

Etude climatique en moyenne montagne méditerranéenne: le cas de la localité de Midelt dans le haut bassin versant de la Moulouya (Maroc) pour des fins bio-écologiques

MUSTAPHA RHANEM

Laboratoire de Botanique et d'Ecologie montagnarde, Département de Biologie, Faculté des Sciences, B. P 11201, Zitoune, Meknès

ABSTRACT. – *Climatic study on medium Mediterranean Mountain: the case of Midelt in the high basin of the Moulouya (Morocco) for bioecological purposes* – The statistical climate analysis climate of Midelt was carried out starting from a long time series (33 years) of conventional data collected at the local weather station. The quantitative description of the climate is based primarily on five principal parameters: the precipitations, the air temperature under shelter, relative humidity, insolation duration and wind, with the broadest possible range of climatic indicators of these various criteria. Secondly the frequencies of hail, fog, dew, falls of snow, frosts, strong heats, very strong winds supplement this characterization. In addition was also carried out to a qualitative description by prognostic variability analysis of these various parameters making it possible to define the most frequent conditions of climate and the rarest situations.

Key words: Midelt, Weather station, Flat of mountain, Topoclimate.

1 - INTRODUCTION

Tout climat local peut être considéré comme une ressource naturelle, qui présente des potentialités pour la mise en valeur et le développement régional. Il comporte généralement des nuances locales, parfois importantes ; en effet, le type de surface (pente, rugosité, couvert végétal, bâti, présence ou non d'étendues lacustres ou maritimes) créent une variété d'interactions entre le sol et la basse atmosphère, liées à de fortes variations spatiales des bilans d'énergie de surface. Il en résulte une panoplie de climats locaux, dans lesquels peut se révéler l'action de l'homme, de façon délibérée ou, plus souvent involontaire.

Ainsi, toute démarche visant à caractériser le climat requiert la prise en compte d'un volume important de données climatiques aux échelles de temps annuelle et surtout mensuelle, et tout particulièrement celles de cinq paramètres fondamentaux ; il s'agit de la hauteur des précipitations, de la température de l'air, du contenu de l'air en vapeur d'eau (humidité relative), du vent et de l'insolation (énergie reçue).

Ils constituent pour beaucoup de scientifiques d'horizons divers un moyen de distinguer et définir de façon objective des seuils ou des valeurs discriminatoires qui permettent d'établir des limites donc des catégories et éventuellement une classification (EMBERGER, 1930, 1955; curé 1943, 1964; BAGNOULS & GAUSSEN, 1953, 1964; SAUVAGE 1963a, 1963b; UNESCO, 1979; RAYNAL, 1981; DAGET,

1986; LE HOUÉROU, 1989b, 1990; LE HOUÉROU & POPOV, 1981; BESANCENOT, 1990; MICHALET, 1991).

A cet égard, il n'est pas inutile de signaler que plusieurs critères de division sont fondés sur l'emploi des moyennes de températures et précipitations combinées en indices simples mais d'une grande efficacité qui prennent en compte les principaux facteurs limitants du développement et de la distribution géographique des plantes (y compris les cultures) et des animaux (y compris le bétail et l'homme) : stress hydrique (sécheresse) et thermique (tolérance au froid et au gel hivernal), la répartition saisonnière de la pluviosité et de la température. Les plus connus sont ceux d'Emberger et de Gaussen. Tous les deux ont été élaborés par des botanistes soucieux d'établir une régionalisation climatique des conditions de vie des formations végétales.

Ces données ont en outre l'avantage de donner des indications sur certains éléments qui n'ont même pas été mesurés ; c'est le cas notamment de l'évapotranspiration potentielle, dont on peut obtenir une approximation en intégrant l'effet de quatre paramètres : température, humidité relative, durée d'ensoleillement et vitesse du vent. On dispose pour cela de plusieurs formules différentes dont N.G DASTANE (1977) en a fait une énumération détaillée. C'est d'ailleurs sur la base de telles formules que H. G. KUTSCH (1978) a établi une typologie climatique régionale pour la partie cisatlantique du Maroc.

Les indicateurs de ces éléments climatiques de base sont nombreux. Ainsi, pour l'agronome, pour ne citer que cet exemple, la concentration des pluies sur quelques jours ou

an contraire leur répartition sur quelques mois et leur variabilité constituent des indicateurs fondamentaux comme aussi le nombre de jours avec gelée, avec orage, avec chergui (BALDY, 1986a, 1986b, 1990; LE HOUÉROU, 1992).

D'un autre côté, ces principaux paramètres météorologiques mesurés permettent de définir quantitativement les climats régionaux. L'extension spatiale de ces régions est variable ; elle dépend de la disposition du relief (espacement et éloignement des massifs montagneux), de la proximité relative d'une zone océanique.

Mais en montagne, il en va autrement puisque la notion de climat régional perd sa raison d'être. Il n'est pas en effet possible de définir les valeurs moyennes des paramètres climatiques sur des zones spatiales étendues car ceux-ci varient tous, dans un rayon très court, en fonction de l'altitude, mais aussi de la déclivité des pentes, de l'exposition au rayonnement solaire et de l'orientation par rapport au vent humide. De plus les effets dynamiques sur l'écoulement de l'air et les effets induits par la topographie génèrent des circulations locales de l'air : brises de pente, brises de vallée, effet de foehn, effet venturi. L'échelle d'espace de travail en montagne est donc le topoclimat. Ce dernier est du essentiellement à des variations locales provoquées par la situation topographique du site étudié dans son environnement, comme GEIGER (1965 & 1969) l'avais bien mis en évidence, et qui a été ensuite diversement précisée par de nombreux auteurs ; citons en particulier les travaux de FLOHN (1969), ESCOUROU (1981, 1986), CHOISNEL (1984, 1986), CHOISNEL & SEGUIN (1986), DOUGUÉDROIT 1980, 1984, 1986a, 1986b), CARREGA (1994, 1997), PAUL (1997), GUYOT (1999), WHITEMAN (1999).

Au Maroc, à l'échelle régionale, les facteurs essentiels du climat sont généralement bien analysés grâce à l'existence de banques de données macroclimatiques constituées à l'aide de mesures météorologiques effectuées de façon régulière dans un réseau météorologique permanent. Aussi les climats régionaux sont-ils relativement bien identifiés d'autant plus qu'ils se différencient facilement par leur régime pluviométrique particulier (notamment la répartition saisonnière, nombre de jours avec pluie), leur ensoleillement, leur régime thermométriques (amplitude annuelle, rigueur de l'hiver, nombre de jours avec gelée, avec fortes chaleurs), leur ventilation (fréquence des vents forts), leur humidité relative moyenne et leur nombre de jours avec brouillard (DEBRACH, 1953; DEBRACH & ROUX, 1955, GAUSSEN & al., 1958; BIDAULT, 1959; SAUVAGE, 1963a, 1963b, COTE & LEGRAS, 1966). Rappelons pour mémoire que les quatre principaux facteurs du climat, permettant de différencier entre elles les régions marocaines, sont : la latitude qui détermine en partie l'apport d'énergie solaire au sol, la distance à l'océan (continentalité), la position de la région par rapport aux grands massifs montagneux qui a des conséquences principalement sur le niveau et le régime des précipitations, enfin l'altitude moyenne de la région déterminant principalement le régime thermométrique, du fait de la variation de la température avec l'altitude.

Il n'en va pas de même en montagne étant donné le faible nombre de postes de mesures. Elle est en effet équipée d'un réseau extrêmement lâche dont la couverture météorologique en surface et en altitude est notoirement insuffisante. A titre indicatif, dans toute la région Meknès-Tafilalt qui nous intéresse ici, on ne compte que deux stations principa-

les qui, fort heureusement, fournissent de longues séries de données fiables et complètes ; il s'agit de la station d'**Ifrane** située à 1635m d'altitude, sur le versant septentrional du Moyen Atlas, faisant face aux flux humides pluvieux du Nord-Ouest et celle de **Midelt** placée à 1525m d'altitude beaucoup plus méridionale en position encaissée par rapport à ces mêmes vents humides. Heureusement les réseaux pluviométriques et thermométriques permettent de combler en partie cette lacune par la mesure de deux paramètres essentiels en écologie et en agriculture.

Cependant, les statistiques portant sur la pluviosité sont nettement plus nombreuses car, aux renseignements fournis par les stations météorologiques officielles, s'ajoutent ceux issus des mesures effectuées dans ce qu'il convient d'appeler des mini-stations météo, réduites dans la plupart des cas au seul pluviomètre. Ces stations manuelles sont tenues et gérées par le personnel d'organismes comme les eaux et forêts, le centre de travaux agricoles, tous deux relevant du ministère de l'agriculture, et rarement par les Caïdats qui appartiennent au ministère de l'intérieur.

Enfin, il convient de signaler encore les stations météorologiques situées le long des cours d'eau qui sont sous la responsabilité de la direction de l'hydraulique affiliée au ministère de l'équipement ; celles-ci sont plus équipées que les précédentes, mais leurs mesures sont discontinues ou ne couvrent que quelques années.

Jusqu'à une date récente, et plus précisément au milieu des années quatre-vingt du siècle passé, les quelques études dont on disposait et qui abordaient les variables météorologiques au sol étaient éparpillées dans diverses monographies régionales ; le plus souvent, en effet, l'étude des topoclimats en montagne a fait l'objet d'un chapitre d'un ouvrage général sur un sujet dans lequel intervient le climat. Quant aux travaux proprement climatologiques, ils étaient tout aussi rares ; le lecteur pourra se reporter, pour plus de détails, à l'article de DELANNOY (1967) dans lequel il résume, par rubrique, les différents thèmes climatiques et météorologiques antérieurs à cette date. Au-delà de celle-ci, on ne trouve que les travaux de DELANNOY (1971, 1980, 1981), DELANNOY & LECOMPTE (1975), DELANNOY & al. (1979) et DELANNOY & LECOMPTE (1980).

Fort heureusement, depuis ces années là, les études climatologiques se sont multipliées avec une cadence beaucoup plus importante : citons parmi d'autres LAADOUA (1987, 2007), DELANNOY (1988, 1996, 1997), LEGOFF (1990, 1991), ALIFRIQUI & al. (1992, 1995), BADRI & al. (1994), N'GADI (1995), BNOUMOUBAREK (1996), DELANNOY ET BELAASSAL (1997), DOUGUÉDROIT (1999), (EL JIHAD 2003), KARROUK (2003).

L'extension de certaines cultures (céréaliculture, arboriculture notamment) durant les dernières décennies du XXe siècle, dans une région normalement aride, a suscité des interrogations débouchant sur la nécessité d'établir un « état des lieux » climatique de cet espace en pleine mutation. L'objectif de ce travail est de caractériser la localité de Midelt en fonction de ses aptitudes et de ses contraintes climatiques afin de rendre optimale l'utilisation de l'espace (agriculture, tourisme, habitat, transports, médecine, localisation d'industries, etc.). Les résultats devraient aider soit à sauvegarder et à renforcer des aspects bienfaisants du climat, soit à atténuer des éléments climatiques défavorables. Après avoir rappelé brièvement les principaux caractères

physiques et biologiques, sont envisagés successivement, au pas de temps mensuel et annuel, les précipitations, les températures, l'humidité relative, le vent et l'insolation. Cette contribution s'inscrit dans le cadre d'un projet global d'étude à grande échelle des climats locaux du haut bassin versant de la Moulouya et de quelques topoclimats du Haut Atlas.

2 - SITUATION GÉOGRAPHIQUE

Le parc météorologique de Midelt figure sur la carte topographique au 1/50000, Midelt, feuille N1-30-11-3B. Il est situé à la périphérie sud-est de la localité de Midelt. Cette dernière est une ville de montagne, coincée entre le versant moulouyen du Moyen Atlas central et l'ubac du massif de l'Ayachi (Fig. 1).

Les coordonnées géographiques du poste d'observation définies par les intersections du carroyage kilométrique Lambert sont les suivants : latitude 32°41' Nord et longitude 4°31' ouest. Il est limité à l'est et au nord par la localité de Midelt, alors qu'il fait face au Jbel Ayachi vers le sud. A l'ouest, il est limitrophe de la petite vallée de l'oued Outat, affluent de la rive droite de l'oued Moulouya.

Perché à une altitude de 1525mètres, la station météorologique surplombe la ville de Midelt du côté sud. Elle est implantée sur un promontoire à l'extrémité septentrionale de l'éperon d'un plateau légèrement incliné vers le nord.

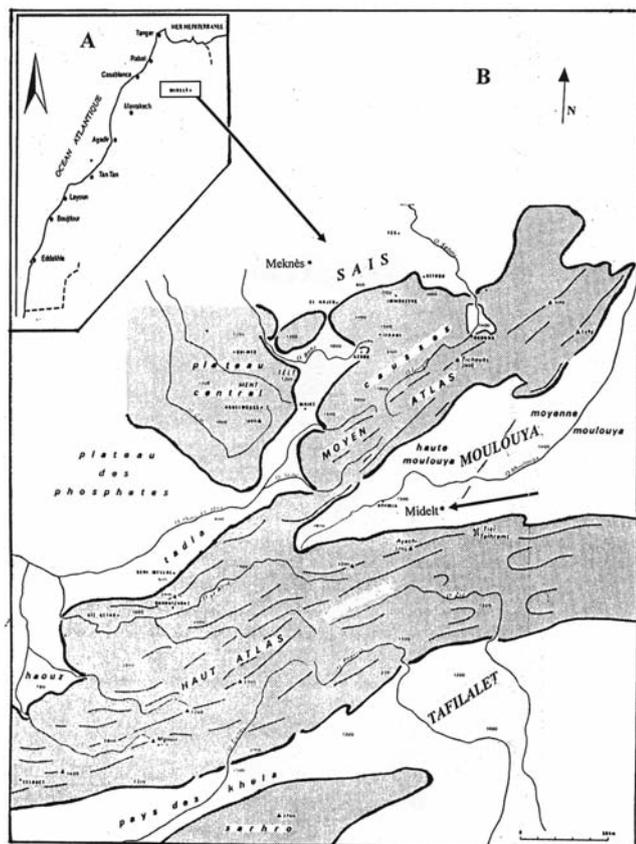


Fig. 1 - Localisation géographique de la station météorologique de Midelt. A- Situation générale au Maroc. B- Place dans le système montagneux (Plateau central, Moyen Atlas et Haut Atlas) de la région Meknès-Tafilalt.

--> Les flèches indiquent l'emplacement de la station.

3 - TOPOGRAPHIE ET GÉOMORPHOLOGIE

Elevée au dessus de la mer de près de 1450-1600m, et isolée des influences océaniques par 250km de terres immergées dont près de 150km de chaînes de montagne, la plaine de Midelt déroule sa steppe alfatière (*Stipa tenacissima* L.) à l'intérieur d'un cadre presque monotone qui s'étend des piémonts du massif du jbel Ayachi au sud jusqu'aux hauteurs dominants l'oued Ansegmir vers le nord. Elle est par ailleurs sous l'influence du climat régional de la Haute plaine de la Moulouya.

En plus de cette planéité, le massif en question constitue l'autre trait majeur du paysage, il n'est distant de la ville de Midelt que d'une dizaine de kilomètres à vol d'oiseau ; il forme une barrière continue qui culmine à 2935mètres à la longitude de la ville de Midelt. Par contre, vers le nord-Ouest, à une trentaine de kilomètres, se dresse la chaîne du Moyen Atlas séparée de celle du Haut Atlas par le tizi-n-Tanout ou Filal.

Cependant cette planéité n'est qu'apparente, elle présente en effet dans le détail plusieurs faciès qui constituent un ensemble de plaines alluvio-colluviales (formations villafranchiennes), de dépressions endoréiques et de plateaux façonnés dans le quaternaire, se raccordant aux reliefs du Moyen et du Haut Atlas vers l'amont par tout un système de glaciers d'érosion et d'accumulation et aux dépressions endoréiques vers l'aval par des terrasses souvent emboîtées (RAYNAL, 1961). Parmi ces faciès, on peut distinguer des :

- glacis d'accumulation caillouteux; il s'agit de cônes coalescents fossilisés par de puissantes dalles ;
- glacis de piémont recouvert de limons fins;
- surfaces bosselées et empâtées de dépôts de solifluxion périglaciaires;
- fragments de plateaux en lanières au rebord escarpé noyés sous des formations meubles;
- buttes témoins aux versants raides, détachées en avant de ceux-ci ou complétement isolées. La toponymie nord-africaine les désigne sous le nom de gour (singulier : gara). Ces buttes résiduelles sont revêtis d'une dalle conglomeratique très dure, formant une véritable carapace sur lesquelles ont été construites les kasbahs de l'oued Outat (un moyen très ingénieux qui maintient ces constructions à l'abri des fortes crues).

Ainsi délimitée, la plaine de Midelt n'est pas pour autant un système clos ; elle est largement ouverte aux influences des hauts plateaux à l'est, aux influences du Moyen Atlas, du Haut Atlas et des hautes plaines de la Moulouya à l'ouest et au nord-ouest, ainsi qu'à celles provenant du Sahara au sud, mais à un degré moindre.

Ces deux chaînes forment un entonnoir orographique dont la disposition évoque la forme d'une gouttière longitudinale divergente dans laquelle s'engouffrent les masses nuageuses ; elle constitue par ailleurs un couloir éolien, étroit dans sa partie occidentale et évasée dans sa partie orientale.

Enfin, l'encadrement montagneux de cette dépression qui s'étire grossièrement du SW au NE est, par ailleurs, dissymétrique; en effet il est réalisé par une montagne discrète au nord, formée de plateaux et de larges surfaces au relief modéré du Moyen Atlas méridional ne dominant la plaine que de quelques centaines de mètres au maximum, et par la frange septentrionale du Haut Atlas au sud formant une montagne imposante qui s'élève brutalement au dessus des surfaces planes avoisinantes.

