

The Relationship between Climate and Vegetation in the Moroccan Western High Atlas Mountains

Relation Climat-Végétation dans le Haut Atlas occidental marocain

MOHAMED ALIFRIQUI

LABORATOIRE D'ÉCOLOGIE VÉGÉTALE, FACULTÉ DES SCIENCES-SEMLALIA,

BP 5/15, MARRAKECH, MAROC

RICHARD MICHALET

UNIVERSITÉ JOSEPH FOURIER, CENTRE DE BIOLOGIE ALPINE,

BP 53, 38041 GRENOBLE CEDEX 9, FRANCE

JEAN PAUL PELTIER

UNIVERSITÉ JOSEPH FOURIER, CENTRE DE BIOLOGIE ALPINE,

BP 53, 38041 GRENOBLE CEDEX 9, FRANCE

Summary

The Moroccan Western High Atlas Mountains represent one of the most marginal orographic systems in the Mediterranean area. Because of its orientation, this mountain range is subjected to two major depressional fluxes, leading to a unique seasonal distribution of precipitation on each slope of the mountain range. Several studies have showed the differences in aridity between the two mountain sides and the existence of particular bioclimatic domains according to the situation within the mountain range. These approaches were based on averaged data, which very often conceal the variability in rainfall characterising these southern Mediterranean regions. Observing the types of weather directly, this study confirms the existence of various climatic domains. There is a series of external, medium, and internal domains which succeed one another from the outside to the inside of the Atlas Range. Principal component analysis was applied to raw monthly data to analyse rainfall variability in the Moroccan Western High Atlas Mountains. The internal climatic domain and the southern parts of the Atlas Range have much variable precipitation. The effect of these phenomena on plant communities is very obvious, particularly in the development of endemism.

Introduction

Le Maroc est très largement soumis à des flux dépressionnaires atlantiques en provenance du nord-ouest qui dépendent de l'activité saisonnière du front polaire. Le Haut Atlas occidental est, et à l'instar de tout le Maroc, une chaîne méditerranéenne, caractérisée par un climat extratropical à sécheresse estivale (Daget 1984). Le Haut Atlas occidental constitue un véritable carrefour climatique, botanique, et géographique, entre une zone franchement méditerranéenne au nord et une zone encore méditerranéenne mais à forte influence tropicale au sud. La répartition de la végétation sur les deux versants du Haut Atlas occidental se trouve ainsi, et en grande partie, dépendante de cette opposition de versant. Les différences d'aridité, essentiellement estivale,

des deux versants du massif paraissent être à l'origine d'une coupure chorologique fondamentale que constitue l'axe de la chaîne dans cette région. L'apparition d'une végétation continentale dans les profondes vallées internes abritées constitue le second élément capital de la particularité climatique de cette chaîne.

La présente communication tend à montrer les conséquences biologiques qui découlent de la particularité climatique du Haut Atlas occidental, notamment sur la répartition de la végétation dans les différentes dimensions considérées: altitude, continentalité, exposition aux courants perturbés. Un schéma-modèle synthétique de la relation **climat-végétation** sera présenté. Il se base sur les résultats de plusieurs approches d'investigations climatiques, présentées succinctement ci-dessous avec les traits majeurs du climat et sa variabilité dans cette marge méridionale de la région méditerranéenne.

Caractéristiques Climatiques

Le Haut Atlas occidental marocain constitue l'un des systèmes orographiques les plus marginaux de la région méditerranéenne. Par son orientation, il est soumis à deux principaux flux dépressionnaires particuliers sur chacun de ces deux versants. En effet, les précipitations dans le Haut Atlas sont générées par différents types de courants perturbés (Peltier 1982; Peyre 1983; Alifriqui 1986; Delannoy 1988) (Fig. 1). Sur le versant nord, ce sont les trajectoires à composante nord, passant sur la plaine du Haouz qui dominant; sur le versant sud, ce sont les trajectoires à composante sud, passant sur la plaine du Souss en partie d'origine méridionale, qui assurent l'essentiel des pluies. Ces deux courants affectent la chaîne du Haut Atlas à des saisons différentes. Celui de trajectoire soussienne arrive en automne et en hiver, celui de trajectoire haouzienne commence en hiver et se prolonge pendant tout le printemps (Fig. 2). Cette situation est unique dans l'Atlas marocain. Dans le Haut Atlas, ce sont les hautes crêtes de la chaîne axiale partout supérieures à 3.000m d'altitude, qui modifient la dynamique verticale aérologique, d'où la dissymétrie de la couverture nuageuse selon les versants. En général, au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la source génératrice des courants perturbés, il se crée à cause de l'orographie des secteurs en position d'abri, correspondant à des vallées internes (Alifriqui et al. 1992). Cette caractéristique dynamique de la circulation des masses d'air engendre l'individualisation de **domaines climatiques (externe, intermédiaire, et interne)** au fur et à mesure de la proximité de l'axe de la chaîne.

