

**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**

Mustapha RHANEM \*

**Résumé** - Espèce relativement exigeante en eau, le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Man.) est, depuis quelques décennies, victime d'un important problème sanitaire encore aggravé au cours de ces dernières années et des craintes très sérieuses pèsent sur cette essence majeure qui risque par là même de compromettre l'avenir forestier du pays. En effet, à des degrés de gravité variable, les dépérissements atteignent des proportions anormalement élevées dans un certain nombre de massifs forestiers de la région de Midelt. Parmi ceux-ci, la forêt d'Aït-Oufella située sur le revers sud du Moyen-Atlas à proximité de la plaine aride de Midelt, est particulièrement atteinte compte tenu des taux de mortalité relativement élevée du cèdre, sur de vastes portions de ce territoire.

Dans cette forêt méridionale plurispécifique où seul le cèdre est touché, les zones concernées sont localisées selon un gradient altitudinal variant de 1 800 à 2 200 m. Dans cette tranche, le phénomène est cependant loin d'être uniforme et les atteintes sont plutôt concentrées sur des stations particulières, ce qui limite l'ampleur des dégâts. La mortalité s'y manifeste à l'état diffus et affecte :

(1) soit des cèdres isolés ou groupés en petits agrégats de 3-5 individus, tels que l'on en observe à la limite sud de son aire régionale potentielle (i.e. marge piémontaise) ;  
(2) soit des bouquets touchant, aux altitudes supérieures, une grande partie, voire la totalité, des individus situés sur les versants exposés sud-ouest. L'intensité de ce phénomène croît par ailleurs vers le sud et l'est. Cette mortalité affecte toutes les classes de diamètre et d'âge. Il apparaît également que cette mortalité disséminée est spécifique des peuplements dominés par le chêne vert (*Quercus ilex* L.), alors que les cédraies sont relativement épargnées par le phénomène à ce jour.

Parmi les facteurs incriminés, outre les causes intrinsèques d'affaiblissement général du cèdre, le déficit hydrique cumulé depuis plusieurs années combiné à l'augmentation des températures résultant de différents épisodes successifs de sécheresse exceptionnelle semble selon toute vraisemblance la cause principale des taux de mortalité observés chez cet arbre. Ce rôle n'est cependant pas exclusif, il est certain qu'il agit en synergie avec d'autres facteurs défavorables, au premier rang desquels l'exposition sud-ouest, laquelle constitue le facteur aggravant le plus important et le plus net. Toutes ces contraintes

---

\* M. R. - Unité de Botanique et Écologie Montagnarde, Faculté des Sciences, Département de Biologie BP 11201, Zitoune, Meknès, Maroc

sont le moteur d'un important stress hydrique qui à son tour a des répercussions très importantes sur la dynamique voire la survie du cèdre.

**Mots-clés** : Cèdre de l'Atlas, mortalité, écotone infraforestier, aridification, Moyen-Atlas méridional, Maroc.

**Abstract** - A moisture-requiring species, the Atlas cedar (*Cedrus atlantica* Man.) has been, for the last decades, increasingly struck by high mortality rates, thereby strongly compromising the sustainability of cedar forests in Morocco. We have found abnormally high mortality rates in several forests within the region of Midelt, though variation was important. The Aït-Oufella forest, located on the southern, side of the Middle Atlas, near the arid plain of Midelt, seems particularly affected by massive mortality rates across large parts of the region.

In this southern multispecies forest, only the Atlas cedar seems to be affected by high mortality rates. The studied areas are located along an altitudinal gradient from 1800 to 2200 m. Along this gradient, mortality rates are not uniform, damages are localized on particular stations, thus limiting the extent of damage. Mortality effects are manifold and affect either : (i) individual trees and isolated small clusters of 3-5 individuals. This is particularly true on the southern margin of its potential distribution ; (ii) groups of cedar trees, at higher altitudes. Many, if not all, of the cedar trees are located on the southwest-facing slopes. This phenomenon is more distinct further south and east. All diameter classes and age classes are affected. Finally, high mortality rates are apparently specific to mixed areas dominated by Holm oak (*Quercus ilex* L.). Areas dominated by cedar trees are relatively less affected by high mortality rate so far.

Among potential factors, the water deficit accumulated over several years combined with rising temperatures consecutive to various successive drought events seem to be the likely one inducing high mortality rates in cedar trees. This cause is not exclusive, but certainly acts in synergy with other amplifying factors. Among these, exposure to the southwest is clearly an exacerbating factor. All these constraints are the cause of a significant water stress which in turn has a considerable impact on the dynamics and even survival of the cedar.

**Keywords** - the Atlas cedar tree, mortality, lower timberline ecotone, climate aridity, southern Middle-Atlas, Morocco.

## I – INTRODUCTION

Au Maroc, la forêt représente le terme optimal du dynamisme végétal le plus fréquent. Les facteurs édapho-climatiques, même si l'action humaine y a été considérable, règlent pour une grande part la répartition actuelle des essences arborées et la structure des forêts d'aujourd'hui. Ils interviennent surtout par l'intermédiaire de trois paramètres majeurs que sont la chaleur, l'eau et les éléments nutritifs mais aussi dans une moindre mesure, l'éclaircissement. L'importance et la durée de leurs variations déterminent quant à elles les risques de dépérissement (MANION, 1990 ; HARTMANN *et al.*, 1991 ; LANDMANN, 1994 ; EDMONDS *et al.*, 2000 SINCLAIR et LYON, 2005 ; GAUQUELIN, 2010 ; NAGELEISEN *et al.*, 2010 ; CASTELLO et TEALE, 2011) voire même de disparition de l'espèce dans une zone géographique donnée. Par exemple les arbres présents en montagne sont confrontés, à des degrés divers suivant les étages de végétation auxquels ils appartiennent ou dans lesquels ils se situent, à la durée et à l'intensité

de la sécheresse estivale d'origine climatique et, dans une moindre mesure, édaphique.

Toutefois, s'il est un arbre, tant résineux que feuillu, de la forêt marocaine chargé depuis fort longtemps de diverses valeurs symboliques, c'est bien le cèdre de l'Atlas. Essence forestière typiquement méditerranéenne, le cèdre est un conifère endémique de l'Afrique du Nord. Cependant, dans les deux pays de son aire naturelle de répartition, c'est au Maroc qu'il occupe de loin les plus grandes surfaces sur lesquelles il produit souvent un bois de haute qualité. Sa localisation limitée aux seuls massifs montagneux dénote par ailleurs de strictes exigences écologiques. D'autre part, le cèdre représente la principale ressource en bois d'œuvre du pays et constitue incontestablement une source importante de revenus pour l'économie locale encore largement basée sur l'élevage et la forêt. Par conséquent, les enjeux qui pèsent sur le cèdre au Maroc sont importants dans le contexte actuel des changements globaux.