La végétation est composée de groupements d'espèces déterminés par trois ensembles de facteurs écologiques : bioclimatiques, édaphiques et anthropozoïques auxquels s'ajoute un groupe de facteurs biologiques évolutifs synthétisés dans la flore, reflétant les vicissitudes géologiques, paléogéographiques et paléobiologiques.

Les observations menées sur le terrain montrent que les espèces dominantes, celles qui impriment leur physionomie à la végétation et au paysage par leur abondance, leur fréquence, leur taille ou leur taux de recouvrement sont au nombre de sept : *Stipa tenacissima* L., *Artemisia herba alba* L., *Lygeum spartum* L., *Adenocarpus bacquei* L., *Retama sphaerocarpa* L., *Rosmarinus officinalis* L., *Atriplex halimus* L., et *Peganum harmala* L.

Les groupements végétaux résultant de la combinaison de ces espèces sont nécessairement très nombreux. Nous nous contenterons de rappeler brièvement ici les types écomorphologiques dont l'appréhension est essentielle, s'agissant des problèmes bioclimatiques.

On peut, en première approximation, en se basant sur la physionomie, distinguer dans la plaine de Midelt deux types de steppes : une steppe graminéenne cespiteuse composée par l'Alfa (*Stipa tenacissima*) et une steppe ligneuse chamaephytique constituée de l'Armoise blanche (*Artemisia herba alba*). Ce type de physionomie est d'ailleurs le trait caractéristique du paysage végétal moulouyen, avec quelques variations près, depuis Midelt, au sud, jusqu'au village de Oualegh, au nord sur la route nationale 13 reliant Errachidia à Meknès. C'est ainsi que les steppes d'Alfa se localisent surtout sur des substrats rocheux et bien drainés, alors que les Artémisiaies à Armoise blanche préfèrent plutôt les substrats à texture moyenne à fine, mais toujours colmatés en surface où l'eau est retenue plus ou moins longtemps ce qui pour conséquence d'augmenter les risques d'engorgement. En plus des sols hydromorphes, l'Alfa ne se rencontre jamais sur les sols franchement salés. Là où il y a du sel, on ne trouve plus ces différentes espèces qui sont remplacées par *Atriplex halimus*.

Les steppes de Sparte (*Lygeum spartum*), autre espèce graminéenne, au contraire peuvent coloniser des sols aussi bien squelettiques que salés, gypseux ou hydromorphes. Cependant, il arrive assez fréquemment que l'Alfa se mélange à l'Armoise blanche et au Sparte. Ces steppes asylvatiques se révèlent très pauvres en espèces vivaces, mais par contre assez riches en espèces annuelles.

Parmi les fruticées, on distingue une adénocarpaie à *Adenocarpus bacquei* Batt. & Pit., espèce endémique, avec comme deuxième espèce dominante *Retama sphaerocarpa* (L.) Boiss. Sa limite inférieure correspond à une limite climatique qui coïncide avec la limite inférieure moyenne des neiges. Elle occupe le piémont sud moyen atlasique à hauteur du méridien traversant le village de Oualegh avec cependant une prédilection pour les terrasses à sols caillouteux, alors qu'elle est fortement concurrencée et même éliminée par la rétamaie dans les dépressions suralimentées en eau de ruissellement et qui sont colmatées par des limons plus ou moins mobiles, à texture généralement moyenne à fine. Ces deux espèces possèdent des amplitudes écologiques légèrement différentes, mais leur mélange contribue fortement à maintenir la stabilité (ARONSON & al., 1995) de l'écosystème en place en ayant une adaptabilité meilleure

sur le long terme. En effet, il permet des réajustements « en douceur » de cet écosystème qui serait soumis, dans le futur, à de nouvelles pressions de sélection. Ainsi, par exemple, en cas de défrichement de l'adénocarpe, la cicatrisation est assurée rapidement sur les terrains labourés par le rétam ; il y'a donc complémentarité des systèmes racinaires de ces deux espèces. Cet exemple montre bien l'intérêt de la biodiversité.

Pour ce qui est du piémont nord haut atlasique du jbel Ayachi, il est recouvert d'une fruticée à *Rosmarinus officinalis* qui prend le relais de la steppe à alfa à partir du village de Zebzat en direction du sud. En revanche, ce sont des chênaies à chêne vert (*Quercus ilex* L.) qui succèdent à ces fruticées de piémonts sur les deux versants atlasiques.

Toutes ces formations végétales, commodément délimitées sur les plans topographique et géomorphologique, ont en point commun le fait qu'elles subissent une destruction partielle ou totale, par divers processus tels que les cultures épisodiques et aléatoires, surpâturage continu et prolongé, collecte excessive du bois de feu et éradication des ligneux, des plantes médicinales et autres. Ces activités donnent lieu à des stades transitoires dominés par *Peganum harmala* L., *Isatis tinctoria* L. et *Arabidopsis thaliana* L., mais qui ne protègent pas suffisamment la surface du sol au cours de la longue saison sèche annuelle et/ou pluriannuelle ; elle devient par conséquent la proie de l'érosion. Le résultat final est une extension irréversible des paysages désertiques, comme c'est le cas de la plupart des régions arides (DRESCH, 1982, LE HOUÉROU, 1987). Par contre, là où l'impact humain et animal sont nuls ou faibles, l'impact de la sécheresse est négligeable (LE HOUÉROU, 1993).

5 - MÉTHODE D'ÉTUDE

Pour caractériser le climat de la station météorologique de Midelt, on a utilisé :

- La variabilité, qui correspond à la dispersion statistique de l'élément considéré autour de sa valeur moyenne ;
- Les moyennes d'intensité, qui indiquent autour de quel nombre varient les valeurs de l'élément ;
- Les moyennes de fréquence qui permettent d'apprécier le pourcentage de fois que l'élément a pris une valeur déterminée, ou qu'un phénomène donné s'est produit ;
- Les valeurs extrêmes, c'est-à-dire, les valeurs les plus fortes et les plus faibles. Ainsi par exemple La valeur écologique des moyennes de températures extrêmes est très importante. Tel est le cas de la moyenne des minima quotidiens du mois le plus froid (« m ») qui est l'un des critères éoclimatiques le plus souvent utilisé en zone méditerranéenne, à la suite d'Emberger, et qui a été corrélié avec le nombre de jours de gel et avec les températures minimales absolues (EMBERGER, 1971; LE HOUÉROU, 1989b, 1990, LE HOUÉROU & al. (1977) et RIVAS-MARTINEZ, 1982). Cet indicateur se révèle beaucoup plus sensible et précis que des critères plus souvent employés telle que la température moyenne annuelle ou la température moyenne du mois le plus froid. C'est ainsi que N.H. LE HOUÉROU (1990) a montré, en empruntant des exemples d'Algérie et de Tunisie, que des stations ayant des moyennes identiques du mois le plus froid peuvent recouvrir des réalités bien différentes pour la végétation naturelle et les cultures.

Mais la moyenne des températures minimales journalières du mois le plus froid peut être à son tour insuffisante à rendre compte des faits biologiques et biogéographiques. Ceux-ci peuvent aussi dépendre de la moyenne des maxima quotidiens du mois le plus froid et des maxima absolus mensuels qui sont étroitement corrélés à l'ETP du mois le plus froid (LE HOUÉROU, 1984, 1990) et à l'aptitude des plantes à se développer lorsque les journées sont chaudes et ensoleillées même lorsque les nuits sont froides (LE HOUÉROU 1971; LE HOUÉROU & al., 1977; PEYRE, 1978). Leur action peut s'expliquer de façon suivante: entre deux stations ayant les mêmes minima nocturnes, la station la plus clémente sera celle où le réchauffement diurne sera le plus important. Autrement dit ces deux indicateurs thermiques rendent compte du déficit de chaleur.

Enfin, beaucoup moins utilisées que la moyenne des minima quotidiens du mois le plus froid, les températures minimales absolues n'en sont pas moins importantes. Etant également l'expression d'un déficit de chaleur, ces très basses températures mais aussi leur fréquence peuvent être la cause de l'absence d'une quelconque plante spontanée. Certaines espèces peuvent en effet germer, croître et prospérer en un lieu donné pendant un certain nombre d'années, puis des conditions climatiques exceptionnelles peuvent provoquer leur destruction.

6 - RÉSULTATS

L'analyse climatique a porté sur la période 1957-1989, elle répond en conséquence aux normes préconisées par l'organisation météorologique mondiale qui fixe actuellement la période climatique de référence à la période 1961-1990 (GUYOT, 1999). Ci-après sont présentés les résultats.

6.1 - Les précipitations

L'apport d'eau « atmosphérique » dont la terre bénéficie représente un élément indispensable à toute vie végétale ou animale. Il se présente sous plusieurs formes distinctes liquides ou solides : pluie, neige, grêle, grésil. Ces différentes formes qui tombent du ciel sont toutes réunies dans le mot « précipitations » ou « chutes ». Elles sont généralement issues des nuages et des brouillards. Les précipitations comprennent donc non seulement la pluie mais aussi les précipitations solides (neige, grêle, grésil) dont l'eau de fusion s'ajoute à la hauteur de pluie. La mesure se fait en supposant que les précipitations solides (neige ou grêle) sont fondues et qu'il n'y a ni ruissellement ni infiltration, ni évaporation (VIERS, 1968).

La précipitation devient perceptible lorsque la taille des micro-gouttelettes atteint 50 micromètres et prend le nom de bruine si elle est à l'état liquide. Ce n'est qu'au-delà de ce seuil d'environ 50 micromètres que les précipitations se font sous forme de pluie avec un spectre de dimensions allant de quelques dixièmes de millimètres à un maximum de 4 ou 5mm pour certaines précipitations d'orage ou d'averse (FACY, 1985).

Les principales caractéristiques des précipitations sont au nombre de trois : leur volume, leur fréquence et leur intensité, dont les valeurs varient selon les lieux, les jours, les mois et aussi les années. La connaissance exacte de ces

trois caractéristiques est essentielle pour planifier leur pleine utilisation.

6.1.1 - Pluviosité

La pluie désigne généralement une précipitation d'eau à l'état liquide tombant de nuages vers la terre. En météorologie la pluie représente la quantité totale d'eau tombée sous forme liquide ou solide à travers l'unité de surface horizontale, au cours d'intervalles de temps déterminés (QUÉNEY, 1974); on la mesure en sommant les quantités reçues par jour, décade, mois ou année. En météorologie, La quantité de pluie est exprimée en millimètres par jour ou par mois ou par an. Il s'agit simplement de la hauteur (ou encore épaisseur) de la pellicule d'eau qui recouvrirait une surface horizontale (LEROY, 2002). Ainsi, un millimètre de précipitations, c'est aussi un litre d'eau par mètre carré ou 10 mètre cube par hectare, soit 100 litres par are.

Les données les plus courantes pour caractériser la pluie annuelle et sa variation au cours des saisons sont les hauteurs moyennes mensuelles et annuelles des précipitations.

6.1.1.1- Variabilité interannuelle

À l'échelle de l'année, on note à Midelt une très grande variabilité des précipitations ; le terme de variabilité étant utilisé pour représenter les anomalies ou écarts au cas moyen (moyenne) ou le plus fréquent (médiane) à toutes les échelles de temps (DOUGUÉDROIT, 1997). En effet, la hauteur de pluie la plus élevée et la hauteur la plus basse qui aient été officiellement recueillies à la station météorologique à Midelt sont respectivement 487.1mm, recueillie en 1963 et 65.3mm, enregistrée en 1981 ; ce dernier chiffre constitue un record de faibles précipitations pour la période climatique étudiée. Il faut aller à l'année 1984 pour retrouver une situation semblable, sans être pour autant aussi exceptionnelle. La variation va presque du simple au septuple, c'est-à-dire dans un rapport de un à sept. En outre la moyenne de 210 mm est rarement la valeur la plus probable ; elle n'a d'ailleurs été enregistrée qu'une seule fois en 1989 durant la période étudiée ; l'autre valeur la plus proche est celle de 209,7 mm, recueillie, elle, en 1970.

Par ailleurs, si nous définissons, avec H =hauteur moyenne annuelle des précipitations :

- année sèche à $H < 100$ mm
- année moyennement sèche avec $100 < H < 200$ mm
- année pluvieuse avec $400 > H > 300$ mm
- année moyennement pluvieuse avec $300 > H > 200$ mm
- année très pluvieuse à $H > 400$ mm

sur 33 années complètes d'observation à Midelt, la station se trouve tantôt très arrosé (une fois), tantôt arrosé (4 fois), tantôt moyennement arrosée (11 fois), tantôt moyennement sèche (14 fois) , tantôt sèche (3 fois). En général, la pluviosité est comprise entre 100 et 300mm avec un total de 25 années sur 33 (fréquence égale à 75 %) ; les années sèches ou très arrosées paraissent donc exceptionnelles.

Il découle de ce qui précède que le profil pluviométrique du climat de Midelt varie d'année en année et la moyenne de 206mm n'a qu'une signification limitée ; il n'y a donc pas de régularité dans les hauteurs annuelles des précipitations comme le traduit l'allure dentelée de la figure 2.

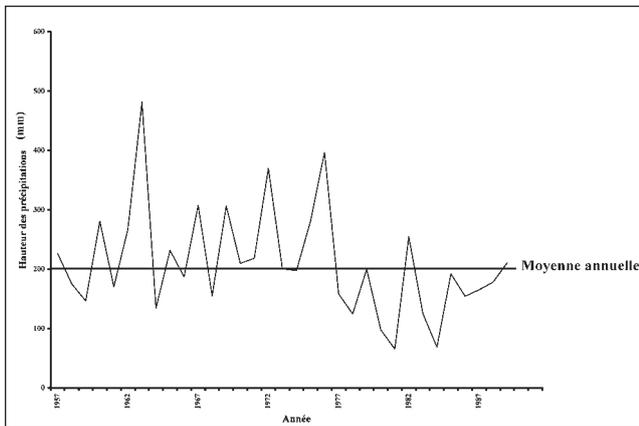


Fig. 2 - Variation interannuelle des précipitations à Midelt pour la période 1957-1989.

6.1.1.2 - Variabilité intraannuelle

A l'échelle mensuelle, il ressort de l'analyse de la figure 3, quelques faits marquants :

- Les mois sont inégalement pluvieux sans que l'on puisse parler d'une saison des pluies ou d'une saison sèche proprement dites ;
- Les mois de juillet et août représentent les minimums des hauteurs mensuelles des précipitations avec respectivement 5.6 et 6.5 mm, ces deux mois sont donc relativement secs ;
- en revanche, c'est en avril et mai que les maximums de précipitations moyennes sont enregistrés, ils reçoivent pratiquement la même quantité d'eau avec respectivement 32 et 30 mm, ce sont en moyenne les mois les plus arrosés de l'année.
- la répartition mensuelle de la pluviosité est irrégulière ; le contraste le plus saisissant a lieu entre le mois de juillet d'une part, et avril d'autre part, avec un rapport moyen de pluviosité de 1 à 5.
- si le rapport de variabilité annuelle est voisin de 7, il peut atteindre 170 à l'échelle du mois ; en effet la hauteur des précipitations par mois fluctue énormément d'une année à l'autre : tout mois de l'année peut être absolument sec ou anormalement pluvieux. Ainsi si l'on prend en exemple la pluviosité à la station de Midelt au mois d'avril de 1957 à 1989 où l'on a relevé la plus grande variabilité interannuelle, la moyenne de ces trente trois années s'établit à 31.9mm. Ce total n'a été recueilli qu'une seule fois, mais on trouve trois valeurs très proches : 29.1, 31.6 et 36.7mm. En fait, si nous choisissons arbitrairement le seuil de 20mm pour définir un mois pluvieux, ce mois d'avril se trouve tantôt peu arrosé (7 fois moins de 20mm), tantôt très arrosé (3 fois plus de 70mm). La probabilité d'un mois d'avril assez arrosé est deux fois plus élevée que celle d'un mois d'avril très peu arrosé. En outre, un mois d'avril sur deux la pluie a dépassé 17mm.

Enfin, l'analyse des extrêmes dans la série complète de précipitations mensuelles, nous amène à dire qu'une année sur trois, la pluviosité mensuelle est supérieure ou égale à 36.7mm, mais qu'une année sur six on y recueille moins de 7mm.

6.1.1.3 - Régime pluvial

S'il est important de connaître le total pluviométrique

annuel, il est non moins essentiel de savoir comment se répartissent les précipitations au cours des saisons ; c'est ce qui ressort notamment de l'étude des régimes pluviométriques. Les climatologues appellent régime d'un élément du climat, la variation saisonnière normale de cet élément (PÉGUY, 1968).

L'étude des régimes pluviométriques offre un intérêt tout particulier, d'une part parce que ce n'est pas un cycle annuel régulier comme celui de la température, d'autre part parce que sa forme constitue une des « signatures » du climat régional indépendamment du total des précipitations reçues (CHOISNEL & PAYEN, 1988). Ainsi, dans la pratique, si on prend l'exemple de la flore, Le tapis végétal ne sera pas le même si les pluies se concentrent sur quelques mois ou s'étalent tout au long de l'année, si la saison sèche coïncide ou non avec la saison végétative. De façon générale, pour une pluviosité annuelle donnée, les régimes monomodaux (à une seule saison pluvieuse) favorisent les espèces annuelles à cycle de développement court tandis que les régimes bimodaux privilégient les espèces pérennes herbacées ou ligneuses (LE HOUÉROU, 1990).

Tout d'abord le régime pluviométrique à Midelt offre la possibilité d'avoir de la pluie en toute saison ; ensuite, pour ce qui concerne la répartition saisonnière proprement dite, elle se caractérise par deux pointes maximales, le premier maximum au printemps et le second en automne ; encadrant deux minimums en hiver et en été. L'indicatif saisonnier à Midelt est, par conséquent, de type PAHE, régime qualifié de moulouyen qui se singularise par une distribution particulière des précipitations différente de celles des reliefs du Moyen Atlas et du Rif (LECOMPTE, 1989) ; l'été, avec ces 15%, du total annuel est, en moyenne, la saison la moins arrosée. Cependant malgré ce faible pourcentage moyen des hauteurs d'eau estivales, elles n'en constituent pas moins des apports assez substantiels pour la région par rapport aux régions proches de l'atlantique qui demeurent sèches tout au long de l'été.