En outre, l'originalité du climat méditerranéen dans cette région, outre la classique sécheresse estivale et la faiblesse des précipitations, concerne la variabilité intra et inter-annuelle de ces précipitations, lesquelles sous ces latitudes constituent un facteur limitant (Le Houerou 1989; Alifriqui et al. 1995).

La figure 3 montre les résultats d'une analyse en composantes principales (ACP) appliquée aux données de pluviométrie moyenne mensuelle sur la période 1952-1985 (une matrice de 408 observations mensuelles pour 35 stations étudiées). Elle permet une comparaison entre le versant nord et sud du Haut Atlas. En

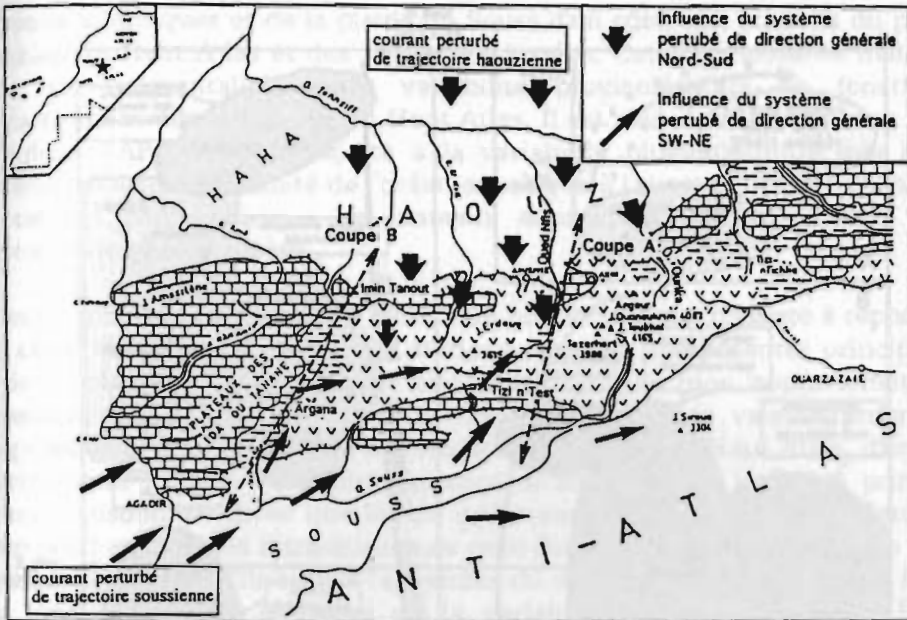


Figure 1: Circulation des courants perturbés dans le Haut Atlas occidental
 Circulation of Depressional Fluxes in the Western High Atlas Mountains

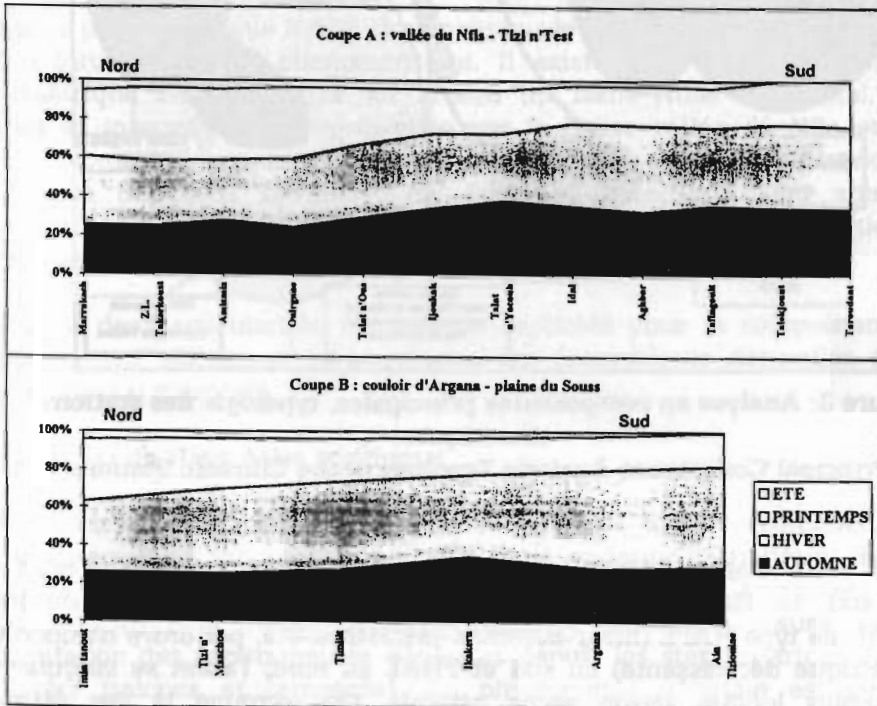


Figure 2: Répartition saisonnière des précipitations sur deux coupes dans le Haut Atlas occidental
 Seasonal Distribution of Rainfall on Two Slopes of the Western High Atlas Mountains

