres et position géographique des hauts massifs de l'Ayachi et du Tichchoukt l'un par rapport à l'autre avec leurs points culminants respectifs ainsi que leur diversité physiographique. Son maximum de répartition se trouve dans l'Ayachi au sud-ouest de la ville de Midelt. Fond extrait de la *Carte internationale du monde* 1/1000 000 RABAT NI - 29/30°

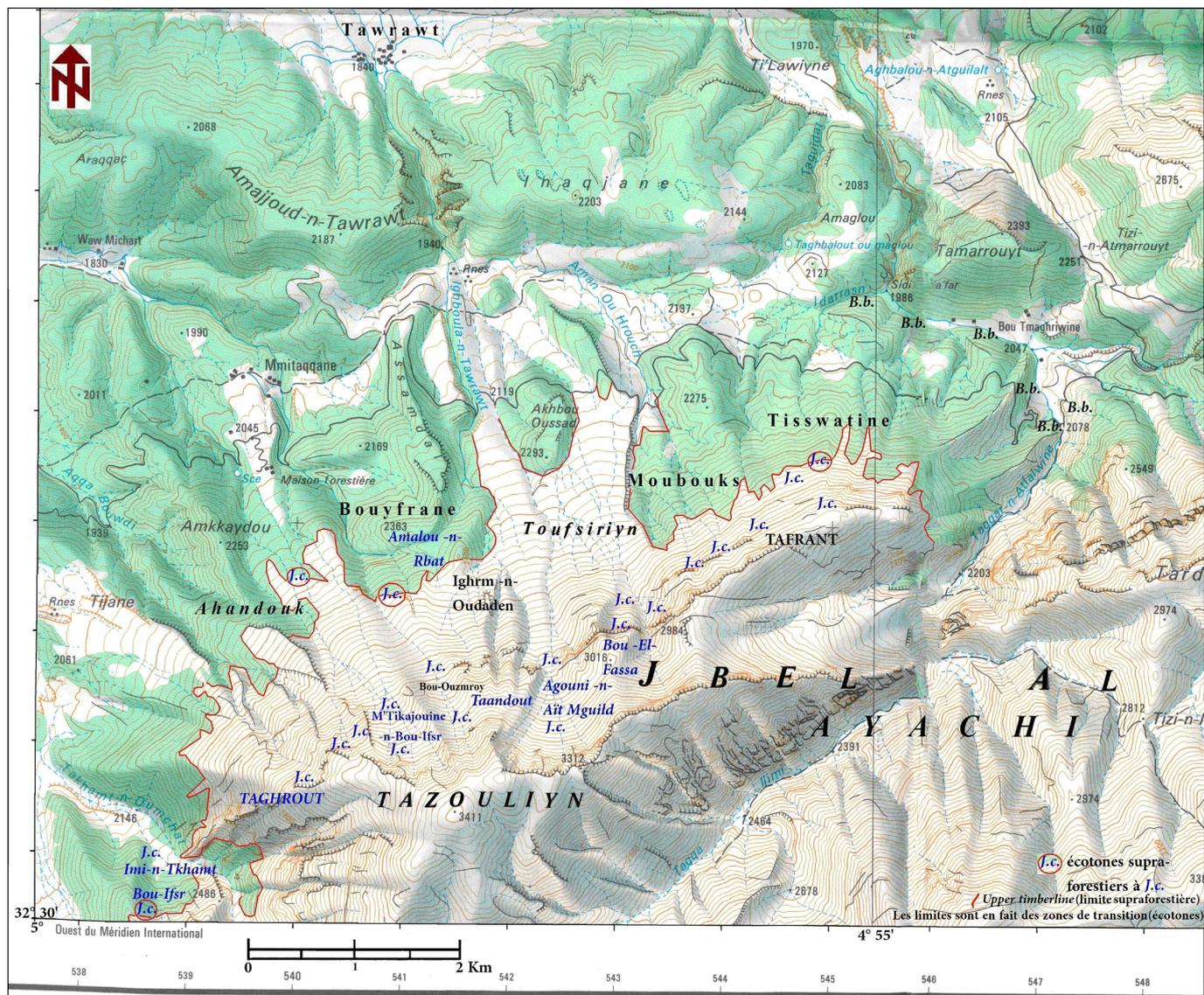


Figure 2. Répartition de *Juniperus communis* (**J.c.**) sur le chaînon de Tafrant-Taghrouit dans le massif de l'Ayachi *sensu lato*. Il y présente une aire disjointe en deux parties d'inégales importances : la masse principale, dépourvue d'arbres, couvre toute la bande sommitale de son ubac en contres bas d'escarpements rocheux ; la deuxième, nouvellement inventoriée, se trouve dans les basses montagnes forestières d'Imi-n-Tkhamt de son rebord sud-oriental. Ont été également représentées les sites de présence de *Buxus balearica* (**B.b.**) et de l'emplacement des écotones supraforestiers à **J.c.**, ainsi que les lieux cités dans le texte. Outre cette disparité, on remarquera aussi la complémentarité des deux aires. Fond topographique extrait de la *Carte du Maroc au 1:50.000*, feuille NI-30-II- 3a AÏT OUMGHAR.

en eau y soit suffisant. C'est en particulier le cas sur les massifs de l'Ayachi dans le Haut Atlas (Figures 1 et 2) et de celui du Tichchoukt dans le Moyen Atlas (Figures 1 et 3). Cependant, nulle part ailleurs sur nos montagnes, le développement du Genévrier commun n'est aussi franc et le contraste avec le paysage environnant aussi accusé que sur le massif de l'Ayachi où il est remarquablement installé : c'est le biotope où l'on observe le maximum d'individus présentant notamment des populations denses, abondantes et déployées sur une grande aire locale ; un tel développement relatif ne peut vraisemblablement être interprété que comme l'une des manifestations de sa vigueur et de sa vitalité. Cependant, il convient de mentionner que, dans une telle situation, le Genévrier commun cohabite très fréquemment avec *Alyssum spinosum* L. avec lequel il forme une mosaïque nettement différenciée, bien mise en évidence sur le terrain (RHANEM, 2013), alors qu'il ne se mêle que très rarement à trois buissons ligneux ; il s'agit de *Berberis hispanica*, *Buxus balearica* et *Ribes uva-crispa*, qui parviennent par endroits à pénétrer dans l'étage de haute montagne et à coloniser des zones assez élevées au-delà des limites supérieures de la végétation arborée.

Néanmoins, ce Genévrier rampant peut, à des altitudes moindres, s'infiltrer largement dans l'étage montagnard méditerranéen où il constitue des touffes en nappe dans le sous-bois de cédraies clairsemées. C'est le cas de l'ensemble forestier immédiatement à l'extrémité ouest du chaînon de Tafrant-Taghrouit (Figure 2). Par contre, sur le Tichchoukt situé plus au nord, le Genévrier commun n'est présent que çà et là sous forme de touffes très isolées, à faible effectif, disséminés dans le sous-bois de cédraies-chênaies claires (Figure 3).

Entre ces deux milieux physionomiquement contrastés, c'est-à-dire aux niveaux des écotones supraforestiers, vers 2 500-2 600 m, le Genévrier commun se mélange aussi bien aux xérophytes épineuses qu'aux trois buissons précédemment cités. Cependant, ces zones de transition se caractérisent aussi par la présence singulière de vieux cèdres en table (*Cedrus atlantica*), accompagnés assez souvent de quelques rares thurifères (*Juniperus thurifera* L.).

Or, si l'on considère la pauvreté relative en espèces arborées dans l'étage oroméditerranéen et bien qu'il y soit peu compétitif et qu'il ne couvre qu'une aire assez restreinte au demeurant mais avec un grand effectif, son intérêt sur le plan botanique est néanmoins considérable. Au vu de ces constatations, le Genévrier commun doit donc être considéré comme un élément

de première importance de la biodiversité de ces deux hautes montagnes. Le rôle important que cette espèce y occupe, rôle irremplaçable, car c'est la seule essence de valeur existant au niveau de l'étage de haute montagne, la rend digne de considération. D'autre part, si les ressources offertes par le Genévrier commun étaient mieux connues des utilisateurs (il est de beaucoup le moins utilisé au Maroc), il serait extrêmement recherché, car ce Genévrier rampant possède probablement certaines qualités précieuses qui lui sont particulières. Il y aurait même lieu de favoriser l'extension de ce résineux dans beaucoup de stations climatiquement favorables, et en tous cas de lui venir en aide pour éviter qu'il ne perde du terrain, là où il se trouve en concurrence avec d'autres espèces beaucoup plus fréquentes, notamment en bordure de son aire.

Jusqu'à une date récente (RHANEM, 2013), au Maroc, cela ne l'a pas empêché de passer longtemps inaperçu et il a été souvent considéré à tort comme une essence secondaire et sans réel intérêt économique. Son aire naturelle restreinte, la discrétion de sa répartition sporadique à l'intérieur même de cette aire ne lui laissent qu'une importance pratique très faible. Nombreuses sont d'ailleurs les populations autochtones, bergers et/ou éleveurs ou même certains forestiers, qui méprisent, par ignorance, les formations arbustives rampantes à Genévrier commun, presque impénétrables aux caprins et ovins. D'ailleurs, à l'exception des localités du massif de l'Ayachi (RHANEM, 2013), ce Genévrier n'est désigné dans le reste du pays, d'après les renseignements que nous avons pu recueillir sur le terrain et dans les documents bibliographiques, par aucun autre nom vernaculaire.

L'autre fait marquant réside dans le fait que ces deux massifs montagneux comptent parmi les secteurs les plus complexes et les plus originaux de la chaîne atlasique en raison de leur situation au carrefour de différents domaines où se sont affrontés les courants floristiques les plus divers. En ces lieux, les topo-climats accusent les nuances les plus variées, la richesse en pierrailles et blocs du substrat sur des pentes raides et l'érosion active empêchent toute formation de sol sur une partie de leurs versants instables et les caractéristiques physiques propres aux roches calcaires présentes assurent un drainage suffisant, même dans le cas de précipitations neigeuses. De même, sur ces pentes particulièrement abruptes, les mouvements du terrain, les glissements de blocs, les orages mettent périodiquement le sol à nu et maintiennent naturellement ces essences qui végètent le plus souvent en peuplements clairs.

Par ailleurs, ces deux massifs montagneux sont intéressants à double titre : d'une part, ils ont conservé des traces de l'évolution paléogéographique et, d'autre part, ils offrent un exemple évident de l'influence périglaciaire. Malgré la faible extension spatiale de tels processus, ils n'en restent pas moins très nets. Les formes cryonivales se rencontrent de préférence dans l'étage supraforestier, mais des processus de gélifraction débutent insensiblement à partir de 2 200 m, montrant ainsi l'efficacité d'un gel saisonnier. La répartition des étages altitudinaux y est par ailleurs sensiblement la même.

Les deux massifs montagneux envisagés offrent ainsi, du point de vue de leur flore et de leur végétation, beaucoup de caractères particuliers, réunissant, sur quelques hectares seulement, un ensemble très diversifié de conditions édaphiques, topo-climatiques et par suite de groupements végétaux, avec un fond floristique commun constituant de fait un point de convergence.

Ce grand intérêt d'ordres botanique, phytogéographique et patrimonial ne se limite pas à la seule présence de ces espèces, mais est aussi lié d'une part au type de paysage tout à fait original que ces quatre arbustes individualisent, d'autre part à la faune ou la flore que ses peuplements peuvent abriter. Tout cela est l'indice d'une riche biodiversité qui nécessite d'être plus précisément quantifiée du point de vue de la cinétique d'évolution. En ce sens, leur identification et leur cartographie sont importantes à prendre en compte dans la gestion, afin de conserver la naturalité de ces peuplements, permettre leur maturation et leur régénération naturelle.

Ainsi l'interprétation de leur localisation dans l'espace et dans le temps méritait d'être tentée. Une telle étude n'a pu être abordée que sous certains angles pour des raisons essentiellement matérielles. Elle a été orientée notamment vers les problèmes relatifs à la répartition géographique, édaphique et topo-climatique sur chacun d'entre-eux afin de dégager un premier complément d'information né de leur confrontation. En effet, à l'exception de notre récent travail (RHANEM, 2013), l'écologie et la distribution du Genévrier commun, ainsi que l'inventaire des plantes ligneuses auxquelles il s'associe n'ont fait l'objet dans notre pays d'aucune autre étude bien approfondie et comptent encore beaucoup de lacunes comme en témoigne la place occupée par cette espèce dans la littérature scientifique, fort modeste au demeurant. Ailleurs, son étude a fait l'objet de publications innombrables, particulièrement dans les pays européens où il est abondant.

Cet article fait suite à celui concernant des observations préliminaires sur l'écologie du Genévrier commun auquel le lecteur pourra se reporter pour des informations complémentaires, en particulier pour les données sur son comportement vis-à-vis des xérophytes épineux, dont il nous a permis aussi d'entrevoir les fondements pour de futures études. Il nous a paru cependant intéressant d'apporter non pas des précisions, mais un complément d'information et de documentation sur son autoécologie à la lumière de nouvelles observations inédites à des fins de connaissance appliquée à la conservation de cette espèce rare patrimoniale, qui permettent d'établir des tendances de risques concernant la perte de ses habitats dans toute son aire de distribution, même si elle manque de précision.

Dans cette optique, nous sommes revenus sur les lieux concernés à la deuxième quinzaine du mois de mars afin d'effectuer des mesures d'enneigement. Néanmoins, le caractère partiel et fragmentaire des observations préliminaires nous a incité à étendre nos investigations et nos prospections de terrain au massif du Tichchoukt, en apportant quelques retouches de détail après enquête sur le terrain sur sa position précise.

Ne prétendant nullement faire un travail entièrement inédit et original, notre but a pour seule ambition de signaler et de préciser les conditions du milieu dans lequel vit le Genévrier commun et de définir les types de formations ayant un support géomorphologique d'éboulis hébergeant ou non ce conifère, tout en précisant leur zonation édapho-topo-climatique. Il ne fait pas l'inventaire de tous les groupements naturels auxquels il participe, tant s'en faut. Un travail de synthèse, pour être fructueux, exigerait la parution préalable d'études de détail de caractère régional ou, au contraire, spécialement consacrées à tel ou tel point particulier de l'écologie du Genévrier commun. Or, ces travaux n'existent pratiquement pas chez nous, d'autant que les circonstances ne nous ont pas permis de pousser cette étude aussi à fond que nous l'aurions désiré ; nous pensons néanmoins qu'il est peut-être utile de faire le point avec ce que nous possédons, laissant à d'autres le soin d'aller plus loin dans cette voie ultérieurement.

Enfin, nous essayerons de dégager une vue d'ensemble en vue de définir le type de rareté que représente le Genévrier commun au Maroc, à l'aide de la classification proposée par RABINOWITZ (1981) et RABINOWITZ *et al.* (1986). Celle-ci tient compte de l'étendue de la distribution géographique, de l'amplitude d'habitat et de la taille des populations, à l'échelle locale, des espèces. Même si seulement deux modalités sont proposées pour chacune de ces trois variables, il est possible de situer sans ambiguïté *Juniperus communis* au Maroc dans cette classification.



Photo 1. Aspect général de la face nord de Tafrant-Taghrout. La surface entière de son haut-versant se présente, quand on le regarde de face, en particulier de la plaine au méridien de la gorge de Tawrawrt (1 800 m), comme une succession de ressauts taillés dans la roche en place et de niches de nivation, les plus propices à l'accumulation nivéo-éolienne lors des saisons fraîches et pluvieuses. Jouissant d'une position privilégiée, ces biotopes sont le siège d'un enneigement assez prolongé qui perdure jusqu'au printemps : il assure l'humectation du substrat (ruissellement nival diffus) et protège celui-ci contre le gel et les écarts de température trop importants à mesure que son épaisseur s'accroît avec l'altitude. On distingue d'est en ouest : Agouni-n-Aït Mguild, Bou-Ouzmroy et M'Tikajouine-n-Bou-Ifsr [M. RHANEM, 25/02/2014].

II. Caractéristiques lithomorphologiques et climatiques des chaînons envisagés

Les observations portent sur deux hautes montagnes de part et d'autre de la plaine de la Moulouya (Figure 1). Présentant des caractéristiques dissemblables dans leur étendue, leur altitude moyenne et maximale ainsi que dans leur diversité physiographique, les sites étudiés se situent respectivement dans le Haut- et Moyen-Atlas, et plus précisément sur le massif de l'Ayachi pour le premier et celui du Tichchoukt pour le second. Ils sont dominés par une grande extension des roches sédimentaires contrastées, dont les termes les plus résistants sont les calcaires et les dolomies du Lias inférieur, encadrés d'épaisses couches tendres et fragiles de calcaires marneux en plaquettes et de marnes du Lias moyen.

Si ce cadre géologique est diversifié, c'est également le cas des formes géomorphologiques rencontrées. La configuration du terrain, avec un relief très accidenté, favorise les processus gravitaires et torrentiels. De plus, la plus ou moins vulnérabilité des calcaires à la gélifraction, la présence d'un matériel marneux facilement fluent ont permis aux mécanismes qui ont sévit au Quaternaire d'effectuer des remodelages très sensibles en contribuant notamment au compartimentage topographique et à la variété des modelés ainsi qu'à la grande diversité paysagère qui s'observe clairement dans la structure propre à chaque massif montagneux.

A. Le massif de l'Ayachi

Situé à une trentaine de kilomètres à l'ouest de la ville de Midelt, le massif de l'Ayachi, pilier oriental du Haut Atlas, situé sur la ligne de partage des eaux entre la Méditerranée et le Sahara, s'étend sur une longueur de plus de 60 km du Tizi-n-Talghemt, col constituant un important passage nord-sud, à la cluse de l'Ansgmir, affluent de gauche de la haute Moulouya à laquelle il se raccorde par un système d'escaliers constitués de glacis-terrasses haut perchés les uns au-dessus des autres.

Il se présente sous la forme d'une ondulation anticlinale dissymétrique qui se décompose en une succession de replis parallèles sensiblement orientés du NE au SO, plus ou moins déversés, couchés et faillés sur leur flanc nord, dont l'altitude varie de 2 858 à 3 757 m d'altitude.

Les subdivisions naturelles les plus évidentes sont introduites par un système d'anticlinaux majeurs en retrait les uns par rapport aux autres et se dépassant, vers le NO, d'avant en arrière, de façon à former en bordure de la plaine qu'ils surplombent une série de redans, constituant trois barrières, dont l'allure générale est assez bien indiquée sur la carte de la figure 1. Nous



Photo 2. Vue panoramique d'est en ouest des niches de Bou-Ouzmroy , de M'Tikajouine-n-Bou-Ifsr et de Lqars-n-Tachkmt à un mois d'intervalle de la prise de photo 1 où seule la bande sommitale est encore enneigée. Soustraites à l'insolation directe et bien abritées des vents, ces dernières stations jouissent d'un topoclimat frais et humide, dont le réchauffement printanier est lent et tardif. Aussi, le Genévrier commun y prospère-t-il abondamment entre 2 700 et 3 100 m d'altitude en faisant preuve d'une belle vitalité. Elles sont relayées immédiatement vers le bas par un deuxième étage également asylvatique à *Erinacea anthyllis*. Ce n'est que vers 2 500 m que l'on rencontre les premiers cèdres en limite supraforestière. [M. RHANEM, 22/03/2014].

proposons de les désigner comme suit :

- la zone centrale (ou pli méridional) comprend l'alignement principal de l'Ayachi, lequel est ponctué de hauts sommets plus ou moins acérés : le pic de Tadaout n'Saïd-ou-Adi, qui culmine à 3 757 m, en forme le principal. Cette imposante barrière quasi continue (ligne de crête à plus de 3 000 m d'altitude sur une vingtaine de km) est de surcroît la plus massive ; sur la carte précitée, elle est souvent désignée sous le nom de jbel Ayachi, nom que nous prenons au sens le plus large en l'appliquant à l'ensemble du massif. En fait, un tronçon supérieur se scinde en deux branches que sépare la haute vallée de l'oued Ijimi, la plus au nord vers le jbel Tadrart ;
- la zone de transition (ou pli médian) correspond à la partie intermédiaire. Relativement moins élevée que la précédente (ligne de crête entre 2 600 et 3 100 m), elle est notamment composée par l'Adrar-n-Wano et son prolongement occidental, le Toufli n'Ouadou (seul représenté sur la figure 2). C'est de là que débute le troisième bloc qui en est séparé par la zone de raccord entre la vallée de l'oued Ijimi et le cirque de Jaafar ;
- la zone périphérique (ou pli septentrional) a une position légèrement décalée vers le nord ; elle occupe tout le reste du massif, englobant les crêtes qui semblent surgir au dessus de la haute plaine de la Moulouya (Photo 1) et toutes celles situées à l'ouest du col de Talghemt. Ce sont en particulier, d'est en ouest, les jbel Taarbat, Tafrant et de Taghrout. Ils sont intercalés entre la plaine de la Moulouya qui en est séparée par un rideau d'avant-monts peu élevés et la zone axiale du massif de l'Ayachi, point culminant du Maroc oriental.

Compte tenu du sujet abordé, notre prospection n'a couvert en fait que l'ensemble du versant nord du chaînon de Tafrant-Taghrout tel qu'il a été délimité ; celui-ci est profondément creusé à mi-versant de plusieurs vallons transversaux dans lesquels prennent place des étages forestiers, alors que son haut-versant est échancré par une série de quatre niches de nivation plus ou moins grandes (Photo 1) où le Genévrier commun prospère de manière tout à fait remarquable dans un contexte totalement asylvatique. Il s'y étend par ailleurs latéralement, presque d'un bout à l'autre, débordant même, à son extrémité occidentale, sur la vallée de Takhamt-n-Oumchat, notamment sur sa rive gauche. On est d'ailleurs surpris de le voir réapparaître relativement abondant en milieu nettement forestier à des altitudes basses, entre 2 200 et 2 400 m, tout le long de l'ensellement d'Imi-n-Tkhamt n'Bou-Ifsr qui circonscrit le chaînon de Tafrant-Taghrout à l'ouest (Figure 2). Il y prospère dans des forêts de divers types, en particulier dans les cédraies, mais aussi dans des cédraies-chênaies de niveau inférieur. Il est d'ailleurs fort probable que le Genévrier commun a essaimé de ses stations principales perchées sur le dit chaînon.

On remarquera d'emblée que ces niches de nivation constituent d'excellents couloirs d'éboulisation. Les dépôts corrélatifs des chutes de pierres par gravité subactuels et actuels y forment en effet des tabliers de pierrailles et/ou de blocs anguleux, masquant par endroits la matrice fine en contrebas de l'escarpement rocheux, ainsi que des cônes pentus à la sortie de ses couloirs. Ruissellement et gélifraction en ont raidi les escarpements sommitaux qui dominent souvent ces nappes d'éboulis plus ou moins purs qui se modèlent en formes de plus en plus douces et épanouies, à mesure de leur alimentation en matériel détritique.

En revanche, aux altitudes intermédiaires de mi-versant de cette première grande masse montagneuse en avant du massif de l'Ayachi, entre 2 500 et 2 600 m, la participation du Genévrier commun au cortège floristique devient beaucoup plus rare en se cantonnant seulement à quelques localités de la limite supraforestière (Figure 2), étant bien entendu que cette dernière matérialise en fait plus une zone de transition qu'une ligne bien tranchée. Le relief se fait confus aux abords de ces écotones suite à l'apparition de dépôts conservés sous la forme de tabliers de versants très hétérométriques, très consolidés, qui jouent le rôle de roche résistante dans la masse des colluvions meubles terro-pierreuses et se marquent nettement dans le paysage par de petites corniches abruptes de 4 à 8 m délimitant des lambeaux de glaci encroûtés légèrement inclinés. Ces replats cuirassés, formés au Quaternaire et composés de brèches à éléments plus ou moins anguleux de taille variable, cimentés par du calcaire et correspondant probablement aux cônes d'anciens ravins torrentiels à très forte pente, marquent habituellement la limite supérieure des arbres. Ils sont profondément entaillés par une série d'amphithéâtres. Ces derniers jalonnent d'est en ouest, presque d'un seul tenant, le mi-versant de l'ubac de Tafrant-Taghrout.

L'affouillement des têtes de ravins à fortes pentes, suite aux orages d'été, augmente la puissance d'érosion des crues, le creusement vertical, le sapement des berges et la formation de cônes de déjection à très forte charge au débouché des torrents, de sorte que, sur le bas-versant, se sont formés des glaci-cônes de blocs et de graviers non consolidés.

Outre la présence du Genévrier commun, l'autre caractère essentiel de la dition ainsi définie réside dans sa situation de premier grand versant montagneux qui marque le passage brutal avec la haute plaine de la Moulouya. En forme de coque de bateau renversé, ce chaînon, d'orientation SO-NE, forme une longue arête qui s'étire sur près de 6 km de long et entre 1,5 à 3 km de large. Alors que ses extrémités orientale et occidentale s'effilent, la partie centrale de l'axe, par contre, s'élargit en amphithéâtre correspondant, sur le haut-versant nord, à l'emplacement des niches de nivation qui parsèment cette épaisse bande sommitale en forme de croissant. De plus, avec l'accroissement de l'altitude à ce niveau, l'étage oroméditerranéen présente un développement considérable. C'est sur ces ubacs privilégiés que se cantonne l'essentiel des populations de *Juniperus communis*, juxtaposées en mosaïque avec celles d'*Alyssum spinosum* ; cette enclave occupe des surfaces notables dont l'aire s'effile progressivement des côtés est et ouest (Figure 2). Enfin, les deux flancs de Tafrant-Taghrout sont assez nettement dissymétriques, tant sur le plan géo-morphoclimatique que botanique.

D'autre part, par suite de la vigueur du relief avec en particulier des pentes fortes à raides, ce chaînon d'avant-garde présente un gradient écologique, en rapport avec l'altitude, extrêmement rapide entre la plaine, à guère plus de 1 800 m d'altitude, et l'étage oroméditerranéen bien caractérisé par la végétation au dessus de 2 500 m d'altitude (pensons qu'une distance planimétrique de moins de 6 km sépare le piémont du sommet de la montagne pour un dénivelé de 1 600 m), de sorte qu'il permet l'observation, sur de courtes distances, du passage de formes développées aux flancs d'une montagne à celles élaborées en plaine et aux abords d'écoulements concentrés encore puissants à l'heure actuelle. Ce télescopage pertinent laisse à penser qu'une analyse détaillée des groupements végétaux sera riche d'enseignements sur les modalités du partage de l'espace écologique entre les différentes espèces.

De plus, sa position biogéographique et son remarquable étagement bioclimatique (en dépit du fait qu'il n'en compte que trois) et physiographique qui lui a fait bénéficier d'influences arides, « alpines », océaniques, méditerranéennes, sa puissance altitudinale et sa situation d'éperon poussant une extrême avancée vers le nord-ouest font de lui un « univers biologique » de tout premier plan où s'affrontent et s'entremêlent des tendances écologiques et biogéographiques singulièrement contrastées.

Du point de vue climatique, même s'il s'agit d'une zone de contact particulièrement nette entre, d'une part, des influences océaniques et montagnardes et, d'autre part, des influences orientales sud-méditerranéennes et sahariennes et de ce fait continentales, dans l'ensemble, le climat du massif de l'Ayachi, en particulier dans sa partie occidendo-septentrionale, est beaucoup plus humide que son éloignement de l'Atlantique et sa latitude méridionale ne le laisseraient supposer. L'altitude de ses massifs, qui croît d'est en ouest, est favorable à une condensation encore importante dans une région enclavée aussi éloignée de l'Atlantique que le haut bassin versant de la Moulouya. Cependant, en se rapprochant de la crête axiale, un fait plus intéressant pour le sujet qui nous occupe est la situation d'avant-poste du chaînon de Tafrant-Taghrout et son altitude relativement plus élevée, qui font de lui une zone remarquable de condensation de la vapeur d'eau atmosphérique. Son ubac, que l'on voit de très loin, est souvent coiffé de nuages alors qu'au nord le ciel est pur.

Cette première grande masse montagneuse en avant du massif de l'Ayachi constitue un véritable front montagneux qui, par temps perturbé, arrête facilement les masses d'air froid venues du nord et du nord-ouest, d'autant qu'en aval le cortège des chaînons parallèles a une altitude trop faible pour servir de zone de condensation (Photo 1). En abordant l'ubac de Tafrant-Taghrout, les flux pluvio-gènes subissent une forte ascendance sur de courtes distances qui entraîne un double refroidissement, par détente et par contact avec l'air froid et les parois froides d'altitude. En exagérant la pente des fronts et la turbulence, ce chaînon en renforce les effets en provoquant l'intensification et l'accroissement rapide des précipitations qui tombent principalement sous forme neigeuse. On conçoit dès lors que cet air rapidement refroidi arrive donc à créer entre 2 700 et 3 100 m, amplitude altitudinale de l'aire locale du Genévrier commun, une pluviosité supérieure à celle qui serait normale pour ces altitudes sur les chaînons voisins. Par conséquent, les conditions climatiques de ce chaînon sont des plus singulières, en somme un chaînon humide et froid, fortement et longuement enneigé. Ce climat humide et froid est propice à une forte nivation. Ainsi, par exemple, en hiver et au printemps, toutes les hautes surfaces concaves occupées par ce Genévrier qui jalonnent le haut ubac de Tafrant-Taghrout, entre 2 700-3 100 m, sont ainsi d'immenses collecteurs de neige (Photos 1, 2, 3 et 4) dans lesquelles s'accumule aussi la neige arrachée par les vents d'ouest et d'est aux corniches et croupes environnantes (précisément celles accrochées sur les flancs). De plus, la réalimentation après chaque épisode neigeux a pour effet d'allonger de façon notable, par rapport aux secteurs adjacents, la durée de la période d'enneigement qui se poursuit parfois jusqu'au cœur du printemps.

Suite aux remarques précédentes, il s'avère par ailleurs que cet imposant rempart montagneux constitue un puissant pôle de condensation qui est assez fréquemment le siège de brouillards, particulièrement au niveau de la bande sommitale. Il n'est pas rare en effet de voir pendant de longues journées un chapeau nuageux couvrir les sommets au-dessus de 2 600 m dont la limite inférieure coïncide avec celle du Genévrier commun. Autrement dit, la zone où abonde le Genévrier se trouve souvent noyée dans les brumes, alors que les pentes des niveaux inférieurs sont dégagées, en particulier à la fin des saisons des pluies ou à la fin de l'été. Néanmoins, un tel phénomène s'observe plus nettement pendant la saison chaude et sèche. À ce moment, les températures sont suffisamment élevées pour empêcher les condensations et les précipitations sur les basses pentes, mais non sur le haut-versant qui est souvent caché par le brouillard à chaque arrivée d'air humide océanique, du moins pendant la nuit et au lever du jour. En revanche, au-dessus de ce niveau, l'aridité édaphique due aux escarpements sommitaux élimine le Genévrier commun au profit de *Alyssum spinosum* et *Erinacea anthyllis*.