Remarquons toutefois que ces moyennes traduisent pourtant bien imparfaitement la réalité. Ainsi, par exemple, la lame d'eau estivale n'est pas toujours aussi réduite, elle peut à l'occasion, égaler le taux de 25% du total annuel comme d'ailleurs l'ont déjà mentionné certains auteurs tels que DEBRACH & BIDAULT (1938) et NOIN (1963). Il arrive même que ce taux atteigne la valeur exceptionnelle de 35% du total annuel comme cela s'est produit en 1960.

En outre, l'analyse fréquentielle des régimes pluviométriques annuels sur la période étudiée permet de dégager quelques faits marquants :

- les variations de pluviosité d'une année à l'autre sont importantes, aussi bien en quantité globale qu'en ce qui concerne la répartition saisonnière,
- comme on le verra plus bas, les pluies printanières dominent dans un cas sur deux.

Examinons de plus près ce phénomène. Ont été calculées, pour la période envisagée, les fréquences de nombre de fois où une saison donnée a occupé la première position, en terme de hauteur d'eau. Les résultats obtenus montrent que, sur les 33 années d'observation, les pluies estivales ont été les plus importantes pendant quatre fois avec un pourcentage non négligeable avoisinant les 12% occupant, par la même, le troisième rang ; La saison hivernale ayant été reléguée à la quatrième position avec un pourcentage de plu-

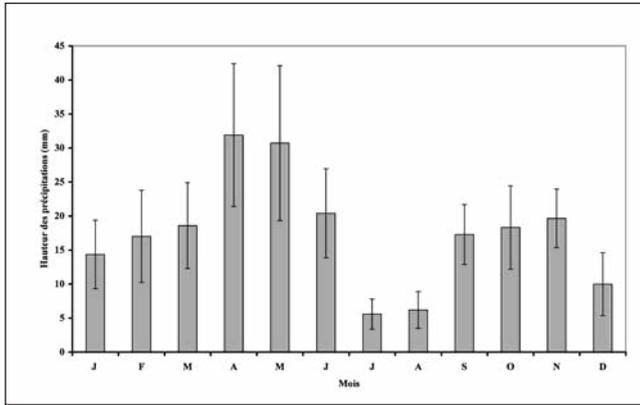


Fig. 3- Précipitations moyennes mensuelles à Midelt. (Trait vertical: intervalle de confiance à 95%).

viosité hivernale maximale de 5% : il y'a eu donc inversion des positions de l'été et de l'hiver par rapport à ce qu'on a pu voir dans le tableau 5. Cependant le chiffre de 12% n'est pas assez révélateur. En effet si on procède au dénombrement, sur la période envisagée, des quatre positionnements possibles de la saison estivale au sein des régimes pluviaux relevés au cours des 33 années, on obtient le classement suivant:

- 4 fois au premier rang, soit une fréquence de 12% ;
- 6 fois au second rang, soit une fréquence de 18% ;
- 9 fois au troisième rang, soit une fréquence de 27% ;
- 14 fois au quatrième rang, soit une fréquence de 43%.

Cet ordonnancement montre bien, plus que ne le laisse entrevoir la figure 3, l'importance des hauteurs des lames d'eau estivales qui occupent les trois premières places dans 57% des cas recensés. Ce dernier caractère est l'une des grandes originalités du climat pluviométrique de Midelt en particulier, et du climat « moulouyen » en général mais aussi des climats montagnards du Maroc central (MAURER, 1980) qui, en été, subissent, de plein fouet, dans un tiers des cas, l'influence du temps chaud et orageux du front orographique (NOIN, 1963)

Ces conclusions confirment, tout du moins en ce qui concerne le bassin de la Moulouya, celles auxquelles étaient parvenus, d'une part DEBRACH & BIDAULT (1938), et d'autre part RAYNAL (1961) à la suite de leurs études respectives sur les climats de montagne et sur la haute Moulouya.

Ce régime set attribué aux conséquences de l'origine des précipitations intéressant la haute plaine de Midelt et, plus généralement le haut bassin de la Moulouya. les flux atlantiques ouest ou nord-ouest, concentrés sur la saison froide, responsables d'abondantes précipitations sur la bordure septentrional du Moyen Atlas, s'assèchent très brutalement dès son franchissement en direction de la haute Moulouya où les précipitations sont souvent faibles, voire inexistantes (Fig. 4). Aussi l'essentiel des précipitations à Midelt est associé à deux types de temps de situations météorologiques, l'une et l'autre dirigeant sur le Maroc un flux « régional » de secteur Est dont le cheminement et la trajectoire sont favorisés par l'ouverture vers l'Est de la Haute Moulouya (DELANNOY & LECOMTE, 1980). Ceci explique la forme du régime pluviométrique à Midelt individualisé par l'écèlement des pluies hivernales, autrement dit par un creux pluviométrique qui peut se caractériser certaines années par un manque quasi-absolu de précipitations, pouvant durer au-delà d'un mois, et d'ailleurs combiné avec des froids importants.

A l'opposé, les turbulences ascendantes qui s'établissent en été au dessus de la plaine surchauffée (dues à la vigueur de l'insolation estivale associée aux fortes températures relevées au cours de cette saison), entraînent l'apparition d'orages, qui apportent des précipitations estivales ; aussi le régime pluviométrique de la haute plaine de Midelt se trouve-t-il parfois inversé par rapport à celui des plaines plus basses; c'est ainsi que l'on observe un maximum d'été, alors que c'est l'absence totale ailleurs. Au contraire, en hiver, la Haute plaine se refroidit intensément ; l'air qui la surmonte se refroidit aussi, il devient plus dense et plus stable d'où un régime thermique entre les saisons très contrasté, caractérisé par un hiver froid et un été chaud ; le printemps et l'automne sont plus cléments et enregistrent, en moyenne, les plus fortes précipitations.

6.1.2 - Nombre de jours avec pluie

Cette variable est souvent négligée, alors que son rôle est indéniable. En effet, s'il est important de connaître le total pluviométrique annuel, il est non moins essentiel de savoir avec quelle fréquence les précipitations se produisent, c'est-à-dire de déterminer le nombre de jours de précipitations et leur répartition saisonnière.

La quantité d'eau pluviale n'est donc pas la seule façon d'apprécier l'importance de ce facteur météorologique ; le

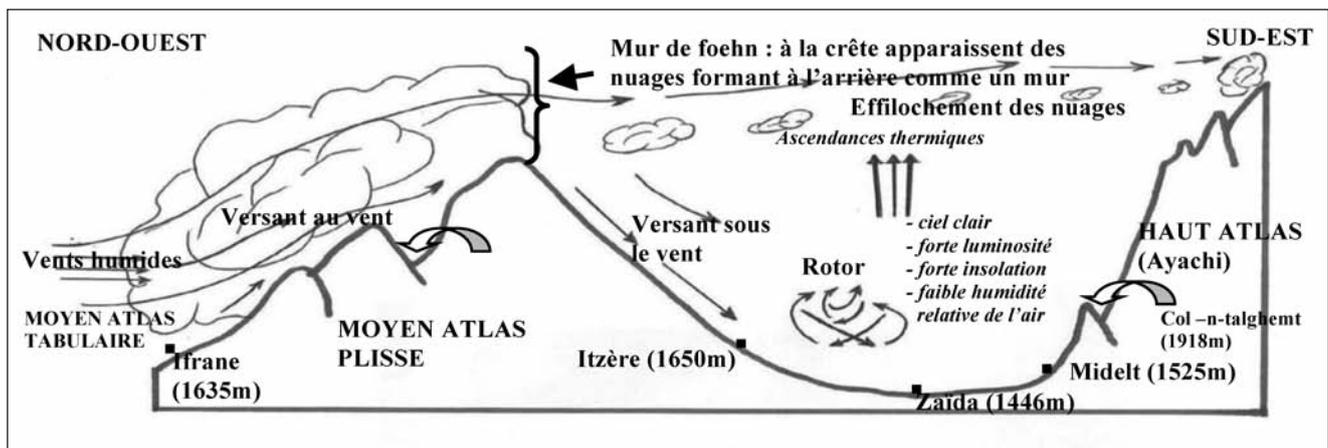


Fig. 4 - Coupe de la Haute plaine de la Moulouya et des versants atlasiques qui l'encadrent, par temps perturbé de circulation nord-ouest.

dénombrement des jours avec pluie est également intéressant d'autant plus que la présence ou l'absence des précipitations (liquide ou solide) au cours d'une journée est l'observation la plus simple qui peut être faite sans instrument.

Dans la suite du texte nous utiliserons l'expression « jours avec pluie » plutôt que celle de « jours de pluie » qui pourrait faire croire que la pluie est tombée tout au long de ces journées là.

Le bioclimatologiste est intéressé, non seulement par la connaissance de la hauteur annuelle de la tranche d'eau précipitée en un lieu donné, mais encore et peut être plus par des informations précises sur la distribution de ces précipitations sur un grand nombre de jours, ou au contraire concentrée sur un petit nombre. C'est ainsi que le nombre de jours avec pluie peut donner une idée de la façon dont la pluie tombe : fortes averses ou pluies modérées et fréquentes (GAUSSEN & al., 1958). Dans d'autres cas, c'est le petit nombre de jours avec précipitations et leur raréfaction à mesure que la température augmente qui joue le rôle déterminant pour expliquer l'origine de la sécheresse biologique et hydrologique (VIERS, 1968). Aussi l'étude de la fréquence de cette grandeur est d'un intérêt fondamental en bioclimatologie.

Mais avant toute chose, il faut évidemment définir au préalable ce qu'on entend par jour avec précipitation. Pour les météorologistes, il s'agit d'une journée au cours de laquelle il est tombé au moins 0,1 millimètre d'eau.

A Midelt, les résultats auxquels nous sommes parvenus appellent les commentaires suivants :

- tous les mois sans exception ont enregistré, sur la période envisagée, des jours avec précipitation ;
- le nombre moyen annuel de jours avec pluie est de 64.5 ;
- la variation du nombre moyen mensuel de jours avec pluie est relativement faible, elle s'échelonne entre les seuils de 3.4 en juillet et 7 aux mois d'avril et mai ;
- les nombres de jours avec précipitation d'un même mois peuvent, d'une année à l'autre, présenter aussi une très grande variation : c'est en avril que le nombre de jours de pluie s'inscrit dans la fourchette la plus élargie, 0 en 1959 et 1969 contre 16 jours en 1975 ; alors que c'est au mois de juillet qu'il s'inscrit dans la tranche la plus réduite, 0 en 1958, 1970, 1977, 1978 et 1980 contre 9 en 1964. C'est d'ailleurs pendant le mois de juillet que l'on observe le plus grand nombre de mois sans pluie (5 au total) durant les 33 années d'observation ;
- à l'échelle de la saison, la répartition des nombres moyens de jours avec précipitation se calque sur celle du régime moyen saisonnier PAHE défini précédemment avec respectivement des valeurs de 20, 16.8, 15.1 et 12.6 ; l'été étant donc la saison avec le moins de jours avec précipitation
- à l'intérieur d'une saison donnée le nombre mensuel de jours de précipitations est relativement constant et varie peu. C'est ainsi qu'en hiver, en automne et au printemps, il tourne respectivement aux alentours de 5, 6 et 7 jours par mois ; par contre c'est en été que l'on enregistre les valeurs les plus basses ;
- à l'échelle de l'année, contrairement à ce que ne le laisse penser la valeur des différentes moyennes reportées dans le tableau 1, les limites extrêmes, minimale et maximale, du nombre de jours avec précipitation durant

les 33 années d'observation sont respectivement de 36 et 91 ;

- dans presque 1/4 des cas on a un nombre de jours de pluie qui oscille entre 61 et 70 ;
- ce pourcentage avoisine les 67% pour la classe s'étalant entre 51 et 80.

6.1.3 - Les phénomènes particuliers

6.1.3.1 - Nombre de jours avec orage

De tous temps, les orages ont constitué des événements plus ou moins dévastateurs, et la société leur a souvent payé un lourd tribut, en particulier les gens de la montagne. Il est vrai cependant que divers facteurs tels que l'accroissement de la population, la construction en zones inondables, l'augmentation des surfaces imperméables, la disparition des zones humides... ont contribué, de façon significative, à aggraver les problèmes engendrés par de tels phénomènes.

L'orage consiste en une perturbation atmosphérique ; les météores associés aux orages sont les averses violentes de pluie, de grêle ou de grésil, des décharges brusques d'électricité statique atmosphérique du nuage vers le sol se manifestant par une lueur brève et intense (éclair) et par un bruit sec ou un roulement sourd (tonnerre), onde sonore liée à l'onde de choc de l'étincelle dans l'air environnant (VIAUT 1985; GODARD & TABEAUD, 1998).

En météorologie, on considère qu'il y a orage à partir du moment où l'on entend le grondement du tonnerre, même si celui-ci n'est pas accompagné de précipitations sur le point d'observation (MÉTÉO-FRANCE OUEST, 1997).

Le nombre moyen de jours d'orage annuel à Midelt est assez conséquent ; la station météorologique locale donne en effet un total de 34 jours. Mais les tonnerres ne sont pas l'exclusivité de la saison chaude comme on pourrait le penser ; Il peut en effet tonner en chaque mois de l'année, même pendant le mois de décembre comme cela s'est produit exceptionnellement en 1962 et 1970. Toutefois la répartition mensuelle des orages est très irrégulière puisqu'elle s'échelonne de 0.06 en décembre à 6.1 en mai. Cependant la plupart d'entre eux éclatent durant les cinq mois de mai à septembre avec un total de 28 jours/an ; les autres mois se partagent les six jours restants dont 2.4 et 2.1 vont respectivement aux mois d'avril et d'octobre.

Par ailleurs, ce sont les mois de mai et juin qui enregistrent les nombres les plus élevés avec respectivement 6.1 et 6.0 jours/an ; alors que le mois d'août, avec ses 5.4 jours/an, ne vient qu'en quatrième position juste en dessous du mois de septembre (5.6j/an). Néanmoins le mois d'août présente, d'une année à l'autre, une plus large fourchette de variation (0-17) mais moins que le mois de juillet (0-18) ; d'ailleurs les sept mois de la « belle saison » qui s'étend d'avril à octobre, et qui possède la fréquence maximale du nombre de jours d'orage, se caractérisent tous, d'une année à l'autre, par des fourchettes plus ou moins élargies allant de 0-9 à 0-18.

A l'échelle de la saison, la période orageuse débute au printemps et atteindra sa plénitude en été : la saison estivale, avec ses 16.3 jours d'orage par an, est largement en tête, suivi, d'un peu plus loin, par le printemps avec un total de 9.3 jours/an ; cette dernière saison est talonnée de près par l'automne (8.1j./an). Enfin, il est très rare que des orages se

produisent en hiver, il ne totalise en tout et pour tout que 0.36 jours par an, soit une occurrence aux alentours de 1%.

A l'échelle annuelle, Le nombre de jours avec orage a varié, sur les 33 ans, de 11 j/an, valeur relevée en 1958, à 74 j/an, chiffre observé en 1989. La classe englobant les années avec des nombres de jours d'orage allant de 20 à 40 ont une probabilité d'apparition avoisinant 61%, alors que celles dont les nombres sont compris entre 41 et 50 ainsi que ceux inférieurs à 20 présentent la même occurrence qui se situe légèrement au dessus de 15% ; enfin les années qui totalisent des nombres supérieurs à 50 sont assez rares puisque leur probabilité d'apparition n'est que de 9%.

A Midelt, on distingue deux types d'orage : 1- l'orage local, observé le plus souvent en été et au début de l'automne, n'intéresse qu'une zone restreinte et il est de faible déplacement horizontal ; il est limité à deux ou trois cumulonimbus. 2- l'orage de grain ou de front, observé le plus fréquemment au printemps et à la fin de l'automne ; il est plus étendu et est lié à une arrivée d'air froid et humide ; les cumulonimbus sont ici nombreux, groupés en une bande de plusieurs dizaines de kilomètres de longueur qui, plus ou moins rapidement, traverse toute la région de Midelt où se déploie la rafale ou grains orageux, c'est-à-dire les bourrasques accompagnant un orage étendu. Enfin, rappelons simplement qu'il n'y a pas d'orage sans cumulonimbus.

Contrairement aux orages de front, des pluies diluviennes, d'autant plus fortes que la cellule orageuse se déplace lentement, accompagnent souvent les orages locaux. Ces pluies exceptionnelles à fortes intensités tombent en un temps réduit, d'ordre horaire, et produisent des inondations spectaculaires et désastreuses. Les « records » sont difficiles à chiffrer car associés à de petites cellules convectives de taille inférieure à la maille des réseaux des stations météorologiques. Néanmoins, 20 à 30 litres d'eau/m² en une heure est un ordre de grandeur potentiel sur la localité de Midelt. Si ces pluies torrentielles se produisent après une longue saison sèche, les sols n'absorbent pas de telles quantités d'eau et le ruissellement est intense. En plus l'extension des surfaces bâties et imperméabilisées favorise davantage le ruissellement ; l'engorgement accroît les débordements et la suppression des anciens lits d'écoulement de l'eau ou la construction dans les zones inondables augmente considérablement les risques (ESCOUROU, 1991 ET HUFTY, 1997). Le cas de Midelt est à ce titre très éloquent. Dans la zone urbaine de Midelt, ce phénomène entraîne rapidement des torrents où se mêlent eau, boue, objets arrachés, arbres déracinés... Les sols lessivés par ces fortes pluies libèrent leurs engrais, pesticides, qui s'ajoutent aux débordements urbains et contribuent à l'augmentation des pollutions.