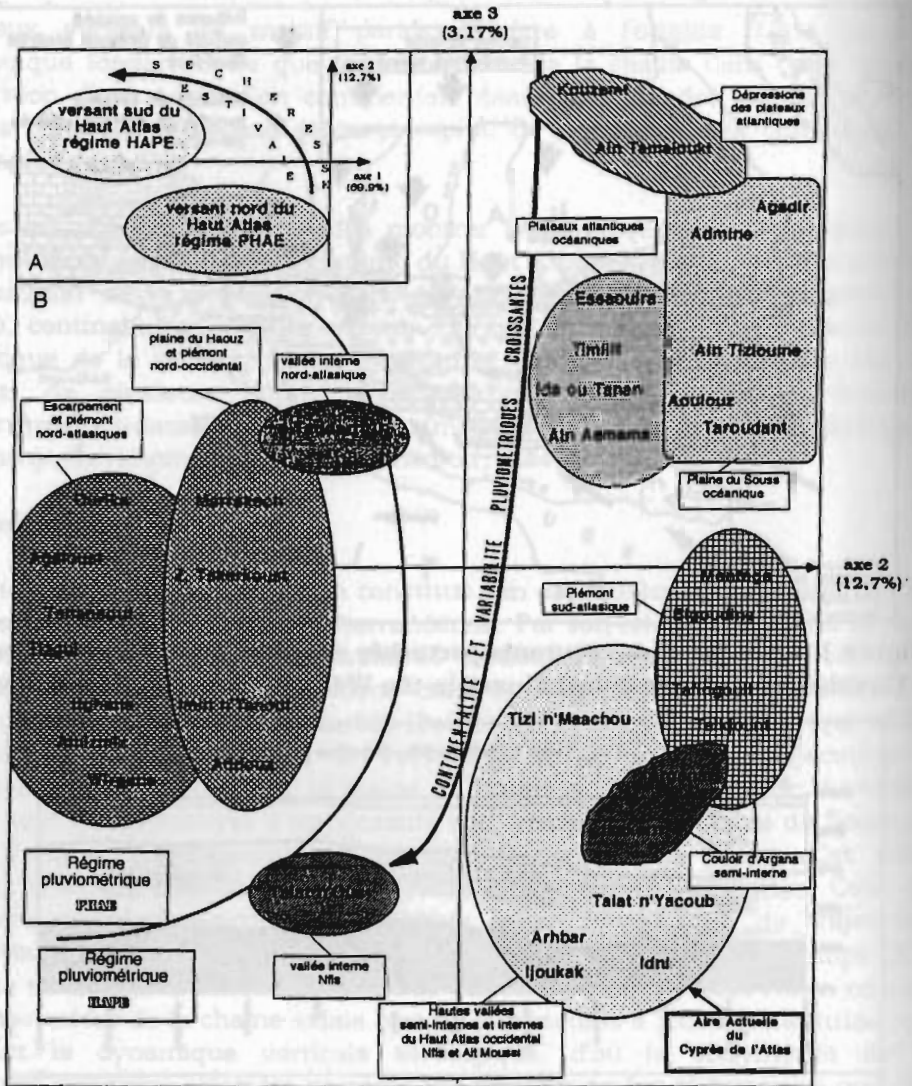


Figure 3: Analyse en composantes principales, typologie des stations, climatiques
Principal Component Analysis Typology of the Climatic Stations

retiens de cette analyse, la forte opposition climatique entre le versant nord et le versant sud du Haut Atlas caractérisés chacun par un régime saisonnier particulier, de type HAPE (hiver-automne-printemps-été, par ordre d'importance pluviométrique décroissante) au sud et PHAE au nord, l'adret se singularisant par une plus longue saison sèche estivale. On retrouve là des éléments caractéristiques de la pluviométrie de cette zone, déjà mis en évidence dans nos travaux antérieurs (Alifriqui 1986; Alifriqui et al., 1992, 1995; Michalet 1991). La figure 3 illustre la variabilité qui affecte les stations du versant sud, en les opposant en fonction de leur degré d'abri à l'intérieur de la chaîne de l'Atlas. L'axe 3 oppose deux groupes de stations, les stations externes océaniques des

plateaux atlantiques et de la plaine du Souss d'un côté, aux stations du piémont soussien du Haut Atlas et des vallées encaissées. Cette composante matérialise donc la continentalité et la variabilité pluviométrique en fonction de l'encaissement dans la chaîne du Haut Atlas. Il est clair donc que la zone interne à régime HAPE est plus sujette à la variabilité pluviométrique que la zone septentrionale. La proximité de l'océan atlantique à l'ouest est déterminante pour la stabilité pluviométrique les plateaux atlantiques d'Ida ou Tanan sont à pluviométrie plus régulière.