En définitif, il apparaît clairement, au vu des observations auxquelles on vient de se livrer, que ce surplus relativement important

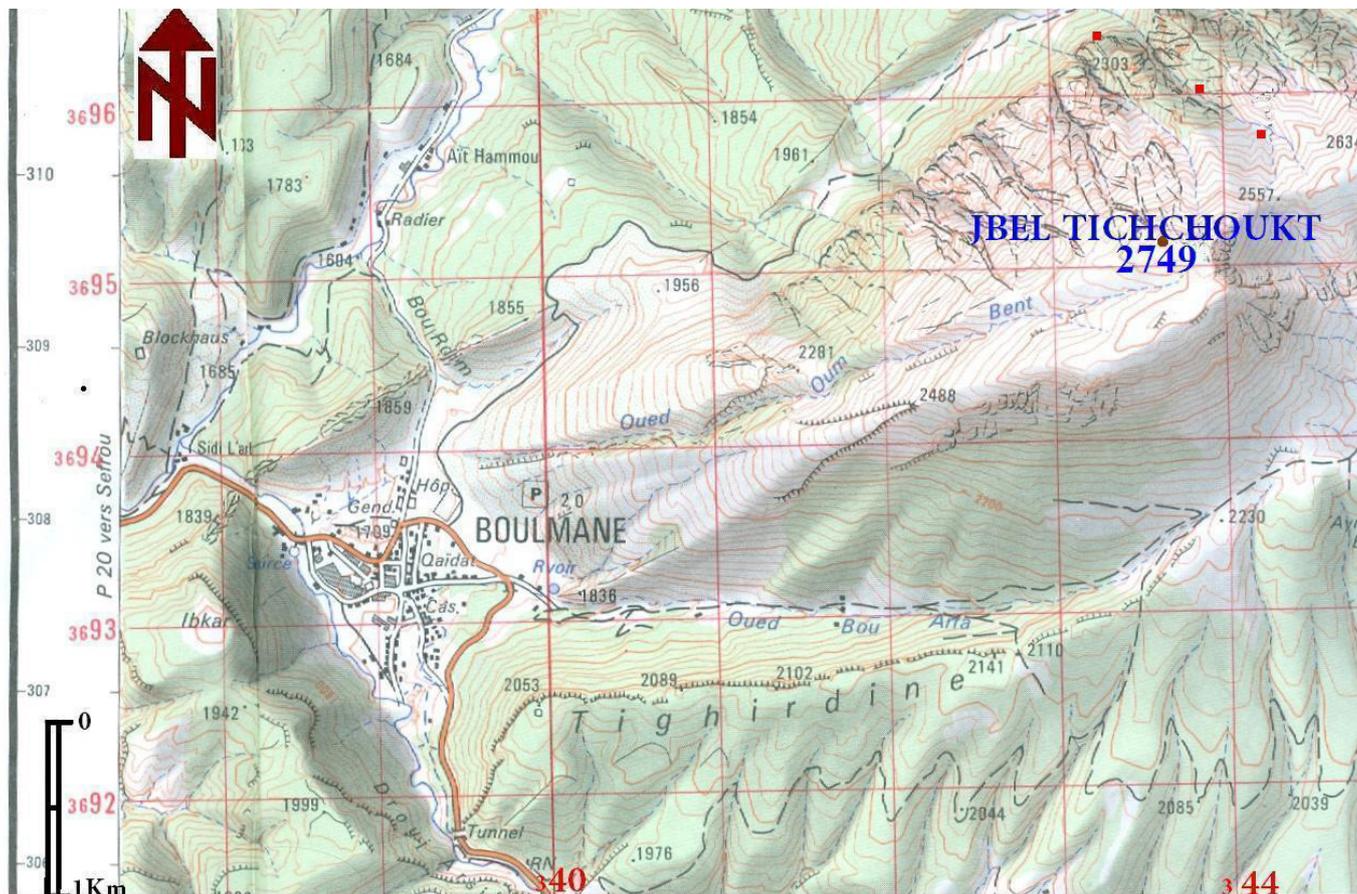


Figure 3. Aperçu orographique de la terminaison occidentale du massif du Tichchoukt avec la localisation des trois stations répertoriées à ce jour (matérialisées par un carré rouge). Seules deux d'entre elles se trouvent en plein forêt et présentent un faible effectif, alors que la troisième, la plus alticole, occupe l'écotone supraforestier et ne compte que de rares individus. Fond topographique extrait de la *Carte du Maroc au 1:50.000*, feuille NI-30-VIII- 1d BOULMANE.

de précipitations « occultes » compense partiellement la faiblesse des précipitations annuelles qui peuvent se produire, surtout en été. Parallèlement à ces apports matinaux d'humidité, on observe parfois au dessus de ce seul chaînon des ascendances d'air, même par temps clair, liées aux brises de vallée, rendues bien visibles par la formation de cumulonimbus en champignon où naissent de forts orages vespéraux. Les averses peuvent être d'une extrême brutalité avoisinant dans certains cas 30 mm en une heure. Toutefois, l'irrégularité brutale liée à ces averses se superpose à une forte irrégularité saisonnière, conséquence de la rétention nivale qui joue son rôle naturel de bouclier contre les agents météoriques, qui sont ici, comme on vient de le voir, d'une efficacité redoutable. Tous ces phénomènes contribuent à augmenter la hauteur des lames d'eau. Cependant, comme dans toutes les zones à influence méditerranéenne, les écarts intra- et interannuels peuvent être considérables.

Il ressort de ce rapide état des lieux que la hauteur, la pente et la position d'avant-garde de ce chaînon, ainsi que l'existence d'une série de dépressions sommitales plus ou moins grandes représentent des caractéristiques majeures qui font de ce relief montagneux un pôle de condensation intense qui élève à la fois le total des précipitations annuelles et le coefficient de nivosté, d'où l'établissement de conditions favorables au développement du Genévrier commun. Cela peut expliquer, en grande partie, la diminution du pourcentage des surfaces occupées par les populations du Genévrier commun ailleurs que dans ces stations.

S'il n'existe aucune station climatique dans le chaînon lui-même, la station périphérique la plus proche est celle de Mitkane où les précipitations s'élèvent à 450 mm, pour une altitude de 1 937 m. Néanmoins, au regard de toutes les considérations qu'on vient d'évoquer, il est raisonnable de penser que les stations à plus de 3 000 m reçoivent vraisemblablement un minimum de 1 mètre d'eau/an. Sans entrer dans une analyse climatologique, mentionnons par exemple que les précipitations neigeuses débutent à 1 800 m d'altitude et s'élèvent déjà à 50 cm à 2 500 m, pour atteindre 1 m aux alentours de 3 000 m.

D'autre part, un suivi tout le long de l'année de la durée d'enneigement nous a permis d'arriver aux estimations suivantes :

- la neige tombe plus ou moins abondamment dès novembre-décembre et l'enneigement dure par moment jusqu'à la fin mai ;
- à partir de 2 000 m, la neige persiste au moins 120 jours par an car les chutes de neige représentent dès lors plus des deux tiers des précipitations ;
- quatre mois d'enneigement quasi continu et une épaisseur de 1 à 1,20 m de neige paraissent être l'optimum aux alentours de 3 100 m d'altitude au centre de la niche de nivation d'Agouni-n-Aït Mguild (Photo 3) ;
- enfin, au-dessus de 1 700-1 800 m, les précipitations hivernales se font sous forme de neige et il est possible d'observer un manteau neigeux qui peut se maintenir sans discontinuer pendant plusieurs semaines.

D'autre part, les profils du manteau neigeux constituent aussi une bonne caractéristique. Des observations qualitatives et quantitatives réalisées directement dans les secteurs occupés par les populations du Genévrier et de leurs alentours montrent que le manteau neigeux est :

- réduit sur les escarpements calcaires sommitaux balayés précocement par le vent ;
- de plus en plus épais à mesure que l'on s'approche du centre des niches par suite de l'accumulation, notamment sous l'influence du déneigement éolien précité ou des glissements de la neige des pentes supérieures ou des crêtes latérales ;

- durable en raison de la faible insolation et des basses moyennes thermiques ;
- altitudinalement accentué à raison de 8 cm pour 100 m d'élévation ;
- beaucoup plus important durant les cinq mois de décembre, janvier, février, mars et avril.

En hiver et au printemps, souvent le Genévrier commun est totalement enseveli sous un épais manteau neigeux. Jouissant d'une remarquable position de cuvette, nulle autre part sur le chaînon aussi parfaitement réalisée, la neige perdure longtemps et fond tardivement en raison d'une exposition générale fraîche très favorable et de la raideur des versants (et de l'effet de masque qui en découle), de sorte qu'une grande partie de ses populations ne voient le soleil que quelques semaines par an. Au même niveau, à altitudes égales, sur les croupes et les escarpements tout autour qui ne sont plus protégés par le manteau neigeux, le vent, par sa fréquence et sa violence assez élevées, accentue la durée d'insolation, le dessèchement de l'air et l'évapotranspiration, ce qui les livre par conséquent aux alternances répétitives des cycles gel-dégel provoquant un vigoureux démantèlement cryoclastique. Les gélifracsts ainsi émis dégringolent vers le contrebas de l'abrupt et donnent à celui-ci l'aspect d'un talus éboulis. C'est sur ce type de dépôt que le Genévrier commun est le plus performant.

Enfin, sur le plan morphoclimatique, un tel enneigement conditionne la mise en marche de processus cryo-niveaux lors des phases de fusion, grâce à l'action répétitive des alternances nyctémérales gel-dégel en une période où les froids nocturnes sont encore très vifs et le milieu édaphique encore humecté par la fusion récente du manteau neigeux. Sous la neige entassée, se produisent par ailleurs des dissolutions et des évacuations fluidales ou solifluidales et les matériaux solubilisés percolent à travers l'éboulis : il se crée ainsi un milieu dont la dynamique est plutôt hostile à l'arbre, compte tenu aussi de la rigueur climatique due à l'altitude. À ce sujet, il n'est pas sans intérêt de rappeler que la nivation permet la genèse de niches par une intensification de l'altération (THORN, 1988).

Ainsi, comme l'ont montré RAYNAL (1977) et CHARDON (1984), l'étagement de la végétation évoqué plus haut ne correspond pas seulement à un gradient climatique, mais aussi à un échelonnement de modèles entre lesquels il existe des relations génétiques et dynamiques. L'étagement des processus et des modèles résulte de l'interaction de



Photo 3. Niche de nivation aux bords évasés d'Agouni-n-Aït-Mguild. Si l'augmentation de l'altitude accentue les potentialités du gel, elle accroît en même temps l'épaisseur et la durée de la période d'enneigement. Une épaisseur de plus de 1 m de neige a été mesurée au centre de cette niche, à 2 900 m, lors de la prise de la photographie. Correspondant assez bien aux lignes de rupture de pente, les limites inférieure et supérieure de la zone d'implantation des populations denses de Genévrier commun coïncident également avec celles du manteau neigeux continu et notamment avec celles où les moyennes thermiques sont faibles, ce qui contribue à assurer cet enneigement durable. En hiver et au printemps, souvent le genévrier commun est totalement enseveli sous un épais manteau neigeux. L'irrégularité interannuelle est cependant telle que l'on peut y voir, à certaines périodes de l'hiver et du printemps de certaines années particulièrement sèches, leur surface dépourvu complètement de neige [M. RHANEM, 22/03/2014].



Photo 4. Vue de haut (3 000 m) de la niche d'Agouni-n-Aït Mguild. Au loin, on devine la haute plaine de la Moulouya. [M. RHANEM, ci-contre, 22/03/2014].

plusieurs paramètres dont le rôle respectif varie beaucoup d'un étage à l'autre ou d'un secteur à un autre : l'organisation du relief, les lithofaciès et la structure de détail, l'importance des modelés hérités, l'étagement des milieux bioclimatiques qui guide actuellement la hiérarchisation et l'étagement des processus morphodynamiques.

À cet égard, l'analyse de l'ubac de Tafrant-Taghrout autorise quelques remarques générales sur l'étagement des processus actuels. Les phénomènes de haute montagne et les ravinements ou la torrentialité sont nettement étagés. Ils ne se chevauchent partiellement qu'au niveau de l'écotone supraforestier. Les ravinements affectent les versants marno-calcaires et ont une extension considérable en altitude depuis 2 200 m jusqu'à la base de l'étage oroméditerranéen.

B. Le chaînon du Tichchoukt

Dans ce haut relief, la présence du Genévrier commun a été signalée pour la première fois par EMBERGER (1939) aux alentours du secteur de Lalla-Oum-el-Bent, sans que ses stations aient été définies clairement sur un plan géographique ou écologique. Ce piton constitue le point culminant à 2 749 m du mont du Tichchoukt, mais la ligne de crête se maintient constamment au-dessus de 2 400 m sur les deux tiers de sa longueur. Cette épine dorsale s'étend sur environ 30 km de long et sur quelques kilomètres de large pour une superficie d'environ 200 km².

Situé à l'est de la ville de Boulmane (Figure 3), le Tichchoukt forme la plus haute muraille du Moyen Atlas central. C'est un chaînon anticlinal de forme lenticulaire armé de dolomies et de calcaires du Lias dont la partie sud-occidentale est légèrement déjetée vers le NO. À 5 km au nord, la vallée du Guigou drainée par l'oued du même nom, branche supérieure importante de l'oued Sebou, à Tarhroute, est à 1 076 m d'altitude. La brutalité et l'ampleur des dénivellations entre les crêtes et les bassins en contrebas, la raideur des pentes atteignent ici également des valeurs très élevées, à l'instar de celles observées sur le chaînon de Tafrant-Taghrout dans le massif de l'Ayachi.

Néanmoins, contrairement à ce dernier, le Tichchoukt est plus propice à l'érosion puisqu'il est recoupé par un réseau de zones de cisaillements subverticaux fortement fracturés en surface. Un grand nombre de dalles calcaréo-dolomitiques découpées, avec plus ou moins de vigueur, en une série d'éperons, d'aiguilles, de becs et de chicots se dressent d'ailleurs bien au-delà de 2 400 m, alors que la dissolution différentielle dans les calcaires dolomitiques ne donne que des entonniers irréguliers, dominés par ces mêmes reliefs aux allures ruiniformes et aux contours chaotiques. Toutefois, sur les pentes peu inclinées des sommets, la topographie est constituée par une série de bossellements séparés par de petites dépressions, dont l'origine nivéo-karstique ne fait aucun doute.

La dissection des versants liasiques est le fait de petits torrents à écoulement épisodique dont le tracé est commandé par la plus grande pente en raison de la structure cassante du massif et de la raideur des versants. Les ravins, à fermeture du V à l'aval, sont ainsi encombrés d'éboulis de gros blocs mobiles. La vigueur de l'érosion récente, exagérée par l'action du gel, contribue aussi à entretenir ce paysage acéré de chevrons, de barres ruiniformes, de clochetons et de pinacles. En revanche, les dépôts périglaciaires sont peu répandus. Partout, les colluvions sont très minces ; la majeure partie des versants raides des hautes vallées ne sont recouverts que d'une pellicule de gélifracis récents. Néanmoins, sur le piton de Lalla Oum-el-Bent, on observe des accumulations chaotiques de blocailles et de gros blocs, qui dégringolent par intermittence, élément par élément, sur les pentes les plus fortes ; sur les dômes surbaissés de calcaires domériens, les champs de pierres éclatées dominant, enfouissant ou démolissant les lapiès de fissures.

De point de vue climatique, le jbel Tichchoukt, par son orientation (direction SO-NE) et sa position à l'extérieur du Moyen Atlas plissé, forme une imposante barrière oroclimatique qui accroche les nuages sur la terminaison nord-occidentale ; l'enneigement y est cependant moins important que sur le jbel Tafrant-Taghrout et dure moins longtemps. Cette situation de barrière orographique n'est pourtant pas suffisante pour faire du Tichchoukt le secteur le plus arrosé. Les perturbations venant d'ouest et du nord-ouest, ce sont les reliefs occidentaux qui reçoivent les maximums de précipitations. Au fur et à mesure que ces perturbations s'avancent vers l'est, elles s'appauvrissent en humidité.

Il n'existe aucune indication chiffrée sur le climat du Tichchoukt. Les seules données proches sont celles de Boulmane à 1 600 m d'altitude, en position d'abri, au pied du Tichchoukt, et sont difficilement transposables. Pourtant, à titre indicatif, le total des précipitations y est voisin de 520 mm par an alors que le chaînon apparaît sur la carte de Gausson comme un secteur relativement bien arrosé.

III. Impact de la géomorphologie sur l'évolution biogéographique des populations relictuelles du Genévrier commun dans le contexte des massifs montagneux calcaires de l'Ayachi et du Tichchoukt

Les montagnes ont joué de façon générale un rôle fondamental dans l'évolution et la répartition des espèces végétales à travers leur double rôle de corridors et de barrières migratoires (HADLEY *et al.*, 2013). Elles servent de corridors par l'extension de la portée géographique des conditions environnementales dans les zones de climat régional différent, permettant aux plantes de se déplacer plus facilement le long des axes de montagne. Les changements climatiques et géographiques survenus au Pliocène, qui, rappelons-le, est la dernière des quatre grandes périodes de l'ère tertiaire, et tout le cours du Quaternaire ont par ailleurs permis ces migrations de flores. En effet, au cours de la fin du Pléistocène, il y a 25 000-12 000 ans B.P. (B.P. = *Before Present*, c'est-à-dire les dates comptées à partir de maintenant), régnait sur la Terre un climat glacial et froid (ROBERTS, 2013). Les sévères contraintes imposées au Maroc par les vicissitudes climatiques et géographiques au cours de ces périodes glaciaires ont provoqué la sélection d'espèces végétales exceptionnellement dynamiques et pionnières.

Le cas du contingent boréo-tempéré est à cet égard très évocateur dans les montagnes méditerranéennes du Moyen Atlas et surtout du Haut Atlas. Très résiduel, il persiste ainsi une quarantaine d'espèces à la faveur de refuges (QUÉZEL *et al.*, 1980) qui ont pu constituer les vestiges de migrations septentrionales parvenus sur ces sommets au cours des phases froides du Quaternaire (QUÉZEL, 1981). De telles stations reliques, souvent en raison du relief accidenté, se sont trouvées ainsi protégées par là même de l'action humaine. Mais, ultérieurement, elles ont pu jouer le rôle de foyers de dissémination, à partir desquels, comme dans un mouvement de flux et de reflux, l'espèce considérée s'est propagée.

Sa présence revêt donc un intérêt biogéographique, patrimonial et écologique certain si l'on considère l'isolement actuel des sommets atlasiques, aussi bien en termes géographiques que bioclimatiques. Ceux-ci sont donc équivalents à des îlots écologiques contenant, dans leurs habitats les plus froids et humides, les espèces reliques de l'époque glaciaire, abandonnées dans le sillage des glaciers lors de leur retrait, qui s'y sont réfugiées pour la plupart d'entre elles et qui actuellement abondent aux hautes latitudes.

C'est le cas certainement de *Juniperus communis* qui a précisément les caractères d'une espèce relique, c'est-à-dire d'une espèce qui, probablement, après avoir connu une grande extension, a vu son importance décroître au bénéfice d'autres espèces plus dynamiques et qui finalement n'a pu se maintenir que dans des stations très limitées où, pour diverses raisons, elle n'a pu résister à la compétition. Il présente par ailleurs, avec les autres taxons boréo-montagnards atlasiques, vraisemblablement des relictés tertiaires (GALLAND, 1990), un certain nombre d'autres caractères communs beaucoup plus révélateurs : (i) aire générale de répartition largement circumboréale mais plus ou moins rare dans les montagnes des zones tempérées, (ii) distribution nord-africaine fragmentée et localisée, en marge sud de l'aire générale, (iii) habitat spécialisé, (iv) différenciation, dans certains cas, de micromorphes endémiques, de sorte que ces plantes boréo-montagnardes, dont le Genévrier commun *sensu lato* (*Juniperus communis*) est un élément remarquable, offrent sans doute le meilleur exemple de disjonction par régression parce qu'elles sont présentes d'une part dans les régions arctiques ou subarctiques au sens où elles sont entendues maintenant, comme l'a précisé par exemple LÖVE (1971), et d'autre part dans les parties élevées des montagnes tempérées, notamment nord-africaines. Il est donc légitime de penser qu'à l'intérieur d'une aire naturelle toutes les populations spontanées d'un taxon arctico-alpin n'ont pas nécessairement la même valeur du point de vue écologique et du point de vue bio-systématique.

En regard de sa répartition actuelle, *J. communis* au sens large est un exemple saisissant de gymnosperme cosmopolite, présent depuis la plaine jusqu'en haute altitude sous une apparente homogénéité morphologique, alors que biogéographiquement il a une aire de répartition naturelle boréo-tempérée très vaste, englobant une zone allant de la toundra arctique à la Méditerranée (FARJON & FILER, 2013). Son centre de différenciation est situé aux hautes latitudes où l'on rencontre le maximum de taxons infraspécifiques (ADAMS, 2014). Il constitue en revanche des populations périphériques moins polymorphes à la limite sud de son aire, à proximité de la Méditerranée méridionale, et est strictement confiné aux hautes altitudes où probablement les conditions climatiques s'écartent le moins de celles de ses populations centrales de plus hautes latitudes. Son maintien à ce niveau jusqu'à ce jour est le résultat de l'existence actuelle de territoires refuges caractérisés par leur résistance au gel et par leur enneigement prolongé ayant assuré leur survie de la période postglaciaire ; chacun d'eux a évolué dans des aires isolées, offrant au Genévrier commun la possibilité d'individualiser des micromorphes locales. De plus, en raison précisément du morcellement de l'aire, il existe entre les diverses formes géographiques de cette espèce des différences telles que ces micromorphes ont pu être décrites selon des rangs taxinomiques très divers qui ont été répartis en plusieurs taxons infraspécifiques. Ainsi FARJON & FILER (2013) en comptent par exemple cinq variétés, alors qu'ADAMS (2014) en dénombre pas moins de sept variétés qui se sont manifestement formées à partir du Genévrier commun dont elles sont aujourd'hui assez bien différenciées du point de vue morphologique et écologique et qui présentent par ailleurs des intérêts bien distincts.

Il en est ainsi par exemple de la variété *hemisphaerica* (Presl) Nyman habituellement reconnue au Maroc. En effet, le Genévrier commun, ordinairement arbuste érigé, est au Maroc un sous-arbrisseau à port prostré et rampant. Il constitue un taxon à part entière intermédiaire entre la variété *communis* et la variété *nana* (THOMAS *et al.*, 2007).

Cependant, les rapports entre ces différentes formes géographiques ont un grand intérêt scientifique puisqu'ils apparaissent comme l'expression de l'évolution de l'espèce au cours de son histoire, connue depuis le Tertiaire. Mais la connaissance des différentes formes présente aussi un grand intérêt pratique. Ce genévrier est largement utilisé dans tous les pays de l'Europe moyenne et méridionale à des fins horticoles (CLIFTON *et al.*, 1997 ; WARD, 1982). En ce qui concerne le Maroc en particulier, la variété géographique locale, pourtant très proche du point de vue botanique systématique de ses homologues plus septentrionaux, ne présente pas jusqu'à présent, de ce point de vue, le même intérêt. Aussi, la connaissance de l'aire naturelle de l'espèce est-elle un premier pas indispensable, notamment dans le choix des provenances retenues au départ pour l'implantation dans de nouvelles situations écologiques.

Dans l'ensemble de son aire, le Genévrier commun, comme on vient de le voir, participe aussi bien à l'individualisation aux hautes latitudes d'écosystèmes arborés à la limite forestière nord commune à l'Eurasie et à l'Amérique du Nord (TROLL, 1973) qu'à ceux formés en haute altitude dans et aux abords d'écotones supraforestiers sur les massifs de l'Ayachi *sensu lato* et du Tichchoukt, où l'on peut relever d'intéressantes observations.

Il s'agit des stations les plus méridionales de toute l'aire, où il y est très rare et occupe une aire morcelée, qui représentent vraisemblablement les derniers vestiges continentaux de cette espèce. Nous devons en outre, comme QUÉZEL *et al.* (1992), constater, bien que les deux massifs considérés soient assez bien séparés géographiquement par la haute plaine de Moulouya orientée grossièrement SO-NE, leur appartenance à la région du Maroc oriental. Celle-ci représente, du point de vue biogéographique, une zone de contact privilégiée entre les influences strictement marocaines, qui trouvent notamment sur le Rif et sur les chaînons du Haut Atlas oriental et le Moyen Atlas dans son ensemble des centres importants de formation d'endémiques, et les influences plus orientales correspondant à des lignées algéro-marocaines essentiellement, qui ne dépassent que très rarement au Maroc le sillon de la Moulouya. Enfin, ces deux massifs ont, aux hautes altitudes, des traits communs en dépit de notables différences au niveau édaphique, les conditions écologiques sont uniformes, le climat l'emportant sur le substrat d'une manière générale.

Quoiqu'il n'y ait aucune étude sur ce sujet, il apparaît que l'aire de répartition du Genévrier commun s'est formée à la fin du Pléistocène et en relation avec les modifications d'ordre climatique et botanique qui l'ont accompagnée. D'une part, conformément à ses affinités climatiques, cette essence avançait vers les hautes régions ; d'autre part, elle subissait la concurrence des autres plantes, des lérophytes épineux en particulier, qui la faisait reculer vers les limites de la zone forestière et vers les terrains où, pour un motif quelconque, aucune concurrence ne s'exerçait. Le réchauffement progressif qui a suivi la dernière période glaciaire, puis l'invasion des xérophytes épineux en coussinet qui en est résultée ont repoussé le Genévrier commun dans des contrées d'étendue limitée, où il n'a pu se maintenir que grâce à un climat favorable, et surtout grâce à une concurrence moins âpre de ces espèces qui, si elles sont en mesure de lutter avec lui « à armes égales », prennent généralement le dessus. Aussi, les représentants actuels du Genévrier commun dans l'étage de haute montagne peuvent-ils être considérés comme des reliques du Pléistocène.

C'est précisément dans ce cadre biogéographique que se situe l'aire résiduelle de répartition naturelle très disjointe de ce Genévrier rampant au Maroc. Rappelons brièvement que cette aire y est fractionnée en trois zones géographiques principales d'inégale importance qui nous ont paru les plus expressives, sans préjuger d'aucune subdivision biosystématique. Ce sont du nord au sud : Rif, Moyen et Haut Atlas où, il est vrai, il n'est plus représenté sur les deux premières chaînes que par de rares taches disséminées. La situation démographique de ces micropopulations satellites est précaire en raison du faible nombre d'individus. Elles doivent être vraisemblablement rattachées, du point de vue phytogéographique, aux autres stations voisines dispersées ici et là, ayant les mêmes caractères sporadiques que l'on rencontre habituellement chez les populations périphériques dans l'aire de répartition de chaque plante.

IV. Problématique et approche géomorphologique

À l'échelle de chaque massif, les variations spatiales dans la répartition des végétaux sont particulièrement rapides, en liaison principalement avec les facteurs climatiques et topographiques auxquels l'exposition apporte des correctifs. Pour importantes qu'elles soient, ces influences ne peuvent cependant à elles seules expliquer les changements de flore et de végétation. La géomorphologie induit des variations édaphiques susceptibles d'influencer également leur distribution. Ainsi par exemple, la nature de la roche-mère influence directement et continûment le type de modelé et, par contre-coup, conditionne étroitement la composition floristique et permet de proposer une interprétation satisfaisante, de sorte que les compensations de facteurs entre le climat régional, les substrats et les topo-climats ont une grande importance à moyenne échelle et masquent parfois localement l'influence des caractères régionaux. Le cas le plus courant est la compensation entre la profondeur du sol et le bioclimat. En effet, le pouvoir de rétention en eau du sol peut accentuer ou atténuer le caractère humide ou xérique du climat. Celle-ci intègre le modelé géomorphologique et les particularités structurales de ces montagnes calcaires, notamment les relations de continuité ou de discontinuité des diverses couches de matériaux constituant et recouvrant le substratum sous-jacent. Rappelons que, dans les roches-mères carbonatées, les caractères lithologiques jouent un rôle primordial plus que leur origine, indépendamment des déformations qu'elles peuvent avoir subies. Par conséquent, de telles variations locales sont donc liées en premier lieu au bioclimat et à la géopédologie, lesquels s'expriment à travers le pédo-climat.

Pour tenir compte des compensations de facteurs qui peuvent en résulter, nous proposons une méthode qui permet d'appréhender la dynamique de l'eau dans le substrat, son stockage et donc d'expliquer certains éléments des caractéristiques du groupement végétal que le compartiment géopédologique porte. Ainsi, à moyenne échelle est-il préférable d'envisager l'approche de l'hétérogénéité édaphique non sous l'angle du sol proprement dit, séparé du matériau originel faisant intervenir des critères pédogénétiques, mais sous celui du couple sol-substratum en tenant compte des caractéristiques lithomorphologiques et structurales locales, des pendages des couches géologiques, des variations d'altitude, de pente et de forme du modelé, de la dynamique des versants et, enfin, des particularités propres aux matériaux issus de l'altération de la roche-mère (structure et mise en place). C'est dans cet esprit que se situent nos récents travaux (RHANEM, 2012a et b ; 2013) qui ont permis de fixer le cadre méthodologique pour l'approche de cette problématique de ce point de vue.

Les méthodes retenues pour les deux situations se distinguent dans le détail, car les milieux étudiés et les données disponibles sont quelque peu différents, ce qui ne saurait surprendre étant donné des différences tant sur le plan topographique (dénivelés) que sur celui des roches-mères (roche sédimentaire carbonatée, calcaréo-dolomitique, marno-calcaire ou marneuse), qui sont, elles, très souvent liées à la géomorphologie (pente, conformité géologique, zones confinées, éboulis, talweg...). Mais le fait marquant, qu'il convient de retenir, est l'importance sur les deux chaînons des pierres et blocs éboulés et l'ampleur corrélative d'une part des dépôts de pentes et, d'autre part, de l'érosion des sols sur versants.