Cependant, les orages à craindre le plus, à cause de la forte déclivité des pentes, sont ceux qui déversent leurs eaux sur la partie amont du bassin versant de l'oued Outat, lequel englobe une portion de l'ubac du jbel Ayachi. Ils provoquent assez souvent des crues torrentielles (ou crues rapides, ou crues subites, ou crues éclairs) violentes, étant entendu que le mot crue désigne une augmentation plus ou moins brutale du débit d'un cours d'eau, permanent ou non, due à une précipitation (CHOCAT, 1997). Cette montée des eaux très brutale ne laisse souvent que peut très peu de temps aux riverains pour échapper aux déferlements des eaux. Toutefois, il arrive que l'on enregistre des mortalités par noyade. En plus, les conséquences peuvent aussi être très

graves en termes de dégâts matériels et de coûts (voies de communications coupées, terrains agricoles emportés, habitations endommagées, récoltes partiellement ou totalement détruites...) comme cela s'est produit en août 2005 avec de surcroît la destruction du barrage de Tattiouine.

Fort heureusement, du fait de la situation générale piémontaise de la ville de Midelt, donc peu encaissée, les dommages occasionnés n'atteignent pas l'ampleur de ceux que l'on a observé lors des inondations meurtrières consécutives à un orage d'une rare violence qui s'est abattu sur la vallée très encaissée de l'Ourika en août 1997 (SAIDI & al., 2003).

6.1.3.2 - Nombre de jours avec grêle ou grésil

Chaque année, quelques orages de grêle particulièrement dévastateurs marquent une partie du terrain marocain. A Midelt, La grêle demeure en effet une calamité pour l'arboriculture fruitière qui s'est développée grâce à l'irrigation, et tout particulièrement pour les exploitations du pommier dont les conséquences économiques peuvent être dramatiques. D'ailleurs d'une manière générale, la grêle s'inscrit dans la catégorie des fléaux naturels qui affectent gravement les productions agricoles du Maroc (BENARAF, 1995). En plus de leur localisation aléatoire, les chutes de grêle peuvent aussi bien intéresser toute la région de la haute Moulouya comme elles peuvent se limiter à une bande de quelques hectares.

La grêle est un hydrométéore signifiant en principe une précipitation solide de globules ou morceaux de glace que l'on appelle grêlons dont le diamètre est supérieur à 5mm ; si le diamètre est inférieur ou égal à 5mm, la précipitation est dénommée grésil dont les granules rebondissent sur le sol, comme les grêlons, et l'on peut entendre le bruit de leur impact si le sol est dur (VIAUT, 1985). Mais, dans la pratique on ne tient pas compte de cette distinction.

Ces boules de glace que sont les grêlons se forment dans les nuages orageux à grand développement vertical. La durée moyenne de vie d'un cumulo-nimbus orageux est de l'ordre d'une heure ou deux heures (FACY, 1985).

Il grêle à Midelt, environ, deux jours en moyenne par an. Par ailleurs, les chutes de grêle ou de grésil peuvent se produire durant n'importe quelle époque de l'année à l'exception du mois de décembre. Cependant, la grêle est par bien des aspects un phénomène excessivement variable. Ainsi la distribution intermensuelle est très irrégulière ; le mois d'avril présente le nombre de jours le plus élevé (0.5jour/an), en revanche le nombre de jours n'est pas particulièrement plus élevé au mois d'août, comme on pouvait le penser, c'est plutôt le mois de juin qui vient en deuxième position avec 0.4 jours par an ; en troisième et quatrième position on trouve respectivement les mois de mai (0.3j./an) et mars (0.2j./an). D'ailleurs ces quatre mois ont totalisé, à eux seuls, durant les 33 années, le plus grand nombre de jours de grêle ou de grésil avec 45 jours sur 65, soit une occurrence d'environ 70%, c'est-à-dire que lorsque l'on observe de la grêle ou du grésil, il y a 70% de chance que ça tombe sur un des mois précités mais avec un avantage non négligeable pour le mois d'avril, qui présente à lui seul une probabilité d'apparition d'environ 25%. Ce mois présente en outre, parmi tous les mois, la fourchette de variabilité la plus large qui va de zéro à quatre.

A l'échelle de la saison, le printemps est la période la

plus exposée aux chutes de grêle ou de grésil avec un nombre cumulé d'un jour par an ; suivies de l'été (0.58j./an), de l'automne (0.28j./an) et de l'hiver avec seulement 0.12 jours par an ; le régime saisonnier des jours de grêle ou de grésil est donc de type PEAH.

Enfin le nombre de jours de grêle ou de grésil varie également d'une année à l'autre dans des proportions de zéro à sept : 1976 étant l'année la plus grêligène avec un total de 7 jours ; parmi les années les moins grêligènes (zéro jours), on peut citer 1958, 1964, 1965, 1967, 1969, 1979, 1981, 1983 et 1984. Néanmoins, la classe allant de 0 à 3 jours totalise une fréquence de 76% alors que celle dont les limites sont de 4 et 7 a une occurrence de 24%. Par ailleurs chaque année a 73% de chance de recueillir des chutes de grêle ou de grésil ; mais comme il s'agit d'un phénomène à la fois localisé et relativement assez rare, présentant un certain caractère d'exception, par rapport aux précipitations « habituelles », on peut considéré l'orage de grêle ou de grésil comme l'un des éléments météorologiques dont la prévision quantitative de l'occurrence est des plus difficiles, ce qui rend les résultats obtenus inextrapolables.

Quelque incomplet qu'il soit, cet aperçu montre toute l'importance que revêt un tel phénomène pour toutes les raisons évoquées ci-dessus; toutefois, il aurait été beaucoup plus profitable si nous avions disposé d'indications sur les paramètres diamètre, nombre de grêlons, surface grêlée, énergie des chutes. A titre indicatif, une chute « moyenne » en France ou en Suisse dure au total 15 minutes (4 minutes ponctuellement), recouvre 15 km² de 1000 tonnes de grêle avec 5 milliards de grêlons de dimension inférieur à 10 millimètres. Très rarement, le nombre de grêlons dépasse 15000 au m² et le diamètre 40 millimètres (MEZEIX & al., 1986).

6.1.3.3 - Nombre de jours avec neige

La neige constitue la forme principale des précipitations atmosphériques solides. C'est une précipitation de cristaux de glace ayant des formes compactes ou ramifiées en étoiles; les cristaux sont généralement agglomérés en flocons. La quantité de neige tombée se dépose au sol sous forme d'un manteau blanc (en fait légèrement bleuté) formé par l'accumulation de flocons. Pour étudier la nivométrie dans un site donné l'indication numérique que le climatologue utilise le plus souvent est celle du nombre de jours pendant lesquels des précipitations neigeuses ont été observées (Péguy, 1968) ; c'est, en effet, la quantité la plus facile à déduire des observations météorologiques de routine (LLIBOUTRY, 1985). On définit les jours avec chute de neige comme les jours où il est tombé, ne serait-ce quelques flocons, entre 0h 24h T U.

6.1.3.3.1 - Variation du régime nivométrique

La neige ne tombe pas régulièrement d'une année à l'autre. Le nombre moyen annuel de jours avec chute de neige est de 9 avec une fourchette de variation s'étalant de 2 à 19 ; il n'y a pas eu donc, durant la période étudiée, de jours sans chutes de neige.

Par ailleurs, la classe modale, dont les bornes sont respectivement de 5 et 9, a une fréquence avoisinant les 50%, autrement dit nous sommes en face d'une probabilité

sur deux d'avoir, pour les années à venir, un nombre de jours de chutes de neige s'échelonnant entre 5 et 9 ; alors que les deux classes ayant respectivement pour limites 5-9 et 10-14, présentent à elles seules une fréquence cumulée de 80%. Au-delà de 14 jours de chutes de neige, la fréquence n'est plus que de 6%, alors qu'elle est un peu plus élevée (15%) pour un nombre de jours inférieur à 5.

Les mois les plus froids, à savoir les mois de décembre, janvier et février enregistrent les plus grands nombres de jours de chutes de neige, avec une moyenne pour chaque mois avoisinant les deux jours par an. Cette période s'étend davantage vers le printemps (principalement au mois de mars) que vers l'automne (surtout au mois de novembre). A la lumière de ce qu'on vient de voir on peut conclure que les neiges se concentrent surtout sur la saison hivernale ; d'ailleurs sur les 33 années d'observation ; on n'a jamais enregistré de jours sans chute de neige durant l'hiver à l'exception de 1966 où les deux seuls jours avec chute de neige de toute l'année ont été relevés au mois de mars. Par ailleurs un examen plus approfondi du tableau montre que la variation du nombre de jours avec chute de neige peut s'échelonner de zéro (valeur commune à tous les mois sans exception) à 7 ou 8 comme cela s'est produit respectivement au mois de février de l'an 1979 et au mois de décembre de 1960.

6.1.3.3.2 - Valeurs extrêmes d'enneigement

Des chutes de neige aux mois d'octobre et de novembre ne sont pas exceptionnelles, mais le sol ne reste pas très longtemps recouvert (moins de deux jours) à ces occasions. L'analyse des données sur Midelt montre que ces chutes précoces ou préenneigements sont très irréguliers ; il est très rare, en effet, que la neige commence au mois d'octobre : sur les 33 années d'observation on n'a relevé qu'un seul jour avec chute de neige en 1960. Par contre l'enneigement à partir du mois de novembre semble relativement plus constant (entre 25 et 30% des années).

Quant aux enneigements tardifs, les neiges printanières sont plus fréquentes, mais elles présentent un net penchant pour le mois de mars avec une fréquence de 70% ; le mois de mai, par contre, n'a connu des jours avec chute de neige que pendant deux années sur les 33 que compte la série chronologique étudiée, c'est-à-dire grossièrement une fois tous les quinze ans, alors qu'au mois d'avril l'enneigement a lieu une année sur deux. Par ailleurs cet enneigement printanier ne persiste au sol pas plus que deux jours du fait de l'ensoleillement consécutif.

6.2 - Les températures

Les températures sont utilisées par commodité pour rendre compte de l'apport d'énergie, faute de travailler directement sur le bilan énergétique ; elles n'ont donc qu'une valeur biologique indirecte.

L'effet bioécologique de la température aura toujours un triple aspect : effet de la température moyenne, effet des valeurs extrêmes, effet des périodicités. Par ailleurs, la séparation entre températures minimales et maximales s'impose car leur comportement respectif est fondamentalement différent, surtout dans le bassin circumméditerranéen où le cli-

mat très radiatif permet une expression remarquable des spécificités locales et de fortes amplitudes quotidiennes.

Enfin, il est important de préciser que la température mesurée en météorologie est la température de l'air, à une hauteur voisine de 1,5 mètre (LEROY, 2002). Il ne s'agit donc pas de la température physiologique ressentie qui dépend aussi du vent, du rayonnement solaire et de l'humidité. Au Maroc, l'unité de mesure employée est le degré Celsius. 1°C est le centième de la différence, à 1015 hecto Pascals (hPa), entre la température de la glace fondante (0°C) et de l'eau bouillante (100°C) (TABEAUD, 1998).

Les principales tendances de la variation annuelle des températures à Midelt, mois par mois, ont été également établies à partir des observations d'une durée de 33 ans et représentées dans la figure 5 dont la lecture permet de relever les caractéristiques suivantes :

6.2.1 - Températures moyennes minimale et maximale

- les moyennes des minimums varient de 0.7°C en janvier à 16.6°C en juillet;
- les moyennes des maximums varient de 12 °C en décembre à 32.6 °C en juillet;
- les moyennes mensuelles sont comprises entre 6.5°C en décembre à 24.4°C en juillet.

Le mois de janvier est donc en moyenne le mois le plus froid alors que le mois de juillet est le plus chaud.

La température moyenne annuelle est de 14.3°C avec une moyenne des minimums de 7.6°C et une moyenne des maximums de 21°C.

6.2.2 - Amplitude thermique

L'amplitude thermique est un critère climatique souvent sous-estimé ; il revêt cependant une importance considérable dont voici quelques faits. Elle peut en effet donner des indications sur certains éléments qui n'ont même pas été mesurés. Ainsi un écart important entre les maxima et les minima signifie que le ciel a été clair et le rayonnement intense. On en déduira que les températures réellement atteintes par les végétaux durant la nuit ont été, par suite au rayonnement infrarouge, de deux ou trois degrés inférieurs à la température minimale de l'air. C'est également à ce type de temps peu nuageux que correspondent, la nuit et selon la situation topographique, des écarts de température importants. La forte amplitude thermique signifiera aussi que l'humidité relative s'est notablement abaissée durant le jour et que le pouvoir évaporant de l'air a été élevé. Au contraire les faibles amplitudes de température traduiront un faible ensoleillement le jour, un refroidissement nocturne atténué du fait de la nébulosité, une humidité relative constamment élevée et une évapotranspiration faible. Enfin, signalons que les amplitudes thermiques, diurnes et annuelles, moyennes et absolues, contribuent à caractériser le degré de continentalité d'un climat local (PARCEVAUX (DE) & HUBER, 2007).

L'amplitude thermique peut s'exprimer de différentes manières : soit par l'écart de température entre l'hiver et l'été, soit par l'écart entre le jour et la nuit.

Dans le premier cas, il s'exprime globalement par l'amplitude thermique annuelle, c'est-à-dire la différence algébrique entre la valeur de température moyenne la plus élevée, enregistrée pendant le mois le plus chaud et celle de la

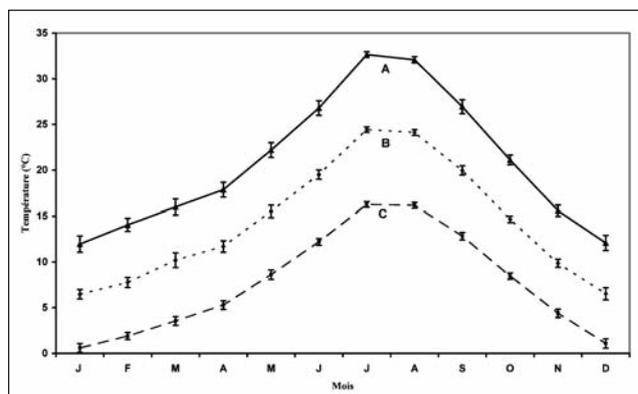


Fig. 5 - Comparaison des courbes des températures moyennes mensuelles à Midelt (trait vertical: intervalle de confiance à 95%). A: Température maximale ; B: Température moyenne ; C: Température minimale).

température moyenne la plus basse relevée pendant le mois le plus froid.

Dans l'exemple qui nous intéresse ici elle est de 17.9 °C.

Cependant c'est l'amplitude thermique moyenne extrême qui est la plus couramment utilisée, elle donne une idée de la continentalité : au cours de longs trajets sur les continents, l'air, plus turbulent (en raison de la rugosité), perd son humidité d'autant plus vite qu'il se heurte à de plus importants reliefs transversaux. Elle correspond à la différence entre la moyenne des maxima quotidiens (=journaliers) du mois le plus chaud et la moyenne des minima quotidiens du mois le plus froid ; les valeurs correspondantes sont respectivement de 32.6°C et 0.7 °C d'où une amplitude de 31.9°C.

Dans le second cas ; on trouve également deux cas de figures :

- L'amplitude thermique nyctémérale moyenne du mois qui est la différence entre la moyenne des températures maximales (températures diurnes) du mois considéré est la moyenne des températures minimales (températures nocturnes) du même mois.
- L'amplitude thermique nyctémérale moyenne annuelle qui est la somme des amplitudes thermiques nyctémérales moyennes mensuelles divisées par 12 (VIGNEAU 2000).

L'amplitude thermique diurne moyenne est plus élevée au mois de juillet et août où l'écart est de 16°C, alors qu'au mois de janvier elle est la plus faible avec une valeur de 11.7 °C.

6.2.3 - Températures minimale et maximale absolues

Des vagues de froid sérieuses atteignent en hiver la localité de Midelt. Les plus connues se produisirent en décembre 1957 et janvier 1965 ; les températures minimales descendirent alors jusqu'à -13,5°C et -13,4°C. D'une manière générale, le mois de janvier est le mois où l'on a enregistré les valeurs les plus basses avec une moyenne de -4.7°C. La variabilité annuelle se situe dans une fourchette allant de -0.9°C en 1969 à -13.4°C en 1965.

Le mois de décembre présente également de températures minimales absolues relativement basses avec une moyenne de -3.6°C ; la fourchette de fluctuation annuelle

est comprise entre -0.8°C en 1989 et -13.5°C en 1957. Si de telles valeurs restent tout à fait exceptionnelles, des chiffres de -2 à -5 sont beaucoup moins rares ; en effet la fréquence de cette tranche comprise entre -2°C à -5°C est très élevée (avoisinant les 80% au mois de janvier). Cependant, d'une manière générale la fréquence de température inférieure à 0°C est très élevée en hiver. Elle est relativement moindre au début du printemps (la température minimale absolue moyenne au mois de mars est de -1.5°C) et à la fin de l'automne (la valeur moyenne est d'environ -1°C).

Pour ce qui est des valeurs des minima absolues les plus élevées, elles ont été relevées au mois de juillet et août avec respectivement 12°C et 11.6°C . Ces moyennes présentent cependant des écarts interannuels relativement importants : pour le mois de juillet, elles varient de $9,6^{\circ}\text{C}$ en 1980 et 15°C en 1984 ; alors que pour le mois d'août, elles oscillent entre $7,5^{\circ}\text{C}$ en 1977 et $14,4^{\circ}\text{C}$ en 1988.

Quant aux températures maximales absolues, elles n'ont jamais dépassé le seuil de 40°C tout au long de la période étudiée. Néanmoins les vagues de chaleur ne sont pas rares. Les plus intenses ont eu lieu en juillet 1979 et 1988 et août 1983 ; les températures maximales atteignirent successivement les valeurs de $37,0^{\circ}\text{C}$, $37,2^{\circ}\text{C}$ et $37,3^{\circ}\text{C}$.