Appartenant à l'une des quatre espèces (avec *libani*, *brevifolia* et *deodara*) du genre *Cedrus*, le cèdre de l'Atlas, à l'échelle de son aire de répartition, participe à divers processus dynamiques dans les différents types d'écosystèmes qui l'hébergent. Les montagnes du Maroc (Rif, le Moyen- et Haut-Atlas) en offrent à ce titre un large éventail où le cèdre prend part tant à des écotones supraforestiers (RHANEM, 2010 a) qu'infraforestiers (CLAES, 1994). Ces derniers sont d'autant plus touchés ces dernières années qu'ils subissent le contrecoup des sécheresses dont certains effets sont visibles rapidement : dessèchement du feuillage, mortalité des branches, voire de l'arbre entier. Au Maroc comme en Algérie, l'accident climatique qui précède le dépérissement et la mortalité du cèdre est souvent mis en exergue (BENTOUATI et BARITEAU, 2006 ; ET-TOBI *et al.*, 2006 ; BELOULA, 2010). Mais, d'autres facteurs d'affaiblissement tels que des infestations parasitaires peuvent se surajouter (ABOUROUH et MORELET, 1999 ; BENHALIMA, 2006 ; ZAREMSKI *et al.* 2007 ; RHAMANI, 2010). ET-TOBI *et al.* soulignent du reste que le facteur prépondérant du dépérissement peut varier d'un lieu à un autre.

Au Maroc, ce phénomène a causé de vives inquiétudes. Il concerne en effet toutes les montagnes occupées par le cèdre avec toutefois des disparités régionales notables. Les boisements du Moyen-Atlas concentrent l'essentiel des signalements de dépérissement et de mortalité de cèdre au Maroc (SAINTONGE *et al.*, 2011) avec notamment une intensité et une ampleur des plus importantes. Or cette espèce méditerranéo-montagnarde très longévige représente l'essence noble des forêts marocaines, la plus précieuse sur le plan écologique comme sur le plan commercial. Il est donc important de s'interroger sur les effets que les variations climatiques observées au cours des dernières décennies ont eus sur le cèdre, et cela d'autant plus que l'on peut craindre une amplification des phénomènes. Nous traiterons ici le cas du cèdre dans le massif forestier d'Aït-Oufella, sur la commune d'Itzère, dans la province de Midelt. Sur l'ensemble des essences arborées qui composent ces écosystèmes riverains de la steppe, seul le cèdre apparaît en effet comme l'espèce la moins adaptée à la sécheresse et la plus dépérissante. Se trouvant ici aux limites de son amplitude écologique, cette espèce est particulièrement vulnérable au changement climatique.

Ce cas est particulièrement intéressant, car ce massif occupe une position géographique singulière à proximité de la plaine aride de Midelt qui amplifie les effets de conditions climatiques difficiles sur les peuplements à base de cèdre. Et en marge de ce domaine aride, ces formations arborées se développent par ailleurs dans des conditions écologiques très différentes de celles qu'elles rencontrent plus au nord ce qui leur confère une certaine originalité. Aussi, ces écotones (VAN DER MAAREL, 1990, GOSZ, 1993 ; RISSER, 1995 ; HUFKENS *et al.*, 2009 ; FARINA, 2010) piémontais sont-ils relativement plus instables, et ceci est d'autant plus pertinent que le cèdre, s'y trouve à la limite sud de son aire régionale. Une telle situation loin de ses conditions optimales le rend encore plus sensible aux accidents climatiques, en particulier au déficit hydrique d'autant que le cèdre est une espèce mésophile particulièrement exigeante vis-à-vis des propriétés hydriques du sol. Plus globalement, le comportement des espèces dans cette zone de transition constitue donc un détecteur des changements environnementaux (HANSEN *et al.*, 1988 ; GOSZ et SHARPE, 1989 ; GOSZ, 1992 ; KUPFER et CAIRNS, 1996). C'est pourquoi l'impact des évolutions climatiques actuelles (IPCC, 2007 a) y a été souvent recherché, en particulier au niveau de la *timberline* et la *treeline* à différentes échelles (INNES, 1991 ; MOIR et HUCKABY, 1994 ; IPCC, 2007 b ; HOLTMEIER et BROLL, 2007 et 2009 ; HOLTMEIER, 2009 ; SMITH *et al.*, 2009). Néanmoins, la limite inférieure des arbres n'a reçu que peu d'attention dans la littérature scientifique (MEANS, 2011).

## II – MATÉRIEL ET MÉTHODE

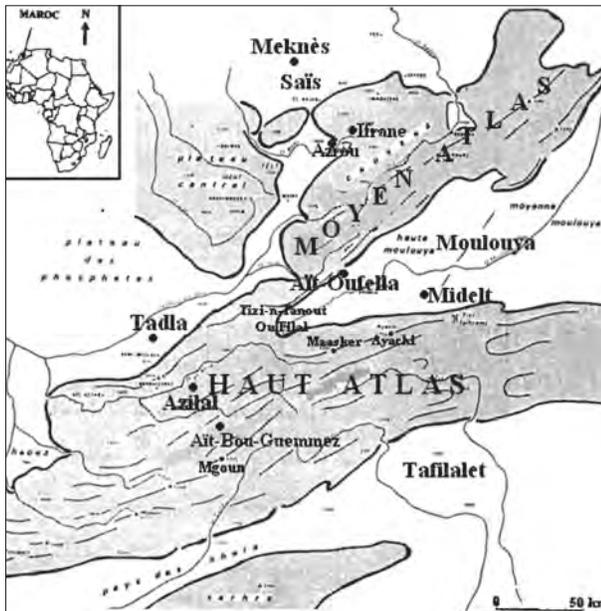
### A - Les caractères originaux de la cédraie méridionale d'Aït-Oufella

La cédraie d'Aït-Oufella est située à 40 km au nord-ouest de Midelt (Fig. 1 et Photo 1). Elle est adossée au versant sud de la chaîne du Moyen-Atlas au-dessus de la haute plaine de la Moulouya (Photos 1 et 2). Le relief est tourmenté et présente des pentes relativement fortes du fait de l'encaissement et de l'abondance des thalwegs. En sorte qu'un fouillis de vallons et de ravins s'organise autour de deux axes hydrographiques parallèles d'orientation NO-SE : l'oued Talat, au nord d'Aït-Oufella, et l'oued Taghmarit, au nord-ouest du même village. La lithologie associe le Lias calcaréo-dolomitique au Crétacé marno-calcaire, dans lesquels s'intercalent des veines d'argile rouge et/ou des basaltes du Trias ou encore quelques poches de conglomérats et de poudingues Mio-Pliocènes (MARTIN, 1981).