Un autre moyen de visualiser la variabilité pluviométrique consiste à reporter sur une carte les valeurs d'inertie des stations selon les composantes principales et par interpolation à déterminer des aires isoclimatiques (non isopluviométriques) à variabilité identique. La figure 4, tracée à partir des valeurs propres des composantes 2 et 3, permet de voir l'existence, au sein du Haut Atlas, d'une zone intermédiaire à forte variabilité saisonnière située entre les deux principaux régimes saisonniers (avec une légère dominance du régime HAPE). Cette zone correspond aux vallées intra-atlasiques semi-internes à internes et même parfois à tendance externe. Elle inclue l'ensemble du système de vallées depuis le Haut Nfis jusqu'au couloir d'Argana où la variabilité tend à s'atténuer. Sur les piémonts soussien et haouzien, l'isoligne 0 montre le passage vers une régularité pluviométrique plus nette.

Le régime pluviométrique HAPE, dominant sur le sud-ouest marocain, offre donc la plus forte variabilité pluviométrique. Il existe donc un foyer d'instabilité pluviométrique caractéristique au niveau du Haut Atlas occidental, vallées internes et intermédiaires représentée par la haute vallée du Nfis et vallées annexes, couloir d'Argana et vallées annexes et une partie du versant sud du Haut Atlas dominant la plaine du Souss. L'utilisation d'une analyse en composantes principales a eu le mérite de démontrer ces particularités climatiques.

Ce sont là des particularités climatiques capitales pour la compréhension du fonctionnement climatique et biologique des écosystèmes naturelles du Haut Atlas occidental marocain.

La végétation du Haut Atlas occidental

Le Maroc est un pays méditerranéen avec une large façade océanique. Il est le pays méditerranéen qui présente la plus large variation climatique, depuis les bioclimats sahariens et arides, chauds à tempérés, jusqu'aux bioclimats les plus humides et les plus froids. Cette particularité climatique assure une large représentation des communautés végétales depuis les steppes arides et sèches aux forêts fraîches et tempérées. La physionomie végétale est également largement variée, représentée par des formations steppiques, présteppiques, préforestières, et forestières.

Le Haut Atlas occidental constitue à ce titre un véritable carrefour botanique et phytogéographique essentiel où s'affrontent les espèces méditerranéennes atlasiques du nord et les espèces macaronésiennes méridionales du sud. Les