La démarche générale suivie est homologue dans son esprit ; elle s'appuie principalement, en plus de l'altitude, sur la définition et la délimitation de systèmes lithomorphologiques qui prennent en compte les caractéristiques de l'ensemble du substrat (roche, altérite ou formation superficielle, sol). Rappelons en dernier lieu que le bilan hydrique dépend aussi des précipitations, de la réserve en eau utile du sol et de la topographie.

Les caractéristiques de la méthode d'étude adoptée ont été abordées et amplement décrites dans différents travaux, toutes disciplines confondues. Nous présenterons simplement ici les principaux éléments pratiques appliqués au cas particulier des deux massifs montagneux pris pour exemples, accompagnées de références bibliographiques auxquelles on pourra se reporter pour préciser certains points théoriques ou pratiques.

A. Apports de la géopédologie

L'évolution morphogénétique actuelle se fait à la fois par une crypto-altération physico-chimique et l'action des cours d'eau. Cette évolution est perturbée par des phénomènes catastrophiques qui en accélèrent localement ou périodiquement le rythme : éboulements, écroulements de parois, glissements de terrains, ravinements, crues torrentielles, inondations... Ces phénomènes ont été corrigés mais non éliminés par l'intervention de l'homme. Ils ne sont eux-mêmes qu'un aspect original de l'évolution géomorphologique, mais ils se singularisent, dans le domaine méditerranéen, par leur ampleur, leur intensité et leur fréquence. Celles-ci apparaissent sous la dépendance de trois facteurs : (i) l'énergie du relief créant de fortes dénivellations et des effets de domination morphologique, les fonds de vallée et les versants étant sous l'emprise des catastrophes de la haute montagne ; (ii) un système de fortes pentes héritées de la morphogénèse périglaciaire, avec des versants et des dépôts superficiels en équilibre instable, susceptibles d'évoluer brutalement ; (iii) des phénomènes climatiques d'une ampleur exceptionnelle (averses, fontes de neiges, crues torrentielles...) dont les effets sont amplifiés par le relief et la concentration rapide des eaux dans les lits torrentiels.

Dans ce contexte édaphique méditerranéo-montagnard très particulier, en termes de diagnostic, le rôle fondamental doit revenir d'une part à la structure propre de la roche mère et, d'autre part, au type de dépôts de pentes dans le fonctionnement et les caractéristiques des substrats en raison de l'absence d'un vrai sol au sens pédologique du terme. Ce dernier est essentiellement de type peu évolué, formé par des rendzines initiales et des rankers, dont l'évolution est manifestement bloquée dans les conditions climatiques actuelles en raison des caractères excessifs du climat méditerranéen, particulièrement en haute montagne ; le plus souvent même, les pluies orageuses estivales, consécutives aux ascendances liées aux brises de vallée, les phénomènes de solifluxion pierreuse et de gélifluxion en période pré-nivale et fin-nivale semblent d'une façon générale les dégrader encore, les éléments fins et les argiles de décalcification en particulier étant entraînés dans les talwegs et les fonds des cuvettes au moment de la fonte des neiges qui accélère pendant un à deux mois le lessivage des substrats et le transport de ces particules fines. Cette lente dégradation du sol, exacerbée sur des pentes fortement déclives, conduit finalement à la mise à nu de la roche-mère ou à la constitution de vastes zones d'éboulis plus ou moins mobiles comme cela se produit sur le Tafrant-Taghrouit, en particulier dans le chapelet de niches de nivation en demi-entonnoir qui ponctue d'ouest en est le modelé de son haut-versant septentrional.

Aussi, le degré de fragmentation et de fissuration des affleurements de roches-mères (joints de stratifications, joints de schistosité dans le cas des calcaires en plaquette, fractures tectoniques, diaclases...), la conformité ou non du pendage des strates avec la topographie, ainsi que les éboulis mis en place par gélifraction, par colluvionnement ou par remaniement de produits d'altération résiduels sont-ils les principaux paramètres qui déterminent le fonctionnement et l'évolution du sol, jouant un rôle considérable et irremplaçable.

Ainsi par exemple, au sein de ce paysage de calcaire dur, les contacts sol - roche-mère sont souvent verticaux ou subverticaux,

brutaux, et correspondent aux poches argileuses de remplissage des fissures et des diaclases, qui confèrent à ce système morpho-géopédologique un caractère karstique à forte porosité. Cet exemple montre s'il en est besoin le rôle fondamental de ces variables morpho-géopédologiques pour la conservation de l'eau. Ainsi pour une même roche-mère et pour le même climat local, l'eau dont bénéficient les plantes peut être en quantité très variable selon le compartiment morpho-géopédologique (voir par exemple RHANEM, 2012). Toutes ces considérations montrent bien la nécessité de replacer le sol dans son environnement global et surtout au sein du contexte géologique et géomorphologique à l'intérieur duquel il se développe et s'intègre (voir par exemple BONFILS, 1978 ; AUBERT et THINON, 1981 ; DELAUNAY et LÉPOUTRE, 1982 ; AUBERT, 1983 ; BORNAND & ICOLE, 1984 ; BARTHES & BORNAND, 1987, RHANEM, 2012 et 2013).

Les caractéristiques de ces systèmes morpho-géopédologiques s'expliquent très bien par la configuration topographique générale de ces hauts massifs calcaires. Leur structure plissée et la nature même des roches confèrent à ces milieux montagnards une topographie de pentes plus ou moins raides. Ces forts dénivelés favorisent d'importants phénomènes d'érosion et d'accumulation d'éboulis dont la fréquence est encore accentuée par la violence des précipitations orageuses. Ceci s'accompagne de fréquents rajeunissements des éboulis, entraînant une transformation quasi nulle des matériaux au sens géochimique et une assez faible pédogenèse.

B. Apports de la morphogenèse périglaciaire

En raison de l'altitude des chaînons de Tafrant-Taghrout et du Tichchoukt, les précipitations de la saison froide créent dans ces hauts reliefs montagneux des conditions propices à l'établissement d'un manteau neigeux mi-annuel qui a des incidences variées sur les plantes, le ruissellement et la morphogenèse, surtout celle liée aux processus périglaciaires.

De par leur diversité litho-structurale et l'individualisation d'un étage de haute montagne plus ou moins étendu, ils offrent une grande variété de formes liées au façonnement cryonival (ou périglaciaire) du relief. Leur simplicité morphostructurale permet aux traits morphogénétiques et bioclimatiques de s'exprimer avec netteté, sans pour autant négliger l'influence de la topographie et de l'exposition, tout en prenant en compte l'héritage morphopériglaciaire. Tous ces groupes de facteurs ne peuvent être séparés, ils se conditionnent mutuellement.

Leurs hauts ubacs respectifs illustrent très bien, dans la genèse et le fonctionnement des talus d'éboulis, l'importance de la structure et de la gélifraction pour la fourniture des débris et celle des conditions topographiques locales pour la diversité des formes. Mais l'empreinte de cette morphogenèse périglaciaire nous apparaît surtout dans les clochetons et les niches de nivation de la face nord de Tafrant-Taghrout façonnés dans les calcaires jurassiques. En effet, l'ampleur et l'originalité des phénomènes périglaciaires tiennent une place plus grande sur le Tafrant-Taghrout. De ce fait le froid et la neige y jouent un rôle important dont profite largement le Genévrier commun.

Ce modelé périglaciaire a trouvé, durant les périodes pluviales du Quaternaire, un climat plus froid et humide que le climat actuel et des conditions et lithologiques très favorables à son développement, lequel est exacerbé par la présence de failles et de décrochements. Son maintien et sa persistance jusqu'à l'heure actuelle sont dus à l'existence, surtout pendant la saison hivernale, de températures très basses, quoique moins intenses qu'elles ne l'étaient lors des cycles pluviaux.

Il convient de préciser immédiatement ce que l'on entend ici par « périglaciaire ». Ce terme décrit les modelés et les processus des régions froides non englacées de la Terre (FRENCH, 2007). Les formes actuelles et quaternaire, associées aux effets du gel et du dégel, ne se développent donc pas uniquement dans les espaces « périglaciaires » au sens étymologique, mais également dans des domaines n'ayant jamais été, ou n'étant plus, englacés. Dans les régions non englacées du pourtour méditerranéen, en particulier dans les montagnes, on utilise fréquemment le terme « cryonival » pour désigner l'ensemble des phénomènes liés à l'action du froid et de la neige (TILHAY, 1973).

Dans cette approche azonale, selon que la définition donnée est extensive ou plus restrictive, comme celle préconisée en montagne méditerranéenne, la primauté du gel reste fondamentale (THORN, 1992 ; FRENCH, 2007), laquelle s'exprime par une nette prépondérance des actions mécaniques qui constitue, à l'état humide, un puissant agent de débitage des roches comme cela se produit par exemple dans les étages périglaciaires des montagnes en raison des modifications imposées au climat et à la dynamique des versants par le relief. Ainsi, la raideur des pentes intensifie l'activité des ruissellements diffus et des torrents. L'ablation et la dissection résultantes, avec le froid, contrarient le développement des sols et de la végétation, d'où l'importance décisive des actions mécaniques, encore accrue localement par les conditions défavorables au maintien d'une couverture de neige.

Les formes de relief d'origine périglaciaire, qu'elles soient actives ou héritées, se localisent, pour l'essentiel, aux abords de l'écotone supraforestier. À ce niveau, la neige et le gel du substratum géologique contrôlent en effet les phénomènes périglaciaires. Ceux-ci revêtent des formes multiples en rapport avec l'altitude, la pente et l'enneigement : éboulis actifs en cônes et tabliers, coulées de pierres, loupes et lobes de gélifluxion, sols géométriques sur les espaces relativement plats, sols striés sur les pentes, buttes gazonnées, sols circulaires et polygonaux triés, dallages sur les espaces plans, etc.

Ces dynamiques obéissent à l'étagement et subissent l'influence directe des variations climatiques, même légères, et quelquefois des modifications édaphiques. De fait, rien n'échappe à ces actions combinées, complémentaires ou contradictoires, sans que, pour autant, toute forme ou toute formation superficielle d'éboulis qui tapissent les hauts-versants ne soit engendrée ni même entretenue par elles. L'interaction de toutes ces différentes caractéristiques édaphiques et climatiques, sujette à variantes en haute montagne calcaire, est à l'origine d'un large éventail de conditions de bilan hydrique.

V. Résultats

A. Caractères généraux et relations géomorphologie-végétation

Le principe biogéographique de l'amplitude écologique est basé sur l'hypothèse que le gradient écologique existe sur toute l'aire de présence d'une espèce avec, vraisemblablement, des conditions plus favorables au centre et qui diminuent au fur et à mesure que l'on s'en éloigne (BROWN *et al.*, 1996 ; LAWTON, 1993). Outre le critère d'abondance, d'autres indices de vitalité tels que les taux de croissance, de reproduction et de productivité seraient également en mesure de diminuer parallèlement à l'éloignement du centre en direction de la limite d'aire de répartition (HENGEVED, 1990), de sorte que la faible vitalité d'une espèce expose celle-ci à la concurrence d'autres espèces plus vigoureuses.

Il convient cependant de préciser que ce sont l'importance et la durée des fluctuations d'un chapelet de facteurs écologiques souvent corrélés entre eux autour des valeurs optimales qui influent directement sur la production plus ou moins rapide de



Photo 5. Paysage botanique en mosaïque typique des groupements à *J. communis* sur talus d'éboulis dans l'étage oroméditerranéen : ci-contre l'exemple de la niche de nivation de M'Tikajouine-n-Bou-Ifsr dans le haut ubac de Tafrant-Taghrout. Entre 2 700 et 3 150 m, s'étendent des touffes discontinues de Genévrier rampant enclavées au sein d'une alyssaie très clairsemée. La présence de ces brosses de genévrier, très apparentes de loin à leur verdure, fait de ces groupements des unités bien tranchées du paysage. En bas et à droite du cliché, on distingue nettement la pulvérisation spatiale si fréquente en bordure des aires : effilochement, puis disparition des plages de genévrier à l'endroit de la rupture de pente vers 3 150 m. Le Genévrier commun semble donc bien se trouver là à la limite de son domaine écologique, comme le montre sa faible vigueur, en avant-postes dans cette zone. [M. RHANEM, 16/09/2014].

phytomasse et, partant de là, sur les potentialités de développement, et dessinent de fait son aire d'extension spécifique à l'intérieur de laquelle son comportement autoécologique peut varier selon qu'on l'observe au centre de son aire de distribution ou en limite.

Cependant, en limite de son aire locale de répartition, une espèce en voie de disparition, même si elle voit ses effectifs diminuer, maintient néanmoins ses positions périphériques en un lieu donné tant que les conditions écologiques le permettent et sa puissance de concurrence domine celle des compétiteurs. Le comportement, très net, du Genévrier commun est à cet égard démonstratif. Comme on peut s'en rendre compte sur la photo 5, la zone du genévrier n'est pas continue ; on note sa raréfaction en avant-postes isolés de moindre étendue au fur et à mesure que l'on monte en altitude, installés à la faveur de rares « micro-biotopes » qui leur sont encore favorables. Il découle de ces constatations que le pouvoir géographique du Genévrier commun, c'est-à-dire son aptitude occuper le sol, ne dépend pas seulement de ses qualités écologiques propres, mais encore de celle des espèces qui cohabitent avec lui. Ceci nous conduit normalement à penser que la concurrence de ces dernières l'empêche d'occuper toutes les surfaces auxquelles sa plasticité biologique le rend apte. Il n'est pas sans intérêt de rappeler, à propos de ce dernier point, comme l'a fait BRUSSARD (1984), que l'on réserve l'épithète périphérique (*vs* central) pour qualifier une limite de répartition dans un territoire géographique et celui de marginal (*vs* optimal) pour qualifier une limite de distribution dans un espace écologique.

En ce qui concerne les relations géomorphologie-Genévrier commun, plusieurs remarques peuvent être faites dont l'intérêt est du même ordre écologique et phytogéographique. Selon les données disponibles, les caractéristiques géopédologiques, qui incluent géologie et géomorphologie, ainsi que ceux liés aux processus périglaciaires se sont révélés être un outil hautement plus informatif pour aborder à moyenne échelle les problèmes d'interfaces substrat-genévrier que les données classiques. Ainsi, si, du point de vue écologique, la présence du Genévrier commun sur le Tafrant-Taghrout dépend avant tout de singulières conditions climatiques, il n'en demeure pas moins qu'un environnement géomorphologique particulier permet à ses populations de prospérer. Sur le haut-versant exposé au nord, le regard distingue immédiatement, sous l'apparente uniformité de l'alyssaie grisâtre à *Alyssum spinosum*, les taches verdâtres de Genévrier commun d'étendues variées reconnaissables même de loin pour un œil exercé (Photo 5). Cette mosaïque, dont la répartition est apparemment désordonnée, est en réalité le reflet d'une juxtaposition de biotopes bien différents les uns des autres. Elle révèle d'abord les discontinuités géomorphologiques qui cantonnent le résineux aux dépressions alticoles à accumulation nivale drapées d'éboulis mobiles, alors que *Alyssum spinosum* y prend place dans les stations où les éboulis sont les moins mobiles.

Par ailleurs sa pénétration dans l'étage montiméditerranéen est importante lorsque des phénomènes de compensation édaphique (bilan hydrique) se produisent. L'exemple le plus remarquable de ce cas de figure est celui des colluvions terro-pierreuses de bas de pente dans la localité d'Imi-n-Tkhamt-n-Bou-Ifsr (Figure 2), revisitée et inventoriée en août 2014, qui permettent une bonne installation du Genévrier commun dans le sous-bois de la cédraie, aux côtés de *Berberis hispanica* et *Ribes uva-crispa*.

Aussi peut-on schématiquement, à la lumière de ces premières constatations, définir et délimiter trois types d'évolution des systèmes en place classés ci-après par ordre décroissant d'altitude. Ils diffèrent principalement par leur substrat, leur topographie, la hauteur de leur végétation et leur cortège floristique.

• **Une dynamique supraforestière**, où les morphogénèses gélinivales n'autorisent que l'installation de chaméphytes en coussinet, munis de systèmes épineux et de rares petites feuilles à faible surface d'échange, adaptées à un milieu hostile à l'arbre autant au plan édaphique que climatique, mais caractérisé avant tout par un profond remaniement saisonnier de l'éboulis tout à fait remarquable. Ce dernier est très souvent constitué d'une marqueterie de surfaces qui diffèrent par leur dynamique et leur degré de fixation, elles-mêmes conditionnées par le climat, la topographie, la nature des matériaux, la grosseur des éléments, l'alimentation en eau (neige, orage, ruissellement) et l'exposition. Une telle hétérogénéité commande la mise place d'une végétation de type mosaïque, qui cantonne le Genévrier commun aux substrats les plus instables et les xérophytes épineux en coussinets, qui tiennent la plus grande place avec une uniformité physiologique si bien tranchée, aux substrats plus ou moins fixés colmatés par des fines. Cette frange buissonnante à genévriers, spécialement perceptible par la vivacité des coloris qu'elle affiche, en enclave au sein de l'alyssaie, présente un intérêt extraordinaire, tant par l'étendue qu'elle occupe que par la présence du Genévrier commun qui s'est probablement maintenu dans ce type d'habitat hautement spécialisé depuis la dernière glaciation. Il convient enfin de souligner la constance de cette frange marginale supérieure aux quatre niches de nivation marquant le haut palier altitudinal de l'ubac de Tafrant-Taghrout. Il s'agit d'une rare originalité nulle part aussi nettement différenciée dans le reste du Haut Atlas et ailleurs au Maroc.

• **Une dynamique intermédiaire** caractérise l'écotone supraforestier. Il en est ainsi par exemple sur le plan biogéomorphologique ; alors que les éboulis poreux plus ou moins stables jalonnent en partie le haut-versant représentant la tranche altitudinale la plus active du milieu périglaciaire, en revanche, dans l'étage inférieur adjacent, le versant se trouve en grande partie comme cuirassé par une carapace de débris anguleux plus ou moins consolidés. Entre ces deux domaines morphogénétiques, se situe l'écotone supraforestier dans lequel s'infiltrer une mosaïque de petits voiles épars de Genévrier commun. Associé ou non aux deux autres ligneux bas, ces taches occupent de faibles surfaces souvent, certes, mais bien organisées pour occuper les plages d'éboulis mouvants. Tout à côté de ces populations, s'organisent aussi des pieds clairsemés de cèdre de l'Atlas, lesquels colonisent les éboulis plus ou moins cimentés par une matrice fine.

• **Une dynamique forestière** concerne les zones immédiatement en dessous de la limite inférieure de l'écotone supraforestier. À leur niveau, les peuplements forestiers se succèdent en altitude. Si le Genévrier commun demeure très discret sur le Tichchoukt au profit du Buis des Baléares, il en est autrement dans la station d'Imi-n-Tkhamt n' Bou-Ifsr où l'on observe aussi de magnifiques populations de Genévrier commun dans le cortège du sous-bois de la cédraie. Mais surtout on notera avec grand intérêt l'importance du ruissellement concentré hérité et actuel, favorisé par le régime des averses orageuses estivales. L'érosion torrentielle, affectant préférentiellement les versants marno-calcaires, est rendue visible par l'existence de nombreux ravins qui entaillent transversalement les deux chaînons et qui mettent à nu la roche-mère sous-jacente. C'est à leur niveau que les espèces précédentes forment individuellement les plus importantes fruticées. Cependant, on retrouve la buxaie un peu partout bien individualisée dans beaucoup d'autres situations écologiques, surtout dans le Tichchoukt et ses environs.

B. Les contraintes du milieu supraforestier et les particularités physiologiques de la végétation d'éboulis

1. Délimitation de l'étage de haute montagne sur les chaînons de Tafrant-Taghrout et du Tichchoukt

Compte tenu de la description qui précède et du sujet qui nous préoccupe, il paraît normal d'évoquer pour commencer ce que l'on entend par l'expression « haute montagne ». À défaut d'espérer codifier cette dernière, il est au moins nécessaire de préciser dans quel sens ce terme sera employé dans ce qui suit. Nous en donnons ci-dessous les caractères généraux réservant pour plus loin l'étude détaillée d'un cas précis.

Ainsi, si l'on prend en considération plus particulièrement le deuxième terme, il conduit à individualiser des aires géographiques caractérisées par l'importance des altitudes et des dénivellations et, partant, les distingue des plaines. Constituant un trait morphologique important du relief terrestre, ces grandes portions de terrain saillantes se situent sur des dizaines de milliers de kilomètres et couvrent des surfaces énormes. Tout autant que la vigueur de la pente et l'importance des dénivelés, l'altitude absolue y met en valeur un étagement morphoclimatique et biogéographique des plus caractéristiques, dont l'aspect végétal est le plus visible comme le montre, par exemple, la montagne atlasique, de sorte que ce sont les climats et la végétation qui marquent leurs empreintes sur le modelé, facteurs importants de la morphologie montagnarde.

D'autre part, les montagnes représentent dans tous les continents les régions floristiquement les plus riches, superposant sur un espace limité plusieurs étages de végétation, comme si plusieurs zones du globe se trouvaient condensées là (KUHLE, 2007). Cependant, de par la variété des milieux, de la coexistence d'espèces communes à plusieurs étages, des migrations altitudinales, des possibilités de croisements génétiques, c'est la moyenne montagne qui abrite le maximum de richesse de flores vasculaires (voir par exemple RHANEM, 2012). Loin d'être un reliquat, la flore de haute montagne n'en est pas moins caractérisée par une grande diversité en dépit de ses plus faibles dimensions spatiales liées à la diminution du volume montagneux avec l'accroissement de l'altitude. Notons enfin que la rigueur climatique contribue aussi à la réduction du nombre des espèces végétales, mais en même temps accroît la forte proportion de taxons endémiques. C'est ce que l'on observe par exemple dans le massif de l'Ayachi où l'appauvrissement, concomitant et parallèle à l'élévation altitudinale, de la flore et de la végétation est suivi d'une augmentation progressive du pourcentage des espèces endémiques de 40 à 70 %, ce dernier chiffre extraordinaire étant atteint dans le *Drabetum oreadæ ayachicum* (QUÉZEL, 1952).

En général, l'utilisation de l'expression « haute montagne » est assez confuse. Ainsi, dans de nombreux cas, on n'arrive pas à savoir clairement si l'auteur se réfère à l'ensemble de la chaîne aux longs versants ou à la plus haute bande de terrain rencontrée sur les flancs montagneux. Il n'est pas question de rentrer ici dans les détails, mais il n'est pas inutile non plus, dès à présent, de préciser dans quel sens elle sera employée par la suite, afin d'éviter toute ambiguïté dans l'interprétation qui pourrait résulter de l'emploi du binôme « haute montagne ». D'une manière générale, ce sont les formes structurales *sensu lato* qui donnent aux montagnes leur volume. Dans le cas des hautes montagnes, ce dernier se manifeste topographiquement

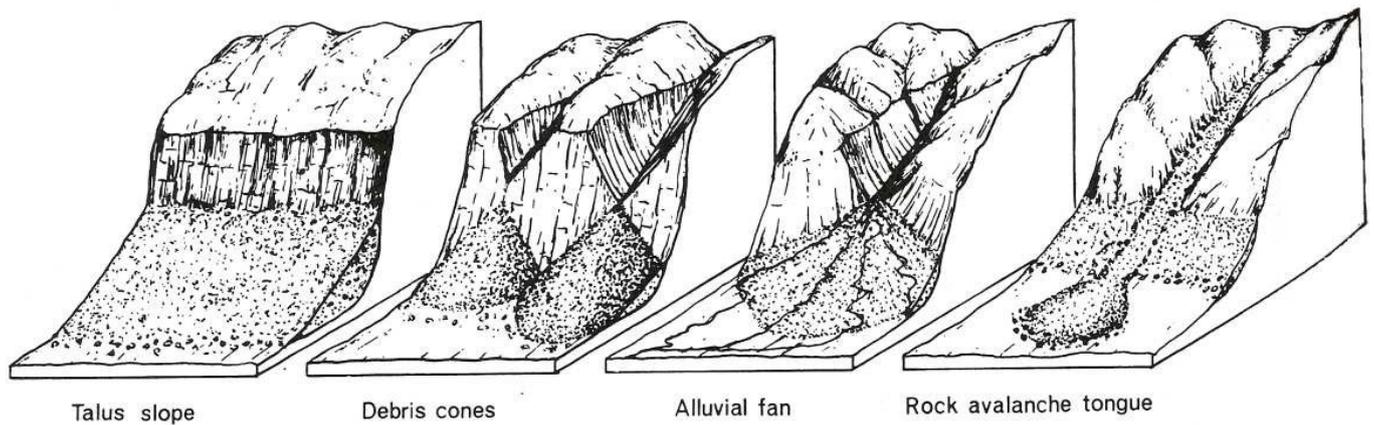


Figure 4. Différentes formes de dépôts éboulis au pied d'escarpements rocheux d'après SELBY (1993).

par l'assemblage de versants raides et escarpés présentant des dénivellations communément de plusieurs centaines de mètres.

À une tout autre échelle, l'épithète de haute montagne évoque aussi bien pour le phytoécologue que pour le géomorphologue une bande de terrain qui s'inscrit dans la partie supérieure des grands volumes montagneux. Considéré sous cet angle, elle se singularise géomorphologiquement par la juxtaposition sur les hauts sommets des versants, de parois abruptes, de pitons, de crêts et d'entailles profondes, marqués par l'action de la neige, du gel et du froid. Au pied de ces escarpements, abondent des éboulis constitués de fragments anguleux, sans matrice fine, manifestement arrachés aux parois de corniches.

Ainsi, la haute montagne désigne tantôt un étage altitudinal, tantôt un ensemble de reliefs, mais il importe de signaler que, si la combinaison des critères altitude et pente permet une bonne approche, il n'en reste pas moins qu'il serait erroné d'identifier la notion de montagne à la seule acception topographique puisqu'un grand nombre d'unités topographiques très basses (cuvettes, couloirs...) appartiennent incontestablement à une aire morpho-bio-climatique montagnarde et inversement.

Il n'est pas sans intérêt de rappeler en terminant que le critère clair et discernable de reconnaissance de la base de la haute montagne et des niveaux homologues des diverses grandes chaînes est le seuil supraforestier (cf. *infra*) qui concrétise une rupture dans les paysages et un changement dans les processus morphogéniques. Il n'est pas lié à la tectonique de plissements et n'est ni d'ordre altitudinal ni de nature topographique. Toutes les fois que nous l'utiliserons, ce sera dans un sens strictement biogéographique, pour évoquer la partie de la montagne où le couple altitude-latitude permet le développement d'un étage oroméditerranéen ou altiméditerranéen (ces deux termes ont été fréquemment employés l'un pour l'autre) caractérisé traditionnellement par des températures froides et où le gel et la neige deviennent des agents morphogéniques essentiels, au moins sur une partie de leur surface. Partant de ces considérations biogéographiques, on conçoit dès lors que la haute montagne puisse prendre une extension considérable, même dans des chaînes de hauteur modeste mais situées sous les hautes latitudes comme c'est le cas par exemple dans la zone subarctique où l'étage de haute montagne descend au niveau de mer. Dans ce travail, nous conserverons cette compréhension.

Quoi qu'il en soit, qu'il y ait quelques différences dans les délimitations importe peu au total, pourvu que l'on sache ce dont on parle. De toute façon, quand on passe de la notion d'étage de haute montagne à celle d'une haute montagne, la rigueur de telle ou telle limite importe moins. Quelle que soit la façon dont on les envisage, ces considérations, appliquées au cas particulier des régions prises pour exemples, permettent de situer les deux massifs montagneux du Haut et Moyen Atlas dont il est question ici dans la catégorie de hautes montagnes qui comportent un étage de haute montagne.

2. Le Genévrier commun, originalités morphologiques et rôle dans la dynamique des éboulis

Dans les zones fortement tectonisées, où l'érosion joue un rôle de premier plan, comme c'est le cas des hauts massifs calcaires de Tafrant-Taghrout et du Tichchoukt, où les versants sont fortement inclinés, les affleurements rocheux sont souvent nombreux et déterminent localement des éboulis où les pentes sont souvent très fortes, de l'ordre de 35°, angle qui se trouve être l'angle minimal permettant la chute libre des éboulis. Rappelons toutefois, à l'instar de CAMPY et MACAIRE (1989), que le versant n'est pas uniquement considéré ici dans son acception topographique, laquelle évoque une pente où s'exercent des forces gravitaires, mais dans une prise en compte de son fort pouvoir morpho-sédimentaire ; nous les rejoignons en cela. Pour ce qui est du terme éboulis, sur un plan géomorphologique il désigne les fragments rocheux formés au pied des escarpements, au bas de falaises, ou d'un versant raide, ou de sommets plus ou moins déchiquetés par le gel et l'orage, ou à la base d'encochement, ou au débouché d'une anfractuosité dans la paroi dominante par la chute gravitaire de pierres (BERTRAN, 2004 ; DEWOLF & BOURRIÉ, 2008). Ces dépôts ont la forme d'un cône s'ils sont établis au pied d'un couloir par lequel transitent et se concentrent les apports de matériaux, venant de la partie supérieure du versant et concentrant leur cheminement vers le bas. S'ils sont contigus, ils s'étalent en nappe en recouvrant de façon continue la partie inférieure d'un versant rocheux ; ils résultent de fracturation d'une paroi et de la chute des matériaux et l'on parle de tabliers ou talus d'éboulis (Figure 4). Il convient donc de distinguer, à l'instar de TILHAY (1983), le talus d'éboulis de l'éboulis proprement dit, ce dernier étant la forme colluviale, le premier son enveloppe externe. Nous nous rangeons à cette distinction et considérons que l'éboulis désigne le matériau, le talus d'éboulis la forme constituée par les matériaux accumulées. FRANCOU et HETU (1989) ayant par ailleurs étudié dans le détail les différents types d'éboulis existants et les processus qui se manifestent dans leur mise en place, la classification qu'ils ont établie est reprise ici, en mentionnant seulement les cas que l'on rencontre dans la dition ayant fait l'objet de cette recherche et en prenant toutefois le terme «éboulis» dans son sens le plus large, comprenant non seulement les éboulis mobiles ou légèrement fixés, mais d'une manière générale les chaos de blocs sur pentes fortes et des couloirs rocheux en déclivité.