Sur le plan édaphique, les sols sont généralement squelettiques, quand les formations carbonatées n'affleurent pas largement. Quelle que soit la nature de la roche, le degré de fissuration est nettement prévalent (Photo 3) auquel il convient d'agréer des paramètres susceptibles d'influer sur sa capacité de stockage en eau comme la pente, l'exposition au regard de l'insolation, donc de l'hygrométrie, et de l'orientation aux vents humides, le pendage de la roche (conforme ou inverse), le degré d'altération ou friabilité de la roche mère (fonction de sa nature minéralogique), de la présence d'obstacles de nature

pédologique (horizon concrétionné, encroûté, induré...) ou hydrologique (présence de nappe phréatique à faible profondeur), de la pierrosité, de la fraction de terre fine (qui constitue le réservoir hydrique du sol) et de la texture. L'interaction de ces différentes variables édaphiques et des composantes climatiques (géographiques et altitudinales) crée à son tour un large éventail de conditions de bilan hydrique (favorable, moyen ou défavorable) variables dans l'espace permettant d'appréhender et donc d'expliquer certains éléments des caractéristiques de la structure forestière que chaque système géopédologique porte.

Le climat général est proche de celui de la haute plaine de Midelt. La barrière montagneuse du Moyen-Atlas au nord et, dans une moindre mesure, celle du Haut-Atlas au sud (Photos 1 et 2), créent un effet d'ombre climatique sur la plaine qui connaît un climat continental prononcé (forte amplitude thermique annuelle) et surtout une pluviosité faible doublée d'une sécheresse marquée pendant une longue période de l'année (RHANEM, 2009 et 2010 b) et tout naturellement bien sûr en été. La « poche de sécheresse d'Outat-El-Haj », la zone la plus xérique de la région avec une pluviosité moyenne de 160 mm/an (PUJOS, 1955), n'est qu'à une centaine de kilomètres au nord-est en direction des Hauts Plateaux. Toutefois, en forêt d'Aït-Oufella, du fait du relief, différents topoclimats se différencient en fonction de l'exposition au soleil, de l'altitude et de la proximité (ou l'éloignement) de l'endroit par lequel arrivent les masses d'air humide porteur de pluie. Ils influencent l'abondance des précipitations neigeuses et la durée de leur persistance au sol. Or une fonte tardive de la couverture neigeuse atténue les risques de déficit hydrique sévère en été et rend donc les conditions plus favorables au développement des arbres.



**Figure 1** – Localisation de la forêt d'Aït-Oufella aux abords de la plaine de Midelt et sa position par rapport aux deux chaînes montagneuses du Moyen- et Haut-Atlas qui l'encadrent.

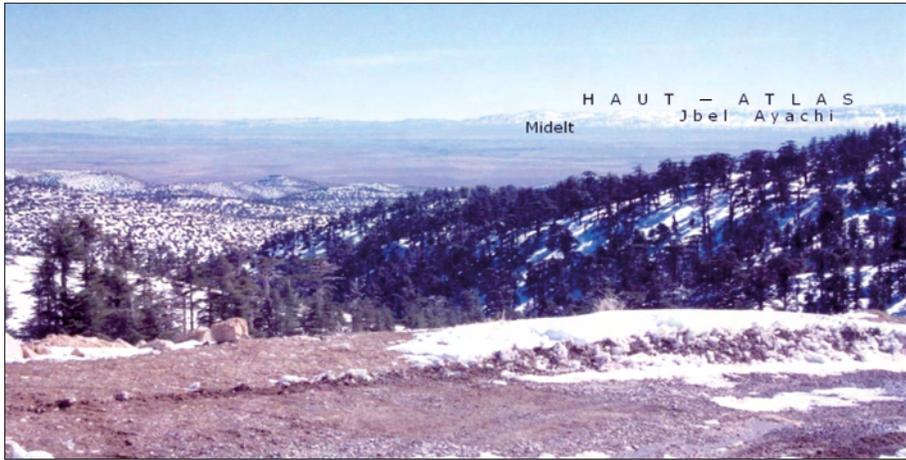
La haute plaine de la Moulouya de direction ouest-est et les versants atlasiques l'encadrant sont en période hivernale plus ou moins rapidement atteints par les masses d'air froid venues du NO (effet de canalisation, d'engouffrement dans le couloir formé au NE du bassin d'Arhbalou entre le Tizi -n- Tanout Ou Filal et les premiers chaînons du Moyen-Atlas central plissé). Ces dernières, acheminées massivement, s'étalent progressivement sur les reliefs montagneux de part et d'autre du fond de vallée de la Moulouya. En s'infléchissant vers le bas le long de cet axe, elles voient cependant leur vitesse diminuer, se réchauffent par compression et se dessèchent tant soit peu. Par temps moyennement perturbé, on peut observer que le ciel s'éclaircit très vite dès la retombée du plateau supérieur du Moyen-Atlas méridional sur la plaine. En revanche, l'afflux d'air provoqué par le ralentissement de la vitesse du vent au franchissement de cet obstacle accentue l'ascendance de l'air lorsque celui-ci aborde les versants atlasiques ceinturant au nord et au sud la plaine de la Moulouya, et par suite favorise l'intensification des précipitations qui tombent principalement sous forme neigeuse (condensation par ascendance orographique en régime dépressionnaire).

Cependant, à mesure que l'on s'éloigne du pôle le plus humide (Photo 2), et que la plaine s'abaisse et s'élargit en éventail vers le NE, les vents humides diminuent d'intensité et s'assèchent progressivement en étant davantage allégés de leur vapeur d'eau. Aussi les nuages arrivent-ils affaiblis sur l'extrémité orientale du massif de l'Ayachi. Cela est parfaitement visualisé par le décalage régulier en altitude de la limite inférieure des neiges en raison des effets cumulés du gradient horizontal de continentalité ouest-est parallèlement à la rive droite de la haute vallée de la Moulouya et du gradient thermique altitudinal perpendiculaire aux versants. Il en résulte une obliquité des isoplètes par rapport à cette ligne de plus grande pente et un étirement en fuseau de la bande neigeuse (RHANEM, 2009). Il s'en suit une diminution de l'amplitude altitudinale de la cédraie à mesure que l'on s'éloigne des zones occidentales favorables au cèdre.

Il convient enfin de souligner que les cédraies sont celles où le cèdre est prépondérant dans la strate arborescente sans qu'il s'agisse obligatoirement d'un *Cedreto - Quercetum ilicis* appartenant au *Querco - Cedretalia atlanticae*. Le cèdre est présent bien entendu sur des surfaces beaucoup plus étendues, en mélange soit avec le genévrier thurifère, soit avec le chêne vert. Les peuplements qu'il constitue ont une grande valeur écologique intrinsèque et biopatrimoniale, qui n'ont d'égale que leur valeur économique comme source de bois, et aussi comme lieu de pâture.