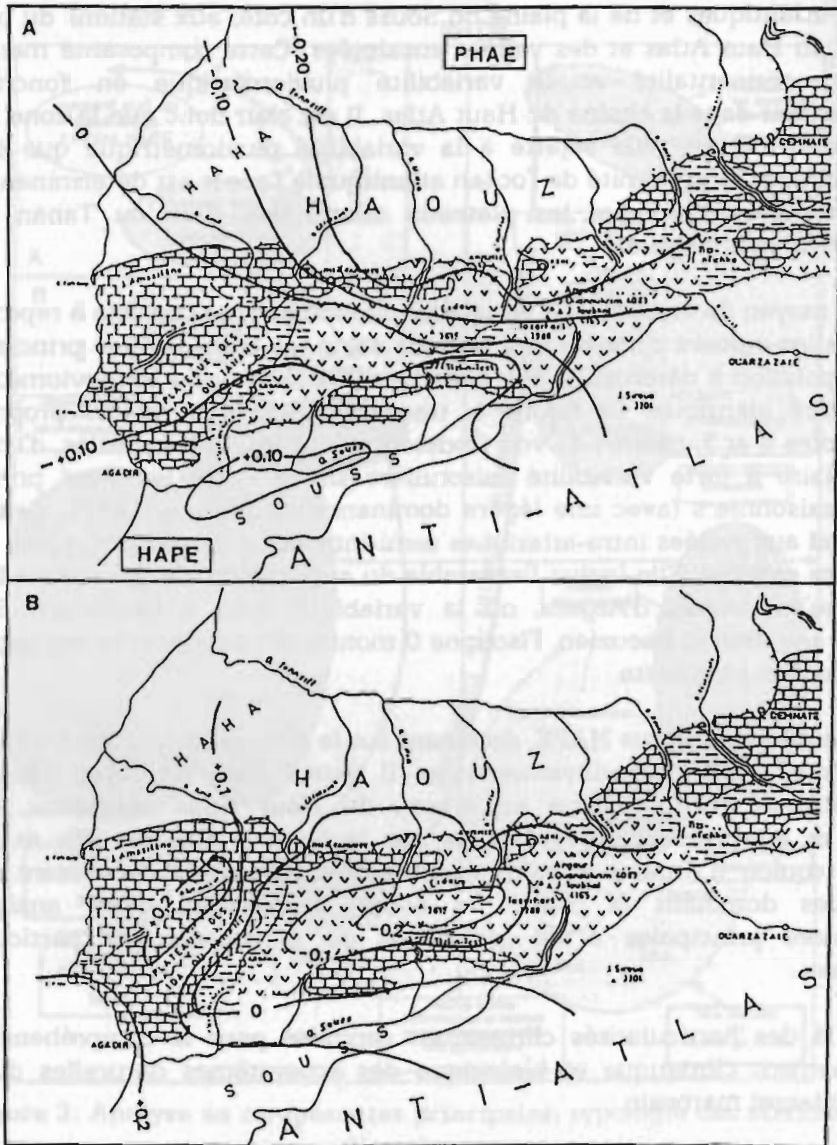
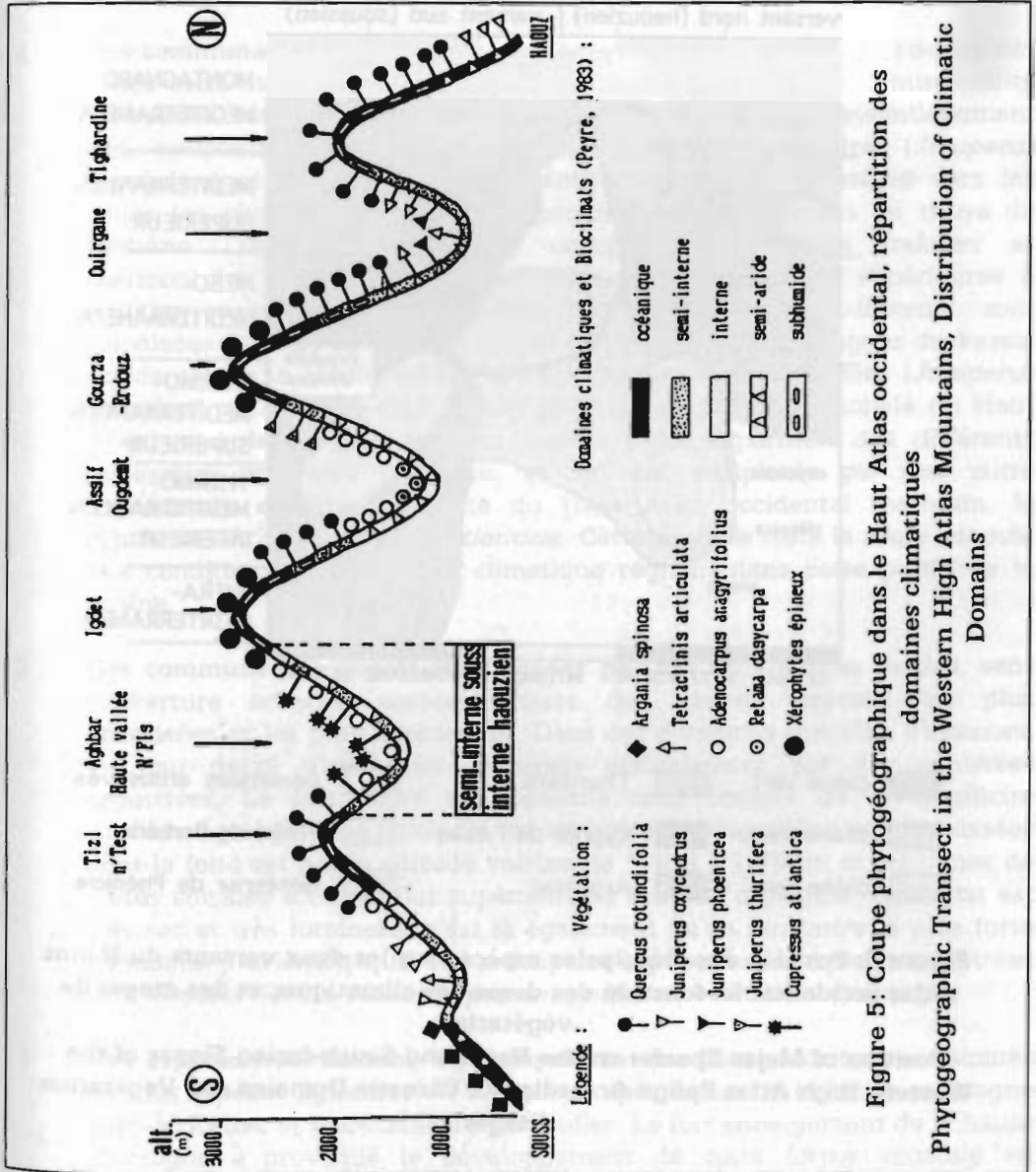