Comme la plupart des dépôts de pente, les éboulis et les formes très variées qui en dérivent constituent des éléments marquants du paysage dans les deux massifs considérés. On les trouve en bas de falaises ou de ressauts calcaires escarpés avec toutefois un plus grand développement sur le chaînon de Tafrant-Taghrout. Ces éboulis sont calcaires, de grosseur variable et plus ou moins mobiles. Aussi, ces ubacs sont-ils ennoyés sous un important éboulis de gélifraacts résultant du délitage des calcaires marneux et des marnes d'épaisseur variable allant de quelques dizaines de centimètres à plus de deux mètres, sur lesquels croissent des



Photo 6. Talus d'éboulis pierreux de pente raide en haut-versant NO dans la dépression cryonivale de M'Tikajouine-n-Bou Ifsr. Délimité en amont par un escarpement rocheux surincombant taillé dans les calcaires compacts aux bancs sub-verticaux, sa pente passe de plus de 35° près de la paroi (partie proximale) à moins 30° à sa base (partie distale). Les éléments, plus ou moins vifs, sont homométriques (largeur qui varie entre 5 et 10 cm dans la plus grande dimension) et sont interrompus ici et là de plages de terre fine brunâtre. Dans ce biotope, la dominance de l'alyssaie est interrompue de stations impropres à la colonisation par cette dernière, au profit d'îlots discontinus de Genévrier commun. [M. RHANEM, 16/09/2014].

cédraies bien-venantes. Ces dépôts périglaciaires se caractérisent par leur hétérométrie. En effet, dans un guangue de matériel limoneux fin se sont enveloppés des gélifracsts de taille moyenne et petite.

La végétation d'éboulis se caractérise par une très grande diversité, allant de l'individu isolé au milieu des blocs de pierres au tapis végétal discontinu. Pourtant, le milieu mouvant des éboulis est particulièrement hostile à l'enracinement des végétaux et leur survie est toujours difficile. L'obstacle majeur n'est pas l'apparente sécheresse de l'éboulis (à une vingtaine de centimètres de profondeur, on rencontre généralement de la terre humide), mais plutôt la grande mobilité des pierres sur une pente forte, de sorte que la plupart des lithophytes qui s'y installent manifestent des phénomènes d'adaptation remarquable en réduisant au maximum leur appareil végétatif aérien au profit d'un plus grand développement de leur appareil souterrain. Le lecteur trouvera dans BAUDIÈRE et BONNET (1963), BAUDIÈRE et SERVE (1971), DAUBENMIRE (1941), DAUBENMIRE et SLIPP (1943), FISHER (1952), HARSHBERGER (1929), KÖRNER (2003), NAGY et GRABHERR (2009), SOMSON et BAUDIÈRE (1986) et VAN UFFORD (1909) des exemples concrets observés dans des situations multiples et diversifiées illustrant, entre autres, différentes stratégies leur permettant de résister aux contraintes imposées par les mouvements se produisant au sein de ces pierriers et de lutter contre l'ensevelissement provoqué par l'éboulis. L'organisation morphologique de leur système végétatif leur permet notamment de suivre et de subir, ou non, le mouvement des pierriers.

Il en est ainsi par exemple de la flore de l'horizon culminant (3 800-4 170 m) tel que l'entend EMBERGER (1939 et 1946) des hautes montagnes marocaines. Dans cet horizon, outre le faible nombre d'espèces, ne dépassant guère le chiffre de 33 selon EMBERGER (1946), il est encore plus remarquable de constater que les traits saillants de la végétation des éboulis, en grande majorité mobiles, résident dans le fait que toutes les espèces sont des herbacées, sans aucun végétal ligneux ou suffrutescent, et que les individus sont très espacés. L'autre fait marquant consiste en l'absence complète de thérophytes et de géophytes à bulbe ; seules les hémicryptophytes et les chaméphytes se partagent l'occupation de la surface du sol avec respectivement 70 % et 30 %.

Par contre, dans l'horizon inférieur de l'étage de haute montagne, ce sont ces mêmes chaméphytes, au nombre de huit et ayant l'aspect de xérophytes épineux en boule ou en coussinet si caractéristique de la flore d'altitude des hautes chaînes atlasiques, qui occupent près de 80 % de la couverture végétale totale des éboulis périglaciaires colmatés par des limons (QUÉZEL, 1965) et plus ou moins marqués par des phénomènes de gélifluxion et de cryoturbation. Par ailleurs, de tous les groupements qui s'y développent, c'est le plus étendu et, par les particularités de sa composition floristique, de sa physionomie et la spécificité de ses conditions édapho-climatiques, le plus caractéristique de la montagne marocaine.



Photo 7. Touffe lâche de Genévrier commun vers 2 400 m d'altitude en versant nord de la cuvette d'Imi-n-Tkhamt n'Bou Ifsr. Les colluvions terro-pierreuses affleurent en maints endroits, ce qui laisse entrevoir clairement le développement inégal de sa ramure. La plante, entraînée vers l'aval parallèlement à la pente par le glissement des pierrailles calcaires, réussit à se redresser et échappe de cette manière à l'enfouissement sous le manteau des éboulis. [M. RHANEM, 16/09/2013].

Au-delà de ces caractéristiques, le trait le plus singulier de cet étage de haute montagne, en particulier sur la face nord du chaînon de Tafrant-Taghrout, réside dans le fait que le Genévrier commun arrive localement à imposer son empreinte dans le paysage végétal facilement reconnaissable à sa physionomie typique en touffes rampantes verdoyantes discontinues au milieu de l'alyssaie, mais imperceptible pour un œil non exercé (Photos 5 et 6). Il y présente en effet un développement optimal des plus importants, essentiellement au dessus de l'écotone supraforestier dans des conditions édapho-topoclimatiques très particulières dominées par des processus cryonivaux, lesquels guident l'évolution actuelle de ces hauts-versants où les gélifracsts vrais constitués d'éclats anguleux et plats de dimensions centimétriques à décimétriques occupent un important palier altitudinal depuis les parois rocheuses sommitales jusqu'à la limite supraforestière où ils se réduisent à des couloirs localisés. Cependant, leur maximum de fréquence se situe au-dessus de 2 600 m d'altitude. Ces éboulis sont directement issus de la désagrégation sous l'effet des processus gel-dégel du substratum géologique dont les affleurements arment encore la ligne de faite (Photo 6).

C'est dans un tel contexte, par ailleurs totalement dépourvu de cortège arboré, que ce Genévrier rampant côtoie les chaméphytes en coussinet dans des conditions de milieu rappelant, comme à bien des égards, celles dans lesquelles se développent ces derniers ; il est d'ailleurs bâti comme eux selon presque la même configuration architecturale pulviniforme à disposition dense des tiges aériennes (Photos 5 et 6) en relation avec un rythme biologique commun imposé, d'une part, par la sécheresse physiologique estivale et, d'autre part, par des conditions climatiques hivernales très rudes, mais assez hétérogène du point de vue des groupements végétaux dont les caractéristiques diffèrent tout au long de sa distribution. Il est donc normal de se demander si les formes de croissance de ces espèces ne pourraient pas être considérées comme une expression de leur adaptation à la rigueur climatique de ces milieux de haute altitude, venteux et extrêmement froids, jointe à la vigueur des cycles de gel. Cependant, ce Genévrier rampant se différencie nettement des xérophytes épineux par sa xéromorphie gymnospermienne doublée d'une spécialisation écologique très poussée, lesquelles sont très marquées sur le chaînon de Tafrant-Taghrout, où l'on peut par ailleurs relever l'existence d'autres adaptations de différents ordres.

Conifère relique emblématique de la haute montagne marocaine, *Juniperus communis* est le seul résineux capable de s'installer dans ces milieux remaniés par le vent, par la neige, par l'apport de gélifracsts et de s'y maintenir. Il se comporte sur le haut-versant du Tafrant-Taghrout à la fois comme une espèce pionnière et comme le végétal le plus représentatif du climax édaphique. En raison de sa forte déclivité, ce climax stationnel est donc tributaire en grande partie de la dynamique minérale descendante permettant le rajeunissement du substrat et partant bloquant la dynamique de la végétation dont le Genévrier commun constitue vraisemblablement le point d'orgue d'une évolution lente.

L'amoncellement de petits tas de cailloux en amont des touffes de *J. communis* et le soutirage des éclats en aval illustrent bien le mouvement de l'éboulis et les conditions précaires dans lesquelles ce taxon essaie de survivre. Chaque individu colonisateur est à la merci d'un mouvement de pierres qui peut l'enfourer ou d'un glissement qui peut le déraciner. À l'opposé, son implantation contribue à fixer et à stabiliser l'éboulis et, de ce fait, à favoriser l'apparition d'autres pieds (phénomène d'auto-catalyse).

Sur ces pentes raides sans cesse rajeunies, les conditions d'existence sont donc particulièrement sévères ; le Genévrier commun doit être en mesure :

- de supporter des minimums hivernaux très bas,
- de supporter des maximums estivaux élevés,
- d'endurer parfois de longues périodes estivales à déficit hydrique,
- de s'accommoder d'un substrat pauvre en éléments nutritifs, ces derniers étant entraînés le long des pentes.

D'autre part, sur le plan morphologique, le comportement du Genévrier commun en termes de croissance face aux contraintes climatiques dues surtout au vent fort, entraînant des cristaux de glace et à l'action répétitive des alternances nyctémérales gel-dégel, est, à cet égard, très intéressant. Ainsi, sur les hauts de versants, dans ces conditions particulièrement sévères, il se produit probablement une inhibition ou destruction du bourgeon terminal. Cela provoque la naissance de cimes secondaires qui, rapprochées, peuvent s'auto-protéger. Il en résulte par conséquent un port très bas où seul un développement latéral volumique s'avère possible, de sorte que son architecture rampante présente un enchevêtrement de nombreuses branches basses serrées les unes contre les autres, d'où une forme touffue induisant un microclimat original qui reste presque constamment frais et relativement humide. Celles-ci sont constituées de vigoureux rameaux nouveaux, tordus et contorsionnés très serrés et allongés selon la ligne de plus grande pente (Photo 7), et ce malgré la variabilité des substrats. Cependant, l'élongation des rameaux est moins importante au fur et à mesure de leur rapprochement de la zone de raccordement à la souche. De plus, partant de divers points, les ramifications terminales des branches, dénudées sur plusieurs entrenœuds, redressent leur extrémité en prenant l'aspect d'une petite cime en forme de parasol ; il s'édifie ainsi, au bout de plusieurs années, de nombreux houppiers « corymbiformes » constituant un rempart compact particulièrement net chez les touffes isolées (Photo 7). Cette silhouette se caractérise aussi par une plus grande densité raméale s'étalant essentiellement en direction de l'aval. Il convient de souligner à ce propos que le Genévrier commun plie à sa base dans sa jeunesse et courbe son pied vers l'aval. Cette dissymétrie est aussi le résultat d'un développement inégal des bourgeons.

Appliquée contre le substrat, cette forme permet donc au Genévrier commun d'une part de fixer les éboulis par le réseau de ses branchages et, d'autre part de résister en particulier à la descente du matériel minéral en divisant le flux et le déviant latéralement.

À la lueur de ces différentes constatations, il semble utile d'insister sur le fait que ce port lui confère un aspect physiologique certain, offrant des tendances assez différentes de celles qui l'animent dans les zones de latitudes plus élevées. Il présente, en surplus, la particularité de développer sur certains rameaux, au plus près de la surface du sol, des racines adventives filiformes. Ce phénomène peut intéresser plusieurs branches basses et donne naissance, probablement à la suite de leur marcottage, à une colonie généralement dense et compacte réunissant de nombreuses tiges entourant, surtout vers l'aval, la souche principale. Ces touffes ou colonies de genévriers peuvent atteindre plusieurs mètres de diamètre.

De même il convient de mentionner que *Juniperus communis*, espèce ornithochore à phénologie printanière, produit des galbules charnues bleuâtres à violet terne consommées par des oiseaux frugivores qui en disséminent les graines ; ces disséminateurs restituent au cours de leurs déplacements les graines intactes et aptes à germer, soit par régurgitation, soit dans leurs excréments. Ce mode de dissémination des galbules du Genévrier commun contribue de fait à entretenir l'aspect en agrégats si caractéristique de ses populations. C'est ce qui explique aussi que quelques-uns de ces genévriers aient été pointés à 3 150 m, particulièrement sur le Tafrant-Taghrout (Photo 5).

À l'autre extrême, le poids de ses galbules constitue un obstacle à leur dispersion ailleurs qu'à l'aplomb même des porte-graines, de sorte que de nombreuses « baies » non consommées tombent au sol sous le couvert du semencier ; ceci a *a priori* pour conséquence d'accroître leur volume et de favoriser leur extension latérale. Ces faits permettent de suggérer que la pluie de graines est hétérogène dans l'espace et qu'elle s'effectue probablement à peu de distance des semenciers. Il est donc logique d'attribuer également aux oiseaux frugivores la présence de semis de *J. communis* sous les cèdres qui leur servent de perchoirs. Cependant, le succès d'installation des semis augmente si la graine atteint un site favorable à sa germination.

Les quelques caractères que nous avons discutés concourent à maintenir durablement la structure et la cohésion des populations du Genévrier commun tant que leur environnement physique demeure stable. Une telle stratégie d'économie et de qualité se traduit par une hétérogénéité spatiale de ses communautés, matérialisée par une agrégation irrégulière en petits groupes denses de semis d'âges variés et à physiologie très fragmentée. Aussi, les populations du Genévrier commun de ces hauts massifs montagneux offre-t-elles, même en plein milieu forestier, un caractère typique qui en fait l'une de ses particularités les plus originales. En effet, il se distingue singulièrement de toutes les autres espèces présentes par son aspect toujours en touffes coalescentes, bien mises en évidence sur le terrain sous la forme de plages plus ou moins distantes qui ont pour effet d'amortir les influences néfastes du climat, imprimant au paysage végétal une structure en mosaïque très originale. Ainsi les brosses de Genévrier commun ne forment jamais un tapis continu, mais laissent toujours à nu une fraction importante de la surface du sol (Photos 5 et 6). Un tel comportement est imposé par la concurrence des autres espèces ; en effet, lorsque la proportion d'éléments fins tend à devenir plus importante dans le substrat, *Alyssum spinosum* devient de plus en plus compétitif et gêne le développement de *Juniperus communis*. Cette concurrence se traduit en premier lieu par une limitation du nombre d'individus et en second lieu par l'élimination de l'espèce.

Enfin, au terme de ce paragraphe, il est intéressant de noter que le Genévrier commun est aussi capable d'adopter une disposition linéaire (Photo 8). Ce modelé ne peut toutefois apparaître que dans la mesure où le Genévrier commun, qui localement colonise les pentes, présente un appareil végétatif souterrain suffisamment développé pour pouvoir immobiliser un volume important du compartiment géopédologique ; ce dernier assure, à son tour, un ancrage du buisson dans le substrat, lui permettant ainsi de résister efficacement à la poussée venue de l'amont. Il est donc rationnel de penser que seul un système racinaire abondamment fourni, du type fasciculé, permet la réalisation de cet équilibre.

Les quelques coulées de blocailles qui constituent une partie de ce versant (Photo 8), bien que très aplaties en raison même de la nature calcaire de leur matériau, sont largement responsables des irrégularités originelles en partie conformes à la pente.

L'exploitation linéaire par le genévrier a de fait été facilitée. Les zones de nécrose dans la partie amont des plages traduisent à l'évidence l'ampleur de cet effet mécanique de rouleau occasionné par la migration des gélifracts et l'écrasement amont qui en découle est en grande partie responsable de l'aspect souvent arqué de ses individus. Ainsi, en arrière de ses touffes, le matériel mobile s'accumule d'abord en micro-replats. La gélifluxion et le ruissellement de fonte provoquent en effet un déplacement de matériel fin vers l'aval, facilité par la pente et une végétation très clairsemée. Ensevelies par l'arrière, entraînées vers l'aval, les touffes ne peuvent désormais se développer que latéralement.

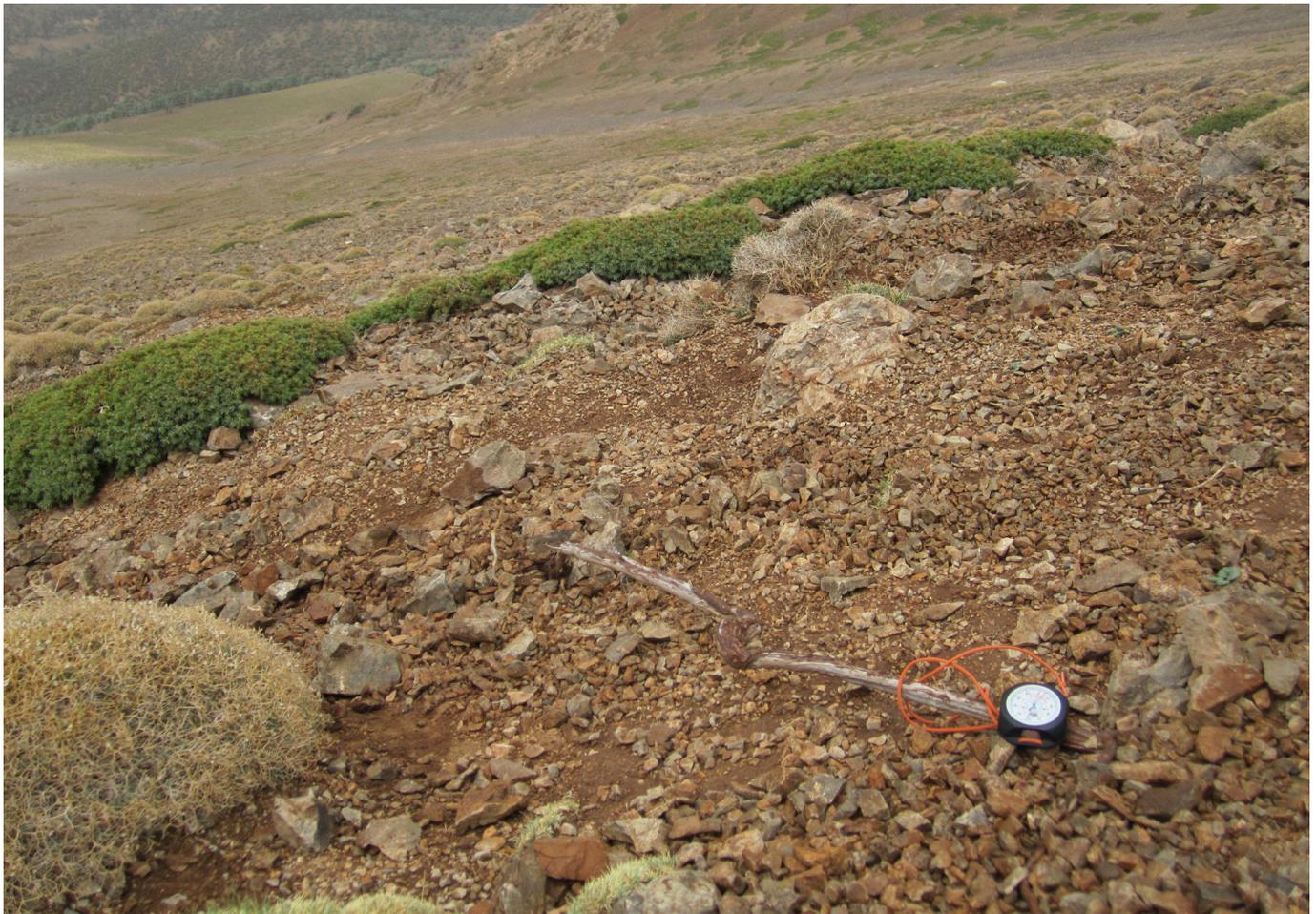


Photo 8. Traînée de genévriers vers 3 000 m au centre de la niche de M'Tikajouine-n-Tisswatine. Orienté O-E parallèlement aux courbes de niveau, le gradin est formé d'éboulis grossiers où s'installe le genévrier ; quant à la surface plane faiblement inclinée vers le nord, elle présente un matériau fin abondant, mais aussi de nombreux éclats calcaires décimétriques. Au centre et à droite du cliché, le genévrier doit explorer une surface d'autant plus étendue que la couche de terre est moins profonde et que le sous-sol est plus induré ; il n'est pas rare que l'enracinement superficiel atteigne 5 m de longueur avant de s'enfoncer dans la moindre fissure. [M. RHANEM, 16/09/2013].

Du point de vue édaphique, le Genévrier commun s'accommode de tous les types de substrats et végète aisément sur les éboulis mobiles et la roche nue où il rencontre relativement peu de concurrence. D'une façon générale, il se déploie avec plus ou moins de réussite sur différents types de substrats au sol squelettique, dont le bilan hydrique varie selon la position topographique, la conformité ou non du pendage des couches géologiques avec la surface topographique, mais surtout en fonction de la teneur en pierrailles. Un enracinement profond et étendu dans toutes les directions lui assure un fort ancrage et lui permet d'aller puiser l'eau en profondeur, aussi bien sur colluvions terro-pierreuses que sur éboulis, ainsi que sur la roche nue. Il convient toutefois de souligner que, sur des substrats rocheux, la fissuration de la roche-mère joue un rôle considérable et irremplaçable. Il est donc normal que les buissons à Genévrier rampant soient évidemment très clairsemés et séparés les uns des autres, surtout sur les fortes pentes.

On se doit enfin de préciser que, même en cas de conditions climatiques améliorées et relativement moins sévères, il adopte toujours, entre 2 200 et 3 150 m d'altitude, la même forme typiquement rampante et prostrée à semi-prostrée. On peut dès lors légitimement penser que ce mode de croissance est fixé génétiquement et ne devrait donc pas être confondu avec un quelconque retard de croissance imputable à des conditions édapho-topoclimatiques.

En somme, plutôt qu'une essence susceptible de constituer de vastes groupements purs sur de grandes étendues, le Genévrier commun existe à l'état spontané par îlots isolés et apparaît plutôt comme une essence secondaire de complément, mais une essence précieuse, qui cherche à se mêler aux autres végétaux de l'étage de haute montagne, partout où ceux-ci lui en laissent la possibilité, et qui n'arrive à dominer dans le paysage végétal que là où toute autre concurrence fait défaut à cause soit du topoclimat, soit des caractères édaphiques de la station. De fait, il joue un rôle mineur vis-à-vis des autres genévriers de notre pays. Cependant, par son impressionnante vitalité, sa grande robustesse face aux contraintes édapho-climatiques et sa capacité à moduler sa croissance, le Genévrier commun témoigne de la grande résistance du genre *Juniperus* aux conditions stationnelles difficiles, comme l'a montré FRITTS (1976).

Du point de vue géomorphologique, la lecture du modelé de l'ubac de Tafrant-Taghrout permet par ailleurs de mettre en évidence une étroite relation entre la présence du Genévrier commun et l'existence, sur le plan latéral de part et d'autre du haut-versant de ce chaînon, en alternance avec des pointements rocheux saillants, d'un chapelet de niches de nivation quaternaire largement fossilisées par des dépôts consolidés sous la forme de tabliers d'éboulis descendant de l'escarpement sommital. C'est au niveau de ces dépressions, au nombre de quatre, établies au sommet des escarpements et des revers calcaires à pendage non conforme que le Genévrier commun est à la fois le plus étendu et a le plus grand effectif. Ces zones concaves ont un intérêt évident comme biotope original et exemplaire d'un groupement à physionomie très fragmenté et un caractère xérique relativement accentué, installé à la faveur d'un éboulis mobile, sous escarpements et exposition nord (Photo 6).

Ces niches de nivation encombrées superficiellement d'éboulis plus ou moins stables fonctionnent par ailleurs en véritables réceptacles nivaux et sont ainsi directement responsables d'importantes accumulations de neige qui s'y constituent. De fait *Juniperus communis* est assujéti non seulement à un mode de fonctionnement de versant, mais aussi à l'existence de systèmes morphogénitiques bien particuliers de leur support géomorphologique.

La plus spectaculaire, en forme de demi-entonnoir, est toutefois celle d'Agouni-n-Aït-Mguild (Photos 1 et 3) située au centre du chaînon, entre des gradins de roche aux lieux dits « Taandout » à l'ouest et « Bou-el-Fass » vers l'est, à quelques encablures au sud-est de la maison forestière de Mitkane. Élément fort attrayant du paysage, sa forme en amphithéâtre favorise le tassement de la neige, lors des saisons froides et humides, par l'accumulation nivéo-éolienne plus grande au centre de la niche que sur ses bords largement évasés. Elle présente à cet égard un profil vertical concave à grand rayon de courbure et qui s'étend, à vol d'oiseau, sur une longueur de 750 m et une largeur oscillant entre 1 km dans sa partie proximale et 400 m dans sa partie distale. De plus, cette cavité arquée, aux parois raides et obliques, se caractérise par une rupture de pente entre la paroi amont et son fond, ainsi qu'entre ce dernier et le bas de la pente, créant donc un contraste évident entre le plancher de la niche et les secteurs environnants, alors qu'à sa base elle se raccorde progressivement à un cône de déjection sub-actuel partiellement induré, éventail sédimentaire construit au Quaternaire par des écoulements torrentiels dont les vestiges sont encore visibles et fonctionnels sous climat actuel. Du reste, cette grande dépression est sillonnée sur ses flancs par des couloirs de ravinement de plus en plus profonds à mesure que l'on descend en altitude (quelques centaines de mètres de longueur et de 50 cm à 2 m de profondeur). Parcourus par les eaux des pluies orageuses, ces derniers sont le lieu de chutes de pierres de plus en plus importantes, atteignant parfois la dimension du bloc (près de 1 m dans la plus grande dimension). Ce sont évidemment les orages d'été et du début de l'automne qui sont à l'origine de ces ravinements et, par conséquent, de la dégradation du substrat hérité sous-jacent, au moment où la neige a totalement disparu de ces endroits. De plus, l'absence répétée de congères durant les séries d'années à faible enneigement, parallèlement à l'augmentation des températures printanières des dernières décennies (RHANEM, 2011), a eu probablement pour effet de livrer très tôt en été le rebord de la niche à l'action du ravinement. Ces deux derniers processus soulignent de fait le caractère extrêmement contrasté du climat méditerranéen.

Ce schéma des différents modelés et processus que nous venons de proposer pour la niche d'Agouni-n-Aït Mguild est valable pour le reste des hautes surfaces concaves du chaînon de Tafrant-Taghrout où dominant les expositions à composante N-NE ou NO. Enfin, ces observations, qui complètent et qui corroborent celles des pages précédentes, montrent la préférence certaine du Genévrier rampant pour toutes ces dépressions sommitales dont il épouse d'ailleurs parfaitement les contours.

3. Les autres buissons ligneux, organisation altitudinale et rapport au modelé

Parmi les buissons ligneux à forte souche les plus caractéristiques aux côtés de *Juniperus communis*, il faut citer *Berberis hispanica*, *Buxus balearica* et *Ribes uva-crispa*, lesquels occupent une place de premier ordre : ils jouent dans les deux massifs un rôle important, d'une part dans la constitution de la couverture végétale ligneuse et d'autre part dans les rapports qu'ils entretiennent avec le Genévrier commun. Mais, l'importance pratique de ces espèces, par ailleurs de très faible valeur pastorale, réside surtout dans leurs propriétés protectrices et édifcatrices des sols. Néanmoins, la plus grande originalité provient du fait qu'elles sont dotées d'une grande capacité de multiplication active et sont de surcroît des espèces pionnières colonisatrices d'espaces vides qui s'installent assez fréquemment sur les sols encore squelettiques comme les éboulis. Il convient aussi d'observer à ce titre que, dans ces modes de colonisation, l'environnement végétal intervient aussi et très souvent d'une manière décisive par l'effet de masse qu'il déclenche et par la fixation des substrats qu'il engendre. En effet, la présence de touffes à *J. communis*, *B. hispanica*, *B. balearica* et *R. uva-crispa* au voisinage des substrats va être déterminante dans la colonisation par ces espèces, d'autant que la structure particulière meuble en surface de ces substrats est favorable à leur installation et tout particulièrement à la mise en terre des graines. Celles-ci y trouveront périodiquement des sols nus et les semis pourront s'implanter et se développer tant qu'elles ne seront pas gênées par la présence de taxons plus compétitifs.

De plus, loin d'être fortuite, leur présence conjuguée dépend aussi de l'importance et de la durée du manteau neigeux et par conséquent d'une plus ou moins bonne disponibilité en eau provenant de la fonte, tout en profitant des avantages de la protection hivernale du manteau neigeux, d'autant que leur architecture par ramification plus ou moins souple et drue accroche bien la neige tombante, tout en supportant sans trop de mal le poids et sans s'en décharger trop brutalement sur les fortes pentes.

Or, bien que *B. hispanica*, *B. balearica* et *R. uva-crispa* présentent, avec *J. communis*, la caractéristique commune d'être des espèces envahissantes et couvrantes liées à des sols constamment rajeunis, elles ont néanmoins des aires plus complémentaires que superposables et ce n'est qu'aux points de contact de leurs aires respectives que l'on observe un certain chevauchement en « écailles » tel que l'entend GODRON (1967), lequel peut donc se manifester par une juxtaposition ou un mélange. Toutefois, le Genévrier commun, en raison d'une plus grande amplitude altitudinale, est le seul à pouvoir coexister et codominer d'une part avec les trois autres buissons précités surtout en milieu forestier et, d'autre part, avec quelques xérophytes épineux, en particulier *A. spinosum* dans l'étage oroméditerranéen. Cependant, si les deux caducifoliées épineuses arrivent à s'infiltrer localement dans l'étage oroméditerranéen, par contre elles ne se mélangent que très rarement au Genévrier commun (RHANEM, 2013), alors que *B. balearica* est le seul buisson qui n'arrive pas à pénétrer dans l'étage de haute montagne. Sur les deux chaînons considérés, c'est le buisson ligneux le moins résistant au froid, alors que *B. hispanica* et *R. uva-crispa* peuvent être classés respectivement en seconde et troisième position.

En fait, si ces espèces s'assemblent le plus souvent en mélanges variés et rarement en mélange véritable pied par pied, elles peuvent néanmoins trouver une place - ou plusieurs - pour individualiser des fruticées épineuses quasiment pures là où sont réunies les conditions les plus favorables à chacune d'elles. Leur répartition relative apparaît subordonnée essentiellement aux facteurs édapho-topoclimatiques

3.1. Fruticée à *Ribes uva-crispa*

Son habitat, principalement représenté sur l'ubac du chaînon de Tafrant-Taghrout, consiste en un épandage de pierrailles avec graviers et blocs. Cette fruticée à faible recouvrement colonise des pentes moyennes légèrement convexes à l'altitude 2 600 m. D'une surface très étroite, elle est enclavée au sein d'une érinacée à *Erinacea anthyllis*, en compagnie de *Bupleurum spinosum* comme deuxième espèce dominante.