Pour ce qui est des moyennes mensuelles maximales absolues, elles ont été enregistrées au mois de juillet et août avec respectivement $35,1^{\circ}\text{C}$ et $35,4^{\circ}\text{C}$. D'après les données recueillies la fourchette de variabilité annuelle est étroite, elles se situent au mois de juillet entre $34,1^{\circ}\text{C}$ en 1982 et $37,0^{\circ}\text{C}$ en 1979, mais avec une fréquence élevée des valeurs de 35°C et 36°C , alors qu'au mois d'août, elles varient dans une tranche plus large entre $33,9^{\circ}\text{C}$ en 1981 et $37,3^{\circ}\text{C}$ en 1983. Les valeurs moyennes les plus faibles de l'année ont été relevées au mois de décembre et janvier avec respectivement $18,1^{\circ}\text{C}$ et $18,6^{\circ}\text{C}$. La variabilité interannuelle en décembre s'échelonne entre $14,5^{\circ}\text{C}$ en 1970 et $21,6$ en 1978 ; par contre la tranche de variabilité annuelle est légèrement plus étendue, elle oscille entre 15°C en 1989 et $22,8^{\circ}\text{C}$ en 1966.

En plus de leur effet néfaste sur la végétation, les deux phénomènes précités peuvent jouer un rôle dans la survenue, chez l'Homme, de nombreuses maladies aiguës aussi bien que dans l'évolution de certaines maladies chroniques (BESANCENOT, 1997, 2002; BEAUDEAU & al., 2004). Nous reviendrons un peu plus loin sur ces phénomènes thermiques « exceptionnels ».

6.2.4 - Températures moyennes extrêmes minimale et maximale

Par ailleurs nous avons tenté une étude un peu plus poussée des données à notre disposition pour présenter quelques autres caractéristiques du climat thermique de Midelt à savoir la température minimale la plus basse et celle la plus haute, la température maximale la plus basse et celle la plus haute pour chaque mois, sur la période 1957-1989.

Les résultats sont les suivants:

- une température minimale inférieure à 0°C est possible de décembre à février soit pendant 3 mois;
- il n'y a pas de mois où il a gelé chaque année;
- la température maximale relevée chaque mois est toujours égale ou supérieure à 6.3°C elle peut atteindre environ 18°C en hiver et environ 34°C en été;

- la température minimale en juillet-août est comprise entre environ 14°C et 19°C ;
- la plus grande différence des minimums mensuels est d'environ 4°C en juillet et août et de 6°C environ en janvier février; il n'y a donc pas une grande différence entre l'été et l'hiver;
- la plus grande différence des maximums mensuels est d'environ 3.5°C en juillet-août et environ 9°C en décembre (début de l'hiver) et en mai (fin du printemps).

La variabilité des températures maximales est supérieure à celle des températures minimales.

6.2.5 - Les événements climatiques extrêmes

Sur le plan des conditions de vie en montagne, ce sont les phénomènes climatiques peu habituels ou « anormaux » et aux conséquences souvent dramatiques qui sont souvent ressentis comme les plus gênants ou causant le plus de dégâts ; c'est le cas, par exemple de la sécheresse et des pluies excessives. Dans le bassin méditerranéen, les événements « exceptionnels » sont, du point de vue thermique, les vagues de froid hivernales et de chaleur estivales (DOUGUÉDROIT, 1997). Mais, d'une manière générale, ces catastrophes climatiques recouvrent des événements « naturels » extrêmes plus ou moins exceptionnels ou rares, traumatisants pour l'homme qui est affecté dans sa vie, sa santé et son aménagement (PAGNEY, 1994).

6.2.5.1 - Les gelées sous abri, les jours sans dégel et les gelées sévères

Il est évident que dans la gamme de température, celle de 0°C qui marque le changement d'état physique de l'eau, a un intérêt tout particulier ; le gel constitue un de ses aspects.

Le problème du gel peut être envisagé de deux façons différentes : le météorologue décomptera le nombre de jours pendant lesquels la température est descendu au dessous des zéro. Le biologiste, qu'il soit écologue ou autre attachera, au contraire, plus d'importances aux circonstances dans lesquelles le gel s'est produit. Il est, en effet, averti du fait que les végétaux présentent des seuils de résistance au gel, différents selon les espèces, et que pour une espèce donnée, il existe de nombreux seuils caractérisant les divers stades de son cycle de développement. Ainsi, tel froid survenant au cours du repos hivernal sera sans conséquence, alors qu'un refroidissement abaissant la température dangereusement au dessous du seuil de la floraison, par exemple, pourra avoir un effet catastrophique ; c'est pourquoi les gelées printanières sont tellement redoutées des agriculteurs. S'agissant ici de l'étude des éléments climatiques à Midelt ; le moyen le plus simple et le plus facile à réaliser pour mettre en évidence la durée et la fréquence du froid, est de ne considérer que le nombre de jours de gel comme on l'a fait pour la neige.

D'une manière conventionnelle généralement adoptés par les différents pays on compte comme jours de gelées sous abri, les jours pour lesquels la température minimale a été égale ou inférieure à 0°C . Si la température maximale ne dépasse pas 0°C dans la journée le jour est dit sans dégel. En déduisant ces jours sans dégel du total de jours de gel, on obtient le nombre de jours à alternance gel/dégel qui offre évidemment un grand intérêt en géomorphologie.

A Midelt, le nombre moyen annuel de jour de gel (tableau 1) est relativement peut élevé (38) mais à l'échelle annuelle ce nombre possède une très grande variabilité (17 en 1963, 65 en 1971). Il est très peu probable que l'émission anthropique de chaleur en hiver, due au chauffage domestique, ait un quelconque effet sur le nombre de jours de gel tel qu'on peut l'observer par exemple dans les grandes agglomérations (BESSEMOULIN, 1980).

Les risques de gelée sont redoutables en automne et cessent d'être à craindre au milieu du printemps. Ces phénomènes peuvent se produire entre le mois de novembre et le mois d'avril avec un risque élevé pendant le mois de décembre, janvier et février où le nombre de jours de gelée est en moyenne respectivement de 11, 13 et 7 par mois. La durée moyenne de la période dite sans gelée, que l'on appelle parfois la saison végétative, s'échelonne sur 6 mois, depuis la fin avril jusqu'à la fin octobre.

Par ailleurs, la lecture de la série temporelle révèle que les jours sans dégel sont quasi-inexistants. En effet, en 33 ans d'observations, le nombre de jours sans dégel n'a jamais dépassé le seuil de 5, valeur qui n'a été relevée qu'une seule fois au mois de janvier 1965 ; les autres valeurs se situent entre 3 observée au mois de décembre 1967, 2 également relevée au mois de décembre 1979, alors que les années 1976 et 1985 sont *ex aequo* avec 1 jour enregistré au mois de janvier (Tab. 1).

Quant aux gelées sévères, elles sont rares à Midelt comme le montre le tableau 1. Cependant il faut noter que leur fréquence est plus élevée en décembre où l'on enregistre en moyenne un jour de gelée sévère chaque année. Le mois de janvier vient loin en deuxième position. Les autres mois sont pratiquement sans aucun jour de gelée sévère.

6.2.5.2- Les jours de forte chaleur

On appelle conventionnellement jours de fortes chaleurs les jours au cours desquels la température maximale a dépassé 30°C. Sous abri. Cette notion exprime en conséquence des périodes de chaleur intense, dénommée aussi vague de chaleur ou encore canicule (Bessemoulin & al., 2004). En plus des risques d'incendie, l'impact sanitaire de ces vagues de chaleur, couplée à la sécheresse, peut être catastrophique en termes de pertes de vies humaines. Il est donc primordial de prévoir leurs durées et leurs intensités.

Le tableau 1 donne les nombres mensuels moyens de jours de fortes chaleurs à Midelt. Il ressort de l'analyse du dit tableau que le nombre annuel moyen de jours de forte chaleur est de 67 mais il a varié au cours des 33 ans de 36 à 87 jours. Par ailleurs d'après les données recueillies, il est possible d'observer des jours où la température dépasse 30 °C sous abri dès le mois de mai jusqu'au mois de septembre avec une fréquence très élevée aux mois de juillet et août

Tableau 1 - Données sur les phénomènes climatiques extrêmes à la station de Midelt pour le période 1957-1989.

Mois		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moyenne annuelle
	Moyenne	13	7	3.8	1.2	0.03	0	0	0	0	0.1	1.8	11.4	38.3
Nombre mensuel de jour avec gel es	Minimum	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17
	Maximum	29	18	11	6	1	0	0	0	0	3	11	24	65
Nombre mensuel de jour sans d gel	Minimum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
	Maximum	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	-
Nombre mensuel de jour avec gel es s v res	Minimum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
	Maximum	8	2	1	0	0	0	0	0	0	0	1	8	-
Nombre mensuel de jour avec forte chaleur	Moyenne	0	0	0	0	0.9	6.3	27.3	26	8	0	0	0	67.6
	Minimum	0	0	0	0	0	0	17	19	0	0	0	0	36
	Maximum	0	0	0	0	9	17	31	31	18	0	0	0	87

où les températures maximales ne descendent que très rarement au dessous de 30 °C.

6.3 - Humidité de l'air

L'humidité relative exprime assez bien le pouvoir évaporant de l'air, elle est donc très largement dépendante de la température. Par ailleurs, pour une température donnée, l'air ne peut contenir qu'une certaine quantité de vapeur d'eau, appelée quantité saturante.

L'humidité relative ou degré hygrométrique de l'air est défini par le rapport entre la tension de vapeur d'eau dans l'air et la tension de vapeur saturante à la même température, autrement dit c'est le rapport entre le poids de la vapeur d'eau réelle que contient l'air et celui qu'il contiendrait s'il était saturé à la température du moment. Elle est généralement exprimée sous forme de pourcentage. A titre indicatif, le taux de 100% est atteint dans le brouillard ou lorsqu'il pleut ; dans des conditions extrêmes de sécheresse, le taux d'humidité peut s'abaisser jusqu'aux environs de 10% ; au dessous de 50, l'air est considéré comme très sec, au dessus de 80, l'air peut être considéré comme très humide.

6.3.1 - Humidité relative de l'air sous abri

Malgré la proximité du jbel Ayachi (pôle condensateur) on constate à Midelt, à l'examen de la figure 6, que l'humidité relative moyenne annuelle est d'environ 50%. Les valeurs les plus faibles sont observées aux mois de juillet-août (35%) et les valeurs les plus fortes aux mois de novembre et décembre avec respectivement 58 et 59% ; on constate cependant un minimum secondaire aux mois de juin et septembre et un deuxième maximum aux mois de janvier et février.

A l'échelle de la saison l'humidité relative moyenne de l'air à Midelt oscille dans une fourchette relativement peu élargie allant de 52.6%, valeur la plus élevée enregistrée en hiver à 39.2%, valeur la plus faible relevée en été ; quant au printemps et à l'automne, ils enregistrent presque les mêmes chiffres avec respectivement 52.6% et 52.5%.

Le degré hygrométrique est généralement élevé en fin de nuit et présente au contraire un minimum en cours et en fin d'après-midi comme le traduit la figure 6; il évolue donc en

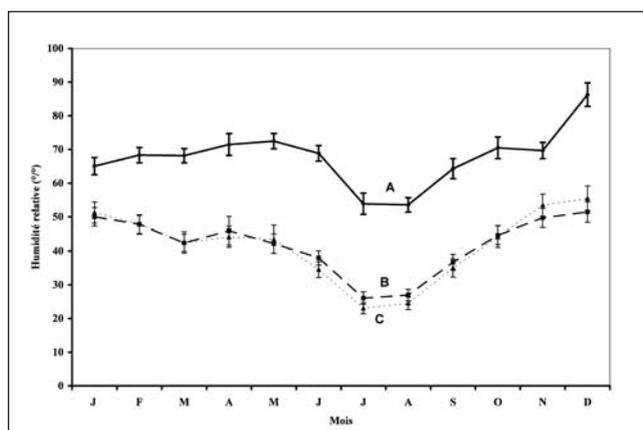


Fig. 6 - Comparaison des courbes de l'humidité relative moyennes à Midelt (trait vertical : intervalle de confiance à 95%. A : humidité à 6 h ; B : humidité à 12 h ; C : humidité à 18 h).

sens inverse de la température.

En plus cette variation journalière de l'humidité relative de l'air est toujours bien marquée, elle est surtout importante en été où l'amplitude diurne y atteint le chiffre de 32% mais aussi au printemps avec une amplitude diurne de 30%, alors qu'elle n'est que de 25% en automne et encore moins en hiver où l'on enregistre la plus faible amplitude avec 20% seulement.

6.3.2 - Jours de brouillard, jours de rosée et jours de gelée blanche

Le tableau 2 donne différentes valeurs concernant ces grandeurs climatiques.

6.3.2.1 - Nombre de jours de brouillard

La fréquence annuelle des jours avec présence de brouillard est relativement faible à Midelt ; elle est en moyenne de 5.5 environ comme le montre le tableau 2.

En outre, des brouillards peuvent être observés durant toute l'année sauf pendant les mois d'août et de juillet. Cependant, le mois de juillet a connu, exceptionnellement en 1976, deux jours de brouillard sur l'ensemble de la période envisagée. A l'opposé, ce sont les mois de décembre et de janvier qui occupent la pôle position avec un nombre moyen de 0.8 jours, talonnés par les mois de février et d'octobre (0.7 jours). Les mois de juin et de septembre enregistrent les plus faibles taux.

A l'échelle de la saison un simple coup d'œil sur le tableau 2 révèle que la fréquence maximale des jours de brouillard est observée en hiver (2.2 jours) notamment en décembre, janvier et février, avec un second maximum au printemps (1.4 jours), mais dont les fréquences mensuelles respectives diminuent au fur et à mesure que l'on s'approche de l'été. Cette pointe printanière est suivie, de très près, par un autre maximum observé en automne (1.35 jours). L'été, avec ces 0.4 jours, arrive en dernière position (Tab. 2).

A l'échelle annuelle, sur la période envisagée, la tranche de variation du nombre de jours de brouillard va de un jour relevé en 1970 à quinze jours qui a été observée en 1975 ; la fourchette de 1 à 8 est la plus fréquente (88%).

6.3.2.2 - Nombre de jours de rosée

Les apports d'eau atmosphérique au sol peuvent provenir de phénomènes très superficiels comme la rosée, qui n'est pas une précipitation au sens formel du mot; il y'a simplement changement d'état physique de l'eau et plus précisément il se produit une condensation.

En météorologie on appelle rosée ou son analogue en physique, la buée (Beysens et Knobler 1992), est un dépôt de gouttelettes d'eau sur les objets au sol ou proches du sol, résultant de la condensation de la vapeur d'eau contenue dans l'air environnant (ou encore adjacent) par température supérieur à 0°C. Dans la nature elle se présente donc sous forme de gouttelettes d'eau perlant aux feuilles et aux tiges des plantes décorant la végétation au voisinage du sol.

La rosée est également un phénomène assez rare à Midelt puisqu'elle ne dépasse guère les 6.5 jours par an comme le montre le tableau 2. Néanmoins, n'importe quel

Tableau 2 – Données sur les nombres de jours avec brouillard, avec rosée et avec gelée blanche à la station de Midelt.

Mois		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
	Moyenne	0.8	0.7	0.65	0.45	0.3	0.35	0.05	0	0.1	0.7	0.55	0.8	5.45
Nombre mensuel de jour avec brouillard	Minimale	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Maximale	5	3	5	5	2	1	2	0	1	3	3	3	15
Nombre mensuel de jour avec rosée	Moyenne	0.4	0.3	0.6	1.2	0.5	0.2	0.15	0.1	0.2	1.45	0.9	0.5	6.5
	Minimum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Maximum	6	2	9	9	7	2	2	1	2	13	8	4	34
Nombre mensuel de jour avec gelée blanche	Moyenne	4.3	2.6	1.2	0.5	0.06	0	0	0	0	0.03	1.6	5.6	15.9
	Minimum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	Maximum	17	10	6	4	1	0	0	0	0	1	9	17	28

mois de l'année peut connaître de la rosée mais avec des valeurs et des fréquences qui varient selon les mois. Par ailleurs, l'examen du tableau 2 permet, entre autre, de relever les caractéristiques suivantes :

- Sur les 33 années d'observation, c'est le mois d'octobre qui présente les valeurs les plus remarquables aussi bien en ce qui concerne la moyenne du nombre de jours de rosée (1.45) que la fourchette de variation des valeurs extrêmes (0 à 13) ; il est talonné de très près par le mois d'avril avec 1.2 jours par an (avec un minimum de 0 et un maximum de 9) mais ayant quand même la même fréquence de survenue de la rosée (36.4%), ce qui veut dire que ces deux mois ont connu le même nombre d'années de rosée (12 années sur les 33, c'est-à-dire grossièrement dans un rapport de 1 sur 3), mais pas le même nombre global de jours de rosée (48 jours au mois d'octobre et 40 jours au mois d'avril) ;

- les mois de novembre et mars ont aussi la même fréquence (36.4%) mais avec des nombres moyens de jours de rosée inférieurs à ceux des mois précédents qui sont respectivement 0.9 et 0.6 jours par an ;

- les mois de juin, juillet, août et septembre enregistrent les nombres les plus faibles qui varient entre 0.1 et 0.2.

A l'échelle de la saison, le régime saisonnier du nombre de jours de rosée se caractérise par l'individualisation, d'une part, de deux maximums : le premier automnal (39%) et le second printanier (36%) ; et, d'autre part, de deux minimums respectivement en hiver (18%) et en été (7%). La saison estivale est par ailleurs la période qui présente le moins de probabilité de survenue de la rosée à Midelt. En effet, sur les 33 années, les mois de juin, juillet et août n'ont totalisé

respectivement que 6, 5 et 4 jours de rosée, soit au total un cumul de 15 jours sur les 216 du décompte global.