Figure 4: Isolignes de variation des composantes principales 2 (A) and 3 (B) of desprécipitations mensuelles dans le Haut Atlas occidental
 Isolines of Variation of Principal Components 2 (A) and 3 (B) of Monthly Rainfall in the Western High Atlas Range

espèces méditerranéennes plus exigeantes en eau se cantonnent sur la face nord du Haut Atlas, même si la pluviosité moyenne au sud leur est favorable, car elles sont mal adaptées à une forte variabilité des pluies. Au contraire les espèces plus méridionales et endémiques de cette région du Maroc se sont individualisées sur le versant sud. La partie occidentale du Haut Atlas comporte une flore ligneuse enrichie par trois endémiques remarquables: *Cupressus atlantica*, *Adenocarpus anagyriifolia*, *Retama dasycarpa*. Elle est située entre la zone franchement

méditerranéenne au nord et celle soumise à des brouillards fréquents l'été au sud, caractérisée par l'arbre endémique le plus original du Maroc, *Argania spinosa* (Quézel et Barbéro 1981; Barbéro et al. 1982; Peltier 1982; Achhal 1986; Alifriqui 1986, 1992; Alifriqui et al. 1992). La figure 5 présente une coupe phytogéographique nord-sud dans le Haut Atlas; elle montre l'évolution spatiale des formations végétales en fonction de l'altitude, le degré de continentalité, et enfin l'origine des courants perturbés.



Les principales successions végétales de cette partie du Haut Atlas occidental ont été récemment étudiées (Peltier 1982; Alifriqui 1986; Jaafar 1994), en relation avec les différents domaines climatiques et étages de végétation. Par

ailleurs, plusieurs synthèses essentiellement phytosociologiques ont été réalisées (Barbéro et al. 1981, 1982; Quézel et Barbéro 1981). Le schéma-modèle de la relation climat-végétation présenté ici (Fig. 6) est un système à double entrée, intégrant l'ensemble de nos observations et investigations sur les étages et domaines climatiques de montagne, et les étages de végétation correspondants dans le Haut Atlas occidental marocain. On peut y distinguer quatre catégories végétales, correspondant à des stratégies adaptatives particulières :

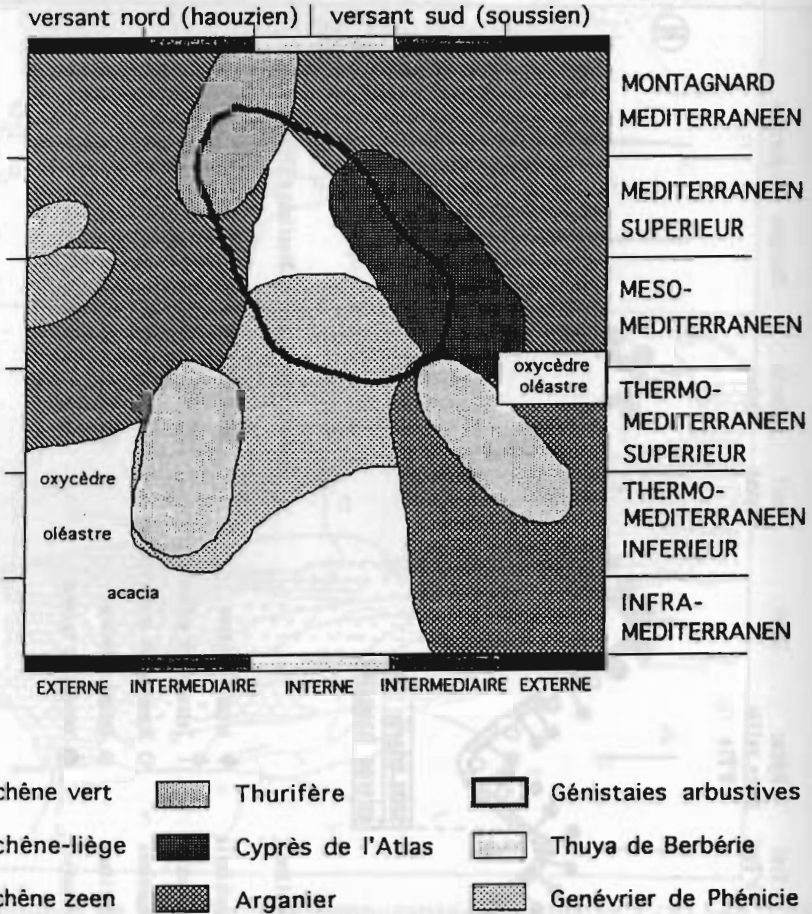


Figure 6: Position des principales espèces sur les deux versants du Haut Atlas occidental en fonction des domaines climatiques et des étages de végétation