Moins ombragée, cette station bénéficie durant l'hiver d'un ensoleillement relativement plus important que les parties concaves avoisinantes. Elle est rapidement dégagée de sa couche de neige, de sorte que, durant une partie de l'hiver, le substrat se trouve à nu et subit d'une manière intense des alternances de gel et de dégel. Le sol, imbibé de l'eau de fonte des neiges, gèle

la nuit sur toute l'épaisseur de son profil. La roche mère, lorsqu'elle n'est pas trop éloignée, est également dégradée par l'action du gel.

3.2. Fruticée à *Berberis hispanica*

Comme *R. uva-crispa*, l'amplitude écologique de *B. hispanica* se situe dans le montiméditerranéen et dans l'oroméditerranéen inférieur ; par conséquent une petite partie se trouve à découvert, la plus grande sous forêt où elle se trouve seule ou en touffes avec *J. communis*, *R. uva-crispa*.

Dans l'étage de haute montagne, la fruticée à *B. hispanica* nécessite également des exigences écologiques particulières. Moins alticole, elle est néanmoins relativement plus exigeante en eau. Elle se localise de préférence, mais non exclusivement, dans les stations légèrement concaves à long enneigement. Elle occupe, par exemple à mi-versant de l'ubac de Tafrant-Taghrout, entre 2 500 et 2 600 m d'altitude, les couloirs de ravinement torrentiel de fortes pentes, encombrés d'éboulis grossiers plus ou moins mobiles où s'accumule la neige en hiver et au printemps. Ces particularités déterminent un groupement d'allure linéaire composée par une coulée de *B. hispanica*. Enclavée elle aussi dans l'épinacée précitée.

Parcouru par des courants d'air froid, cet habitat est aussi caractérisé par une moindre sensibilité à la sécheresse car fortement enneigé par la neige qu'il reçoit directement, par celle qui glisse des crêtes voisines et par celle que le vent arrache aux pentes ouest et laisse déposer à leur abri.

C. Structure et architecture de l'écotone supraforestier sur les ubacs de l'Ayachi et du Tichchoukt

Les hautes montagnes présentent certains des exemples les plus évidents de la transition de la végétation terrestre induite par l'élévation d'altitude, parmi lesquels des modèles bien connus comme ceux de l'étagement de la végétation, de la limite forestière ainsi que ceux de la diminution de la taille des plantes et de la diversité des espèces. Cette connaissance a également contribué à l'élaboration d'importants concepts scientifiques tels que la sélection naturelle, la succession des communautés et les changements globaux. Ceux-ci et d'autres phénomènes liés à la montagne ont par ailleurs longtemps intrigué biogéographes et écologistes, et ils continuent à fournir une information contextuelle pour explorer les modèles biogéographiques fondamentaux comme la répartition de la végétation, la chorologie des espèces végétales, mais aussi les gradients de diversité et les limites des espèces.

L'autre fait marquant est lié aux contraintes écologiques communes à toutes les montagnes élevées et qui entravent la croissance des arbres au-delà de certaines altitudes (ou le cas échéant de la latitude) et impriment au paysage un aspect particulier de végétation basse. Ce trait important de l'organisation et du fonctionnement des écosystèmes arborés d'altitude est une limite écologique majeure. Ce seuil biologique, dénommé « limite forestière supérieure ou limite supraforestière », est l'élément le plus marqué dans l'étagement vertical de la végétation dans les hautes montagnes et y constitue de fait une des caractéristiques du paysage dans la mesure où l'altitude d'un massif est suffisante pour que l'étage oroméditerranéen y atteigne tout son développement, du moins en partie. C'est ce qui fait que la limite forestière supérieure est probablement la plus connue et la plus étudiée de toutes les limites de distribution des espèces arborées, bien que la limite forestière soit également utilisée pour décrire les limites des écosystèmes arborés en latitude.

Compte tenu de tout l'attrait de ce phénomène, les marges supérieures de la répartition de l'arbre dans les montagnes du monde entier ont depuis longtemps attiré les scientifiques et il n'est pas surprenant qu'une littérature très riche y soit consacrée. Le foisonnement de leurs recherches a d'ailleurs mis en place un large éventail de termes (par exemple NAGY et GRABHER, 2009).

Or, malgré la simplicité de la définition théorique du mot anglais *timberline*, terme du reste devenu classique - limite de la forêt continue et fermée (SLATYER et NOBLE, 1992) -, l'appréciation de la limite supraforestière entre les étages montiméditerranéen et oroméditerranéen est souvent difficile à fixer avec précision en raison de la continuité des peuplements arborés. Or, si son déterminisme est essentiellement d'ordre climatique, ce qui lui a valu d'être considérée comme un « baromètre » de premier ordre dans l'étude du changement climatique global (SMITH *et al.*, 2009), il n'en reste pas moins que la limite supraforestière dépend considérablement de la nature et la diversité des espèces arborées constitutives, de la physiologie et des possibilités adaptatives de chacune d'elles, de l'action humaine présente et passée et de l'histoire de la végétation (OZENDA, 1997). On comprend dès lors que sa signification écologique peut différer beaucoup d'une région à l'autre, de sorte qu'il n'y pas une limite, mais des limites comme le souligne à juste titre cet auteur et il faut une certaine attention pour en saisir la coupure. C'est alors le relevé de la végétation du sous-bois et l'examen de la surface du sol, dont les caractères présentent souvent à ce niveau une discontinuité sensible, qui permettent de tracer cette limite. Le rôle important des arbres dans cette zone est à cet égard toujours primordial il est vrai. En raison de leur taille, les arbres forment en effet les limites de végétation les plus évidentes, contrairement à la végétation dominée par d'autres formes de croissance.

D'autre part, puisque la plupart des facteurs écologiques agissant sur le changement de vigueur de l'arbre varient progressivement en fonction de l'augmentation de l'altitude, les limites de sa distribution sont rarement franches et la dynamique des arbres, à vitalité amoindrie, y très lente, de sorte que les arbres présentent habituellement dans l'écotone supraforestier des formes tout à fait différentes de celles qu'elles peuvent avoir à plus basse altitude en raison des conditions climatiques et édaphiques très sévères des milieux colonisés qui déterminent une croissance lente et complexe comme l'a montré FRITTS (1976). Ceci est valable aussi bien pour les arbres que pour les nanophanérophytes. Par conséquent, physionomiquement leur taille diminue progressivement en même temps que la forêt s'éclaircit, en passant par une zone où les arbres sont irrégulièrement dispersés jusqu'à la limite supérieure extrême des individus les plus élevés, indépendamment de leur petite taille, qui pourraient être rabougris et déformés. Dans ce cas, la limite des arbres est le point où le port déformé (par exemple port en drapeau) change en port prostré (c'est la zone de combat).

Notons enfin qu'en plus des variations liées aux aptitudes individuelles mentionnées plus haut cet écotone est, en fait, le résultat d'interactions entre des relations de compétition et le comportement des essences coexistantes en fonction des caractéristiques du milieu. Il représente presque toujours un écosystème complexe, relativement peu vulnérable vis-à-vis des aléas naturels et capable de procéder à de doux réajustements progressifs.

Il convient à ce sujet d'observer, comme le souligne VAN DER MAAREL (1990), qu'une telle zone de transition, connue plus communément sous l'appellation d'écotone supraforestier, traduit une évolution progressive des conditions écologiques où les différences de taille et de forme des arbres ne sont que d'importantes adaptations aux conditions de plus en plus sévères de l'ambiance de haute altitude ou à la compétition pour les ressources.

Au vu de ces constatations, cet écotone supraforestier s'étend donc habituellement de la limite de la forêt ou limite supérieure d'un couvert forestier continu à la limite de l'arbre qui est la limite supérieure extrême de la présence d'espèces arborées. C'est dans ce sens qu'elle sera employée dans ce qui suit. Par ailleurs, plutôt que d'être une frontière abrupte (qui se révèle généralement être aussi un écotone étroit), la *timberline* supérieure forme habituellement un écotone plus ou moins large entre la forêt fermée continue (c'est-à-dire la limite de la forêt) et l'étage de haute montagne sans arbres. Cet écotone peut s'étendre sur quelques mètres en terrain escarpé ou quelques kilomètres en terrain plat. Ainsi, par exemple, l'écotone sera d'autant plus étroit que les pentes seront plus raides et que les gradients climatiques résultant seront plus comprimés. Autrement-dit, plus le gradient écologique est fort, plus les espèces sont sensibles et plus la limite des arbres s'approche d'une ligne franche. De plus, l'existence en particulier de gradients thermo-pluviothermiques plus prononcés sur ces versants très pentus abaisse l'altitude moyenne de cet écotone, comme cela se produit par exemple sur les massifs de l'Ayachi et du Tichchoukt. En revanche, sur les terrains de faibles à moyens dénivelés, ceux-ci montrent de larges bandes de transition, avec l'ouverture progressive du couvert forestier et la réduction de la taille des arbres. Par conséquent, la limite supérieure de la forêt ne se distingue généralement pas à une altitude uniforme. Outre le rôle primordial de la topographie, elle varie aussi selon les conditions locales de climat, de pente, d'exposition et de substrat.

En réalité, ce qui est donc souvent désigné, globalement et au singulier et qui peut prêter à confusion, comme limite supérieure de la forêt ou *upper timberline* est en fait une portion de terrain caractérisée par un gradient ou une mosaïque à l'intérieur de laquelle différentes limites plus ou moins nettes sont distinguées, de sorte que les imprécisions sur la détermination de leur position et de leur structure, sont souvent l'objet de controverses et demeurent les principales raisons de divergence entre les auteurs. Le nombre de travaux déjà publiés à leur propos et la multitude de termes, pas toujours clairs, qui leur sont consacrés sont très démonstratifs à cet égard (GRIGGS, 1938 et 1946 ; DAUBENMIRE, 1954 ; TROLL, 1973 ; HOLTMEIER, 1973 ; WARDLE, 1974 ; GORCHAKOVSKI et SHIYATOV, 1978 ; DOLUKHANOV, 1978 ; TUHKANEN, 1993 et 1999 ; HEIKKINEN *et al.*, 2002 ; SCHICKHOFF, 2005 ; WIESER et TAUSZ, 2007 ; NAGY et GRABHER R, 2009 ; KÖRNER, 2012).

Les différents travaux évoqués ci-dessus illustrent le phénomène avec assez de détails pour nous dispenser de longs développements. La revue de quelques faits choisis parmi les plus démonstratifs est néanmoins indispensable à la compréhension du problème abordé dans ce paragraphe. Soulignons enfin, comme l'a si bien observé KÖRNER (2012), que ce ne sont pas les mots qui importent, mais le sens dans lequel ils seront employés. Aussi, les différentes définitions retenues ci-dessous ne sont donc pas exclusives, mais simplement une tentative d'utiliser dans cet article un ensemble cohérent de termes. Enfin, comme EMBERGER (1939) et beaucoup d'autres l'ont démontré, il n'y a pas meilleure référence que les facteurs biologiques. Compte tenu de ce qui précède, nous considérons la végétation immédiatement au-dessous de la limite des arbres d'être montiméditerranéenne, tandis que la végétation de l'étage de haute montagne au-dessus de la limite des arbres est oroméditerranéenne.

Pourtant, au-dessus de ces écotones, des arbres isolés de taille respectable peuvent localement constituer des avant-postes au dessus de la limite des arbres telle qu'elle a été définie ci-contre. Ces individus éloignés sont le reflet d'un recrutement au hasard, dans des micro-habitats aux conditions très particulières dans lesquelles ces arbres ont pu survivre à la faveur d'une topographie particulièrement favorable. Les semis d'arbres peuvent par exemple s'établir dans des endroits abrités plusieurs centaines de mètres au-dessus de la limite forestière supérieure. En raison de l'écart important du microclimat au macroclimat à haute altitude, la présence de tels semis dans une crevasse de roche chauffée par le soleil a peu de valeur indicative pour la limite de la forêt. Ces îlots sont considérés ici comme une partie de la ceinture oroméditerranéenne. De même, parfois dans l'étage montiméditerranéen, des conditions locales défavorables peuvent empêcher l'installation d'arbres (par exemple dans les couloirs d'enneigement). Ces zones isolées apparaissent comme des taches non boisées dans la ceinture arborée montiméditerranéenne (enclaves oroméditerranéennes).

S'appliquant par ailleurs à toutes les frontières biologiques (ARNO et HAMMERLY, 1984), dans cette *upper timberline sensu lato*, il n'y a pas de règle générale. Tout au plus peut-on noter dans de nombreuses régions montagneuses du monde le démantèlement progressif de la forêt avec l'élévation de l'altitude à travers une zone de transition plus ou moins étroite entre deux écosystèmes limitrophes arborés et asylvatiques ; son échelle est celle des écosystèmes qu'il sépare ; elle peut ainsi être locale, régionale jusqu'au cadre continental (ARNO et HAMMERLY, 1985 ; GOSZ, 1993 ; OZENDA, 1997 ; HOLTMEIER et BROLL, 2005 ; HOLTMEIER, 2009). Sur le terrain, cela se manifeste par une diminution simultanée de la densité du peuplement arboré et de la taille des arbres, lesquels adoptent des formes trapues dont les individus présentent, dans leur partie basse, des troncs et des branches de grandes tailles (plus épais et plus actifs). Ceci se voit plus nettement chez les conifères en raison de leur croissance monopodiale. La croissance apicale de leurs pousses est en effet de plus en plus retardée à mesure que les arbres grandissent et n'arrivent plus à développer que de courtes branches, alors que la croissance en épaisseur s'en trouve beaucoup moins affectée, comme l'a montré KÖRNER (2012). En effet, déjà affaibli, l'arbre ne lutte plus que pour sa survie : il n'arrive plus à produire assez de lignine indispensable à sa croissance par suite du raccourcissement excessif de la saison de végétation (FRITTS, 1976) pour des raisons là aussi écophysiologicals (KÖRNER, 2012 ; LENZ, 1967 ; RICHARDSON et FRIEDLAND, 2009 ; SLATYER et NOBLE, 1992 ; TRANQUILLINI, 1979 ; WIESER et TAUSZ, 2007). C'est ce qui a valu au descripteur « hauteur des arbres » d'être également utilisé comme critère dans les essais de caractérisation de la limite supraforestière (cf. *infra*). Rappelons à ce titre qu'un « arbre » se définit dans les montagnes tempérées comme une plante ligneuse verticale avec une tige dominante qui atteint une hauteur d'au moins 3 m, indépendamment du fait que la reproduction se produit ou non (cela ne ferait guère de différence si la limite conventionnelle était > 2 m). Le rôle de la neige est dans ce cas primordial puisque au-dessus de ces limites l'arbre subit de plein fouet les rudes conditions climatiques hivernales, tandis qu'en dessous les petits individus sont assez bien protégés par la couverture neigeuse (KÖRNER, 2012 ; HOLTMEIER, 2009).

D'autre part, dans cette *upper timberline*, les arbres sont souvent endommagés en raison des conditions écologiques sévères fréquentes de plus en plus défavorables qui s'y produisent (gel, sols gelés au moins temporairement, bancs de neige profonds, mouvement de la neige, etc.). Ces perturbations affectent, de diverses manières, l'appareil végétatif aérien de l'arbre (feuillage, bourgeons, tiges). Quand ils récupèrent, les arbres réagissent différemment, donnant lieu à des formes variées de croissance. En sorte que cet écotone supraforestier est souvent bordé à sa partie supérieure par une frange d'arbres ou d'arbustes déformés et/ou rabougris et plus ou moins couchés.

Bien que plusieurs types de formes de croissance, causées par le vent et la neige ainsi que par des facteurs biotiques et autres, aient été décrits pour divers arbres et abondamment illustrés dans de nombreux travaux réalisés à différentes latitudes et altitudes, en particulier dans l'hémisphère Nord (DOLUKHANOV, 1978 ; HOLTMEIER, 1980, 1981 et 1984 ; LENZ, 1967 ; NORTON et SCHÖNENBERGER, 1984 ; SCOTT *et al.*, 1987 ; YOSHINO, 1973), il n'en est plus tout à fait ainsi dans les deux massifs montagneux étudiés ici où ce type d'arbres est quasi inexistant ; seuls quelques rares individus de cèdre présentent en effet une forme naine à port compact avec un haut degré de ramification centripète et un port en drapeau, avant d'être remplacé complètement par

les xérophytes épineux dans l'écotone supraforestier, à hauteur de la maison forestière de Mitkane, alors que dans d'autres endroits il développe des formes colonnaires qui interceptent de faibles quantités de neige.

À ces caractéristiques pourraient encore s'ajouter, à moyenne échelle, des contraintes liées à des phénomènes géomorphologiques et l'appréciation de ce facteur pourrait se faire dans le même esprit que ci-dessus en prenant le type de substrat comme critère de reconnaissance de la base de l'étage de haute montagne (KARTE, 1983 ; RHANEM, 2010). Celle-ci varie à l'échelle locale en fonction des conditions du site : exposition, commandement des versants, effet de domination, lithologie (déterminant par exemple les types d'éboulis) ; qui influencent effectivement l'expression des formes (WHITE, 1981 ; MULLENBACH, 2000 ; RESLER, 2006 ; TREML, 2007 ; BUTLER *et al.*, 2007 et 2009). Constituant sans doute le trait majeur de la morphologie périglaciaire le plus directement visible dans le paysage, les éboulis se révèlent alors d'un précieux secours pour la délimitation de la limite supraforestière (RHANEM, 2010).

Pour importantes qu'elles soient, ces particularités d'ordres bio-écophysologique et géomorphologique rapidement ébauchés ne sont cependant pas seules à avoir été utilisées dans la caractérisation de la limite supraforestière. Ainsi, certains travaux mettent en corrélation son emplacement avec des isothermes ou d'autres limites altitudinales, comme par exemple la *snowline* (RHANEM, 2012a et b).

À cet égard, la température moyenne du mois le plus chaud, et plus spécialement l'isotherme + 10 °C de juillet, qui équivaut à une moyenne annuelle voisine de - 1 °C, est le plus souvent retenu (ARNO et HAMMERLY, 1984 ; DOLUKHANOV, 1978 ; OZENDA, 2002) car, selon ces auteurs, c'est la quantité de chaleur reçue pendant la saison végétative, beaucoup plus que la clémence de l'hiver, qui conditionne la croissance végétale de l'arbre. En revanche, dans nos hautes montagnes méditerranéennes du Haut et Moyen Atlas, c'est plutôt la moyenne des minima du mois le plus froid représenté par l'isotherme - 6 °C ou encore la température moyenne annuelle (isotherme 4 °C) qui sont les plus couramment utilisés pour marquer la limite supérieure de la forêt (voir par exemple RHANEM, 2008). Toutefois, ces seuils thermiques doivent être probablement différents, à peu de choses près, selon que l'on considère *Cedrus atlantica* ou *Juniperus thurifera*.

Du point de vue physiologique, la plupart des définitions se réfèrent à une certaine hauteur des arbres ayant des tiges ligneuses et dressées (par opposition aux arbres rabougris ou à port prostré que l'on trouve à la limite extrême de la *timberline* supérieure) ou à un seuil minimum de couvert arboré. Les valeurs généralement adoptées s'échelonnent entre 2 à 8 m et 30 à 40 % respectivement dans la mesure où différentes espèces d'arbres sont concernées. D'autres, par contre, considèrent la forêt comme une forêt fermée si la distance moyenne entre les arbres ne dépasse pas 30 m (HOLTMEIER, 2009).

Devant une telle diversité, nous préférons ne recourir à aucun critère absolu de hauteur minimum, comme l'a fait HOLTMEIER (2009). Appliqué aux cas qui nous intéressent ici, un cèdre ou un thurifère, pour ne citer que ces deux espèces que l'on rencontre le plus souvent dans les écotones supraforestiers de nos hautes montagnes, ne devraient être considérés comme des arbres que lorsqu'ils dépassent le niveau moyen caractéristique du manteau neigeux qui recouvre annuellement le site considéré. En effet, les formes de ces arbres, qu'elles soient rampantes ou rabougries, dépendent étroitement de l'épaisseur de la couverture neigeuse annuelle, car toutes les parties de ces plantes dépassant la neige subissent des dommages. Autrement dit, ces deux espèces, comme beaucoup d'autres essences dont notamment *Juniperus communis*, *Berberis hispanica*, *Ribes uva-crispa* et *Buxus balearica*, n'arrivent à se maintenir sous forme rampante ou buissonnante que parce qu'elles se trouvent ainsi abritées par la neige. Ces formes de croissance garantissent par ailleurs de moindres perturbations mécaniques.

Cette grande variété dans l'hétérogénéité physiologique et écologique des *timberlines* de montagne se reflètent également dans les termes utilisés dans la terminologie pour les différencier les unes des autres. Ainsi, certaines font seulement référence à l'emplacement altitudinal de la *timberline* (limite supra- ou infraforestière) ; d'autres se réfèrent au facteur écologique le plus déterminant ou à un complexe de facteurs (climatique, orographique et anthropique) ou font encore appel à la fois à l'emplacement et aux causes. Ainsi, par exemple, les *timberlines* supérieures et septentrionales sont dues généralement à un déficit de chaleur combiné assez souvent à l'action du vent, alors que les *timberlines* maritimes sont causées par des vents forts et des embruns qui nuisent à la croissance des arbres au bord de la mer ; la *timberline* maritime est également une limite forestière inférieure. En montagne, celle-ci ne doit cependant pas être confondue avec un climat maritime. En outre, la *timberline* continentale est une limite infraforestière qui borde la steppe (RHANEM, 2012a). Elle est aussi appelée *timberline* sèche car elle est déterminée par l'humidité insuffisante.

Parfois, dans les vallées de montagne mal ventilées, se produisent de fréquentes stagnations d'air froid sur le fond et l'on peut observer un autre type de *timberline* inférieure dite limite forestière inversée. Cette dernière est essentiellement causée par le gel qui sévit dans les plus basses couches du lac d'air froid (RHANEM, 2012).

Outre le climat, de nombreux autres facteurs tels que la raideur des parois rocheuses, la présence de cônes et/ou de talus d'éboulis et de couloirs d'avalanche peuvent empêcher la forêt d'atteindre sa limite climatique supérieure (HOLTMEIER, 2009 ; MULLENBACH, 2000). Il s'agit de *timberlines* géomorphologiques. Celles-ci, comme cela est également vrai pour les *timberlines* anthropiques causées par l'homme, se trouvent toujours en dessous de l'altitude que la forêt aurait normalement pu atteindre s'il n'y avait pas ces contraintes. Rappelons que l'action du vent peut également contribuer à abaisser ces limites sur les crêtes des massifs.

Notons enfin que les différentes définitions des limites supérieures de la forêt évoquées ci-dessus souffrent toutes du fait que la localisation d'une frontière naturelle est en principe difficile à circonscrire, alors qu'elle n'est souvent déterminée que par des conventions pragmatiques (ARMAND, 1992). Il est donc normal qu'il soit difficile de lui associer une définition précise, surtout que chacun des spécialistes que nous sommes dans notre discipline a tendance à généraliser à partir d'un champ d'expérience obligatoirement partiel. C'est d'ailleurs dans ce simple constat de bon sens, applicable à bien d'autres sujets que celui qui nous interpelle ici, que réside toute la difficulté de vouloir faire une classification des « types d'*upper timberline* ».

Bien que la littérature supraforestière s'en soit moins fait l'écho que dans le cas des *timberlines* supérieures d'Europe et d'ailleurs, au Maroc, EMBERGER (1938 et 1939) ne fait que la survoler en y faisant furtivement allusion lorsqu'il suggère la limite supérieure des arbres (dont l'altitude oscille entre 2 800-2 900 m et 3 100-3 200 m) comme seuil minimal à partir duquel débute l'étage de haute montagne. Si tel est le cas par exemple sur le massif du Toubkal (4 165 m) dans le Haut Atlas occidental, il n'en est pas ainsi dans le reste des hauts massifs montagneux marocains. Aussi, dans ce qui suit, nous essayerons d'en établir les grands contours pour les cas envisagés dans cet article.

Pour atteindre cet objectif, nous adopterons la définition suivante : « l'écotone supraforestier est la plus haute bande de terrain qui contient encore des arbres, lesquels forment une mosaïque d'arbres individuels, de bouquets d'arbres et de xérophytes



Photo 9. Ensemlement de Takhamt-n-Bou Ifsr colonisé par une végétation diffuse abritant plusieurs populations denses de Genévrier commun. Dispersées irrégulièrement dans le sous-bois de la cédraie, elles couvrent toutes les pentes et occupent presque toutes les altitudes d'expositions nord à nord-est depuis le bas de versant aux abords supérieurs du cône de déjection jusqu'au pied de l'escarpement calcaire le surmontant. Cet espace confiné est parcouru de petits chenaux d'écoulement plus ou moins parallèles et profonds, en particulier à sa base, qui constituent sans doute une ébauche d'un réseau hydrographique embryonnaire. [M. RHANEM, 16/09/2014].

épineux et/ou des ligneux bas ». Elle s'étend donc de la limite inférieure de peuplements arborés clairsemés, où les arbres sont régulièrement espacés, jusqu'à la plus haute altitude à laquelle les arbres peuvent arriver, y compris leurs formes prostrées. Elle correspond grossièrement à la tranche d'altitude s'échelonnant entre 2 300 et 2 600 m. Toutefois, comme évoqué ci-dessus, cette amplitude peut varier légèrement en fonction des caractéristiques propres à chaque massif montagneux. Mais, sur les deux hauts massifs montagneux abordés, le dénivelé et la latitude sont vraisemblablement les deux principales variables qui influencent l'altitude de cet écotone supraforestier, lequel est plus étendu vers le haut d'une centaine de mètres sur le Tafrant-Taghrouit par rapport à celui observé sur le Tichchoukt, plus au nord, le premier étant par ailleurs caractérisé par un plus grand dénivelé.

À l'intérieur de cette *upper timberline*, correspondant à l'interface nivéo-périglacière des étages oroméditerranéen et du monitiméditerranéen, on distingue traditionnellement de bas vers le haut les subdivisions suivantes :

- une portion de terrain représentant la limite forestière proprement dite et qui marque la lisière externe de la forêt, aux arbres relativement serrés ;
- une bande de transition d'étendue variable, au-delà de la limite forestière, comprenant des peuplements arborés lâches où les arbres sont clairsemés et en taches plus ou moins discontinues. Elle s'étend en altitude jusqu'à la limite des arbres (*treeline*) qui correspond aux avant-postes où l'essence considérée conserve encore sa forme arborée spécifique ;
- une frange connue habituellement sous l'expression de « zone de combat » où les arbres se présentent plutôt sous des ports nanifiés plus ou moins rampants. De telles formes rabougries constituent par ailleurs les ultimes avant-postes au-delà desquels commence l'étage asylvatique proprement dit. Il s'agit là non d'arbres proprement dits, mais de nanophanérophyles buissonnants, souvent stériles, balisant l'extension extrême de la population locale de l'espèce arborée en altitude, limite absolue que les auteurs anglo-saxons nomment *tree-species*.

Ces limites varient souvent conjointement suivant la topographie. Cependant, l'existence sur les deux monts de gradients locaux de température plus prononcés en raison des pentes raides provoque le télescopage des étages de végétation le long des ubacs, de sorte que la limite supraforestière est quasi brutale. Il en découle que la limite supérieure de l'arbre ou *upper treeline* est suivie de près par celle de l'arbre isolé (un peu supérieure).

D'autre part, la présence en haute altitude de peuplements clairsemés composés pour la plupart de très grands individus de cèdres à cime en forme de table (ou « nid de cigogne ») contraste avec les peuplements fermés de l'horizon inférieur adjacent, constitués en majorité de jeunes cèdres à cime en flèche bien fournie. Aussi, nous proposons de faire débiter l'écotone supraforestier avec la limite inférieure de ces vieux cèdres, laquelle est d'ailleurs très nette quand on regarde de face l'ubac de

Tafrant-Taghrout.

À ce niveau, le Genévrier commun ne forme plus que des touffes lâches très éparées strictement limitées (Figures 2 et 3) ; en revanche l'importance d'une part de *Berberis hispanica* et *Ribes uva-crispa*, dans le Tafrant-Taghrout et, d'autre part de *Buxus balearica* dans le Tichchoukt est relativement plus grande que dans l'étage de haute montagne et leur rôle physiologique est considérable en raison de la place plus réduite des arbres et de leurs amplitudes écologiques différentes. Par conséquent, ces espèces, aux caractéristiques complémentaires dans l'aire où elles cohabitent, peuvent se remplacer mutuellement, compte tenu de niches plus larges ou mieux adaptées aux nouvelles conditions locales de certaines d'entre elles, de sorte que la faible vitalité d'une espèce expose celle-ci à la concurrence d'autres espèces plus vigoureuses. Notons toutefois que la concurrence entre ces espèces ne peut pas jouer de la même façon que dans le cas d'un sol stabilisé.

Enfin, outre la figuration originale qu'impriment ces taches de Genévrier rampant au paysage de haute montagne du Tafrant-Taghrout et l'intérêt qu'elles peuvent susciter d'un point de vue phytogéographique, écologique mais aussi patrimonial, elles peuvent localement constituer, dans l'écotone supraforestier sur éboulis calcaires, enrobés ou non de limons bruns, un foyer dynamique pour l'installation et l'extension en altitude du cèdre de l'Atlas en offrant aux plantules :

- un milieu ponctuellement plus stable, en marge des phénomènes périglaciaires en grande partie responsables de la dynamique descendante des éboulis (stabilisateur) ;
 - un milieu remarquablement agencé pour éviter l'ensevelissement et pour limiter l'érosion (fixateur) ;
 - un milieu où la compétition interspécifique fait qu'il n'est abondant que dans un créneau de disponibilité en eau relativement étroit, matérialisé par des conditions topoclimatiques et édaphiques plus favorables que dans les zones adjacentes ;
 - un milieu susceptible de pourvoir de façon satisfaisante à leur alimentation hydrique en raison de sa teneur élevée en terre fine que recouvre une nappe de pierres, ce qui a pour corollaire de limiter les effets de l'évaporation par grand vent ou lors des vagues de chaleur estivales ;
 - un milieu capable, au vu de sa longévité et de son haut potentiel de production de litière, d'édifier un véritable sol sous son couvert et de leur apporter la matière organique liée à la décomposition de sa couverture morte (édificateur) ;
 - un milieu meuble et donc plus accessible à la pénétration sans trop de difficultés des racines ;
- un milieu qui les soustrait du piétinement et de la dent du troupeau ovin et caprin, en raison de l'effet nurserie ;
- un milieu qui, par son ombrage, d'une part atténue la sécheresse en entretenant une humidité quasi permanente et d'autre part leur évite les chocs thermiques.