A l'échelle annuelle, la valeur moyenne (6.5jours/an) masque, en fait, d'importantes irrégularités ; elle subit, en effet, des variations notables allant de zéro (9 années sur les 33 que compte la chronique étudiée) à 34 jours par an observée en 1966. Cependant la fourchette comprise entre 1 et 9j./an arrive en tête avec une occurrence de 51.5%.

6.3.2.3 - Nombre de jours de gelée blanche

La gelée dite blanche, par opposition à la gelée dite noire (KESSLER & al., 1990), se forme de manière analogue à la rosée, par température inférieure à 0°C, en donnant des dépôts de glace ayant l'aspect d'aiguilles, d'écaillés ou de plumes. Celles-ci diffusent la lumière, ce qui donne à l'ensemble une couleur blanchâtre (BEYSENS & KNOBLER, 1992). C'est donc un dépôt de glace d'aspect cristallin qui n'est autre que le résultat d'une transformation directe de la vapeur d'eau invisible en glace. C'est un phénomène lié au refroidissement nocturne.

Une analyse sommaire du tableau 2 permet de constater que le nombre moyen annuel de jours avec gelée blanche est relativement peu important ; il ne totalise en effet que 16j./an.

A l'échelle mensuelle, les mois de décembre, janvier et février se détachent nettement, mais avec un léger avantage pour les deux premiers mois; ils enregistrent respectivement 5.6, 4.3 et 2.6 jours par an, totalisant à eux seuls 12.5 jours par an sur les 16 jours que compte en tout une année moyen-

ne. Les mois de novembre et mars leur succèdent avec respectivement 1.6 et 1.2 jours/an. Par contre les mois de mai et d'octobre n'ont connu qu'exceptionnellement des journées de gelée blanche dans des rapports respectivement de 2/33 et 1/33. Les quatre autres mois restants, à savoir juin, juillet, août et septembre, quant à eux n'ont enregistré, pendant ces 33 ans, aucun jour de gelée blanche; ce qui fait qu'en fin de compte, l'année moyenne ne comptabilise des journées avec gelée blanche que pendant six mois sur douze.

Par ailleurs, un même mois peut, d'une année à l'autre, présenter une grande variabilité, avec des fourchettes plus ou moins élargies : de 0-17 pour les mois de décembre et de janvier, à 0-1 pour les mois de mai et octobre.

A l'échelle de la saison, l'hiver, avec ses 12.5 jours/an de gelée blanche est la saison la plus à même de voir se produire un tel phénomène avec une probabilité de 78%. En outre l'examen du tableau 2 montre que cette période s'étend sur les saisons encadrantes mais davantage vers le printemps que vers l'automne. Ces deux dernières saisons se situent en deuxième position, presque à égalité, avec un total saisonnier, respectivement, de 1.76 jours par an au printemps et 1.63 en automne. Cependant, à l'intérieur de chaque saison, les gelées blanches précoces ont eu lieu, surtout, dans le troisième mois de l'automne, c'est-à-dire au mois de novembre avec ses 1.6 jours/an ; alors que les gelées blanches tardives ont eu lieu essentiellement au mois de mars avec 1.2 jours/an. Enfin, l'été est la saison où le phénomène de la gelée blanche est absolument inexistant.

A l'échelle annuelle, l'intervalle de variation du nombre de jours de gelée blanche, s'échelonne de 1jour/an (valeur observée en 1980) à 28 jours/an (chiffre relevé en 1989). Néanmoins, la tranche allant de 11 à 30 présente un pourcentage assez élevé qui est environ de 67%.

6.4- Le régime des vents

Le vent agit soit directement par une action mécanique sur le sol et les végétaux, soit indirectement en modifiant l'humidité et la température qui se fait sentir surtout au niveau des échanges d'eau et de chaleur (PARCEVAUX & HUBER 2007, NOURRY 2008).

Sa détermination comporte une double information, celle de la direction (qui est, par convention, la direction d'où il souffle) et celle de la vitesse, exprimée le plus souvent en mètres par seconde (m/s) ou en kilomètres par heure (km/h).

Le vent est un des caractères les plus remarquables du climat de Midelt. Comme nous le verrons ici-bas, il est particulièrement fréquent et actif ; d'ailleurs la station de Midelt connaît rarement des journées sans vent.

A Midelt, le moteur du vent est d'origine synoptique (par opposition au régime de brise). L'écoulement de l'air est comme plaqué sur la topographie locale qui se comporte comme un obstacle à cet écoulement, mais sa direction initiale dépendant du champ de pression général. Ainsi, les vents d'Ouest sont d'origine atlantique, alors que ceux du Nord proviennent de la Méditerranée. Dans les deux cas ces vents arrivent souvent relativement secs à Midelt ; en effet ils déchargent une grande partie de leur eau en cours de route et tout particulièrement sur les reliefs du Moyen Atlas et des Béni-Isanssen. Pour ce qui est des vents d'Est et du

Tableau 3 - Données sur l'anémométrie à Midelt: Fréquences (%) moyennes mensuelles et annuelles, Vitesses (m/s) moyenne mensuelle et annuelles du vent maximal par direction.

Mois	N		NNE		NE		ENE		E		ESE		SE		SSE		S		SSW		SW		WSW		W		WNW		NW		NNW					
	F%	Vm/s	F	V	F	V	F	V	F	V	F	V	F	V	F	V	F	V	F	V	F	V	F	V	F	V	F	V	F	V						
Janvier	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,0	13,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15,6	22,8	15,6	24,0	56,3	24,6	6,3	18,5	0	0	0	0			
Février	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,3	26,0	3,3	12,0	73,3	25,1	3,3	24,0	0	0	0	0	0	0		
Mars	0	0	3,0	20,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,1	17,5	6,1	27,5	18,2	20,5	57,6	26,0	3,0	23,0	3,0	15,0	0	0	0	
Avril	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,1	25,0	3,0	19,0	0	0	18,2	23,8	63,6	26,2	6,1	20,5	0	0	0	0	0	0	0		
Mai	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,0	12,0	3,0	24,0	0	0	0	0	0	0	0	3,0	15,0	12,1	22,0	17,0	57,6	23,0	3,0	25,0	0	0	0	0	0	0	
Juin	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,0	25,0	0	0	0	0	9,1	22,3	6,1	17,5	24,0	6,1	24,0	15,2	20,4	18,3	51,5	19,4	0	0	0	0	0	0	0		
Juillet	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9,1	20,7	0	0	27,3	21,7	12,1	28,3	51,5	20,4	0	0	0	0	0	0	0	0	
Août	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,1	27,0	0	0	0	0	0	0	3,0	28,0	18,2	20,5	18,2	19,5	9,1	27,3	42,4	22,2	3,0	21,0	0	0	0	0	0	0	
Septembre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,0	14,0	0	0	0	0	0	0	6,1	23,5	24,2	19,3	9,1	23,7	6,1	15,5	45,5	21,5	6,1	19,0	0	0	0	0	0	0	
Octobre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,0	26,0	0	0	0	0	0	0	0	0	18,2	22,0	12,1	19,3	9,1	16,7	51,5	20,7	6,1	14,0	0	0	0	0	0	0	0
Novembre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,0	34,0	6,1	26,2	9,1	16,7	15,2	16,4	63,6	23,5	3,0	9,0	0	0	0	0	0	0	
Décembre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,0	34,0	0	0	9,1	27,3	21,2	19,6	54,5	28,4	6,1	20,5	6,1	32,5	0	0	0	0	
Année	0	0	0,25	1,7	0	0	0	0	0	1,5	8,7	0,5	2,25	0	0	1,3	3,9	3,5	20,1	6,6	16,5	11,4	19,4	13,8	21,3	55,8	23,4	3,8	16,2	0,8	4,0	0	0	0		

Sud, ils ont une provenance continentale, d'où leur chaleur et leur sécheresse.

L'étude sur l'anémométrie est faite d'après les données climatologiques mesurées à 10 mètres de la surface du sol à la station météorologique de Midelt, année par année, de 1957 à 1989, où directions et vitesses ont pu être associées sans lacune ; elle est résumée dans le tableau 3, qui présente les moyennes mensuelles et annuelles des fréquences et des vitesses pour chaque direction ; on compte au total 16 secteurs.

6.4.1 - Direction et vitesse

De ce tableau et sur la période considérée, nous pouvons extraire les constatations générales suivantes :

- quelque soit le mois, le vent de secteur OUEST (O) est de loin le plus fréquent et le plus fort avec notamment une fréquence moyenne d'environ 56% et une vitesse moyenne de 23.4m/s, mais également le vent de secteur OUEST-SUD-OUEST (OSO), à un degré moindre (14% et 21.3m/s). Il ne faut accorder à ces moyennes qu'une valeur indicative puisque la station se caractérise par une alternance de longues périodes de grands vents et de courtes périodes d'accalmie ;

- ce schéma général subit dans le détail une évolution assez sensible en fonction de la saison ; ainsi en été la fréquence des vents d'OSO diminue alors que celle des vents de SUD-OUEST (SO) augmente de telle sorte qu'à partir du mois de juin la fréquence des vents du SO devient supérieure à celle des vents d'OSO. Durant l'été, les directions dominantes du vent sont alors l'O (dont la position prépondérante reste immuable pour l'ensemble des saisons), le SO, l'OSO, le SUD (S) et l'EST (E). Par ailleurs il faut attirer l'attention sur le fait qu'en été il y a quasi-absence des vents de NORD-NORD-OUEST (NNO) alors qu'ils ne sont pas rares lors des autres saisons ;

- en hiver, comme d'ailleurs au printemps, les vents dominants proviennent de l'O et de l'OSO et également d'OUEST-NORD-OUEST (ONO) mais avec une fréquence des vents d'O légèrement plus élevée en hiver (61.4%) qu'au printemps (59.6%). En outre il est rare d'observer en hiver des vents de secteur SUD-SUD-OUEST (SSO), alors que pendant la saison printanière ils enregistrent globalement une fréquence assez significative qui égalise celle des vents d'ONO. Enfin il n'est pas rare aussi de noter au printemps, surtout au mois de mai, des vents de secteur EST ;

- en automne, à partir du mois de septembre, la fréquence des vents de SO diminue par rapport à celle observée en été, alors que celle des vents de secteur SSO augmente très sensiblement et enregistre par la même occasion sa valeur la plus élevée de l'année, soit 16.2%. Enfin il est à signaler que les vents de secteur EST ne sont pas exceptionnels (2%). Durant l'automne les directions dominantes s'organisent alors, par ordre décroissant de fréquence, de la manière suivante : l'O, le SSO, le SO et l'OSO sont presque à égalité (environ 10%), le S (3%) et l'EST ;

- le vent de NORD-NORD-EST est le plus rare et le moins fort en moyenne.

- quand le vent souffle, sa vitesse moyenne est la plus faible en octobre, soit 14m/s, pour l'ensemble des directions, et la plus forte en décembre et en février (28.4m/s). Néanmoins, les coups de vent ne sont pas exceptionnels,

atteignant parfois des rafales de 187km/h lors d'épisodes extrêmement violents comme cela a été le cas en 1973, 1974 et 1987. Rappelons qu'il est d'usage courant (JACQ & al., 2005) de désigner de rafales, des pointes maximales, atteintes par le vent, pendant quelques secondes ou quelques fractions de secondes; ces rafales sont supérieures d'environ 40% au vent moyen (ELKINS, 1996) ;

- malgré les tempêtes d'équinoxe de septembre et de mars, ces deux mois ne sont pas les plus ventés. C'est pendant la saison hivernale qu'en moyenne le vent d'O souffle le plus fort et plus particulièrement au mois de décembre. Les mois d'avril et de mars se positionnent juste après. Il en va de même pour les vents de secteur SO sauf que dans ce cas là c'est pendant la saison estivale (et non plus la saison printanière) que l'on observe des vitesses presque de même ordre, mais à un degré moindre. Par contre pour les vents de secteur OSO, c'est la saison estivale qui offre les plus fortes valeurs, talonné de près par la saison hivernale comme l'indique le tableau 4.

6.4.2 - Nombre de jours avec vent fort

La localité de Midelt est particulièrement exposée aux vents forts avec un nombre moyen de 92 jours par an, soit environ 1 jour sur 4. Cependant ce chiffre présente une forte variabilité interannuelle ; ainsi il peut atteindre des valeurs très élevées égalant par deux fois le seuil de 182 j./an, comme cela s'est produit successivement en 1988 et 1989; de même il peut être très faible comme cela a eu lieu en 1961 lorsqu'il n'a pas dépassé 4 jours de vent fort. Néanmoins le seuil de 100 jours et plus a une probabilité d'occurrence de 45.5%.

A l'échelle de la saison, c'est pendant la saison printanière que l'on enregistre les valeurs les plus élevées avec 29 jours de vent fort, soit environ un jour sur trois ; les autres saisons se classent dans l'ordre suivant : été, hiver et automne. En été, il n'est pas rare que des tourbillons à axe vertical qui sont fréquents aux heures chaudes et, en se déplaçant en ondulant sur la surface sont capables de soulever sables et poussières. Le vent, ainsi capable de déflation et de prendre en charge un matériel corrasif, est donc un agent important d'érosion. Mais il exerce aussi une érosion par corrasion, inséparable de la déflation, par le bombardement et le frottement des grains de sable.

6.4.3 - Nombre de jours avec chergui

Il s'agit d'une masse d'air très chaud et sec venant du SE ou du S, caractérisée par une brusque montée des températures (les sautes de température sont de 10 à 15°C. en 1 ou 2 heures) et un abaissement de l'humidité relative de l'air. CEPENDANT BIDAULT & DEBRACH (1948) ont en donné une description très détaillée que nous reprenons ici en intégralité : « c'est un vent d'origine continentale soufflant d'entre Est et SUD ; il est sec, généralement chaud, parfois brûlant. Ses caractères sont loin d'être constant ; tantôt il souffle en rafales violentes, soulevant et transportant des nuées de poussières et pouvant se terminer en orage ; tantôt au contraire, l'air chaud et sec envahit lentement le Maroc par temps calme ; à peine peut-on parler d'un vent, c'est l'invasion lente d'une atmosphère étouffante ». Le chergui, ainsi nommé au Maroc, trouve son origine dans le vent du désert

qui est dévié au dessus de l'Atlas qu'il franchit vers l'atlantique (Leroux 2001, 2002). Après franchissement de l'Atlas, sa descente rapide vers les hauts plateaux et les plaines littorales accroît sa chaleur et sa sécheresse par effet de foehn. C'est le coup de chergui pouvant en été dépasser 40°C même dans des stations du littoral comme celles de Rabat et Agadir. Il est donc particulièrement éprouvant pour les hommes et les cultures.

A Midelt, le nombre moyen de jours avec chergui est relativement important (12.3j./an). Cependant ce chiffre moyen peut fluctuer, selon les années, de 0 (10 années sur 33) à 96 (une seule année sur 33, comme cela s'est produit en 1962). Par ailleurs, sur les 33 années d'observation, l'examen des données brutes du nombre de jours avec chergui semble indiquer deux périodes qui se dégagent nettement : la première, allant de 1957 à 1968, dont le nombre moyen est de 31.4 ; la seconde qui s'étend de 1969 à 1989 affiche un nombre moyen de 1.85 avec une marge de variabilité très étroite s'étalant de 0 à 7.

C'est en été et plus particulièrement aux mois de juillet et août que les jours avec chergui sont les plus fréquents ; le mois de juin n'y échappe pas, mais à un degré moindre. Le printemps est la deuxième saison où le chergui peut souffler, mais d'une façon relativement plus régulière au mois de mai (9 années sur 33) qu'au mois d'avril (5 années sur 33). En automne, c'est au mois de septembre que peut souffler le chergui avec un nombre moyen de jours 0.8 (comme le mois d'avril) mais avec une probabilité d'occurrence de 7 sur 33. Avec un nombre moyen de jours avec chergui variant de 0.1 à 0.2 j. /an, les trois mois d'hiver se placent à la même enseigne et n'ont connu des jours avec chergui, sur la période considérée, qu'en 1962 et 1963 (soit 2 années sur 33).

6.5 - Insolation et nébulosité

L'insolation influence grandement la température. La durée d'ensoleillement est un paramètre étroitement lié au rayonnement solaire, qui constitue la seule source externe notable d'énergie pour le système Terre- atmosphère (BESSEMOULIN & OLIVIÉRI, 2000). Par ailleurs, comme la durée d'ensoleillement et de la nébulosité (ou couverture du ciel) varient en sens inverse l'une de l'autre, il est courant de retenir la première donnée dont la mesure est commode et dont la signification concrète est évidente.

Très sommairement, on dit qu'il y a insolation lorsque le disque solaire est bien visible sur le fond diffus du ciel. De façon plus précise, la durée d'insolation d'une journée est la durée pendant laquelle l'éclairement énergétique du rayonnement solaire direct dépasse un seuil fixé par convention à 120 w.m⁻² (BESSEMOULIN & OLIVIÉRI, 2000). En l'absence permanente de nuages, la durée d'insolation est pratique-

ment égale à la durée du jour. Généralement, cette durée d'ensoleillement est exprimée par un total mensuel ou annuel en heures et dixièmes d'heures, ou encore par une moyenne journalière.

La figure 7 représente l'évolution des moyennes mensuelles et annuelles de 1957 à 1989, de la durée d'insolation (en heures), des nombres de jours d'insolation nulle et d'insolation continue.