## **B. La structure spatiale de la limite inférieure méridionale de l'aire régionale moyen-atlasique du cèdre**

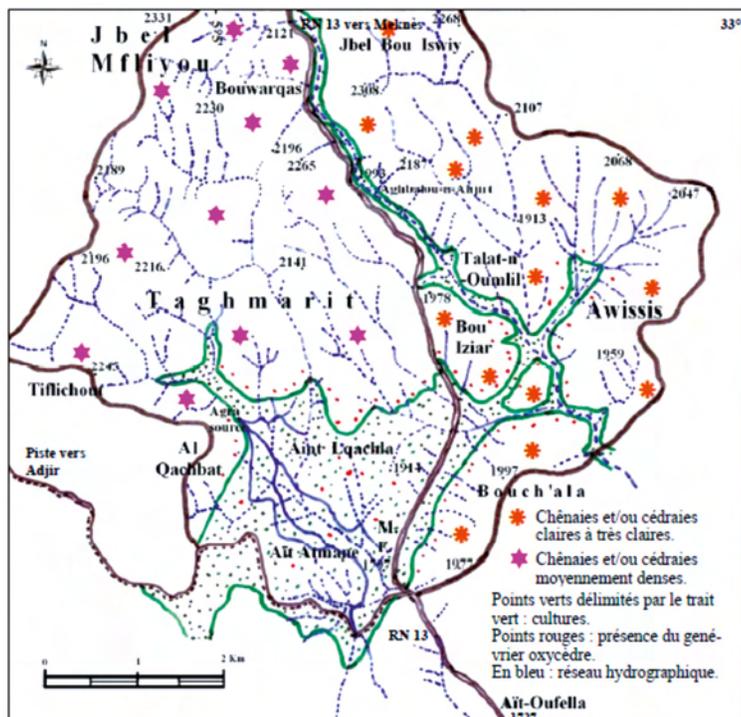
Les cédraies occupent une surface relativement importante dans les massifs montagneux encadrant la haute plaine de Midelt et s'y présentent sous des aspects variés liés à la diversité des contextes topoclimatiques. Les enjeux aussi sont multiples. En ce qui concerne le cèdre en forêt d'Aït-Oufella, tous les intermédiaires sont possibles depuis un biotope dans lequel, particulièrement à son aise, il sera un élément essentiel du peuplement, jusqu'à d'autres où il sera



**Photo 1** – Secteur oriental de la forêt d'Aït-Oufella où le relèvement de la limite inférieure de la cédraie continentale sur le versant moulouyen (sud) du Moyen-Atlas est déterminé par un double gradient climatique, et ce parallèlement à la décroissance générale des altitudes vers le sud-est. En sorte que la cédraie y laisse progressivement la place à une yeuseaie vers le bas et vers l'est. D'autre part, ce versant forestier contraste nettement avec l'asylvatisme de la plaine de Midelt (bassin versant de la Moulouya) que surplombe au sud le jbel Ayachi (Haut-Atlas). Cette limite de végétation infraforestière tranchée coïncide avec l'altitude inférieure des neiges hivernales, laquelle se cale sur la ligne de rupture de pente (faille d'Aït-Oufella) entre le piémont et les contreforts périphériques du Moyen-Atlas. (Vue depuis le sommet du jbel Bouyizane (2356 m) dans le Moyen-Atlas). (Les photos illustrant cet article sont de l'auteur).



**Photo 2** - Pôle occidental le plus humide du territoire étudié où l'enneigement est plus important en raison des altitudes supérieures et de sa proximité de l'endroit par lequel l'air humide se faufile. En effet, malgré sa position abritée derrière les reliefs du Moyen-Atlas, elle subit l'action bénéfique des masses d'air humide océanique qui arrivent à l'atteindre, non plus de face, comme c'est le cas des versants septentrionaux du Moyen-Atlas, mais de profil en l'abordant à partir de son flanc occidental (en haut et à droite du cliché), par temps perturbé.



**Figure 2** - Carte de végétation simplifiée de la retombée méridionale du Moyen-Atlas au nord d'Aït-Oufella.



**Photo 3** – Belle régénération de clairière sur calcaire compact bien fissuré. Sur un sol rendzinière peu épais (10 à 15 cm), le cèdre de l'Atlas profite de la fissuration des calcaires, les fissures étant remplies d'argile de décalcification. Ceux-ci présentent l'avantage de s'engorger en eau durant la période de la fonte des neiges et le restent assez longtemps à cause de l'altitude et de leur position et maintiennent par conséquent un bilan hydrique favorable au développement du cèdre. Ainsi les arbres trouvent-ils encore de l'eau en profondeur au cours de la saison estivale, et cela d'autant plus que leurs racines utilisent très bien les fissures de la roche calcaire sous-jacente.

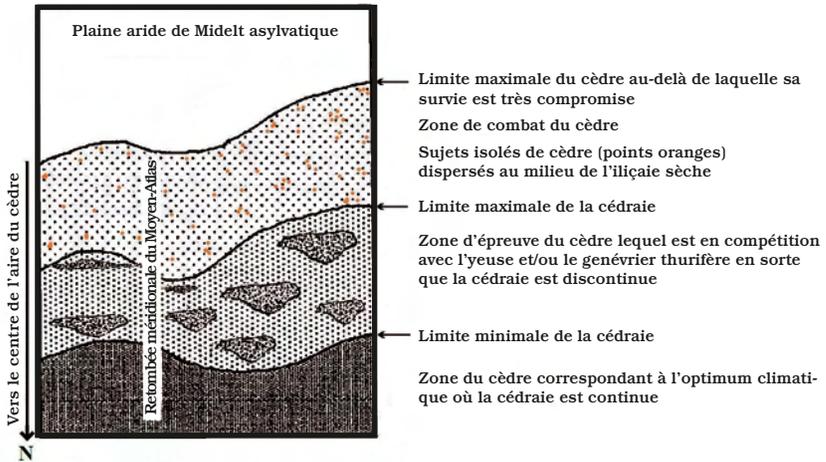
moins à son aise et ne dominera plus, ou encore dans lesquels, il ne sera plus représenté. En sorte que sa répartition montre trois ensembles correspondant des types physionomiques en relation avec la dislocation progressive de la cédraie.

En effet, sur la limite d'extension du cèdre, trois zones se distinguent sur le terrain : la « zone proprement dite du cèdre », une « zone d'épreuve ou zone contestée » et une « zone de postes avancés » (Fig. 3) Le gradient des températures et des précipitations commande, à travers une série de seuils, leur étagement altitudinal. Dans la première zone, la cédraie peut être continue sur de grandes surfaces car le cèdre est largement prépondérant dans les forêts, tant par le nombre d'individus que par leur développement dominant, alors que dans la « zone d'épreuve » la cédraie se morcelle en îlots dispersés au milieu de la chênaie à *Quercus ilex* L. (chêne vert) ou de la thuriferaie à *Juniperus thurifera* L. (genévrier thurifère) et se réfugie dans les situations les plus fraîches ; puis, au-delà d'une certaine limite, la cédraie disparaît et le cèdre n'existe plus qu'en pieds isolés dans les stations fraîches (photo 3). Au niveau de cette frange, le cèdre ne lutte plus pour l'occupation du sol en concurrence avec l'yeuse, mais pour sa simple survie, sans toutefois présenter des modifications morphologiques. Vers 1 800 m d'altitude, le cèdre cède définitivement sa place au profit du chêne vert et la forêt devient une yeuseraie pré-steppique. Cette très grande tolérance vis-à-vis des conditions du milieu permet à la chênaie de couvrir de larges surfaces.