D. Milieux forestiers

1. Le Genévrier commun, organisation dans la nouvelle localité de « Takhamt-n-Bou Ifsr »

1.1. Situation géographique et contexte géomorphologique

L'existence de ce site (Photo 9), certes très limité sur le plan géographique, n'est connue que depuis peu (RHANEM, 2013). Depuis, nous avons eu l'occasion de le revisiter. D'importantes données nouvelles ont pu être recueillies qui sont différentes de celles récemment décrites dans le travail précité.

Ressemblant à s'y méprendre à la grande niche de nivation d'Agouni-Aït-Mguild, si ce n'était la présence d'arbres et la position en moyenne altitude, cette localité se présente elle aussi sous la forme d'un amphithéâtre largement ouvert vers le NE et limité au sommet et sur les côtés par des escarpements calcaires. Son point culminant se trouve seulement à 2 486 m, tandis que le pied, à 2 146 m d'altitude, est longé par l'asif (oued) de Takhamt-n-Oumchat, l'un des bras de la haute Moulouya, lequel se déverse vers le nord dans la plaine alluviale d'Imtchimène. D'une surface très modeste de 300 x 300 m² environ, cet hémicycle évasé s'étend sur les contreforts de la chaîne axiale sur la rive gauche de l'asif précité, à l'aval du haut vallon de Takhamt-n-Oumchat dont les versants sont extrêmement escarpés. Les substrats calcaires du Jurassique prédominent dans tout l'ensemble. Celui-ci est toutefois modelé dans deux terrains sédimentaires de dureté assez contrastée (calcaires compacts et marno-calcaires).

Bien qu'à peine représenté et seulement d'une manière très isolée à la faveur d'une situation topographique très particulière qui y entretient une humidité favorable au Genévrier commun, cet ensemencement assez fréquemment brumeux constitue néanmoins un maillon intéressant dans le massif de l'Ayachi *sensu lato* puisqu'il abrite un petit ensemble forestier sans équivalent où le cèdre de l'Atlas en est l'élément physiologique principal. Sa composition rappelle à bien des égards celle des cédraies les plus répandues dans la région (RHANEM, 2010), mais enrichie d'un cortège buissonnant assez important qui accompagne en sous-bois le cèdre, essentiellement *J. communis*, si abondant partout et pratiquement dominant sur le reste du lot à travers l'ensemble de la zone et si caractéristique qu'il forme un complexe physiologique inexistant ailleurs au Maroc.

Dans cet espace montagneux relativement confiné, cette petite cédraie a donc un cachet particulier par la présence de *J. communis* lequel se trouve à la limite sud-occidentale de son aire locale, correspondant sensiblement au méridien 4° 59' et au parallèle 32° 30' (Figure 2). Ailleurs au Maroc, dans l'aire générale de l'espèce, il n'est connu sous couvert forestier que d'un ensemble de stations périphériques disséminées sporadiquement. Tel est par exemple le cas sur le chaînon du Tichchoukt où il est très rare.

En fait, sa présence dans le site considéré ici correspond à un fragment d'une aire beaucoup plus vaste dans laquelle le Genévrier commun montre une extension remarquable. Légèrement décalée vers le SO, cette aire disjointe n'est distante à vol d'oiseau de la partie principale que de 2 km (Figure 2) ; elle lui confère par conséquent un intérêt botanique certain. Son intérêt géomorphologique n'est pas moindre : la multiplicité des dépôts de pentes hérités (colluvions fines et/ou pierreuses) observée sur l'ensemble des zones concaves (les parties concaves correspondent plutôt aux zones d'ablation) est particulièrement remarquable ; elle est à l'origine de modelés favorables ou non à l'installation et au développement du Genévrier commun.

Il convient aussi d'insister, à propos de ce dernier point, sur le fait que le ravinement y est notamment très intense, consécutif aux averses orageuses estivales (précipitations intenses et de courtes durées) qui se concentrent très rapidement dans la multitude de micro-bassins versants à forte pente le jalonnant d'un peu partout et par suite augmentent la puissance d'érosion des crues torrentielles comme l'ont montré MERZ et BLÖSCHL (2003). Son action, qui se manifeste encore à l'occasion de crues sporadiques, peut être appréciée en de nombreux points, par la présence de sillons assez profonds, débouchant vers le NE en dessinant de petits cônes de déjection. Toutefois leur étalement vers le bas est tronqué par la décharge plus importante en graviers torrentiels déposés dans le lit de la profonde entaille du haut vallon de Takhamt-n-Oumchat orienté NO-SE. Ce dernier

marque de façon tranchée la limite sud-occidentale de ce chaînon créée par l'existence de reliefs tombant brusquement dans le fond du vallon précité.

1.2. Morphologie et écologie du Genévrier commun

Dans ce secteur nouvellement catalogué, parmi tous les phénomènes singuliers qui ont été exposés plus haut, l'aspect le plus original est l'existence d'un important développement de *J. communis* en pleine forêt. Il est à cet égard le seul ensemble forestier où le Genévrier commun tient une place des plus remarquables en dehors de celle qu'il occupe dans le paysage asylvatique du haut ubac de Tafrant-Taghrout. Notons qu'à l'exception de quelques écotones supraforestiers reportés sur la figure 2 *J. communis* fait défaut dans le sous-bois des cédraies à *Cedrus atlantica* qui couvrent d'un seul tenant toutes les pentes inférieures attenantes à l'étage oroméditerranéen. Par contre, les deux arbustes caducifoliés considérés, *Berberis hispanica* et *Ribes uva-crispa*, sont caractérisés par leur constance presque partout dans le sous-bois. Toutefois, bien qu'ils s'y maintiennent du bas-versant jusqu'au pied de l'escarpement rocheux, la comparaison de leurs aires respectives, déjà mentionnée précédemment, montre qu'ils sont des aires complémentaires.

Aussi, la situation dans le site de Takhamt-n-Bou Ifsr se présente-elle différemment de celles rencontrées en milieu forestier sur le chaînon de Tafrant-Taghrout. Par suite probablement d'un total de précipitations et d'un régime thermique différents, peut-être plus encore, par l'étendue des éboulis constamment remaniés par l'érosion que les graines de *J. communis* trouvent à leur disposition, c'est le substrat préférentiel mais non exclusif sur lequel il est susceptible de se retrouver.

Il est donc possible que la topographie et la géomorphologie de ce site, reproduisant en plus modeste les conditions des dépressions sommitales de l'ubac de Tafrant-Taghrout, soient à l'origine de ce curieux développement du Genévrier commun et de son abondance sur l'ensemble du pourtour de l'ensellement considéré, qui sont une des originalités du secteur de Takhamt-n-Bou Ifsr.

L'aire, ainsi précisée, montre que le Genévrier commun affectionne une région relativement humide à très humide, épousant essentiellement la courbure formée par le Tafrant-Taghrout et son épaulement occidental.

De prime abord, l'instabilité des éboulis et la raideur des pentes de ce site paraissent donc être les deux facteurs écologiques qui favorisent l'embroussaillage rapide du sous-bois par *J. communis* en raison de sa puissance de colonisation. Il en est de même de *B. hispanica* et *R. uva-crispa*. Néanmoins, contrairement à ce que l'on pourrait penser, ce lot de buissons pionniers persiste pour l'essentiel comme cortège permanent.

Par ailleurs, un examen plus attentif montre aussi que les principaux facteurs qui interviennent dans leur répartition semblent devoir être la pente, le type de dépôt et leur richesse en éléments fins, notamment en limons et argiles, et surtout leur bilan hydrique. C'est ce qui ressort de nos observations. Une autre différence réside dans le fait que, si au niveau de son aire supraforestière oroméditerranéenne, où les arbres sont totalement absents, *J. communis* ne forme, comme dans presque tous les secteurs étudiés jusqu'à présent, que des touffes monospécifiques quasiment pures sous forme de placages s'étalant largement à la surface du sol, en revanche, dans cette zone couverte principalement par le cèdre, le fait le plus remarquable semble être qu'en règle générale les touffes sont hétérogènes, juxtaposant *J. communis* à d'autres buissons épineux, le plus souvent avec *B. hispanica* et *R. uva-crispa*. De plus, ces touffes, généralement denses et de belle venue, sont plus ramassées et plus hautes ; elles s'organisent en plages plus ou moins espacées et dominent largement dans le sous-bois de la cédraie qui fait de ce site, nous l'avons vu, l'un des plus originaux parmi les séries de l'espace atlasique. C'est d'ailleurs dans ce site qu'elles sont les mieux développées et que se situe leur optimum écologique.

Il convient aussi de souligner un phénomène particulièrement net mais se retrouvant, en fait, dans toutes les autres stations. Il s'agit du fait que le Genévrier commun montre dans cet ensemble forestier un grand dynamisme sur de courtes distances, car il se rencontre sur des pentes plus ou moins raides non seulement de fins éboulis riches en terre fine des marno-calcaires et d'éboulis pierreux plus mouvants, mais également sur des affleurements de calcaires diaclasés à à peine 300 m d'altitude en contrebas d'un crêt de calcaire plus compact qui alimente les éboulis en éléments grossiers.

Dans ce paysage forestier inédit où la strate arborée est dominée par *C. atlantica*, le peuplement est fortement dégradé, présentant des cèdres en mauvais état qui ont probablement subi une exploitation forestière abusive. Il a par ailleurs peu d'ampleur et la hauteur des individus relativement jeunes mais très peu vigoureux y dépasse rarement 15 m ; ce qui est très important, c'est que le recouvrement buissonnant dépassant toujours le recouvrement arborescent ; ce dernier n'excède qu'exceptionnellement 10 % pour n'atteindre parfois que 5 %, alors que les buissons épineux ont la plupart du temps un recouvrement de 30 à 40 %.

Les autres arbres associés au cèdre sont limités à quelques thurifères (*Juniperus thurifera* L.), amélanchiers (*Amelanchier ovalis* L.) et érables (*Acer monspessulanum* L.) vers la limite supérieure et à de rares pieds d'alisiers (*Sorbus aria* L.) accrochés au rebord des escarpements calcaires ; le Chêne vert (*Quercus ilex* L.) y est rare, il se cantonne de préférence aux pentes d'exposition est à différentes altitudes. En revanche, la strate buissonnante est relativement plus riche ; on y trouve une flore typiquement montagnarde, la plus significative au point de vue écologique. Outre la présence de *Berberis hispanica* et *Ribes uva-crispa*, indicateurs de biotopes frais et humides, des espèces telles que *Prunus prostrata* Labill., *Alyssum spinosum* L., *Bupleurum spinosum* L., *Astragalus ibrahimianus* Maire, *Erinacea anthyllis* Link, *Cytisus oromediterraneus* Rivas Mart. et al. (= *Cytisus purgans* (L.) Benth.), *Arenaria pungens* Clem. ex Lag., *Artemisia mesatlantica* Maire traduisent un climat plutôt froid et plus humide. Avec un taux de recouvrement plus élevé, ces espèces existent en mélange et sont les plus fréquentes et abondantes.

Cette cédraie à sous-bois agrégatif, d'une apparente homogénéité, présente en réalité des variations locales. Un examen plus poussé montre surtout que la végétation se modifie du bas vers le haut, ce qui se manifeste notamment par l'importance relative et la forme des touffes de Genévrier commun et du cèdre. En effet, le gradient écologique extrêmement rapide, en liaison avec la forte déclivité, l'altitude et les données géopédologiques, détermine la succession de trois groupements bien distincts télescopés dans une bande étroite, de sorte qu'on passe presque sans transition de l'un à l'autre ; ils correspondent plus ou moins à trois niveaux altitudinaux qui peuvent être présentés comme suit.

Tout d'abord, entre 2 200 et 2 300 m, légèrement au dessus de la limite inférieure des arbres, on observe un peuplement lâche de cèdres. Dans ces parties basses concaves (Photo 10) bien alimentées par le ruissellement et les eaux de fonte, le sous-bois clairsemé est particulièrement riche en touffes de *B. hispanica* intriquées avec *R. uva-crispa* qui sont plus nombreuses par leur nombre, par leur importance physiologique et surtout dynamique. D'ailleurs *B. hispanica* descend encore plus bas en lisière

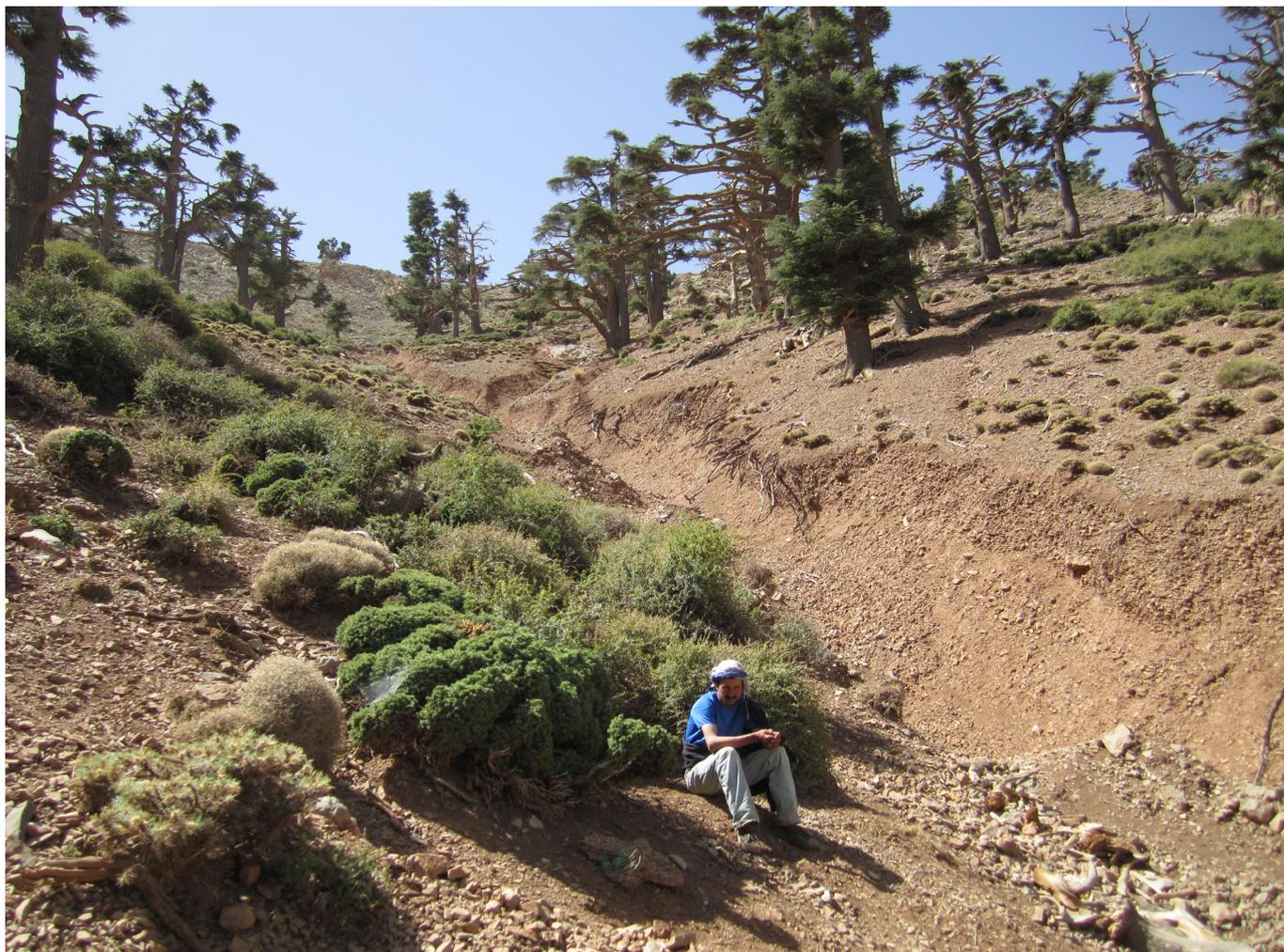


Photo 10. Cédraie lâche agrégative de bas de pente concave à *J. communis*, *B. hispanica* et *R. uva-crispa* sur éboulis lités très épais ; la coupe naturelle du ravin le prouve nettement. D'autre part, si le cèdre de l'Atlas est favorisé sur presque l'ensemble du versant par ces accumulations fortement mêlées de gravillons et de limons descendus de plus haut, en revanche l'intensité du ravinement y est telle qu'à très court terme leur dépérissement est à craindre en raison de la mise à nu de leurs racines et de la destruction fort probable de leurs complexes mycorhiziens. [M. RHANEM, 16/08/2014].

de la cédraie à la faveur d'un épandage de graviers torrentiels.

Ces deux arbustes caducifoliés épineux sont déjà présents dans les cédraies de l'ubac de Tafrant-Taghrouit, mais dans ce site les plages, constituées par ces deux espèces juxtaposées en mosaïque, s'enrichissent de *J. communis*, certes avec un faible recouvrement, alors qu'à côté on note, d'une façon générale, l'apparition d'autres espèces qui annoncent des bioclimats plus froids. Il s'agit notamment d'*Alyssum spinosum* et *Astragalus ibrahimianus*, représentés, comme *J. communis*, que par un petit nombre d'individus ; ces trois espèces se trouvent donc ici à leur limite altitudinale inférieure.

La pente de ces bas-versants ensellés atteint ou dépasse légèrement 25° et leur orientation va du nord-est au nord. Ils renferment surtout des cailloux calcaires hétérogènes, paraissant disposés en plusieurs couches d'épaisseur et de tailles variables, mais fortement mêlées de limons, le tout étant parfaitement stable, en profondeur du moins, depuis sans doute très longtemps. L'«éboulis» n'est ici en toute vraisemblance qu'une grèze assez bien litée. Le substrat est donc formé d'éboulis *sensu lato* de faibles dimensions comportant une proportion élevée de gravillons dont les interstices sont comblés d'un limon colluvial. D'aspect sec en surface, mais humide en profondeur, en liaison avec des suintements et une texture limoneuse, le substrat est filtrant, bien aéré et se prête à la pénétration des racines.

À partir de 2 300 m, la pente dépasse 30° alors que l'éboulis présente en surface un plus grand pourcentage de pierrailles et de blocs (Photo 11). Ayant la même exposition que la précédente, la cédraie est ici moins dégradée et offre une composition floristique plus riche. Elle est ainsi parsemée de quelques thurifères, amélanchiers et érables, alors le cortège floristique qui l'accompagne en sous-bois se maintient en s'enrichissant toutefois d'éléments plus montagnards. La composition s'écarte sensiblement de la formation précédente, par une présence plus importante de *J. communis* et, bien entendu, par l'enrichissement, au détriment de *B. hispanica* et *R. uva-crispa*, en xérophytes épineux qui forment le fond de la végétation d'une partie de l'étage oroméditerranéen. On y trouve en particulier, parfois juxtaposés en mosaïque, *Astragalus ibrahimianus*, *Alyssum spinosum*, *Bupleurum spinosum* et, plus rarement, *Arenaria pungens* et *Cytisus oromediterraneus*.

Aux altitudes plus élevées, précisément au-delà de 2 400 m jusqu'aux dernières crêtes, en moyenne vers 2 500 m d'altitude, la composition du sous-bois se modifie nettement sur les pentes de hauts-versants fortement déclives (35 à 40°) par l'apparition d'un contingent plus important de xérophytes épineux alors que les cèdres se raréfient de plus en plus au fur et à mesure que l'on monte en altitude. Quant aux touffes de *J. communis*, elles prennent une plus grande extension horizontale (Photo 12) et deviennent de plus en plus pures ou simplement mélangées à de rares pieds de *B. hispanica* ou *R. uva-crispa* où les deux à la fois, mais ne concurrençant guère la suprématie du Genévrier commun. En fait, floristiquement et écologiquement, on peut distinguer dans cet écotone supraforestier trois types de formations :



Photo 11. Cédraie clairsemée à *J. communis* sur éboulis pierreux. En fait, une observation attentive montre que seule une mince couche de pierrailles calcaires, mélangées à quelques graviers et ne renfermant que peu d'éléments terreux, s'observe en surface, de sorte qu'elle masque l'essentiel de l'« éboulis » lité visible sur la coupe naturelle du ravin. On peut deviner aussi à l'aval de ce ravin, en haut et au milieu du cliché, les graviers torrentiels déposés dans le lit de l'asif de Takhamt-n-Oumchat. [M. RHANEM, 16/08/2014].

- cédraie à touffes pures de *J. communis* sur pentes concaves drapées de colluvions épaisses (« éboulis » lités) au pied de cimes plus douces, lesquelles sont occupées par le thurifère,
- thuriféraie à touffes pures de *J. communis* sur pentes convexes abruptes et pierro-rocheuses,
- mosaïque de touffes intriquées à *J. communis* et *R. uva crispa* enclavées au milieu d'une alyssaie-astragalaie. Vers 2 500 m, à la limite supérieure de cette *upper timberline*, la végétation change complètement, ce qui se manifeste par la disparition du cèdre et du thurifère. Ce groupement s'étend sur le haut-versant raide (pente avoisinant 40°), en contrebas des surplombs rocheux calcaires. Sur ces talus, s'observent de véritables éboulis hétérogènes et fonctionnels. Ayant dégringolé de la petite falaise immédiatement au-dessus (Photo 12), ils sont de toute vraisemblance actuels et manifestent une intense action cryoclastique, sans doute hivernale.

Cependant, comme dans les cas précédents, le dénivelé des pentes et l'altitude relativement modeste de cet ensellement laissent peu de place au développement de ce type de peuplement qui occupe seulement la partie terminale des sommets principaux où les arbres sont donc éliminés. Seul subsistent sur les parois rocheuses quelques pieds isolés de *Sorbus aria* (Photo 12). La localisation de ce groupement rupicole est due, c'est incontestable, à la géomorphologie et à la topographie.

À cet égard, si l'on examine les résultats d'ensemble de nos observations précédentes, on ne peut manquer d'être frappé par un fait : les colluvions épaisses et relativement riches en éléments fins (particules minérales de diamètre inférieur à 2 mm) sont propices à l'installation de *J. communis*, *B. hispanica* et *R. uva-crispa* alors que celles qui sont superficielles ou éventuellement caillouteuses et graveleuses constituent aussi un milieu favorable à leur mise en place. Mais elles peuvent aussi très bien se développer sur des substrats rocheux diaclasés ou très pierreux, à condition qu'entre les cailloux et les graviers existe un réseau continu de terre fine nécessaire à la croissance des racines en profondeur. Ainsi, ce qui importe le plus pour ces trois espèces, c'est de pouvoir disposer d'un volume de terre suffisant pour y trouver en période de sécheresse au moins un minimum vital d'eau disponible.

Enfin, à l'intérieur de chacun de ces types de peuplements très clairsemés, on peut déterminer des faciès locaux par la variété édaphique.



Photo 12. Éboulis grossiers colonisés de taches hétérogènes de *J. communis* en mosaïque avec une alyssaie-astragalaie sur pentes de hauts-versants fortement déclives. Le gel débite les roches mises à nu et nourrit, par gravité, les dépôts riches en gélifractions au pied de l'escarpement. Au contact du changement topographique, la corniche calcaire héberge *S. aria*. [Cliché : M. RHANEM, 16/08/2014].

2. Les fruticées caducifoliées à *Ribes uva-crispa* et *Berberis hispanica*

En dehors du site de Takhamt-n-Bou Ifsr, si *R. uva-crispa* et *B. hispanica* occupent une place importante dans le sous-bois de la cédraie en s'installant surtout sur des dépôts colluviaux plus ou moins profonds à sol brun forestier sur des pentes fortes de versant nord très arrosées, elles peuvent aussi constituer par endroits des fruticées linéaires en enclave dans le domaine des cédraies du montagnard méditerranéen. Ces formations buissonnantes, floristiquement et écologiquement assez différentes les unes des autres, se trouvent sous forme de groupements spécialisés qui, de par leur recouvrement et leurs caractères bioécologiques, se rattachent à des conditions édapho-topoclimatiques de confinement, de froid et d'humidité particulières. Fréquentes dans les ravins, elles présentent par ailleurs une forte hétérogénéité des conditions stationnelles, liée à la variabilité des types de ravins, de leur profondeur, de la raideur de la pente, de l'altitude, de la nature des éboulis, de leur granulométrie ou encore du climat local.

La plupart étant des groupements franchement hygrophiles, on les rencontre surtout dans le secteur de mi-versant de l'ubac de Tafrant-Taghrouit. De façon générale, ces deux espèces classiques de la cédraie colonisent les pentes raides et les fonds de ravins ; elles se développent sur un substrat rocaillieux encombré de blocs éboulés chaotiques de toute taille. Néanmoins, la ribésiaie à *R. uva-crispa* a son optimum écologique entre 2 300 et 2 500 m d'altitude, et même légèrement au-dessus, alors que la berbéridaie à *B. hispanica* se localise de préférence dans la tranche altitudinale 2 100-2 300 m, mais elle descend souvent dans les vallons humides et les stations fraîches de l'étage méditerranéen supérieur, jusqu'à 2 000 m ; c'est le cas par exemple au débouché de l'aqqa-n-Ijimi où une fruticée pure ou en mélange avec *Buxus balearica* de très belle venue colonise un épandage faiblement incliné de graviers torrentiels (Figure 2).

Ces biotopes jouissent de topo-climats ombreux, frais et humides, dont le réchauffement printanier est lent et tardif ; ils sont aussi probablement le siège en hiver d'une circulation d'air froid descendant. Par ailleurs, la neige y fond moins, car les creux sont moins longtemps ensoleillés que les surfaces surincombantes plus ou moins fortement inclinées. De plus, en étant emprisonnée entre les blocs, la neige entretient longtemps ce climax édaphique stationnel.

Il convient enfin de noter que, dans ces ravins, *Cedrus atlantica* et *Quercus ilex* ont du mal à s'installer vraiment et à devenir concurrentiels du fait du substrat grossier, parfois mobile, des chutes de blocs et du climat froid à certaines époques de l'année (gelées tardives dues aux écoulements d'air froid...).

3. Les sites à *J. communis* sur le chaînon du Tichchoukt

Comme il a été dit plus haut, le Genévrier commun est très sporadique sur le Tichchoukt et n'y joue par conséquent qu'un rôle très accessoire. Quelques observations très fragmentaires ont été faites par EMBERGER (1938), qui sont difficilement exploitables par manque d'exhaustivité et qui ne permettent guère par ailleurs de se faire une idée précise de sa situation géographique. Elles ont toutefois servi de source d'informations de base et de pistes pour la recherche et l'exploration sur le terrain.



Photo 13. Station à 2 200 m d'exposition nord au relief calcaire inverse où les couches géologiques se présentent en strates subverticales non conformes, c'est-à-dire que le pendage des strates est oblique, parfois orthogonal, par rapport à la pente. Le Genévrier commun s'implante facilement le long des joints de stratification ainsi que dans les diaclases pour compenser le manque de sol, alors que l'altération et la fracturation des roches en place favorisent toujours l'introduction et l'ancrage de son système racinaire. Un tel biotope est inclus dans la chênaie-cédraie à *Buxus balearica* et *Fraxinus dimorpha* ; il couvre comme les deux autres une surface très étroite. Le Genévrier commun y est représenté par une quinzaine de petits touffes pures. [M. RHANEM, 12/05/2014].

Les coordonnées géographiques des sites de l'emplacement du Genévrier commun sont par conséquent inédites (Figure 3) ainsi que les caractéristiques floristico-écologiques des formations végétales auxquelles il participe. Nous en donnons ci-après un aperçu succinct dans les commentaires des photos 13, 14 et 15. Nous n'en avons trouvé nulle part mention dans les rares travaux botaniques ayant trait à ce chaînon.

Dans les très rares groupements arborés, dans lesquels on voit aussi apparaître *Buxus balearica* dans la strate arbustive, et qui relèvent tous de l'étage montagnard méditerranéen, d'une manière générale le Genévrier commun ne constitue que de très rares touffes, à faible nombre d'individus dans le sous-bois des cédraies de haute altitude clairsemées, ainsi que dans les cédraies-chênaies de niveau inférieur. Cependant, leur flore est assez souvent hétérogène comme on le verra plus en détail dans le paragraphe ci-dessous, mais la dominance du Buis des Baléares fait de ces groupements des unités bien tranchées du paysage. Ce caractère saillant, en plus de la présence beaucoup moins fréquente des deux arbustes caducifoliés considérés, les différencie donc nettement des cédraies de Tafrant-Taghrout et de Takhamt-n-Bou Ifsr, dans le massif de l'Ayachi.

4. La fruticée sempervirente à *B. balearica*

Présent sur les deux chaînons, *Buxus balearica* offre toutefois un développement spectaculaire dans la partie occidentale du revers septentrional du Tichchoukt où il s'étend pratiquement d'un seul tenant entre 1 800 et 2 500 m. C'est dire qu'il occupe le méditerranéen supérieur et le montagnard méditerranéen, en bioclimat semi-aride supérieur à humide. En revanche, sur le Tafrant-Taghrout, il est très peu disséminé (Figure 2).

Dans ces deux hauts reliefs montagneux, le Buis des Baléares s'y trouve aussi bien dans les stations sur talus d'éboulis de bas-versant que celles sur substrats pierro-terro-rocheux de haut-versant en passant par les creux de vallons et couloirs rocheux drapés de très gros blocs (plus de 2 m de grand axe) où la neige a tendance à fondre plus vite car le substrat s'échauffe plus.

En fait trois buxaias peuvent y être distinguées ; les deux premières se rencontrent à proximité de la retombée orientale du Tafrant-Taghrout (Figure 2), alors que la troisième est confinée à l'extrémité nord-occidentale du Tichchoukt, là où se trouve précisément le Genévrier commun (Figure 3). Elles correspondent à des biotopes aussi différents les uns des autres :

- le premier est sec, à pente moyennement forte d'exposition SE ; la fruticée est installée sur des sols rendzinifères très superficiels et caractérisés floristiquement par la présence d'*Ephedra major* Host ;
- le second est relativement plus humide ; la fruticée se développe sur un épais épandage de graviers torrentiels à pente faible caractérisé par la présence de *Berberis hispanica* pouvant devenir d'une très grande abondance ;



Photo 14. Cédraie-chênaie claire sur colluvions pierro-terreuses de bas de pente à 2 300 m d'altitude. Cette station correspond à la partie inférieure d'un versant de ravin marno-calcaire exposé au NO, à forte pente et à sol brun colluvial. Le sous-bois est constitué d'une mosaïque à *J. communis* et *Buxus balearica* dont le recouvrement avoisine 40 à 50 %. Cette station contient également un nombre appréciable de touffes de Genévrier commun. [RHANEM, 12/05/2014].