De cette figure, nous pouvons extraire les constatations suivantes :

- La localité de Midelt se trouve le plus souvent sous un ciel dégagé ou peu nuageux ; c'est le phénomène d'effet de foehn décrit sur la figure 4 qui explique l'air souvent limpide que l'on rencontre sur cette région, la vigueur de l'ensoleillement n'en est accentuée. En effet sur l'ensemble de l'année, soit en moyenne 8766 heures compte tenu des années bissextiles, dont 4383 heures de rayonnement solaire théorique, le soleil brille à Midelt 3183.8 heures ; aussi la fraction d'insolation moyenne est d'environ 73%.
- Les mois les moins ensoleillés ont été, en moyenne, ceux de novembre, décembre, janvier et février, avec une durée d'ensoleillement comprise entre 221 et 229 heures et ceux les plus ensoleillés : mai, juin, juillet et août avec plus de 290 heures dont presque 321 heures en juillet.
- Il est rare que le ciel soit entièrement gris à Midelt, la moyenne annuelle des jours sans le moindre rayon de soleil est 3.6 fluctuant, selon les années, entre 0 et 9 jours. En juillet, il n'y a aucun jour sans insolation ; le mois d'août a enregistré, sur la période envisagée, un seul jour d'insolation nulle, alors que les mois de juin et septembre n'ont présenté, sur la même période, qu'un très faible nombre de jours sans insolation, soit deux jours.

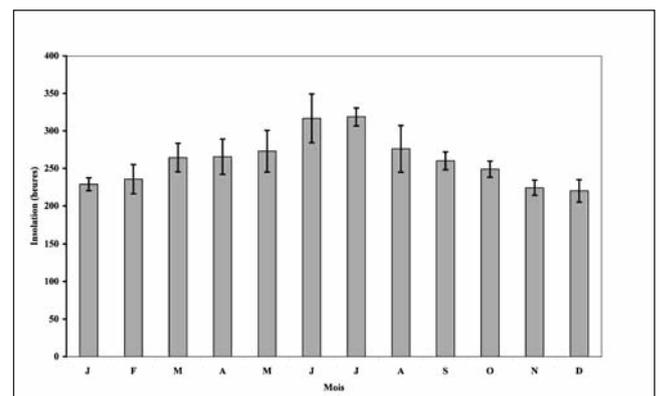


Fig. 7. Insolation moyenne mensuelle à Midelt. (Trait vertical: intervalle de confiance à 95%).

Tableau 4 – Régime saisonnier moyen de la durée d'ensoleillement (en heures), du nombre de jours d'insolation nulle et du nombre de jours d'insolation continue à la station météorologique de Midelt.

Saison	Hiver	Printemps	Été	Automne	Total annuel
Ensoleillement	680.2	849.4	923.4	731.3	3183.8
Insolation nulle	1.35	1.4	0.09	0.81	3.6
Insolation continue	28.1	18.6	16.7	18.9	82.3

- Par contre, en avril, mois le moins ensoleillé, il y'a eu 0.6 jours en moyenne d'insolation nulle.
- L'insolation continue la plus élevée en décembre (10.8 jours) et la plus faible en mai, soit 4.5 jours.
L'examen du tableau 4 ci-contre permet, par ailleurs, de tirer les enseignements suivants :
- L'hiver n'est pas seulement la saison froide, c'est également la période de l'année la moins ensoleillée, avec une durée moyenne d'insolation saisonnière avoisinant les 680 heures ; c'est aussi la saison la plus nuageuse, juste derrière le printemps.
- Paradoxalement, les trois mois hivernaux connaissent aussi, presque un jour sur trois, un ciel entièrement dégagé ou peu couvert du fait des périodes anticycloniques (haute pression) ; ce qui explique, en partie, les faibles quantités de précipitations recueillies en moyenne lors de cette période.
- A l'opposé, c'est l'été qui offre l'ensoleillement le plus important avec une durée de 923.4 heures. La vigueur d'une telle insolation estivale a pour conséquence de favoriser les ascendances thermiques qui engendrent la formation l'après-midi, de journées ensoleillées, des nuages de convection (cumulus et cumulonimbus). La fréquence de ce phénomène fait que l'été est la saison où le nombre de jours d'insolation continue est le plus faible (16.7 jours).
- Cependant, c'est pendant le printemps que l'on relève le nombre de jours d'insolation nulle le plus élevé (1.4 jours). Comme on l'a vu plus haut, la saison printanière est particulièrement pluvieuse ; son ciel est, en effet, assez souvent riche en formations nuageuses et le temps à averse et même parfois à orage est plus fréquent qu'aux autres saisons. Par ailleurs le fréquent développement des cumulus et des cumulonimbus, après chaque période pluvieuse, est l'une des causes du déficit printanier d'insolation mentionné ci-haut et qui est plus prononcé sur les versants atlasiques que dans la haute plaine de Midelt.
- Après la saison estivale, où le nombre de jours d'insolation nulle enregistré a été très faible, s'amorce en automne une remontée assez notable des journées à ciel plus ou moins nuageux ; par contre les journées de beau temps à insolation continue ne connaissent qu'une légère hausse, dépassant sensiblement celles observées au printemps. D'ailleurs, comme pour la saison printanière, le développement des cumulus et des cumulonimbus n'y est pas étranger et les temps orageux sont assez fréquents surtout au mois de septembre et dans une moindre mesure au mois d'octobre. La durée d'ensoleillement, quant à elle, a été supérieure en moyenne d'une cinquantaine d'heures à celle relevée en hiver.

7 - CONCLUSIONS

Le travail réalisé et présenté ici ne constitue qu'une première amorce à la caractérisation numérique du topoclimat de Midelt dans lequel nous avons essayé d'analyser, un par un, les éléments climatiques les plus couramment utilisés.

Du fait de l'altitude, de la forme du modelé et à la lumière des résultats affichés il est permis de dire que le topoclimat de Midelt est un climat méditerranéen intramontagnard

de haute plaine dont voici, résumés brièvement, les traits essentiels :

- la dotation des précipitations est relativement faible avec *grosso modo* deux périodes de longueurs inégales, l'une « pluvieuse » allant de l'automne au printemps, l'autre l'été où l'on note un creux pluviométrique assez nettement marqué. Néanmoins, le régime est bimodal avec un premier maximum au printemps et un second maximum en automne, où les pluies de ces deux saisons représentent 65% du total annuel ;
- les précipitations se répartissent sur peu de jours et sont parfois violentes, de courte durée et s'accompagnant ou non d'orage ;
- l'irrégularité interannuelle des précipitations est un caractère commun à tous les types climatiques méditerranéens. Elle est tout à fait normale dans ces latitudes où se forment les agglutinations anticycloniques (LEROUX, 2000), relais de la circulation générale, qui constituent une zone tampon de transition entre phénomènes tempérés et tropicaux (DOUGUÉDROIT, 1997; LEROUX, 2001-2002). C'est cette situation entre ces deux domaines qui explique par ailleurs la violence des contrastes climatiques ;
- contrairement à ce que ne le laisse prétendre le nombre relativement élevé des jours d'orage, les chutes de grêle sont finalement rares à Midelt ;
- le caractère méditerranéen des précipitations se manifeste par la faiblesse des lames d'eau estivales qui coïncident avec les fortes températures maximales, d'où la faible humidité relative de l'air pendant cette période ;
- vu l'altitude et les chutes de températures qui l'accompagnent, il n'est pas rare qu'une partie des précipitations hivernales et printanières tombent sous forme de neige ;
- un ensoleillement important avec une moyenne d'environ 3184 heures par an, soit plus des 7/10 de l'ensoleillement possible, ce qui confère une forte luminosité au climat de Midelt ;
- cette luminosité peut, par intermittence, être complètement altérée en hiver et au printemps par d'épaisses couches nuageuses qui recouvrent totalement le ciel de Midelt contribuant ainsi au renforcement de la nébulosité. De telles masses d'air humide arrivent, par temps fortement perturbé, à contourner la chaîne du Moyen Atlas et à se faufiler à l'intérieur de la haute plaine de la Moulouya jusqu'à Midelt et parfois au-delà en empruntant le Tizi-n-Tanout ou Filal, à l'entrée du bassin de la Moulouya et le large couloir de canalisation d'Aghbalan-Aït Soukhmane. Leur accès à la haute plaine est facilité par la juxtaposition d'une série de chaînons (jbel Talzast-Bou Ijallabene-Masker-Tadrart) avec leurs avant monts qui maintiennent la condensation à un niveau relativement bas jusqu'à jbel Ayachi et ses contreforts, à la hauteur du méridien de Midelt. Dans la plaine proprement dite, les nuages se dessaturent en descendant et l'ennuage est nul ;
- la présence quasi-permanente pendant tous les mois de l'année des vents de secteurs Ouest souvent puissants, qui alliée à la sécheresse ambiante entraîne une dégradation importante du milieu : en hiver ces vents sont très violents, secs et froids, en été ils sont tourbillonnants et sont accompagnés de poussière. La saison estivale est aussi celle du chergui qui peut également se manifester

au printemps, mais moins fréquemment qu'en été. La mauvaise réputation supposée du climat de Midelt peut devenir un atout, en ce qui concerne la valorisation de l'énergie contenue dans le vent;

- ce sont la disposition des reliefs et l'orientation de la vallée de la Haute Moulouya qui déterminent à Midelt la dominance des vents de secteur OUEST, toutes catégories confondues. Par ailleurs le grand évasement de la dite plaine de montagne en direction des Hauts Plateaux contribue grandement à l'infiltration au printemps et en été des vents d'EST. Enfin la proximité du Sahara, dont le Haut Atlas constitue une barrière frontale mais non absolue, explique la pénétration par occasion des vents de secteur Sud qui franchissent cette muraille atlasique. Cette dernière forme donc une limite climatique naturelle qui fait obstacle à l'avancée du désert vers le nord. Par ailleurs, l'effet « venturi », occasionné par la double barrière montagneuse, accentue la vitesse du vent.
- conditionnée par son relief de plaine montagnarde, donc par le facteur altitudinaire, et par son caractère de dépression intramontagnarde que surplombe l'imposant relief de l'Ayachi au Sud, dressant un obstacle aux influences sahariennes et, un peu plus au nord, tout aussi développée, la large chaîne du Moyen Atlas, formant barrière aux influences atlantiques, donc par le cadre topographique, la localité de Midelt affirme une continentalité climatique manifestée par ses différents facteurs, dont le plus déterminant est l'effet d'abri combiné à un effet de foehn. En fait, la localité de Midelt subit probablement un double effet de foehn, conséquence de la double barrière montagneuse formée par le Moyen et le Haut Atlas associés aux circulations du nord-ouest, du sud-ouest et du sud-est qui intéressent toute la région. Cependant, il est indispensable de compléter ces observations par des données chiffrées en étudiant les types de temps à l'instar de l'étude effectuée par Delannoy (1971) dans la ville de Marrakech, et de mener une étude systématique de l'effet de foehn en comparant, dans un premier temps, les éléments suivants mesurés dans le même intervalle de temps à Ifrane d'un côté et Itzère-Zaïda-Midelt de l'autre :
 - 1- température de l'air à 12 Heures en °C ;
 - 2- humidité relative de l'air à 12 Heures (%) ;
 - 3- insolation au cours de la journée en heures et dixième ;
 - 4- les précipitations de 6 à 6heures (mm) ;
 - 5- le minimum de température ;
 - 6- le maximum de température.

En définitif, il n'est pas étonnant de dire, à la suite de ces constatations, que la haute plaine de Midelt est sous la triple influence du Moyen Atlas (qui limite les précipitations hivernales), du Haut Atlas oriental (qui fait subir aux masses d'air saharien un effet de foehn) et de l'altitude. De plus, elle est largement ouverte vers l'est, ce qui constitue une voie supplémentaire autant pour les masses d'air humide que d'air sec.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ALIFRIQUI M., MICHALET R., PELTIER J.-P. & PEYRE C., 1992 – *Hétérogénéité des courants perturbés et répartition de la végétation sur les versants du Haut Atlas*

occidentale marocain. – Publ. Assoc. Climatologie, 5: 203-211.

- ALIFRIQUI M., M'HIRIT O., MICHALET R. ET PELTIER J.P., 1995 – *Variabilité des précipitations dans le Haut Atlas occidental marocain.* – Le climat, 13: 11-28.
- ARONSON J., FLORET C., LE FLOC'H E., OVALLE C. & PONTANIER R., 1995 – *Restauration et réhabilitation des écosystèmes dégradés en zones arides et semi-arides. Le vocabulaire et les concepts.* In PONTANIER, R., M'HIRI, A., AKRIMI, N., ARONSON, J. & LE FLOC'H, E. (EDS.) « *L'Homme peut-il refaire ce qu'il a défait?* » – John Libbey Eurotext, Paris: 11-29.
- BADRI W., GAUQUELIN T., MINET J. ET SAVOIE J.M., 1994 – *Données météorologiques nouvelles sur le massif de l'Oukaimeden (2570m, Haut Atlas de Marrakech, Maroc): un exemple de climat de haute montagne méditerranéenne.* – Pub.de l'Assoc. Inter. de Climatologie, 7: 190-198.
- BAGNOULS F. & GAUSSEN H., 1953 – *Saison sèche et indice xérothermique.* – Bull. Hist. Nat., Toulouse, 88 : 193-239.
- BAGNOULS F. & GAUSSEN H., 1964 – *Les climats tropicaux et la végétation.* – Adansonia, 4(3): 262-268.
- BALDY CH., 1986 a – *Comportement des blés dans les climats méditerranéens.* – Ecologia mediterranea, 12(3-4): 73-88.
- BALDY CH., 1986 b – *Agrométéorologie et développement des régions arides et semi-arides.* – Ed. INRA, Paris, 115p.
- BEAUDEAU & COLLABORATEURS, 2004 – *Froid et santé. Eléments de synthèse bibliographique et perspectives.* – Rapport d'investigation. Institut de Veille Sanitaire, Saint Maurice, Fac Sc., Dijon, France, 48p.
- BALDY CH., 1990 – *Le climat de l'olivier (Olea europaea L.).* – Ecol. Med., Volume jubilaire du Professeur Quézel, 16: 113-121.
- BENARAFAS S., 1995 – *Le décollage du Maroc météo.* – La Météorologie, 8^e série, 10: 62-69.
- BESANCENOT J.-P., 1990 – *Climat et tourisme.* – Masson, Paris, 223p.
- BESANCENOT J.-P., 1997 – *Le climat et la santé.* In « *le climat, l'eau et les hommes* », – Ouvrage en l'honneur de Jean Mounier, Presses Universitaires de Rennes, 87-104.
- BESANCENOT J.P., 2002 – *Vagues de chaleur et mortalité dans les grandes agglomérations.* – Environnement, Risques et Santé, 1(4): 229-240.
- BESSEMOULIN P., 1980 – *Urbanisation et météorologie.* – La Météorologie, 6^{ème} série, 23: 51-67.
- BESSEMOULIN P. & OLIVIERI J., 2000 – *Le rayonnement solaire et sa composante ultraviolette.* – La Météorologie, 8, 31: 42-59.
- BESSEMOULIN P., BOURDETTE N., COURTIER P. & MANACH J., 2004 – *La canicule d'août en France et en Europe.* – La Météorologie, 46: 25-33
- BEYSSENS D. & KNOBLER M.CH., 1992 – *La formation de la buée.* – La Recherche, 245, 23 : 808-817.
- BIDAULT G., 1959 – *Notes sur le climat du Maroc oriental.* – Maroc médical, 342: 1135-1145.
- BIDAULT G. & DEBRACH J., 1948 – *Physique du globe et*