Toutefois, l'yeuse disparaît à son tour en dessous de 1 700 m d'altitude, abandonnant le terrain à la fruticée d'*Adenocarpus baquei* Battand et Pitard à *Retama sphaerocarpa* (L.) Boiss. (RHANEM, 2009 et 2010 b). La limite entre ces formations se cale sur la rupture de pente entre le piémont et les contreforts périphériques du Moyen-Atlas méridional dont la bordure sud-est surplombe la plaine de la Moulouya. Dans cet écotone, les conditions thermiques et pluviométriques en rapport avec le relief sont déterminantes. Ainsi coïncide-t-il avec l'altitude inférieure des neiges hivernales.



**Photo 4** – Limite inférieure maximale du cèdre sur un replat de pente douce (altitude entre 1800-1830 m). En témoigne le poste avancé représenté ici par un grand sujet mort, au tronc encore intact, et les souches d'abattage de trois autres pieds : le raccourcissement de la période de végétation avec la diminution de l'altitude, impliquant en effet une croissance lente des arbres compensée par une très longue longévité. Les conditions climatiques récentes ayant eu raison de sa résistance dans la mesure où le climat n'est plus un invariant séculaire, mais varie constamment, au-delà des fluctuations annuelles, en tendance sur des périodes proches de la décennie. De tels vestiges sont disséminés ici et là au sein d'une chênaie pré-steppique basse présentant un sous-bois constitué d'espèces toxiques (Euphorbiaceae) ou épineuses (Asteraceae) non pâturées.



**Figure 3** – Limites inférieures d'extension du cèdre et de la cédraie en forêt d'Aït-Oufella.

La cédraie se développe ici sous un bioclimat régional sub-humide ( $600 < \text{Précipitations} : P < 700 \text{ mm}$ ) puis elle disparaît progressivement vers le sud sous un climat plus sec, lorsque la sécheresse devient trop importante et ne peut plus être compensée par des conditions stationnelles fraîches évoquées ci-dessus. Le cèdre est en effet sensible à l'insuffisance des précipitations aussi bien qu'à l'excès de chaleur. En sorte que la limite inférieure de l'espèce résulte pour l'essentiel du déficit hydrique qui s'accroît au fur et à mesure que l'on descend vers la plaine aride de Midelt.

En somme le facteur climatique limitant l'extension de la cédraie à basse altitude n'est pas tant l'intensité de la sécheresse que sa durée. La sécheresse peut être aussi intense entre la limite minimale et la limite maximale de la cédraie qu'au-delà de cette dernière, mais dans la zone de combat du cèdre la sécheresse dure moins longtemps, ce qui permet le maintien de la cédraie en taches isolées sous un climat régional sec dans des conditions stationnelles plus fraîches.

### C - Dynamique de la cédraie

Le cèdre est une essence dotée d'un fort pouvoir dynamique, mais qui pour cela exige des conditions de bilan hydrique favorable. Par exemple, sur les bonnes stations exposées sud-est, le cèdre se développe en pleine lumière, dans les vides et en lisière (photo 3). Dans les mêmes conditions d'exposition, d'autres plages de régénération, plus localisées, s'observent dans les hauts vallons, où la neige s'accumule davantage et où elle perdure beaucoup plus longtemps. Aussi les versants est des vallons sont-ils davantage régénérés que les versants ouest, toutes les autres conditions y étant égales par ailleurs. Cet arbre présente dès son jeune âge un comportement d'essence de lumière et la cédraie progresse directement sur les terrains vides voisins.

Par contre, aux altitudes plus basses sous climat relativement sec, dans son jeune âge le cèdre ne se développe plus en pleine lumière et a besoin

d'ombre. Il acquiert ici un comportement d'essence sciaphile, ses semis se trouvent toujours sous couvert de l'yeuse comme c'est le cas dans la zone d'épreuve précédemment définie.

En raison de ces conditions très particulières de croissance aux limites de sa niche écologique, le dépérissement, voire la mortalité du cèdre d'Aït-Oufella revêt ici une acuité particulière, marquant le paysage et s'imposant avec évidence au regard d'un observateur même non averti. En effet, il prend par endroits des proportions inquiétantes se présentant majoritairement sous forme d'arbres morts sur pied disséminés dans les peuplements de chêne vert, mais aussi d'arbres encore vivants mais très affaiblis, de pertes d'aiguilles, de jaunissement d'une partie des houppiers et de descente de cimes.

### **D - Démarche méthodologique**

L'étude s'appuie sur l'analyse des données climatiques de la station de Midelt et sur les relevés de la végétation et de son état sanitaire en forêt d'Aït-Oufella.

Sur le plan climatique, nous avons considéré les valeurs mensuelles des précipitations et des températures, pour lesquelles nous disposons des chroniques sur la période 1957-2005.

Malgré la distance qui la sépare de la forêt d'Aït-Oufella, la station de Midelt est précieuse, l'ensemble du versant méridional du Moyen-Atlas étant soumis aux mêmes masses d'air, qu'elles soient d'origine océanique ou saharienne, et donc au même climat régional. Cependant les tendances relevées à Midelt doivent être interprétées pour la dition retenue en tenant compte de la mésoposition des versants, de l'altitude et de la topographie. Il convient en outre de souligner que les différents écosystèmes forestiers d'Aït-Oufella reçoivent plus de précipitations neigeuses que Midelt, en raison de l'intervention plus fréquente en hiver et, dans une moindre mesure, au printemps des masses d'air océaniques qui arrivent ici en fin de parcours (RHANEM, 2009 et 2010 b).

La dynamique, la structure et le fonctionnement des écosystèmes à base de cèdre ont été analysés (MUELLER-DOMBOIS et ELLENBERG, 1974 ; DAGET et GODRON, 1982 ; KENT, 2011) en vue d'établir un lien entre le dépérissement des arbres et les conditions stationnelles. Celles-ci dépendent largement des variations de la température et des précipitations en fonction de l'altitude, même s'il ne faut pas négliger d'autres paramètres.

Cette analyse a été réalisée le long d'un transect (LEBERHARDT, 1978 ; GILLISON et BREWER, 1985 ; MUELLER-DOMBOIS *et al.*, 1989) perpendiculaire aux isohypses, parallèlement au gradient de variations principales du climat. L'emploi du transect se révèle être une technique rapide, facile et efficace.

La symptomatologie des dommages subis par le cèdre a été estimée visuellement selon quatre niveaux en fonction de la coloration anormale du feuillage (jaunissement), selon que la perte des aiguilles est totale ou pas et de la présence de branches sèches. Les arbres étudiés ont été décrits individuellement et répartis, selon leur apparence, dans les catégories suivantes :

- pas de problème particulier : cèdres sains, houppier sans symptômes ;
- cèdres peu dépérissants : cime légèrement dégarnie, feuilles jaunies çà et là, aspect général peu vigoureux, état faiblement détérioré ;

- cèdres très dépérissants : plusieurs branches mortes (parfois descente de cime), feuillage souvent rare, état fortement détérioré ;
- cèdres morts.