Position of Major Species on the North and South-facing Slopes of the Western High Atlas Range According to Climatic Domains and Vegetation Stages

1 Des communautés végétales de feuillus sclérophylles ou laurifoliées sur les zones frontales bien arrosées des domaines externes. On y trouve en basse altitude (moins de 1300m) des peuplements d'oléastre et de

caroubier (*Olea europaea* et *Ceratonia siliqua*) sur le versant nord et l'arganier (*Argania spinosa*) et l'oléastre sur le versant sud. En moyenne altitude (entre 1,200 et 2,300m), ce sont des peuplements sclérophylles de chêne-vert (*Quercus rotundifolia*) qui dominent. Le chêne-vert occupe une très large amplitude altitudinale et climatique: on le trouve depuis l'étage thermoméditerranéen jusqu'à l'étage méditerranéen supérieur, depuis le bioclimat semi-aride supérieur frais au bioclimat subhumide à humide froid.

- 2 **Des communautés végétales de conifères cupressacés**, caractéristiques des zones semi-internes ou intermédiaires dans le sens d'une continentalité croissante, caractéristique des domaines internes. Il s'agit essentiellement des peuplements présteppiques de Genévrier oxycèdre (*Juniperus oxycedrus*) et de Genévrier de Phénicie (*Juniperus phoenicea*) vers les zones les plus continentales. Les peuplements semi-arides de thuya de Berbérie (*Tetraclinis articulata*) occupent les régions fraîches et thermophiles des domaines semi-internes. Aux altitudes supérieures à 2,000m, mais toujours en position d'abri (domaine semi-interne), sont colonisées par une autre cupressacée endémique des montagnes du bassin occidental de la Méditerranée, il s'agit du Genévrier thurifère (*Juniperus thurifera*). Ce schéma reste entier pour la façade septentrionale du Haut Atlas, vers le versant sud, on assiste à la disparition des différents genévriers présentés ci-dessus, et ils sont remplacés par une autre cupressacée endémique stricte du Haut Atlas occidental marocain, le cyprès de l'Atlas (*Cupressus atlantica*). Cette essence reste la seule adaptée aux conditions de variabilité climatique régnant dans cette partie de la chaîne.
- 3 **Des communautés végétales dominées par des endémiques locales**, sans couverture arborée, caractéristiques des vallées internes les plus encaissées et les plus lumineuses. Dans ces domaines qualifiés d'internes, vu leur degré d'abri sont colonisée actuellement par des génistées arbustives. Le fort degré d'endémisme rend compte de la spécificité oroclimatique de cette zone. On est en présence de vallées très encaissées dont le fond est à une altitude voisine de 1,400 à 1,700m et les lignes de crêtes voisines sont partout supérieures à 3,000m d'altitude. Le climat est très sec et très lumineux, c'est là également qu'on rencontre la plus forte variabilité pluviométrique. Les principales espèces endémiques rencontrées sont *Genista florida*, *Adenocarpus anagyriifolias*, et *Retama dasycarpa*.
- 4 **Des espaces franchement asylvatiques sur les hautes altitudes**, dominés par des espèces ligneuses en coussinets spécifiques de la haute montagne nord-africaine, et marocaine en particulier. Le fort enneigement de la haute montagne a provoqué le développement de cette forme végétale en coussinet. Quézel (1957) a démontré le rôle de cette forme pour protéger les plantes contre le gel. Sous la neige, les souches des plantes sont toujours à une température voisine ou supérieur à 0°C. L'essentiel du paysage se trouvent uniformisé par ces espèces en coussinets (appelées également à cause de leurs épines : xérophytes épineux). Les principales

espèces sont *Alyssum spinosum*, *Bupleurum spinosum*, *Cytisus purgans*, *Erinacea anthyllis*, *Ononis atlantica*. Cette dernière est une endémique locale du Haut Atlas occidental.