• le dernier caractérise les talwegs encaissés entre des versants pentus ou des pieds de falaise, généralement ombragés, sur sols calcaires avec pierrailles et blocs, avec un fort recouvrement de matériaux instables et un faible recouvrement de litière. On retrouve aussi ce type de buxaie pure dans les ravins profonds en pente faible ou en forte pente, alors soumis à des éboulements intermittents. Il convient à cet égard de noter que l'ébouilisation est aussi entretenue par des chutes sporadiques de pierres et de blocs sous l'action de la gravité, du gel/dégel, des effets de soutirage, de suffusion et des averses parfois brutales.

Ayant quasiment la même surface, les deux premiers faciès, distants de quelques dizaines de mètres, sont représentés presque aux mêmes altitudes, entre 2 000 et 2 050 m. Toutefois le second montre une vitalité et une vigueur les plus importantes de toutes les buxaies observées dont les individus dépassent largement 2 m de hauteur.

Cependant, comme on l'a évoqué ci-dessus, le Buis des Baléares entre aussi dans la composition de forêts mixtes en mélange avec le Cèdre et le Chêne vert, ainsi qu'avec le Frêne dimorphe et l'Érable de Montpellier.

Enfin, sur le chaînon du Tichchoukt, ce Buis s'introduit également dans un type de cédraie plus montagnard où il se rencontre non seulement avec le Cèdre, mais encore avec le Genévrier thurifère. À côté de ces hauts- et bas ligneux se retrouvent de nouvelles espèces propres aux milieux de haute altitude. C'est le cas de *Cytisus oromediterraneus* et *Erinacea anthyllis* qui sont susceptibles d'envahir et de recouvrir à la fois l'horizon supérieur du montagnard méditerranéen et l'oroméditerranéen.

VI. Critères et type de rareté du Genévrier commun au Maroc

Bien qu'une littérature abondante ait été consacrée à ce sujet (DRUDY, 1980 ; FIEDLER 1986 et 1995 ; FIEDLER et AHOUSE, 1992 ; STEBBINS, 1980), ce n'est que depuis quelque temps que les recherches concernant les espèces rares se sont multipliées, grâce d'une part au développement de la biologie de la conservation et d'autre part des nécessités de gestion de la diversité biologique. En effet, la rareté des espèces est un concept central en écologie des communautés et en biologie de la conservation, ces deux disciplines œuvrant activement à la description et à la gestion de la biodiversité (DOBSON *et al.*, 1995 ; FLATHER et SIEG, 2007 ; GASTON, 1994 ; KUNIN et GASTON, 1997 ; PÂRTEL *et al.*, 2005 ; RABINOWITZ, 1981 ; VELLAK *et al.*, 2009). En raison des menaces pesant sur cette biodiversité, pour l'essentiel d'origine anthropique (OOSTERMEIJER, 2003 ; WALKER, 2012), la rareté reste actuellement l'un des principaux indicateurs utilisés au niveau international pour évaluer les risques d'extinction des espèces (HARTLEY et KUNIN, 2003), bien qu'il n'existe ni définition ni méthode universelle pour la caractériser.

Le concept de rareté a plusieurs définitions d'usage courant, mais, dans le lexique de la biologie de la conservation, la rareté d'une espèce est basée bien souvent sur l'abondance et la taille de l'aire de répartition/d'occupation, avec divers pourcentages permettant de transposer les valeurs quantitatives en classes de rareté (GASTON, 1994 et 1997). Toutefois, selon REVEAL (1981), « la rareté est simplement l'état actuel d'un organisme existant qui (...) est limité soit en nombre, soit en occurrence spatiale à un niveau qui est manifestement moindre que la majorité des autres organismes des entités taxonomiques comparables ». En tant que tel et en dépit du caractère arbitraire de cette définition, elle a au moins l'avantage de représenter trois phénomènes différents : (i) les espèces rares peuvent être limitées dans la distribution, mais abondantes là où elles se trouvent, (ii) d'autres



Photo 15. À 2 450 m d'altitude, sur des éboulis de calcaires dolomitiques friables mêlés à une argile brune abondante jaune, *Daphne laureola*, *J. communis* et *R. uva-crispa* constituent du bas vers le haut une touffe, mélangés pied par pied et alignée en « marches d'escalier » dans le sens de la plus grande pente comme si chaque espèce se mettait à l'abri de celle située au-dessus. Leur enracinement, étendu et profond, contribue à fixer les éboulis de pentes raides de la tête de vallon d'exposition NO sur lesquels elles sont installées. Cette micro-station est incluse dans la cédraie de haute altitude très dégradée à Buis des Baléares et ne comprend qu'un seul Genévrier commun. On remarquera en arrière plan l'aspect buissonnant des nombreuses taches de *Buxus balearica*. [M. RHANEM, 12/05/2014].

taxons rares pourraient être plus répandus, mais jamais abondants ; (iii) enfin, les taxons rares sont souvent très localisés et représentés par seulement quelques individus. Ces derniers sont considérés comme les plus vulnérables à l'extinction en raison d'une plus grande probabilité de destruction de leur habitat.

Cependant, bien que la rareté d'une espèce ne signifie pas que l'espèce soit réellement menacée, il n'en reste pas moins que la connaissance des différents types de rareté est essentielle pour déterminer les modes de gestion et de conservation nécessaires pour prévenir l'extinction des espèces ou des disparitions localisées (HOLTHAUSEN et SIEG, 2007 ; LESICA et ALLENDORF, 1992 et 1995 ; REVEAL, 1981 ; SCHEMSKE *et al.*, 1994). Il est clair aussi que la fragmentation de l'aire de distribution de certaines espèces en subdivisant leurs populations peut avoir des conséquences néfastes pour le maintien de ces espèces. Cette fragmentation peut avoir une origine naturelle ; géologique, elle intéresse des pas de temps en millions d'années ; climatique (principalement liée aux glaciations), elle intéresse des pas de temps en dizaines de milliers d'années. Elle peut aussi avoir une origine anthropique, le phénomène se produisant alors très rapidement. L'action humaine joue aussi, et surtout, par la destruction directe des espèces et de leur habitat. En effet, dans certains cas, les espèces rares sont une conséquence directe des modifications des milieux naturels induites par l'activité humaine, laquelle aggrave les distributions déjà restreintes, réduit la densité des populations déjà faible et/ou décime et isole les populations d'espèces communes ou largement distribuées suite à la destruction de l'habitat (OOSTERMEIJER, 2003 ; WALKER, 2012). Il convient donc de faire la distinction entre les espèces qui sont naturellement rares et celles qui sont rares en raison des activités humaines (CODY, 1986 ; DE LANGE et NORTON, 1998).

Or la nécessité de préciser la notion de rareté et d'y mettre un contenu cohérent n'a été concrétisée qu'à partir de la fin du siècle dernier par RABINOWITZ (1981), SCHOENER (1987) et d'autres. Depuis, plusieurs indices ont vu le jour, utilisant des critères assez peu différents les uns des autres. Quatre critères principaux sont proposés et déclinés en différentes mesures : (i) l'abondance des espèces (*via* la taille des populations, par exemple, ou la densité d'individus ; KUNIN et GASTON, 1997), (ii) la distribution spatiale (rang géographique, aire d'occupation, fréquence locale ; GASTON, 1994), (iii) la spécialisation écologique (spécialisation à l'habitat ; RABINOWITZ, 1981 ; REY BENAYAS *et al.*, 1999) et (iv) la persistance des espèces (régularité de présence, temps écoulé entre deux observations ; FIEDLER et AHOUSE, 1992).

En dépit de son caractère empirique et du fait que les dichotomies proposées soient très simplificatrices alors que les variables sont continues, la classification proposée par RABINOWITZ (1981) et RABINOWITZ *et al.* (1986) offre la possibilité d'y situer sans équivoque *J. communis* au Maroc. Ces auteurs ont proposé de classer les espèces en fonction de trois variables, avec pour chacune d'elles deux modalités : l'aire de distribution (étendue ou restreinte), l'amplitude d'habitat (large ou étroite) et la taille des populations (parfois grande ou toujours petite). Même si seulement deux modalités sont proposées pour chacune de ces

trois variables, leur combinaison présente l'avantage de répartir les espèces en huit formes de rareté bien tranchées, dont sept seulement s'observent habituellement.

Parmi les espèces très rares au Maroc, *J. communis* offre la particularité d'avoir une distribution fragmentée entre différentes régions. Bien que son aire n'y a pas encore fait l'objet d'une étude systématique, et nous n'avons pas la prétention de combler cette lacune à présent (trop de renseignements nous manquent encore à cet égard), il n'est pas impossible de donner dès maintenant un aperçu général et provisoire sur la question, sous réserve de compléments et de rectifications éventuels. Les données actuellement disponibles à propos de ce dernier point, assez pauvres il est vrai, seront donc entachées de l'imprécision des localisations géographiques. Sur la base des indications recueillies, tant d'après les publications parues sur le sujet, que d'après nos observations personnelles, les différents recoupements paraissent tous converger autour des localisations ci-après.

Outre les récentes trouvailles des stations du massif de l'Ayachi (RHANEM, 2013), le Genévrier commun individualise aussi quelques taches à Oum-el-Bent, dans le massif du Tichchoukt, où nous avons eu la bonne fortune de retrouver quelques spécimens entre 2 200 et 2 500 m. On en retrouve également sur les crêtes du jbel Bou-Iblane où apparemment il constitue aussi des peuplements denses (QUÉZEL *et al.*, 1992), ainsi que sur les pentes sud du sommet du jbel Bou-Naceur, sur le jbel Ighil dominant les sources de l'oued El Abid et sur le jbel Krâa, dans le Rif. Bien que signalées par EMBERGER (1938), ces dernières localités, à l'instar de celle du Tichchoukt d'ailleurs, manquent cruellement d'indications détaillées qui permettent de les répertorier à nouveau. Aussi, à défaut de données explicites, on s'est donc contenté d'éléments d'informations partielles, éparses dans des travaux précités. Nous y observons que la répartition de notre essence à l'intérieur de chacune de ces localités est peu étendue et ne comporte qu'un effectif réduit. Cette rareté est plutôt à mettre en relation avec les facteurs historiques ainsi qu'avec le comportement exigeant de cette espèce dont l'amplitude d'habitat est réduite. Il est vrai que, dans ces deux chaînons et ailleurs au Maroc où l'influence méditerranéenne joue un rôle important à tous les étages de végétation, le Genévrier commun, purement boréo-montagnard, réclamant un substrat à forte pente d'exposition préférentielle au nord et des altitudes supérieures à 2 200 m, n'occupe que des surfaces restreintes. Sa présence fréquente aux côtés d'espèces indicatrices de milieux froids à très froids (*Berberis hispanica*, *Ribes uva-crispa*, *Alyssum spinosum*...), sur des substrats constamment rajeunis à forte teneur en eau et présentant un drainage suffisant, en est une autre illustration.

Il convient enfin de noter que la surface occupée par le Genévrier commun dans le massif de l'Ayachi *sensu lato* est de loin la plus étendue, avec l'effectif le plus élevé. Elle constitue à ce titre le foyer central de l'aire de distribution du taxon au Maroc. Dans le reste des stations, très ponctuelles, on ne trouve que de rares individus répartis çà et là. Par conséquent, l'ampleur de son aire locale et la relative abondance des stations dans le massif de l'Ayachi au sens large, qui en fait, nous l'avons vu, la plus vaste de toute l'aire marocaine, nous incitent à ne plus considérer, dans les conditions actuelles, le Genévrier commun comme une espèce très rare, tel qu'il est communément admis (RAIMONDO, 1998-99), mais plutôt une espèce à un degré moindre de rareté, néanmoins il reste toujours dans la catégorie des espèces rares. Ceci est concrétisé sur la carte représentée par la figure 2 dans laquelle *J. communis* présente les caractéristiques communément observées chez de nombreuses endémiques à aire de distribution réduite : leur habitat est étroit, mais là où on les trouve elles peuvent être abondantes (KRUCKEBERG et RABINOWITZ, 1985 ; RABINOWITZ *et al.*, 1986).

VII. Implication pour la conservation du Genévrier commun et perspectives

Les espèces ayant des populations de petite taille et une diversité génétique réduite sont particulièrement vulnérables aux perturbations (WALKER, 2012). Or, si la conservation de ces populations végétales menacées est devenue un aspect important de la préservation de la biodiversité, la rareté des espèces, elle, a plus attiré l'attention des naturalistes, car elle est essentielle pour la conservation des espèces ainsi que pour l'étude de leur histoire évolutive et la compréhension des facteurs responsables de leur rareté (STEBBINS, 1980 ; GASTON, 1994 ; HOFFMANN et WELK, 1999). Plus nombreuses dans les écosystèmes (GASTON, 1994 ; FONTAINE *et al.*, 2007), les espèces rares, que l'on oppose habituellement aux espèces communes (PRESTON, 1948 ; MAGURRAN et MCGILL, 2011), occupent une place de premier ordre en biologie de la conservation (RAPHAEL et MOLINA, 2007 ; GROOM *et al.*, 2006) car elles sont considérées comme les espèces les plus menacées d'extinction à court ou moyen terme, en particulier face à des influences anthropiques (GASTON, 1994 ; DOBSON *et al.*, 1995 ; YU et DOBSON, 2000 ; LEADLAY et JURY, 2006 ; HUNTER et GIBBS, 2007).

Cependant toutes les espèces rares ne présentent pas le même risque d'extinction, chacune d'elles ayant sa propre histoire, dépendant de son origine évolutive et de ses caractéristiques biologiques, ainsi que du contexte biogéographique et historique de sa région d'occurrence (STEBBINS, 1980 ; DE LANGE et NORTON, 1998). La rareté d'une espèce est par ailleurs dépendante de l'échelle spatiale : la densité ou le degré d'isolement des populations d'une espèce ne sont pas uniformes sur l'ensemble de sa distribution géographique naturelle. Certaines espèces qui sont rares à grande échelle spatiale peuvent être très abondantes à une échelle spatiale plus petite et vice versa. D'autre part, parmi les espèces rares d'une région donnée, certaines seront donc en situation de rareté de limite d'aire de répartition, alors que d'autres peuvent être rares dans toute leur aire de distribution ; d'autres, en revanche, peuvent être en déclin mais ne sont pas encore menacées d'extinction.

Le Maroc présente de ce point de vue de nombreux types d'espèces rares (RAIMONDO, 1998), d'importances patrimoniales variées. Or, dans un contexte de changements climatiques globaux et face à la perspective d'un appauvrissement floristique, doublé d'une fragmentation drastique des surfaces par suite d'importants changements d'utilisation des terres, la connaissance de leurs exigences écologiques est pourtant nécessaire à la mise en œuvre de la conservation de ces espèces, d'autant plus vulnérables qu'elles sont peu abondantes, du renforcement de leurs populations et de leur réintroduction. Par conséquent, la connaissance de leurs exigences écologiques semble cruciale.

Les réflexions conduites dans ce travail amènent donc à se poser un certain nombre de questions. Bien que l'étude de l'écologie du Genévrier commun au Maroc en soit à ses débuts, les résultats déjà obtenus sont suffisamment significatifs pour que mérite d'être posé le problème de sa place future dans le paysage végétal, en particulier dans les massifs de l'Ayachi et du Tichchoukt.

Bien que le Genévrier commun au sens large soit, pour des raisons climatiques, en limite de son aire de distribution au Maroc, à l'échelle de son aire de répartition, très réduite au demeurant car constituée d'un ensemble très dispersé de micro-aires à la périphérie septentrionale du noyau central bien développé sur le massif de l'Ayachi, les populations haut-atlasiennes dans le premier cas, moyen-atlasiennes dans le second ne semblent pas très vulnérables à des changements climatiques affectant l'ensemble de la région et ne sont pas actuellement en sensible recul, même si *J. communis* ne se maintient que dans un petit nombre de stations, connues de longue date. Sur le Tafrant-Taghrout par exemple, il tire avantage de l'existence de longs dénivelés parsemés de niches de nivation sur son haut-versant septentrional et d'un rajeunissement incessant de ses éboulis calcaires qui y entretiennent une humidité quasi permanente. Ce sont par ailleurs des caractéristiques propres à ces roches calcaires et aux modalités de leur érosion qui ont permis à l'espèce de faire face avec succès aux impacts anthropiques. Le relief

escarpé et les falaises ont rendu l'accès malaisé, la pente et l'abondance des pierrailles et des blocs dans le sol ont empêché toute mise en culture et l'abri des éboulis doit probablement servir de refuge à ses plantules lors des phases de surpâturage, de sorte que cet habitat présente des conditions favorables au maintien du Genévrier commun. Dans cet ensemble, son habitat de haute montagne, difficilement accessible, semble très peu menacé.

Si le réchauffement climatique actuel ne semble pas avoir d'incidence ponctuelle et si la tendance actuelle n'est pas à une utilisation intense de la végétation, la destruction directe du milieu est toujours possible. Cependant, la connaissance de la variation des effectifs du Genévrier commun et de ses caractéristiques démographiques est nécessaire pour évaluer sa probabilité de survie et pour définir les priorités et les modalités de sa conservation. Ainsi, par exemple, à un effectif réduit et identique à un instant donné dans certaines stations peuvent correspondre des avenir spécifiques très différents qui dépendent en particulier des caractéristiques écologiques de son habitat et des perturbations qui s'y produisent, mais aussi de certains mécanismes biologiques dont la maîtrise s'avère indispensable à la conduite d'une politique efficace de protection des localités *in situ*. Par conséquent, ce n'est qu'un suivi démographique à long terme dans plusieurs localités, permettant de définir le statut de l'espèce (stable, en augmentation, en diminution), d'identifier les phases décisives dans sa persistance (floraison, fructification, germination, installation des plantules, des plantes adultes) et de préciser, pour chacune de ces phases, les causes prépondérantes des impacts démographiques (gel, sécheresse...), qui permettra d'affirmer qu'elle est, ou n'est pas, en danger. C'est ensuite une exploration minutieuse du terrain qui permettra d'affiner sa répartition et d'inventorier d'autres populations et d'en préciser les caractéristiques, aidée en cela par une analyse systématique de la bibliographie aussi loin que l'on puisse remonter dans le temps, ainsi que la recherche des échantillons d'herbiers avec leurs étiquettes parfois très précises. Certaines indications données par les auteurs anciens peuvent s'avérer également extrêmement précieuses. Elles peuvent notamment aider à mieux comprendre la fluctuation des effectifs de l'espèce et sa démographie, mais permettent aussi de documenter et d'interpréter une probable disparition de ses populations et la fragmentation de son habitat.

En fin de compte, dans les conditions climatiques et d'utilisation des terres actuelles, l'espèce ne semble pas en danger au Maroc, bien que certaines populations locales subissent une forte dégradation. La non-intervention est la principale recommandation. Bien entendu, en raison même du nombre infime de leurs stations, celles-ci sont à la merci à tout moment d'une destruction accidentelle.

Conclusions

De l'ensemble des données exposées, il ressort que la distribution géographique du Genévrier commun au Maroc confirme le caractère extrêmement morcelé de son aire de répartition, en rapport avec le relief tourmenté et la complexité des structures géologiques. À l'échelle des deux ensembles montagneux considérés, sa présence de part et d'autre de la haute plaine de la Moulouya, avec cependant une densité et une surface beaucoup plus importantes sur le Tafrant-Taghrouit où il semble par ailleurs atteindre son optimum de développement, est la preuve irréfutable d'une telle interruption notable dans l'aire.

Dans cette aire naturelle atlasique, *J. communis* est une espèce à affinités océaniques par excellence, mais qui ne craint cependant pas les écarts de température élevés et brutaux et des vents violents. Il s'accommode facilement d'une faible luminosité en raison de l'effet de masque et d'un état hygrométrique élevé : le fait qu'il prospère sur le flanc nord du Tafrant-Taghrouit bien enneigé en hiver et au printemps, où se développe un étage périglaciaire caractérisé par un recouvrement important de gélifractions et où les précipitations « occultes » sont assez fréquentes durant une grande partie de l'année, le montre sans ambiguïté. De telles situations écologiques embrumées, auxquels *J. communis* est encore plus étroitement lié, sont toutefois peu répandues et peu étendues dans le Moyen et le Haut Atlas, de sorte que, dans ces biotopes, il n'occupe plus qu'une place très modeste, mais imprime au paysage une empreinte des plus singulières en y constituant des formations de type mosaïque très caractéristiques en terme physiognomique. Celles-ci couvrent une assez large bande quasi continue et assez régulière, ordinairement de 200 à 400 m d'amplitude, tout le long de bordures sommitales.

Cependant dans les stations disjointes de l'aire principale (Takhant-n-Bou Ifsr et Tichchoukt), les groupements végétaux dans lesquels le Genévrier commun est donné comme élément caractéristique, sinon prépondérant, ont la particularité d'avoir comme trait commun d'être des peuplements arborés. Ces derniers occupent l'étage montiméditerranéen supérieur à moyen aux bioclimats océaniques, humides et peu lumineux, où il a probablement différencié des écotypes à plus longue période végétative. De plus, non seulement il s'y maintient très bien, mais a une rare exubérance.

À ce niveau, si, dans le massif de l'Ayachi *sensu lato*, *J. communis* est intriqué très souvent avec *Berberis hispanica* et *Ribes uva-crispa* dans le sous-bois de la cédraie, en revanche sur le chaînon du Tichchoukt il ne forme que très exceptionnellement de rares touffes, en association soit avec *Buxus balearica*, soit avec *Daphne laureola* et *R. uva-crispa*. En outre, il s'élève ordinairement jusqu'à la limite supérieure de l'écotone supraforestier ; il en est de même des autres espèces. Celles-ci sont toutefois presque exclusivement cantonnées à l'étage montiméditerranéen à bioclimat humide à subhumide, ne débordant qu'occasionnellement dans la base de l'étage oroméditerranéen. Quant à leur diversité, c'est souvent plus par leur composition floristique et leur écologie que par leur structure que ces formations sont distinguées, cette composition variant essentiellement avec le substrat (éboulitique, colluvial ou rocheux) et les conditions topoclimatiques assez variées sur les sites considérés.

Cette tolérance aux variations édapho-topoclimatiques induit une diversité des cortèges floristiques associés. Elle leur permet de pousser aussi bien en mélange avec d'autres conifères, tels que *Cedrus atlantica*, *Juniperus thurifera*, qu'avec des angiospermes comme *Quercus ilex*, *Acer monspessulanum*, *Amelanchier ovalis*, *Prunus prostrata*, *Fraxinus dimorpha* par exemple.

Ces faits mettent en avant le caractère oroméditerranéen, mais non exclusif, du Genévrier. Son adaptation à la haute altitude consiste dans la morphologie rampante de ses rameaux et son port pulviniforme. D'autre part, bien qu'il offre la plus grande amplitude altitudinale, il est le moins résistant à la sécheresse ; de plus, il semblerait que le froid hivernal inhiberait moins sa vitalité que la sécheresse estivale. Il est d'ailleurs, de tous ces ligneux bas d'altitude, le plus résistant au froid et le plus exigeant du point de vue de l'humidité édaphique bien qu'il puisse se développer aussi bien sur l'éboulis que sur la roche-mère nue sur laquelle on le trouve de façon plus sporadique dans des conditions de bilan hydrique favorable. Tel est le cas par exemple sur les petits gradins de falaises calcaires de l'ubac de Tafrant-Taghrouit. Il craint cependant les sols trop compacts, mal aérés, qui se ressuient mal ou se dessèchent fortement l'été.

Suite aux remarques précédentes, il s'avère donc que les facteurs liés au drainage du substrat et la concurrence agissent de toute évidence de façon complémentaire sur l'alimentation en eau du Genévrier commun. Celui-ci est particulièrement exigeant en eau du substrat, il craint sa dessiccation en saison sèche, soit directement, soit indirectement par suite de la compétition des autres végétaux. À ce titre, l'approche retenue, combinant climat, géologie et géomorphologie, s'est avérée particulièrement

utile dans l'appréhension du bilan hydrique. Cette approche est d'autant plus importante dans les deux chaînons étudiés, où la discontinuité de la couverture pédologique est telle que les affleurements rocheux plus ou moins fissurés et les éboulis sont abondants. Les sols, quand ils existent, sont généralement superficiels, contenant des fragments de roche-mère, souvent proche de la surface, jusque dans les horizons supérieurs ; leur épaisseur dépasse rarement 20 cm : ce sont ces sols peu évolués, où les caractères liés à la roche mère et aux dépôts de pente dominant, qui sont imposés par la végétation et le climat.

D'autres faits d'ordres généraux peuvent par ailleurs se détacher aisément de l'ensemble des constatations énoncées ci-dessus. Ce sont, tout d'abord, les étroites affinités existant entre la végétation des chaînons de Tafrant-Taghrout et du Tichchoukt. Tant par leur exposition que par la nature presque exclusivement minérale de leurs substrats, le milieu naturel de leurs versants septentrionaux, seuls étudiés, se distingue dans ses grandes lignes par une grande fragilité de ces substrats à la dynamique érosive en raison de la conjonction de plusieurs facteurs naturels d'inégale importance : calcaire fortement tectonisé, dissection en multiples vallons raides, fort dénivelé des hauts-versants, discontinuité topographique très franche des sommets. Les conditions climatiques exercent aussi de multiples contraintes : l'action inhibitrice du vent, du froid, de la neige, des alternances de gel et de dégel et de sécheresse estivale constituent autant de facteurs limitants pour la flore et la végétation. En second lieu, bien que ces deux ensembles montagneux soient éloignés l'un de l'autre, bien que, dans l'un et dans l'autre, les facteurs météorologiques soient très sensiblement différents (pluviosité moindre, climat plus continental du second), la quasi-totalité des cortèges floristiques analysés ici se retrouvent, avec cependant des divergences sensibles dans leur abondance-dominance et leur organisation spatiale, sur l'un ou l'autre de ces deux chaînons.

Est venue s'y surimposer l'action anthropique, régie par des contraintes socio-économiques. Celle-ci peut, par ses excès (défrichements abusifs sur forte pente) ou par une mauvaise utilisation du milieu (surpâturage, feux pastoraux répétés, piétinement, etc.), conduire à la dégradation plus ou moins complète du couvert végétal, y compris la strate herbacée, laissant aux substrats nus la faculté d'être emportés et ravinés par des pluies torrentielles.

Toutefois, ils offrent toute une série de dissemblances écologiques et des fonds floristiques locaux, qui semblent rendre compte de différences sensibles entre le bioclimat du Tafrant-Taghrout et celui du Tichchoukt, qui s'expliquent à la fois par les données de la topographie et la vigueur des actions géomorphologiques passées et actuelles. Leurs volumes et leurs altitudes diffèrent, il est vrai. Chacun d'entre eux a par conséquent son climat particulier. Ainsi le chaînon de Tafrant-Taghrout, tectoniquement plus élevé, culmine à près de 1 000 m au dessus de celui du Tichchoukt, ce qui entraîne un développement beaucoup plus important de l'étage de haute montagne qui occupe de grandes surfaces. Par contre, il est peu représenté sur le massif du Tichchoukt. D'autre part, alors que les éboulis sont partout présents, et d'une intensité surprenante sur le chaînon de Tafrant-Taghrout, et sont mieux alimentés en gélifracis, sur le chaînon du Tichchoukt la fourniture de débris est relativement modeste et les affleurements émergent de façon moins isolée sous une pellicule discontinue d'éboulis dont l'épaisseur ne dépasse jamais deux à trois centimètres. C'est ce qui explique l'existence sur le chaînon de Tafrant-Taghrout de longs versants d'éboulis épais qui l'entourent presque de toutes parts.

Enfin, bien que les données météorologiques et climatiques sur ces deux chaînes soient extrêmement fragmentaires, il est possible de souligner d'importantes différences dans les précipitations. Ainsi, du point de vue strictement bioclimatique, il est possible de distinguer au niveau de l'étage de haute montagne deux zones distinctes répondant surtout à des critères climatiques de sécheresse estivale :

- l'étage de haute montagne subhumide à humide qui s'étend sur le haut-versant septentrional du Tafrant-Taghrout ; il est caractérisé par des précipitations comprises entre 900 et 1 200 mm ; la période de sécheresse estivale est inférieure à trois mois ; c'est là où le Genévrier trouve son optimum écologique, rarement aux côtés de *Berberis hispanica*, *Ribes uva-crispa*, *Erinacea anthyllis*, *Alyssum spinosum*, *Astragalus ibrahimianus*, *Bupleurum spinosum* ;
- l'étage de haute montagne semi-aride à subhumide que l'on trouve sur le haut-versant du Tichchoukt ; il offre des précipitations comprises entre 700 et 900 mm, la durée de sécheresse estivale oscille entre trois et quatre mois ; le Genévrier commun est très rare, remplacé par *Erinacea anthyllis*, *Cytisus oromediterraneus*, *Alyssum spinosum*, *Buxus balearica*, *Ribes uva-crispa*, qui dominant largement.

Du point de vue phytogéographique, son aire de répartition est très fragmentée, témoignant soit d'une régression de l'espèce ne laissant que des îlots à partir d'une aire ancienne beaucoup plus étendue et continue, soit d'une colonisation d'habitats spécialisés, répondant aux exigences écologiques strictes de l'espèce. S'agissant d'une espèce boréale à affinité oro-méditerranéenne, les développements précédents semblent accréditer l'intuition selon laquelle ce genévrier occupait autrefois une aire beaucoup plus vaste, laquelle a été réduite à la suite du réchauffement qui a suivi la fin des dernières glaciations, il y a environ 10 000 ans B.P. C'est en effet la dernière variation climatique d'importance qui ait profondément marqué notre paysage végétal et géomorphologique.

À travers le Quaternaire, le climat méditerranéen a subi des fluctuations tout en conservant l'essentiel de ses caractères. Le climat évoluant progressivement vers un climat proche de celui que nous connaissons actuellement, le Genévrier commun a reculé vers le nord, mais a pu se maintenir sur les ubacs aux substrats frais des parties sommitales de ces hauts massifs montagneux entre 2 200 et 3 150 m, en relation avec les conditions climatiques actuelles. Dans ces isolats, il s'installe de préférence sur les substrats bien aérés, qui lui offrent beaucoup d'eau disponible, peu retenue, depuis les éboulis mobiles aux sols extrêmement superficiels, à condition que l'approvisionnement en eau y soit suffisant, jusqu'à des substrats colluviaux bien structurés ayant une grande réserve hydrique.