En complément, la densité des individus affectés, l'altitude, l'exposition, la pente, et la profondeur du sol ont été prises en compte.

### III – RÉSULTATS

#### III. 1 – Les conditions climatiques

##### A – Précipitations

Sur 48 années climatiques, de septembre 1957 à août 2005, les précipitations annuelles varient beaucoup d'une année à l'autre, les valeurs étant comprises entre 94 mm (1992-1993) et 502 mm (1962-63). Sur l'ensemble de la période, les précipitations annuelles moyennes atteignent 196 mm (écart-type : 78 mm ; écart moyen arithmétique : 56 mm).

Jusqu'en 1975-76, les précipitations annuelles sont le plus souvent supérieures à 200 mm. À partir de 1976-77, les valeurs inférieures à 200 mm prédominent. Ainsi les pluies annuelles moyennes passent-elles de 225 à 161 mm entre les périodes 1957-76 et 1976-05.

À l'échelle mensuelle, la diminution des précipitations moyennes entre les périodes 1957-76 et 1976-05 se manifeste sur la plupart des mois, octobre et août faisant exception. Les différences se révèlent particulièrement fortes au cours des mois qui constituaient la période la plus humide de 1957 à 1976, de février à juin, et tout particulièrement en avril.

Si les moyennes lissent évidemment des variations interannuelles qui peuvent être très fortes, l'opposition entre les périodes 1957-76 et 1976-05 est manifeste à travers les totaux pluviométriques annuels de février à juin.

Pour autant, le régime pluviométrique change peu. Certes, il passe de PAHE à APHE, mais les précipitations d'automne (52,3 mm de septembre à novembre) dépassent à peine celles du printemps (52,1 mm de mars à mai) sur la période 1976-05.

##### B – Températures

En considérant les deux périodes distinguées dans le cas des précipitations, la température moyenne s'établit à 14,0 °C de septembre 1957 à août 1976 et à 15,0 °C de septembre 1976 à août 2005. L'augmentation est du même ordre de grandeur pour la moyenne des températures minimales journalières (de 7,4 à 8,3 °C) comme celle des températures maximales (de 20,6 à 21,7 °C).

Le réchauffement entre les périodes 1957-76 et 1976-05 est sensible sur tous les mois sauf janvier, aussi bien pour les températures minimales que maximales, et donc aussi pour les températures moyennes. Les augmentations les plus fortes sont enregistrées en décembre, mars, avril et juin. Pour ces mois, les écarts sont plus élevés pour les maximales que pour les minimales.

En décembre, la température moyenne passe de 5,8 à 7,8 °C, la moyenne des températures maximales de 11,1 à 13,4 °C et la moyenne des minimales de 0,5 à 2,1 °C.

Pour juin, la température moyenne atteint 19,3 °C sur la période 1957-76 et 21,1 °C sur la période 1976-05, la moyenne des températures maximales journalières 26,6 et 28,6 °C respectivement et la moyenne des températures minimales 12,0 et 13,6 °C.

À l'échelle saisonnière, les écarts de température entre les périodes 1957-76 et 1976-05 sont les plus forts au printemps pour la température moyenne (+ 1,2 °C) et la moyenne des maximales (+ 1,5 °C) et en été pour la moyenne des minimales (+ 1,0 °C). Ils sont les plus faibles en automne pour les deux premières valeurs (+ 0,8 °C) et en hiver pour la troisième (+ 0,7 °C).

### III. 2 – Relation entre l'aridification du climat et le dépérissement du cèdre

En l'absence de tout autre facteur explicatif, sans attaque parasitaire et avec des impacts anthropiques réels mais limités, il est manifeste que l'évolution des conditions climatiques a bien été l'élément déclenchant du dépérissement du cèdre à sa limite inférieure, dans des stations où les conditions d'alimentation hydrique étaient préalablement déjà problématiques.

Entre 1 800 et 2 000 m d'altitude, en exposition ouest (de nord-ouest à sud-ouest), la mortalité a frappé aussi bien les individus âgés que les juvéniles (Photos 4 et 5).



**Photo 5** – Dépérissement majeur affectant la totalité des jeunes cèdres situés en exposition sud-ouest du jbel Awissis, aux confins de la partie inférieure de la zone d'épreuve du cèdre, entre 1900-2000 m d'altitude. Cela montre que la compensation du déficit hydrique d'origine climatique par les conditions stationnelles favorables, qui permettaient la survie du cèdre, n'est plus suffisante. Un seuil critique de stress hydrique a donc été dépassé

Cette chénaie pré-steppe sur substrat rocheux peut être laissée à son évolution naturelle (dans le but de naturalité) ou faire l'objet d'une coupe sanitaire des arbres morts suivie de leur évacuation au plus vite hors du peuplement pour éviter la prolifération et l'essaimage de xylophages, de détritivores et de cavicoles. Le choix entre ces deux options est souvent difficile.



**Photo 6** – Brunissement du feuillage de jeunes cèdres dans une cédraie de fond de vallon de Bouwrqas à *Helianthemum croceum* L. en exposition nord-est, à 2 100 m d'altitude.

Dans la partie supérieure de la zone d'épreuve du cèdre, entre 2 100 et 2 300 m, le dépérissement apparaît plus ponctuel (tous les arbres n'étant pas touchés) et l'issue n'est pas obligatoirement fatale, même si la situation est préoccupante. En effet, les jeunes cèdres installés ici près de leur optimum écologique parviennent souvent à récupérer assez vite après une crise, surtout en exposition est et/ou en fond de vallon (Photo 6), alors que le rétablissement est beaucoup plus difficile, sinon quasi-impossible, pour ceux qui sont disséminés dans la chênaie en exposition sud-ouest (Photo 7). De tout cela, en moyenne, il résulte une migration vers le haut de la limite altitudinale inférieure du cèdre, qui avoisine 200 m.

La forte diminution des précipitations printanières et la réduction des précipitations neigeuses dont la fonte progressive maintenait un certain degré d'humidité du sol jusqu'au début de l'été, ont un impact extrêmement négatif sur la survie du cèdre en dessous de 2 000 m d'altitude, là où le climat est le plus xérique.