En général, la répartition des ensembles floristiques restent donc dominée par l'humidité, opposition entre les chênes sclérophylles en domaines externes et les conifères cupressacés en domaine semi-internes. La continentalité provoque un dessèchement du milieu et favorise donc les conifères. Par ailleurs, vers les vallées très encaissées de l'Atlas, vallées très originales du monde méditerranéen, connaissent l'élimination d'un grand nombre d'espèces mal adaptées; on assiste là au développement d'un foyer d'endémisme particulier. La haute montagne est également à climat très particulier, très froid et neigeux l'hiver et très sec et chaud l'été. Là encore, on rencontre un large spectre floristique endémique.

La bonne corrélation qui existe entre la limite climatique mise en évidence et la limite chorologique observée dans le Haut Atlas occidental est révélatrice de l'existence d'un seuil bioclimatique essentiel pour la flore de la région étudiée. Les espèces méridionales ont développé des stratégies adaptatives leur permettant de résister à une saison sèche considérable et une forte variabilité climatique. Sur le versant nord, l'importance des pluies de printemps permet l'installation d'espèces plus exigeantes dominées par l'élément méditerranéen; les endémiques méridionales sont alors éliminées par la concurrence.

Au sein de ces ensembles bioclimatiques complexes, l'importance des pluies hivernales et la durée de la sécheresse estivale, associée à la fréquence de la nébulosité, crée par ailleurs une nette différenciation entre des formations océaniques et des formations continentales.

Références bibliographiques

- Achhal, A., 1986. Étude phytosociologique et dendrométrique des écosystèmes forestiers du Nfis (Haut Atlas central). Thèse Doct. ès-Sciences, Univ. Aix-Marseille, 2 volumes (texte et figures).
- Alifriqui, M., 1986. Contribution à l'étude du milieu et de la végétation dans le Haut Atlas occidental d'Amizmiz (massifs de l'Erdouz-Igdad, Maroc). Thèse de 3ème cycle, Univ. Cadi Ayyad, Marrakech, Maroc.
- Alifriqui, M.; Michalet, R.; Peltier, J.P.; and Peyre, C., 1992. Hétérogénéité des courants perturbés et répartition de la végétation sur les versants du Haut Atlas occidental marocain. *Publications de l'Association Internationale de Climatologie*, Vol. 5, 203-211.
- Alifriqui, M.; M'Hirit, O.; Michalet, R.; and Peltier, J.P., 1995. Variabilité des précipitations dans le Haut Atlas occidental marocain. *Le Climat*, 13 (1), 11-28, Québec.
- Barbéro, M.; Benabid, A.; Quézel, P.; Rivaz-Martinez, S.; and Santos, A., 1982. Contribution à l'étude des *Acacio-Arganietalia* du Maroc Sud-Occidental.

- Documents phytosociologiques*, N.S., Vol. 6, Camerino, Università degli studi.
- Barbéro, M.; Quézel, P.; and Rivaz-Martinez, S., 1981. Contribution à l'étude des groupements forestiers et préforestiers du Maroc. *Phytocoenologia*, 9 (3), 311-412.
- Daget, Ph. 1984. 'Introduction à une théorie générale de la méditerranéité'. In *Bull. Soc. bot. Fr., Actual. bot.*, 131 (2/3/4), 31-36.
- Delannoy, H., 1988. Précipitations saisonnières du Maroc cisatlantique et téléconnexions dans la circulation atmosphérique, *Bull. Assoc. Géogr. Franç.*, Paris, 5, 393-406.
- Jaafar, B., 1994. Étude phytoécologique et morphobotanique d'une enclave sèche du Haut Atlas occidental marocain (couloir d'Argana). Thèse de 3ème cycle, Univ. Cadi Ayyad, Marrakech, Maroc.
- Le Houerou, H.N., 1989. Classification éoclimatique des zones arides (S.L) de l'Afrique du Nord. *Ecologia mediterranea*, XV(3/4), 95-144.
- Michalet, R., 1991. Une approche synthétique biogéographique des montagnes méditerranéennes : Exemple du Maroc septentrional, Thèse Doctorat, Univ. Grenoble 1, France.
- Peltier, J.P., 1982. La végétation du bassin versant de l'oued Souss (Maroc). Thèse Doct. ès-sciences, Univ. Grenoble 1, France.
- Peyre, C., 1983. Étagement de la végétation et gradients climatiques dans le système atlasique marocain. Le bassin de l'oued Rdat et le versant sud de l'Atlas au méridien du Tizi n'Tichka. *Bull. Fac. Sci. Marrakech*, section sciences de la vie, 2, 87-139.
- Quézel, P., 1957. Peuplement végétal des hautes montagnes de l'Afrique du nord. *Encycl. Biogéogr. Écol.*, P. Lechevalier, Paris, 463p.
- Quézel, P. et Barbéro, M., 1981. Contribution à l'étude des formations présteppeiques à Genévriers au Maroc. *Bull. Soc. Broteriana*, LIII, 1137-1160.