Il convient de rappeler à ce titre que, mis à part les sites mentionnés plus hauts, le Genévrier commun est inexistant dans le reste du pays, bien qu'actuellement des conditions écologiques très favorables à son existence se retrouvent par exemple en certains points de la haute montagne de la région de Midelt, d'où il est resté absent. Il est difficile de savoir avec précision pourquoi, lors de la période glaciaire, il n'a pas colonisé, puis ne s'est pas maintenu dans ces hauts reliefs escarpés, auxquels il aurait fort bien pu avoir accès. Il en est ainsi par exemple des autres remparts montagneux périphériques surmontant vers le sud la haute plaine de la Moulouya dont l'altitude élevée et le positionnement d'avant-garde sont quasi similaires à celles du Tafrant-Taghrout ; sans doute les conditions géomorphologiques et climatiques ne se prêtaient-elles pas à une telle extension. Le cas du chaînon du Maasker, culminant à 3 277 m (Figure 1) qui n'en est pourtant pas très loin, est tout à fait démonstratif à cet égard.

Ainsi, bien que ces deux chaînons soient non seulement très semblables dans leur composition, leur exposition, leur déclivité, mais également très voisins écologiquement, le style de relief du Maasker réunit néanmoins un faisceau de conditions particulières constituant selon toute probabilité autant de facteurs défavorables à l'installation du Genévrier commun ; ils se résument aux

faits géomorphologiques suivants :

- le trait majeur inscrit dans le paysage est l'aspect strié du haut ubac qui n'est autre que le reflet d'un ravinement intense matérialisé par l'alternance de creux peu profonds et de rides dont le tracé est commandé par la plus grande pente. Ceci est particulièrement visible surtout en dehors de la période d'enneigement durant laquelle la persistance de la surcharge neigeuse par déflation sur les pentes exposées à l'est est favorisée par un bilan radiatif moins important ;
- l'autre phénomène marquant est l'absence totale de grandes dépressions à partir du moment où elles jouent le rôle de réceptacles nivéo-éoliens où peuvent également s'accumuler les éboulis ;
- périglaciaire peu épais dans la mesure où le ravinement a atteint le substratum des roches imperméables du dessous ;
- nature peu gélive des calcaires noirs très durs en place à ce niveau ;
- mince couverture d'éboulis, mêlés de surcroît à une argile rouge abondante et où la roche-mère affleure en maints endroits.

Au vu de l'ensemble de ces constatations, s'il est clair que la température atmosphérique et les précipitations limitent sa distribution au niveau des tranches altitudinales élevées, l'influence de la géomorphologie l'est encore plus et se révèle d'une influence déterminante dans la mise en place de la suprématie de ce noyau central puisque son meilleur développement semble être réalisé sur les parties raides en dépression drapées d'éboulis aussi bien sur le haut ubac de Tafrant-Taghrout que dans l'ensellement de Takhamt-n-Bou Ifsr. C'est ici que se trouve probablement le plus vaste peuplement de *J. communis* ; il y est toutefois en concurrence dans le premier site avec *Alyssum spinosum* avec lequel il constitue souvent des mosaïques, en lui abandonnant les substrats les plus stables, avec *Berberis hispanica* et *Ribes uva-crispa* dans le second. Le Genévrier commun présente par conséquent des exigences écologiques strictes et son habitat est déterminé par des caractéristiques bien marquées, de sorte qu'il n'occupe que des stations étroites et limitées dans l'espace.

Par ailleurs, ces biotopes d'éboulis mobiles, où l'instabilité du substrat est liée à la raideur de la pente et à l'exposition nord, constituent des zones-refuges favorables à la conservation du Genévrier commun. Cependant, dans la mesure où ces conditions stationnelles sont très fragiles, une attention toute particulière devrait aussi leur être apportée. De tels éboulis instables sont maintenant exceptionnels, très fragmentaires et mal développés, sauf dans le site de Takhamt-n-Bou Ifsr. Ailleurs, le recouvrement végétal naturel est généralement capable de stabiliser les pentes les plus fortes, surtout en milieu forestier.

Enfin, bien que le Genévrier commun soit considéré au Maroc comme une espèce relique, ce qui pourrait laisser sous-entendre qu'il est en voie de régression, il nous semble, au contraire, actuellement en pleine vitalité si l'on en juge par la puissance de sa régénération et par suite de sa colonisation, aussi bien par multiplication végétative que par reproduction sexuée, malgré de forts impacts anthropiques çà et là (feu et débroussaillage...), et son adaptation à des milieux écologiques forts différents. En tout état de cause, le caractère constant le plus évident est sans contredit le bilan hydrique.

Bibliographie

- ADAMS R.P., 2014 - *Juniperus of the world: the genus Juniperus*. Trafford Publishing, 415 p.
- ARMAND A.D., 1992 - Sharp and gradual mountain timberlines as a result of species interaction. In HANSEN A.J. & DI CASTRI F. (eds), *Landscape boundaries. Consequences for biotic diversity and ecological flows*, *Ecol. Stud.* **92** : 360-378.
- ARNO S.F. & HAMMERLY R.P., 1985 - *Timberline mountain and arctic forest frontiers*. The Mountainers, 304 p.
- AUBERT G., 1983 - Apport de la connaissance de la végétation spontanée dans la recherche des potentialités forestières d'un territoire en région méditerranéenne. *Rev. Forest. Franç.* **35** (6) : 425-442.
- AUBERT G. & THINON M., 1981 - Phénomènes pédogénétiques survenant lors de la déforestation (après incendies et coupes de bois abusives). *Bull. Mus. Hist. Nat. Marseille* **41** : 7-12.
- BARTHES J.-P. & BORNAND M., 1987 - Cartographie des sols en moyenne montagne calcaire sèche : une méthode d'approche possible. Agrométéorologie des régions de moyenne montagne, Toulouse, 16-17 avril 1986, *Colloq. INRA* **39** : 95-106.
- BAUDIÈRE A. & BONNET L.-M., 1963 - Introduction à l'étude de la végétation des éboulis de la zone alpine des Pyrénées orientales. *Naturalia Monspel.*, Série Bot., **15** : 13-28.
- BAUDIÈRE A. & SERVE L., 1971 - Organisation morphologique et rôle des végétaux dans la dynamique des formations superficielles en milieu supraforestier. *Bull. Soc. Bot. France* **118** : 77-94.
- BERTRAN P. (dir.), 2004 - Dépôts de pente continentaux, dynamique et faciès. *Quaternaire* h.s. **1**, AFEQ, Délégation générale à la langue française et aux langues de France, INRAP, Paris, 258 p.
- BONFILS P., 1978 - Le classement des sols en vue de la reforestation en zone méditerranéenne. *Rev. Forest. Franç.* **30** (4) : 271-282.
- BORNAND M. & ICOLE M., 1984 - Les relations « pédologie – géomorphologie – géologie du Quaternaire » : apports réciproques. In *Livre jubilaire du cinquantenaire AFES (1934-1984)*, Plaisir : 141-152.
- BROWN J.H., STEVENS G.C. & KAUFMAN D.M., 1996 - The geographic range: size, shape, boundaries, and internal structure. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* **27** : 597-623.
- BRUSSARD P. F., 1984 - Geographic patterns and environmental gradients: The central-marginal model in *Drosophila* revisited. *Annual Review in Ecology and Systematics*, **15** : 25-64.
- BUTLER D.R., MALANSON G.P., WALSH S.J. & FAGRE D.B., 2007 - Influences of geomorphology and geology on alpine treeline in the American West more important than climatic influences? *Phys. Geogr.* **28** (5) : 434-450.
- BUTLER D.R., MALANSON G.P., WALSH S.J. & FAGRE D.B., 2009 - *The changing alpine treeline: the example of Glacier National Park, MT, USA*. Elsevier, 199 p.
- CAMPY M. & MACAIRE J.-J., 1989 - *Géologie des formations superficielles : géodynamique, faciès, utilisation*. Masson, Paris, 433 p.
- CHARDON M., 1984 - Montagne et haute montagne alpine, critères et limites morphologiques remarquables en haute montagne. *Rev. Géogr. Alpine* **72** (2-4) : 213-224.
- CLIFTON S.J., WARD L.K. & RANNER D.S., 1997 - The status of juniper *Juniperus communis* L. in North-East England. *Biol. Conserv.* **79** : 67-77.
- CODY M.L., 1986 - Diversity, rarity, and conservation in Mediterranean climate regions. In SOULE M.E. (eds), *Conservation biology, the science of scarcity and diversity*, Sinauer Associates : 122-152.

- DAUBENMIRE R.F., 1941 - Some ecological features of the subterranean organs of alpine plants. *Ecology* **22** : 370-378.
- DAUBENMIRE R.F., 1954 - Alpine timberlines in the Americas and their interpretation. *Butler Univ. Bot. Studies* **11** : 119-136.
- DAUBENMIRE R.F. & SLIPP W., 1943 - Plant succession on talus slopes in northern Idaho as influenced by slope exposure. *Bull. Torrey Bot. Club* **70** (5) : 473-480.
- DE LANGE P.J. & NORTON D.A., 1998 - Revisiting rarity: a botanical perspective on the meanings of rarity and the classification of New Zealand's uncommon plants. *Miscellaneous Series, Royal Society of New Zealand*, **48** : 145-160.
- DELAUNAY A. & LÉPOUTRE B., 1982 - Intérêt de la photographie aérienne pour la reconnaissance et la délimitation des « faciès forestiers » : applications à la gestion forestière. *Rev. Forest. Franç.* **34** (2) : 119-130.
- DEWOLF Y. & BOURRIÉ G., 2008 - *Les formations superficielles. Genèse, typologie, classification, paysages et environnements, ressources et risques*. Ellipses, Paris, 798 p.
- DOBSON F.S., YU J. & SMITH A.T., 1995 - The importance of evaluating rarity. *Conserv. Biol.* **9** (6) : 1648-1651.
- DOLUKHANOV A.G., 1978 - The timberline and the subalpine belt in the Caucasus mountains, USSR. *Arctic Alp. Res.* **10** (2) : 409-422.
- DRUDY W.H., 1980 - Rare species of plants. *Rhodora* **82** (829) : 3-48.
- EMBERGER L., 1938 - *Les arbres du Maroc et comment les reconnaître*. Larose éd., 317p.
- EMBERGER L., 1939 - Aperçu général sur la végétation du Maroc. Commentaire de la carte phytogéographique du Maroc 1 : 1 500 000°. *Veröff. Geobot. Inst. Rübel Zürich* **14** : 40-157.
- EMBERGER L., 1946 - La flore de l'horizon culminant des montagnes marocaines. *Soc. Sci. Nat. Maroc*, vol. jub., 11 p.
- FARJON A. & FILER D., 2013 - *An atlas of the world's conifers: an analysis of their distribution, biogeography, diversity and conservation status*. Brill ed., 512 p.
- FIEDLER P.L., 1986 - Concepts of rarity in vascular plant species with special reference to the genus *Calochortus* Pursh (Liliaceae). *Taxon* **35** : 502-518.
- FIEDLER P.L., 1995 - Rarity in the California flora: new thoughts on old ideas. *Madroño* **42** (2) : 127-141.
- FIEDLER P.L. & AHOUSE J.J., 1992 - Hierarchies of cause: toward an understanding of rarity in vascular plant species. In FIEDLER L. & JAIN S.K. (ed.), *Conservation biology: the theory and practice of nature conservation, preservation and management*, Chapman & Hall : 23-47.
- FISHER F.J.F. 1952 - Observations on the vegetation of screes in Canterbury, New Zealand. *J. Ecol.* **40** : 156-167.
- FLATHER C.H. & SIEG C.H., 2007 - Species rarity: definition, causes, and classification. In RAPHAEL M.G. & MOLINA R. (eds), *Conservation of Rare or Little-Known Species: Biological, Social, and Economic Considerations*, Island Press : 40-66.
- FONTAINE B., BOUCHET P., VAN ACHTERBERG K., ALONSO-ZARAZAGA M.A., ARAUJO R., ASCHE M. et al., 2007 - The European Union's 2010 target: putting rare species in focus. *Biol. Conserv.* **139** (1-2) : 167-185.
- FRANCOU B. & HÉTU B., 1989 - Éboulis et autres formations de pentes hétérométriques : contribution à une terminologie périglaciaire. *Notes et Comptes-Rendus du groupe de travail « Régionalisation du Périglaciaire »* **14** : 11-69.
- FRENCH H.M., 2007 - *The periglacial environment*, 3rd ed. Wiley, 458 p.
- FRITTS H.C., 1976 - *Tree rings and climate*. Academic Press, London, 567 p.
- GALLAND N., 1994 - Les taxons boréo-montagnards des hautes montagnes d'Afrique du Nord : leur signification biogéographique pour les domaines atlasique et alpin. Actes du colloque *Écologie et biogéographie alpines*, La Thuile (Italie) 2-6 sept. 1990, *Rev. Valdôtaine Hist. Nat.*, suppl., **84** : 201-207.
- GASTON K.J., 1994 - *Rarity*. New York, Chapman & Hall, 205 p.
- GASTON K.J., 1997 - What is rarity? In KUNIN W.E. & GASTON K.J. (éd.), *The biology of rarity*, London, Chapman & Hall : 30-47.
- GODRON M., 1967 - Les groupes écologiques imbriqués « en écaillés ». *Oecol. Plant.* **2** : 217-226.
- GORCHAKOVSKI P.L. & SHIYATOV S.G., 1978 - The upper forest limit in the mountains of the boreal zone of the USSR. *Arctic Alp. Res.* **10** (2) : 349-363.
- GOSZ J.R., 1993 - Ecotone hierarchies. *Ecol. Appl.* **3** : 369-376.
- GRIGGS R.F., 1938 - Timberlines in the northern Rocky Mountains. *Ecology* **19** : 548-564.
- GRIGGS R.F., 1946 - The timberlines of northern America and their interpretation. *Ecology* **27** (4) : 275-289.
- GROOM M.J., MEFFE G.K. & CARROLL C.R., 2006 - *Principles of conservation biology*, 3rd ed. Sinauer Associates, 793 p.
- HADDLEY K.S., PRICE L.W. & GRABHER R.G. 2013 - Mountain vegetation. In PRICE M.F. et al. (eds), *Mountain geography: physical and human dimensions*. University of California Press : 183-220.
- HARSHBERGER J.W., 1929 - The vegetation of the screes, or talus slopes of Western North America. *Proc. Amer. Phil. Soc.* **68** : 13-26.
- HARTLEY S. & KUNIN W.E., 2003 - Scale dependency of rarity, extinction risk, and conservation priority. *Conserv. Biol.* **17** : 1559-1570.
- HEIKKINEN O., TUOVINEN M. & AUTIO J., 2000 - What determines the timberline? *Fennia* **180** (1-2) : 67-74.
- HENGEVED R., 1990 - *Dynamic biogeography*. Cambridge University Press, 264 p.
- HOFFMANN M.H. & WELK E., 1999 - A method for the estimation of the global population sizes of plant species: the area-abundance-index. *Global Ecol. Biogeogr.* **8** : 39-46.
- HOLTHAUSEN R.S. et SIEG C.H., 2007 - Effectiveness of alternative management strategies in meeting conservation objectives. In RAPHAEL M.G. & MOLINA R. (eds), *Conservation of Rare or Little-Known Species: Biological, Social, and Economic Considerations*, Island Press : 187-235.
- HOLTMEIER F.K., 1973 - Geocological aspects of timberlines in northern and central Europe. *Arctic Alp. Res.* **5** (3, Pt. 2) : A45-A54.
- HOLTMEIER F.K., 1980 - Influence of wind on tree-physiognomy at the upper treeline in the Colorado Front Range. *NZFS FRI Techn. Paper* **70** : 247-261.

- HOLTMEIER F.K., 1981 - What does the term "Krummholz" really mean? Observations with special reference to the Alps and Colorado Front Range. *Mount. Res. Developm.* **1** (3-4) : 253-260.
- HOLTMEIER F.K., 1985 - Climatic stress influencing the physiognomy of trees at the polar and mountain timberline. In TURNER H. & TRANQUILLINI W. (eds), *Establishment and tending of subalpine forest: research and management*, Proc. of the 3rd IUFRO workshop, Eidgenössische Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Berichte, **270** : 31-40.
- HOLTMEIER F.K., 2009 - Mountain timberlines. Ecology, patchiness, and dynamics. *Adv. Global Change Res.* **36**, Springer, 437 p.
- HOLTMEIER F.K. & BROLL G., 2005 - Sensitivity and response of northern hemisphere altitudinal and polar treelines to environmental change at landscape and local scales. *Global Ecol. Biogeogr* **14** : 395-410.
- HUNTER Jr. J.M. & GIBBS J., 2007 - *Fundamentals of conservation biology*, 3rd ed. Blackwell Publishing, 497 p.
- KARTE J., 1983 - Periglacial phenomena and their significance as climatic and edaphic indicators. *GeoJournal* **7** (4) : 329-340.
- KÖRNER C., 2003 - *Alpine plant life*, 2nd ed. Springer, 344 p.
- KÖRNER C., 2012- *Alpine treelines: functional ecology of the global high elevation tree limits*. Springer, 220 p.
- KRUCKEBERG A.R. & RABINOWITZ D., 1985 - Biological aspects of endemism in higher plants. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* **16** : 447-479.
- KUHLE M., 2007 - Altitudinal levels and altitudinal limits in high mountains. *J. Mount. Sci.* **4** (1) : 24-33.
- KUNIN W.E. & GASTON K.J., 1997 - *The biology of rarity: causes and consequences of rare-common differences*. New York, Chapman & Hall, 280 p.
- LAWTON J.H., 1993 - Range, population abundance and conservation. *Tree* **8** (11) : 409-413.
- LEADLAY E. & JURY S., 2006 - *Taxonomy and plant conservation*. Cambridge University Press, 343 p.
- LENZ O., 1967 - Action de la neige et du gel sur les arbres de montagne, en particulier sur leur forme et l'anatomie de la tige. *Mém. Inst. Suisse Rech. Forest.* **43** (3) : 293-314.
- LESICA P. & ALLENDORF F.W., 1992 - Are small populations of plants worth preserving? *Conserv. Biol.* **6** (1) : 135-139.
- LESICA P. & ALLENDORF F.W., 1995 - When are peripheral populations valuable for conservation? *Conserv. Biol.* **9** (4) : 753-760.
- MAGURRAN A.E. & MCGILL B.J., 2011 - *Biological diversity: frontiers in measurement assessment*. Oxford University Press, 345 p.
- MERZ R. & BLÖSCHL G., 2003 - A process typology of regional floods. *Water Resources Res.* **39** (12) : 1340-1359.
- MULLENBACH P., 2000 - *Reboisements d'altitude*. Cemagref éd., 335 p.
- NAGY L & GRABHER R.G., 2009 - *The biology of alpine habitats*. Oxford University Press, 376 p.
- NORTON D.A. et SCHÖNENBERGER W., 1984 - The growth forms and ecology of *Nothofagus solandri* at the alpine timberline, Craigieburn range, New Zealand. *Arctic Alp. Res.* **16** (3) : 361-370.
- OOSTERMEIJER J.G. B., 2003 - Threats to rare plant persistence. In BRIGHAM C.A. & SCHWARTZ M.W. (eds), *Population Viability in Plants*, Springer, *Ecol. Studies* **165** : 17-58.
- OZENDA P., 1997 - Aspects biogéographiques de la végétation des hautes chaînes. *Biogeographica* **74** (4) : 145-179.
- OZENDA P., 2002 - *Perspectives pour une géobiologie des montagnes*. PPUR, 195 p.
- PÄRTEL M., KALAMEES R., REIER U., TUVI E.-L., ROOSALUSTE E., VELLAK A. & ZOBEL M., 2005 - Grouping and prioritization of vascular plant species for conservation: combining natural rarity and management need. *Biol. Conserv.* **23** : 271 -278.
- PRESTON F.W., 1948 - The commonness, and rarity, of species. *Ecology* **29** : 254-283.
- QUÉZEL P., 1952 - Contribution à l'étude phytogéographique et phytosociologique du Grand Atlas calcaire. *Mém. Soc. Sci. Nat. Maroc* **L** : 1-56.
- QUÉZEL P., 1957 - *Peuplement végétal des hautes montagnes de l'Afrique du Nord. Essai de synthèse biogéographique et phytosociologique*. Paul Lechevalier, Paris, 463 p.
- QUÉZEL P., 1965 - À propos des xérophytes épineux en coussinet de pourtour méditerranéen. Colloque de morphologie végétale, 5-6 avril : 173-180.
- QUÉZEL P., 1971 - *La haute montagne méditerranéenne : signification phytosociologique et bioclimatique générale*. Colloque Interdisciplinaire sur les milieux naturels supraforestiers des montagnes du bassin occidental de la Méditerranée, 15 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. & BARBERO M., 1989 - Les formations à genévriers rampants du Djurdjura (Algérie). Leur signification écologique, dynamique et syntaxinomique dans une approche globale des cédraies kabyles. *Lazaroa* **11** : 85-99.
- QUÉZEL P., BARBERO M., BENABID A., LOISEL R. & RIVAS-MARTINEZ S., 1992 - Contribution à la connaissance des matorrals du Maroc oriental. *Phytocoenologia* **21** (1-2) : 117-174.
- QUÉZEL P., GAMISANS J. & GRUBER M., 1980 - Biogéographie et mise en place des flores méditerranéennes. *Naturalia Monspel.*, n° h.s. : 41-51.
- RABINOWITZ D., 1981 - Seven forms of rarity. In SYNGE H. (ed.), *The biological aspects of rare plants conservation*, Chichester : 205-217.
- RABINOWITZ, D., CAIRNS S. & DILLON T., 1986 - Seven forms of rarity and their frequency in the flora of the British Isles. In SOULE M.E. (ed.), *Conservation biology, the science of scarcity and diversity*, Sinauer Associates : 182-204.
- RAIMONDO F.M. (ed.), 1998-1999 - Catalogue des plantes vasculaires rares, menacées ou endémiques du Maroc. *Bocconea* **8** : 1-252.
- RAPHAEL M.G. & MOLINA R., 2007 - *Conservation of rare or little-known species: biological, social and economic considerations*. Island Press, 375 p.
- RAYNAL R., 1977 - Étagement comparé en altitude des processus périglaciaires actuels dans les hauts massifs du Maroc et de l'Iran. Périglaciales Kolloquium, Akad. der Wissenschaft, Göttingen : 275-289.
- RESLER L.M., 2006 - Geomorphic controls of spatial pattern and process at alpine treeline. *Profess. Geogr.* **58** (2) : 124-138.
- REVEAL J.L., 1981 - The concepts of rarity and population threats in plant communities. In MORSE L. & HENIFIN M.S. (eds), *Rare*

plant conservation: geographical data organization, New York Botanical Garden : 41-47.

REY BENAYAS J.M., SCHEINER S.M., GARCIA SÁNCHEZ-COLOMER M. & LEVASSOR C., 1999 - Commonness and rarity: theory and application of a new model to Mediterranean montane grasslands. *Conserv. Ecol.* **3** (1) : 5.

RHANEM M., 2008 - Quelques aspects topoclimatiques de l'étagement de la végétation spontanée en montagne méditerranéenne, avec référence aux montagnes du Moyen- et Haut Atlas (Maroc). *Quad. Bot. Amb. Appl.* **19** : 183-201.

RHANEM M., 2010 - Esquisse d'une typologie géomorphologique de quelques cédraies à *Cedrus atlantica* Man. dans le Haut-Atlas oriental de Midelt (Maroc). Menaces et perspectives de conservation, de gestion et de restauration. *Quad. Bot. Amb. Appl.* **21** : 141-159.

RHANEM M., 2012a - Gradients et causes de mortalité du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Man.) en marge supérieure de l'écotone infra-forestier limitrophe de la haute plaine de Midelt. L'exemple de la forêt d'Aït-Oufella dans le Moyen Atlas méridional du Maroc. *Bull. Soc. Bot. Centre-Ouest*, NS, **43** : 185-204.

RHANEM M., 2012b - La topoclimatologie, un thème de cartographie approprié à l'écologie des forêts d'altitude ; exemples pris dans les montagnes marocaines du Moyen- et Haut Atlas. *Bull. Soc. Bot. Centre-Ouest*, NS, **43** : 325-366.

RHANEM M., 2013 - De l'écologie, de la répartition et de la structure spatiale du Genévrier commun hémisphérique : *Juniperus communis* subsp. *hemisphaerica* (Presl) Nyman au Maroc. *Bull. Soc. Bot. Centre-Ouest*, NS, **44** : 301-316.

RICHARDSON A.D. et FRIEDLAND A.J., 2009 - A review of the theories to explain arctic and alpine treelines around the world. *J. Sustain. Forestry* **28** : 218-242.

ROBERTS N., 2013 - *The holocene. An environmental history*, 3rd ed. Wiley, 364 p.

SCHEMSKE D.W., HUSBAND B.C., RUCKELSHAUS M.H., GOODWILLIE C., PARKER I.M. & BISHOP J.G., 1994 - Evaluating approaches to the conservation of rare and endangered plants. *Ecology* **75** : 584-606.

SCHICKHOFF U., 2005 - The upper timberline in the Himalayas, Hindu Kush and Karakorum: a review of geographical and ecological aspects. In BROLL G. & KEPLIN B. (eds), *Mountain Ecosystems: Studies in Treeline Ecology*, Springer : 275-354.

SCHOENER T.W., 1987 - The geographical distribution of rarity. *Oecologia* **74** : 161-173.

SCOTT P.A., BENTLEY C.V., FAYLE D.C.F. et HANSELL R.I.C., 1987 - Crown forms and shoot elongation of white spruce at the treeline, Churchill, Manitoba, Canada. *Arctic Alp. Res.* **19** (2) : 175-186.

SELBY M.J., 1993 - *Hillslope materials and Process*, 2nd ed. Oxford University Press, 466 p.

SLATYER R.O. & NOBLE I.R., 1992 - Dynamics of montane treelines. In HANSEN A.J. & DI CASTRI F. (eds), *Landscapes boundaries. Consequences for biotic diversity and ecological flows*, Springer-Verlag : 346-359.

SMITH W.K., GERMINO M.J., JOHNSON D. & REINHART K., 2009 - The altitude of alpine treeline: a bellwether of climate change effects. *Bot. Rev.* **75** (2) : 163-190.

SOMSON P. & BAUDIÈRE A., 1986 - *Les milieux d'éboulis oriento-pyrénéens : analyse critique*. Colloque international de botanique pyrénéenne, la Cabanasse (Pyrénées-Orientales) : 443-465.

STEBBINS G.L., 1980 - Rarity of plant species: a synthetic viewpoint. *Rhodora* **82** : 77-86.

THOMAS P.A., EL-BARGHATI M. & POLWART A., 2007 - Biological floral of the isles: *Juniperus communis* L. *J. Ecol.* **95** : 1404-1440.

THORN C.E., 1988 - Nivation: a geomorphic chimera. In CLARK M.J. (ed.), *Adv. Periglacial Geomorphology*. Wiley, Chichester : 3-31.

THORN C.E., 1992 - Periglacial geomorphology: what, where, when? In DIXON J.C. & ABRAHAMS A.D. (eds), *Periglacial geomorphology*, Wiley, Chichester : 1-30.

TIHAY J.-P., 1973 - Notes sur quelques paléofformes «péglaciaires» observées en Algérie orientale. *Méditerranée* **13** (2) : 37-47.

TIHAY J.-P., 1983 - Les éboulis et leur environnement géomorphologique autre que celui des glaciers rocheux. *Bull. Ass. Géogr. Franç.* **491** : 5-13

TRANQUILLINI W., 1979 - Physiological ecology of the alpine timberline. The existence at high altitudes with special reference to the European Alps. *Ecol. Studies* **31**, 137 p.

TREML V., 2007 - The effect of terrain morphology and geomorphic processes on the position and dynamics of the alpine timberline. A case study from the High Sudetes, Czech Republic. In KALVODA J. & GOUDIE A.D. (eds), *Geomorphologic variations*, Prague P3K : 339-360.

TROLL C., 1973 - The upper timberlines in different climatic zones. *Arctic Alp. Res.* **5** (3, Pt. 2) : A3-A18.

TUHKANEN S., 1993 - Treeline in relation to climate, with special reference to oceanic areas. In ALDEN J.N., ØDUM S. & MASTRANTONIO J.L. (eds), *Forest Development in Cold climates*, Proc. of the NATO Advanced Research Workshop, 1991 June 18-23, Plenum Press : 115-134.

TUHKANEN S., 1999 - The northern timberline in relation to climate. In KANKAANPÄÄ S., TASANEN T. & SUTINEN M.L. (eds), *Sustainable development in northern timberline forests*, Proc. of the timberline workshop, May 10-11, 1998 in Whitehorse, Canada, *Finnish Forest Res. Inst., Res. Papers*, **734** : 29-61.

VAN DER MAAREL E., 1990 - Ecotones and ecoclines are different. *J. Veg. Sci.* **1** (1) : 135-138.

VELLAK A., TUVI E.L., REIER U., KALAMEES R., ROOSALUSTE E., ZOBEL M. & PÄRTEL M., 2009 - Past and present effectiveness of protected areas for conservation of naturally and anthropogenically rare plant species. *Conserv. Biol.* **23** : 750-757.

WALKER L.R., 2012 - *The biology of disturbed habitats*. Oxford University Press, 319 p.

WARD L.K., 1982 - The conservation of juniper: longevity and old age. *J. Appl. Ecol.* **19** : 917-928.

WARDLE P., 1974 - Alpine timberlines. In IVES J.D. & BARRY R.G. (eds.), *Arctic and Alpine Environments*, Methuen : 371-402.

WIESER G. & TAUSZ M., 2007 - *Trees at their upper limit: treelife limitation at the alpine timberline*. Springer, 232 p.

WHITE S.E., 1981 - Alpine mass movement forms (noncatastrophic): classification, description, and significance. *Arctic Alp. Res.* **13** (2) : 127-137.

YOSHINO M.M., 1973 - Wind-shaped trees in the subalpine zone in Japan. *Arctic Alp. Res.* **5** (3, Pt. 2) : A115-A126.

YU J. & DOBSON F.S., 2000 - Seven forms of rarity in mammals. *J. Biogeogr.* **27** (1) : 131-139.