Toutefois le cèdre résiste mieux en exposition est (Photos 7 et 8). En effet, dans les vallées qui échancrent la retombée méridionale du Moyen-Atlas central, le versant occidental est le plus souvent exposé au nord-est, alors que le versant opposé fait généralement face au sud-est, ce qui joue évidemment sur le bilan radiatif. De plus, les pentes exposées à l'est captent



**Photo 7** – Dépérissement différentiel du cèdre dans la partie amont du vallon de Bouwrqas.

Le vallon descend de 2 300 à 2 100 m d'altitude selon une direction nord-sud. Sur le versant sud-ouest (à droite du cliché), les cèdres sont morts au milieu d'une chênaie, alors que la cédraie du versant sud-est (en haut à gauche) apparaît largement épargnée. Au premier plan, une belle régénération de cèdres occupe le fond de vallon.

les rayons solaires le matin, alors qu'il fait frais et que le degré hygrométrique est élevée : l'ablation par sublimation y est, par conséquent, réduite. Sur les pentes exposées à l'ouest, au contraire, les rayons solaires frappent la surface neigeuse au cours de l'après-midi, au moment du maximum thermique, ce qui détermine une forte sublimation. Enfin, le versant occidental des vallées est susceptible de bénéficier d'une suralimentation neigeuse, du fait de la déflation de la neige tombée sur le versant ouest de l'interfluve correspondant. En définitive, les pentes exposées à l'ouest se trouvent très tôt déneigées, alors que celles exposées à l'est bénéficient d'un tapis neigeux épais qui se conserve plus longtemps (Photo 8). Or celui-ci protège les jeunes plantules de cèdre du gel en hiver et au printemps, puis sa fonte entretient l'humidité des horizons supérieurs du sol jusqu'à la fin du printemps.

Enfin, derniers éléments climatiques notables, les vents desséchants et les orages violents. S'ils ne participent pas des fluctuations climatiques observées au cours des dernières décennies, ils n'en constituent pas moins des facteurs aggravants de l'instabilité des écosystèmes forestiers à base de cèdre.

Toutefois il ne faut pas y voir une relation de cause à effet. À l'action du facteur climatique peuvent s'ajouter d'autres facteurs mésologiques qui interagissent entre eux et avec le facteur climatique, à un certain moment et à certains endroits, pour donner un état des cèdres de bonne ou de mauvaise



**Photo 8** – Influence de l'exposition sur la conservation du tapis neigeux dans le bassin versant de l'oued Talat (vallon d'Aghbalou-n-Ahjirt).

La durée d'enneigement, plus longue sur le versant exposé au sud-est (à droite du cliché), est à l'origine du maintien du développement du cèdre, contrairement au versant exposé au sud-ouest où la neige fond plus rapidement. Vue prise en direction du sud vers la plaine de Midelt.

santé suivant les conditions, le facteur climatique agissant alors comme un révélateur d'un ou de plusieurs facteurs.

La forte inclinaison des versants, qui facilite l'évacuation de l'eau par ruissellement, comme l'aridité édaphique due à la très faible profondeur des sols doivent également être prises en compte. Enfin, les activités humaines peuvent localement intervenir (défrichage, mise en culture, surpâturage).

#### **IV - CONCLUSION**

En forêt d'Aït-Oufella, l'aridification du climat est le facteur déclenchant de la mortalité du cèdre, stade ultime de son dépérissement, à la limite inférieure de son aire régionale de répartition. Les précipitations printanières ont ainsi subi à Midelt, sur la période 1976-2005, une baisse très forte (de l'ordre de 49 %), tout particulièrement en avril, au moment où les besoins en eau du cèdre deviennent importants.

Toutefois, à égale altitude, plusieurs facteurs font que les versants globalement exposés à l'est se distinguent de ceux globalement exposés à l'ouest, les premiers étant moins thermophiles. D'une part, les versants occidentaux des vallons sont souvent exposés au nord-est, alors que les versants orientaux, le plus souvent exposés au sud-est, sont plus ensoleillés.

Les conditions de rayonnement entre le matin le soir, renforcent cette opposition. Enfin, s'ajoute le rôle des vents dominants d'ouest, qui tendent à accumuler de la neige sur les versants exposés à l'est. Le dépérissement du cèdre est donc plus prononcé sur les versants orientaux des vallons entaillant le rebord méridional du Moyen-Atlas que sur les versants occidentaux.

Au vu de ces résultats, il nous a été possible de ressortir un certain nombre de faits qui nous éclairent sur le déroulement très vraisemblable du scénario du dépérissement du cèdre en forêt d'Aït-Oufella :

- au départ un affaiblissement physiologique causé par une succession d'années sèches ;
- ensuite d'autres circonstances aggravantes : (1) pentes moyennes à fortes, accentuant la tendance au ruissellement, (2) exposition sud-ouest entretenant une ambiance plus thermophile, (3) aridité édaphique due à la très faible profondeur des sols et à la nature calcaire du substrat, (4) défrichement, mise en culture, piétinement des animaux domestiques et surpâturage ;
- une forte concurrence pour l'eau et les substances minérales de la part du chêne vert.

### Références bibliographiques

- ABOUROUH M. et MORELET M., 1999 – Les champignons parasites du cèdre de l'Atlas en Afrique du Nord et en France. *Forêt méditerranéenne*, **XX (4)** : 198-202.
- BELOULA S., 2010 – *Étude sur le dépérissement du cèdre de l'Atlas dans le parc national de Belezma (Wilaya de Batna). Apport de la télédétection et SIG*. Mémoire de Magistère, Université El-Hadj Lakhdar (Batna), 60 p. + bibliographie et annexes.
- BENHALIMA S., 2006 – *Les insectes xylophages et leur rôle dans le dépérissement du cèdre de l'Atlas (Cedrus atlantica (Endl) Carrière) dans le Haut et le Moyen Atlas (Maroc)*. Université Mohamed V – Agdal (Rabat), Travaux de l'Institut Scientifique, n° 46, 63 p.
- BENTOUATI A. et BARITEAU M., 2006 – Réflexions sur le dépérissement du cèdre de l'Atlas des Aurès (Algérie). *Forêt méditerranéenne*, **XXVII (4)** : 317-322.
- CASTELLO J. D. & TEALE S. A., 2011 - *Forest health : An integrated perspective*. Cambridge University Press, 404 p.
- CLAES V., 1994 – *Écologie de la limite infraforestière des versants Moyen et Haut Atlasiques de la haute plaine de Midelt*. Mémoire d'Ingénieur Agronome, Fac. Sc. Agr. Gembloux, Belgique, 95 p.
- DAGET P. et GODRON M., 1982 – *Analyse de l'écologie des espèces dans les communautés*. Masson, 163 p.
- EBERHARDT L. L., 1978 – Transect methods for population studies. *J. Wild. Manage.*, **42(1)** : 1-31.
- EDMONDS R. L. , AGEE J. K. et GARA R. I., 2000 - *Forest Health and Protection*. Ed. McGraw-Hill, 648 p.
- ET - TOBI M., M'HIRIT O. et MHAMDI A., 2006 – *Dépérissement du cèdre de l'Atlas : concept et diagnostic phytosanitaire*. In : *Le cèdre de l'Atlas : mémoire du temps*, O. M'HIRIT édit., Édit. Mardaga / La croisée des chemins, Hayen / Casablanca, p. 235-244.
- FARINA A., 2010 – Ecology, cognition and landscape: Linking natural and social systems. *Springer, landscapes series*, **11** : 1-169.
- GAUQUELIN X., 2010 – *Guide de gestion des forêts en crise sanitaire*. IDF, 96 p.
- GILLISON A. N. et BREWER K. R. W., 1985 – The use of gradient directed transects or gradsects in natural resource surveys. *J. Envir. Manage.*, **20** : 103-127.
- GOSZ J. R. et SHARPE P. J. H., 1989 – Broad-scale concepts for interactions of climate, topography, and biota at biome transitions. *Landscape ECOLOGY*, **3 (3/4)** : 229-243.
- GOSZ J. R., 1992 – Gradient analysis of ecological change in time and space : implications for forest management. *Ecological Applications*, **2(3)** : 248-261.

- GOSZ J. R., 1993 – Ecotone hierarchies. *Ecological Applications*, **3(3)** : 369-376.
- HANSEN A. J., DICASTRI F. et NAIMAN R., 1988 – Ecotones : what and why ?  
*In* A new look at ecotones : Emerging International Projects on Landscapes Boundaries. Edited by DICASTRI F., HANSEN A. J. and HOLLAND M. M., *Biol. Int. Epec. Issue*, **17** : 9-46.
- HARTMANN G., NIENHAUS F., BUTIN H. et WINTER K., 1991 – *Les symptômes de dépérissement des arbres forestiers : Atlas de reconnaissance en couleurs des maladies, insectes et divers*. Edition française, IDF, 256 p.
- HOLTMEIER F. K. et BROLL G., 2007 – Treeline advance – driving process and adverse factors. *Landscape Online* 1, 1-33. DOI : 10.3097/LO.200701.
- HOLTMEIER F. K. et BROLL G., 2009 – Altitudinal and polar treelines in the northern Hemisphere – causes and response to climate change. *Polarforschung*, **79 (3)** : 139-153.
- HOLTMEIER F., K. 2009 – *Mountain timberlines. Ecology, Patchiness, and Dynamics*. Advances in Global Change Research 36, Springer, 437 p.
- HUFKENS K., SCHEUNDERS P. et CEULEMANS R., 2009 – Ecotones in vegetation ecology : methodologies and definitions revisited. *Ecol. Res.*, **24(5)** : 977-986.
- INNES J. L., 1991 – High-altitude and high-latitude tree growth in relation to past, present and future global climate change. *The Holocene*, **1(2)** : 168-173.
- IPCC, 2007 a – *Climate change 2007 : The physical science basis*. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. SOLOMON S., QIN D., MANNING M., CHEN Z., MARQUIS M., AVERYT K.B., TIGNOR M. et MILLER H.L. (eds), Cambridge University Press, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 p.
- IPCC, 2007 b – *Climate change 2007 : Impacts, adaptation and vulnerability*. Contribution of working group II to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. PARRY M., CANZIANI O., PALUTIKOF J., VAN DER LANDEN P. et HANSON C. (eds), Cambridge University Press, United Kingdom and New York, NY, USA, 976 p.
- KENT, 2012 – *Vegetation description and data analysis. A practical approach*. 2<sup>nd</sup> ed., Willey-Blackwell, 414 p.
- KUPFER J. A. et CAIRNS D. M., 1996 – The suitability of montane ecotones as indicators of global climatic change. *Progress in Physical Geography*, **20 (3)** : 253-272.
- LANDMANN G., 1994 – Concepts, définitions et caractéristiques générales des dépérissements forestiers. *Rev. For. Fr.*, **XLVI (5)** : 405-415.
- MANION P. D., 1990 – *Tree disease concepts*. 2ed., Prentice Hall, 416 p.
- MARTIN J., 1981 – *Le Moyen Atlas central : étude géomorphologique*. Ed. du Service Géologique du Maroc, Notes et Mémoires, 258 bis, 445 p.
- MEANS R. E., 2011 – *Synthesis of lower treeline pine (Pinus flexilis) woodland knowledge, research needs, and management considerations*, p. 29-36. *In* KEAN R. E., TOMBACK D. F., MURRAY M. P. & SMITH C. M. (eds) The

- future of high-elevation, five-needle white pines in western north America. Proceedings of the high five symposium, 28-30 june 2010 ; Missoula, Montana, 376 p. Online at [http://www.fs.fed.us/rm/pubs/rmrs\\_p063.html](http://www.fs.fed.us/rm/pubs/rmrs_p063.html)
- MOIR W.H. et HUCKABY L. S., 1994 – Displacement ecology of trees near upper timberline. *Int. Conf. For. Bear Res. and Manag.*, **9(1)** : 35-42.
- MUELLER-DOMBOIS D. et ELLENBERG H., 1974 – *Aims and methods of vegetation ecology*. The Blackburn Press, 547 p.
- MUELLER-DOMBOIS D., LITTLE M. A. et HAMMEN T. van der, 1989 – *Manual of methods for mountain transect studies (first approximation). Comparative studies of tropical mountain ecosystems*. International Union of Biological Sciences, Decade of the Tropics, 67 p.
- NAGELEISEN L.-M., PIOU D., SAINTONGE F.-X. et RIOU-NIVERT P., 2010 – *La santé des forêts. Maladies, insectes, accidents climatiques...Diagnostic et prévention*. DSF/IDF, 608 p.
- PUJOS A., 1955 – Sur un sous-étage de végétation méditerranéen aride froid à chénopodiacées et la présence de l'étage méditerranéen saharien dans le bassin de La Moulouya (Maroc).
- RHANEM M., 2009 – L'alfa (*Stipa tenacissima* L.) dans la plaine de Midelt (Haut bassin versant de la Moulouya) – Éléments de climatologie. *Physio-Géo – géogr. Phys. Env.*, **III** : 1-20.
- RHANEM M., 2010 a – 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., 2010 b – Étude climatique en moyenne montagne méditerranéenne : le cas de la localité de Midelt dans le haut bassin versant de la Moulouya (Maroc) pour des fins bioécologiques. *Quad. Bot. Amb. Appl.*, **21** : 165-187.
- RISSER P. G., 1995 – The status of the science examining ecotones. *Bioscience*, **45** : 318-325.
- SAINTONGE F.-X., NAGELEISEN L.-M., ASSALI F. et AADEL T., 2011 – Santé des forêts marocaines : Adaptation de la stratégie d'observation du Département de la Santé des Forêts (DSF) au contexte marocain. *Rev. For. Fr.*, **1** : 7-16.
- SINCLAIR W. A. et LYON H. H., 2005 – *Diseases of trees and shrubs*. Cornell University Press, 660 p.
- SMITH W. K., GERMINO M. J., JOHNSON D. et REINHART K., 2009 – The altitude of alpine treeline: a bellwether of climate change effects. *Bot. Rev.*, **75(2)** : 163-190.
- VAN DER MAAREL E., 1990 – Ecotones and ecoclines are different. *Journal of Vegetation*
- ZAREMSKI A., BAKKALI-YAKHLEF S., CHAINTREUIL C., ABBAS Y., PRIN Y., ABOUROUH M., DUCOUSSO M. et BAUDASSÉ C., 2007 – Caractérisation moléculaire du M'jej, agent de dépérissement des cédraies marocaines. *Bois et Forêts des Tropiques*, **291 (1)** : 67-73