- météorologie au Maroc ; état de nos connaissances en 1947.* – Vol. jubilaire. Soc. Sc. Nat. Maroc, 55-92.
- BNOUMOUBAREK A., 1996 – *La dynamique des précipitations et leur genèse dans le Moyen Atlas tabulaire et sa bordure (Maroc).* – Thèse de doctorat d'Université, Université de Toulouse II.
- CARREGA P., 1994 – *Topoclimatologie et habitat.* – Analyse spatiale quantitative et appliquée, 35-36, Nice, 408p.
- CARREGA P., 1997 – *Les topoclimats dans le domaine méditerranéen.* In « le climat, l'eau et les hommes » – Ouvrage en l'honneur de Jean Mounier, Presses Universitaires de Rennes, 281-300.
- CHOCAT B., 1997 – *Le rôle possible de l'urbanisation dans l'aggravation du risque d'inondation : l'exemple de l'Yzeron (Lyon).* – Rev. Géogr. Lyon, numéro thématique « climat urbain », 72(4): 273-280.
- CHOISNEL E., 1984 – *Notions d'échelle en climatologie.* – La Météorologie, 7^{ème} série, 4: 44-52.
- CHOISNEL E., 1986 – *Aspects topoclimatiques : une méthodologie d'étude en région de moyenne montagne.* – Agrométéorologie des régions de moyenne montagne, Toulouse, 16-17 avril, éd. INRA, Paris, les colloques de l'INRA, 39: 177-195.
- CHOISNEL E. & SEGUIN B., 1986 – *Problèmes d'échelle et réseaux météorologiques en zone de moyenne montagne.* – Agrométéorologie des régions de moyenne montagne, Toulouse, 16-17 avril, éd. INRA, Paris, les colloques de l'INRA, 39: 37-49.
- CHOISNEL E. & PAYEN D., 1988 – *Les climats de la France.* – Suppl. la Recherche, 201: 32-41.
- COTE M. & LEGRAS J., 1966 – *La variabilité pluviométrique annuelle au Maroc.* – Rev. Géog. Maroc, 10: 19-30
- CURE P., 1943- *Les essais de représentations synthétiques des climats pour la cartographie botanique.* – Doc. Cart. Prod. Vég., Série : Généralités, T.III, Vol.1, Art.1, 1-53.
- CURE P., 1964 – *Représentation synthétique des climats.* – Doc. Cart. Prod. Vég., Série : Généralités, T.III, Art.1, 55-114.
- DAGET PH., 1986 – *Classification des climats.* – Cours Post-universitaire, UNESCO, 150p.
- DASTANE N.G., 1977 – *Précipitations efficaces.* – Bull. F.A.O. Irrigation et drainage, 25, 94p.
- DEBRACH J., 1953 – *Notes sur les climats du Maroc occidental.* – Maroc médical, 342: 1122-1134.
- DEBRACH J. & BIDAULT G., 1938 – *Etat de nos connaissances sur le climat de la montagne marocaine.* – Hespéris 1938, et Maroc médical, n°207, 1939, 9p.
- DEBRACH J. & ROUX G., 1955 – *Précipitations atmosphériques au Maroc, 1^{ère} partie, valeurs moyennes pour la période de 25 années de 1925 à 1949.* – Ann. Ser. Phys. Globe et de Météorologie, Rabat, T.XV, 82-97.
- DOUGUEDROIT A., 1997 – *Climat du Bassin méditerranéen.* In « le climat, l'eau et les hommes » – Ouvrage en l'honneur de Jean Mounier, Presses Universitaires de Rennes, 251-280.
- DELANNOY H., 1967 – *Aperçu sur les publications intéressant le climat du Maroc.* – Rev. Géogr. du Maroc, 12: 151-160.
- DELANNOY H., 1971 – *Aspects du climat de Marrakech et de sa région.* – Rev. Géog. Maroc, 20: 69-106.
- DELANNOY H., 1980 – *Remarques sur les brouillards d'été dans quelques stations côtières du Maroc atlantique.* – Méditerranée, 4: 37-47.
- DELANNOY H., 1981 – *Quelques réflexions à propos de l'analyse factorielle des correspondances des précipitations mensuelles des stations côtières marocaines.* – Eaux et climat, Mélanges Péguy, Grenoble, 165-177.
- DELANNOY H., 1988 – *Précipitations saisonnières du Maroc cisatlantique et téléconnexions dans la circulation atmosphérique.* – Bull. Assoc. Géogr. Français, 5: 393-406.
- DELANNOY H., 1996 – *Remarques sur les conditions lointaines de la variabilité des précipitations saisonnières du Maroc cisatlantique.* – Publications de la FSHS de Tunis, série Colloque 7, 6: 65-80.
- DELANNOY H., 1997 – *Remarques sur la climatologie de la façade atlantique ibéro-marocaine au sud de 40°N.* In « le climat, l'eau et les hommes » – Ouvrage en l'honneur de Jean Mounier, Presses Universitaires de Rennes, 301-317.
- DELANNOY H. & BELAASSAL A., 1997 – *Deux méthodes d'étude des relations entre les précipitations marocaines et la circulation d'altitude.* – Publications de la FSHS de Rabat, Série Colloques et séminaires, 63: 73-94.
- DELANNOY H. & LECOMPTE M., 1975 – *Méthode d'étude des régimes thermiques en liaison avec les situations météorologiques dans le Moyen Atlas (Maroc).* Exemple de la « ceinture thermique ». – Bull. Asso. Géogr. Franç., n°422-423, 83-94.
- DELANNOY H. & LECOMPTE M., 1980 – *Utilisation de l'analyse factorielle des correspondances pour l'étude des précipitations quotidiennes : un exemple au Maroc.* – Méditerranée, 4: 29-36.
- DELANNOY H., LECOMPTE M. & ROMANE F., 1979 – *Géographie des températures quotidiennes dans le Moyen Atlas et ses bordures. Analyse multivariée et situations atmosphériques.* – L'espace géographique, n°1, 25-41.
- DOUGUEDROIT A., 1980 – *Les topoclimats de la Haute-Vésubie (Alpes-Maritimes, France).* – Méditerranée, 4 : 3-11.
- DOUGUEDROIT A., 1984 – *Comparaison entre modèles d'étagement de la végétation et du gradient topoclimatique à partir du cas des Alpes du sud.* – Colloque de Bioclimatologie Méditerranéenne, Montpellier, 18-20 mai 1983. Bull. Soc. Bot. Fr., 131, Actual. bot., 2/3/4 : 181-190.
- DOUGUEDROIT A., 1986 a – *Méthode d'estimation des températures des climats locaux, en particulier des topoclimats (au pas de temps mensuel et annuel).* Actes du Symposium International sur la Topoclimatologie et ses applications. – Liège, Belgique, 14-16 Mars 1985, 39-55.
- DOUGUEDROIT A., 1986 b – *Les topoclimats thermiques de moyenne montagne.* – Agrométéorologie des régions de moyenne montagne, Toulouse, 16-17 avril, éd. INRA, Paris, les colloques de l'INRA, 39: 197-213.

- DOUGUEDROIT A., 1999 – *Définition de la montagne méditerranéenne par son climat*. – Colloque « la montagne méditerranéenne », 8-10 octobre, 1998, Aix-en-Provence. *Etudes Geogr. Phys.*, n° XXVIII : 9-13.
- DRESCH J., 1982 – *Géographie des régions arides*. P.U.F., Paris, 277p.
- EL JIHAD M.D., 2003- *Les sécheresses saisonnières dans le haut bassin de l'Oum-er-Rbia (Maroc central) : aspects et fréquences*. – *Sécheresse*, 14(3):157-167.
- Elkins N. 1996 – *Les oiseaux et la météo. L'influence du temps sur leur comportement*. – Adaptation française de M.-L. Rimet et J.-L. Vallée, éd. Delachaux et Niestlé, Paris, 220p.
- EMBERGER L., 1930 – *Sur une formule climatique applicable en géographie botanique*. – *C. R. Acad. Sc.*, 191: 389-390.
- EMBERGER L., 1955 – *Une classification biogéographique des climats*. – *Rev. Trav. Lab. Géol. Bot. et Zool.*, Fac. Sc. Montpellier, 7: 1-43.
- EMBERGER L., 1971 – *Considérations complémentaires au sujet des recherches bioclimatiques et phytogéographiques-écologiques*. – *Travaux de botanique et d'écologie de Loïouis Emberger*, livre jubilaire : 291-301, Masson, Paris, 560.
- ESCOUROU G., 1981 – *Climat et environnement. Les facteurs locaux du climat*. – Ed. Masson, Paris, 182p.
- ESCOUROU G., 1986 – *Un facteur de la variation spatiale des topoclimats. L'instabilité des masses d'air*. – Actes du Symposium International sur la Topoclimatologie et ses applications. Liège, Belgique, 14-16 Mars 1985, 93-301
- ESCOUROU G., 1991 – *Le climat et la ville*. Ed. Nathan, Paris, 190p.
- FACY L. 1985 – *Orages*. 2^{ème} éd. *Encyclop. Univ.*, 13: 611-613.
- FLOHN H., 1969 – *Local wind systems*. In FLOHN H. (ed.), in *World Survey of Climatology 2*, – Elsevier Publishing Company, Amsterdam, 139-171.
- GAUSSEN H., DEBRACH J. & JOLY F., 1958 – *Précipitations annuelles*. – Atlas du Maroc, Rabat, planche n°4a, Comité Nat. Géogr. Maroc, notice, 36p.
- GEIGER R., 1965 – *The climat near the ground. 4 th. Ed.*, – Harvard Univ. Press., Cambridge, Massachusett, 611p.
- GEIGER R., 1969 – *Topoclimates*. In Flohn H. (ed.), – *General Climatology, World Survey of Climatology 2*, Elsevier, Amsterdam, 105-138.
- GODARD A. & TABEAUD M., 1998 – *Les climats : mécanismes et répartition*. 2^è éd. – A. Colin, Paris, 192p.
- GUYOT G., 1999 – *Climatologie de l'environnement*. – Cours et exercices corrigés. 2^{ème} éd. Dunod, Paris, 525p.
- HUFTY A., 1997 – *Les climats urbains*. In « *le climat, l'eau et les hommes* », – Ouvrage en l'honneur de Jean Mounier, Presses Universitaires de Rennes, 113-128.
- JACQ V., ALBERT PH. & DELORME R., 2005 – *Le mistral. Quelques aspects des connaissances actuelles*. *La Météorologie*, 50: 30-38.
- KARROUK M.S., 2003 – *Dynamique des climats du Maroc*. – Thèse de Doctorat d'Etat, Université Hassan II, FLSH Ben M'Sick, Casablanca.
- KESSLER J., PERRIER A. & PESCARA (DE) CH., 1990 – *La météo agricole*. – Ed. Météole, Nangis, 193p.
- KUTSCH H. G., 1978 – *Le pouvoir d'évaporation du climat marocain*. – Ministère de l'Agriculture et de la Réforme Agraire, Rabat, 378p.
- LAADOUA A., 1987 – *Les variations spatio-temporelles des précipitations au Maroc septentrional*. – Thèse de Doctorat de 3^{ème} cycle, université de Lille I.
- LAADOUA A., 2007 – *La pluie et la sécheresse au nord marocain, historique du réseau pluviométrique, critique et homogénéité des données : étude statistique*. – Thèse es sciences, FLSH de Meknès, 309p.
- LECOMTE M., 1989 – *La question des limites climatiques à travers la climatologie et la phytoclimatologie dynamique*. *La Météorologie*, 29: 3-8.
- LEGOFF Y., 1990 – *Les types de temps au Maroc*. – Direction de la Météorologie Nationale, Ministère des Travaux Publics, Casablanca.
- LEGOFF Y., 1991 – *Les précipitations – savoir et pratique*. – Manuel pour le Maroc. Minisère des Travaux Publics, Direction de la Météorologie Nationale, Casablanca, 273p.
- Le HOUEROU H.N., 1971 – *L'écologie végétale dans la région méditerranéenne*. – Cours polycopié, Inst. Agron. Médit., Centre Intern. Hautes Etudes Agronomiques Médit., Bari, 60p.
- Le HOUEROU H.N., 1977 – *Etude bioclimatique des steppes algériennes*. – *Bull. Soc. Hist. Afr. Nord, Alger*, T.68, fasc.3 et 4, 33-74.
- Le HOUEROU H.N., 1984 – *An outline of the bioclimatology of Libya*. – Colloque de Bioclimatologie Méditerranéenne, Montpellier, 18-20 mai 1983. *Bull. Soc. Bot. Fr.*, 131, *Actual. bot.*, 2/3/4 : 157-178.
- Le HOUEROU H.N., 1987 – *Aspects météorologiques de la croissance et du développement végétal dans les déserts et les zones menacées de désertisation*. – Genève/Nairobi, OMM/PNU, 59p. (T.D. n°194).
- Le HOUEROU H.N., 1989 a – *La variabilité de la pluviosité annuelle dans quelques régions arides du monde ; ses conséquences écologiques*. In : B. Bret ed., : « *les hommes face aux sécheresses ; Nordeste brésilien et Sahel africain* ». – Collection « Travaux et mémoires », n°42, Inst. Htes. Etudes de l'Amérique Latine, Paris, 127-137.
- Le HOUEROU H.N., 1989 b – *Classification éoclimatique des zones arides*. – *Ecol. Med*, 15(3-4): 95-144.
- Le HOUEROU H.N., 1990 – *Bioclimatologie comparative des zones arides s. l. de l'Afrique et de l'Amérique latine. Atelier interrégional Afrique/Amérique latine*. – MAB-UNESCO, Coquimbo, Chili, *Terra arida*, 7: 27-55.
- Le HOUEROU H.N., 1992 – *Relations entre la variabilité des précipitations et celle des productions primaire et secondaire en zone aride*. In « *l'aridité : une contrainte au développement* ». – Ed. ORSTOM, 197-219.
- Le HOUEROU H.N., 1993 – *Evolution climatique et désertisation*. *Impact : science et société*, 166: 193-209.
- Le HOUEROU H.N. & POPOV G.F., 1981 – *An eco-climatic classification of intertropical Africa*. – *FAO plant production and protection paper*, 31, 40p.

- LEROY M., 2002 – *La mesure au sol de la température et des précipitations.* – La Météorologie, 39: 52-56.
- LEROUX M., 2000 – *La dynamique du temps et du climat.* 2^{ème} éd. – Dunod, Paris, 367p.
- LEROUX M., 2001 2002 – *Les climats subtropicaux dits "méditerranéens" et les climats de la Méditerranée.* – L'information géographique, 65, 4: 304-320 et 66, 1: 34-52.
- LLIBOUTRY L., 1985 – Neige. Encyclop. Univ., 12: 1032-1040.
- MAURER G., 1980 – *Montagnes et bassins du Maroc central. Etudes Méditerranéennes, Etudes de géographie physique.* – Centre interuniversitaire d'études Méditerranéennes, Poitiers. Fasc. 2, 57-86.
- METEO-FRANCE OUEST, 1997 – *Surveillance et prévision des risques climatiques : la mission de service public de Météo-France.* – In « le climat, l'eau et les hommes », Ouvrage en l'honneur de Jean Mounier, Presses Universitaires de Rennes, 169-178.
- MEZEIX J.F., WALDVOGEL A. & VENTO D., 1986 – *La grêle.* – La Recherche, 175, 17: 300-310.
- MICHALET R., 1991- *Nouvelle synthèse bioclimatique des milieux méditerranéens ; application au Maroc septentrional.* – Rev. Ecol. Alpine, 1 :60-80.
- N'GADI M., 1995 – *Précipitations et écoulement dans la bassin versant de la Moulouya (Maroc).* – Thèse de Doctorat d'Université, Université de Montpellier III.
- NOIN D., 1961 – *La neige au Maroc.* – Notes marocaines, n°15, 5-11.
- NOIN D., 1963 – *Types de temps d'été au Maroc.* – Ann. Géog., 389, 1-12.
- NOURRY L.-M., 2008 – *Vents. Invention et Evolution des formes.* – Presses Universitaires de Rennes, Bonchamp-lès-Laval, 165p.
- PAGNEY P., 1994 – *Les catastrophes climatiques.* – P.U.F., Coll. « que sais-je ? », Paris, 128p.
- PARCEVAUX (DE) S. & HUBER L., 2007 – *Bioclimatologie. Concepts et applications.* – Ed. Quae, Versailles, 324p.
- PAUL P., 1997 – *Topoclimats dans le domaine tempéré semi-océanique.* In « le climat, l'eau et les hommes » – Ouvrage en l'honneur de Jean Mounier, Presses Universitaires de Rennes, 197-226.
- PEGUY CH., 1968 – *La neige.* PUF, « Que sais-je ? », n°538, 2^{ème} éd., 128p.
- PEYRE C. 1978 – *Sur la valeur discriminatoire du paramètre m en bioclimatologie marocaine.* – Bull. Inst. Scientifique, Rabat, n°2, 61-68.
- QUENEY P., 1974 – *Eléments de météorologie.* – Ed. Masson et C^{ie}, Paris, 300p.
- RAYNAL R., 1960 – *La terre et l'homme en Haute Moulouya.* – Bull. Eco. Soc. Maroc. n°86-87, p. : 281-346.
- RAYNAL R., 1961 – *Plaines et piedmonts du bassin de la Moulouya.* – Inframar., Rabat, 617p.
- RAYNAL R., 1981 – *Indices climatiques méditerranéens et géomorphologie.* – Mélanges Péguy, CNRS, 463-472.
- RIVAS-MARTINEZ S., 1982 – *Etages bioclimatiques, secteurs chorologiques et séries de végétation de l'Espagne méditerranéenne.* – Coll. Saint-Maximin (France), « Définition et localisation des écosystèmes méditerranéens terrestres », Ecologia Mediterranea, VIII : 275-288.
- SAIDI M.M., DAOUDI L., ARESMOUK M.H. & BLALI A., 2003 – *Rôle du milieu physique dans l'amplification des crues en milieu montagnard: exemple de la crue du 17 août 1997 dans la vallée de l'Ourika (Haut Atlas, Maroc).* – Sécheresse, 14(2): 107-114.
- SAUVAGE CH., 1963 (a) – *Etages bioclimatiques.* – Sect. II, Phys. Globe Météorol., pl n°6, Rabat, 44p.
- SAUVAGE CH., 1963 (b) – *Le coefficient pluviothermique d'Emberger, son utilisation et la représentation graphique de ses variantes au Maroc.* – Ann. Serv. Globe et Météo., Inst. Sci. Chérifien, 20: 11-23.
- TABEAUD M., 1998 – *La climatologie générale.* – Ed. A. Colin, Coll. Synthèse, Série Géographie, Paris, 96p.
- Unesco 1979 – *Carte de répartition mondiale des zones arides.* 5 – 5p., 1 carte coul. 1/25.000.000^{ème}, Note Techn. n°7, MAB,Unesco, Paris.
- VIAUT A., 1985 – *Météores.* 2^{ème} éd. – Encyclop. Univ., 12: 123-125.
- VIERS G., 1968 – *Eléments de climatologie.* – Nathan, Paris, 224p.
- VIGNEAU J.-P., 2000 – *Géoclimatologie.* – Ed. Ellipses, Paris, 334p.
- WHITEMAN C.D., 1999 – *Mountain meteorology : fundamentals and applications.* – Oxford University Press, New york, 250p.

RÉSUMÉ – L'analyse statistique du climat de Midelt a été réalisée à partir d'une chronique de trente trois années consécutives de données conventionnelles recueillies à la station météorologique locale. La description quantitative du climat s'appuie essentiellement sur cinq paramètres principaux : les précipitations, la température de l'air sous abri, l'humidité relative de l'air, la durée d'insolation et le vent, avec une gamme la plus large possible d'indicateurs climatiques de ces différents critères. Secondairement les fréquences de grêle, de brouillard, de rosée, de chutes de neige, de gelées, de fortes chaleurs, de vents très forts complètent cette caractérisation. Par ailleurs il a été procédé aussi à une description qualitative par une analyse pronostique de la variabilité de ces différents paramètres permettant de définir les conditions de climat les plus fréquentes et les situations les plus rares.

RIASSUNTO – L'analisi statistica del clima di Midelt (Marocco) è stata realizzata a partire dai dati di 33 anni consecutivi raccolti dalla stazione meteorologica locale. La descrizione quantitativa del clima poggia essenzialmente su 5 parametri principali; le precipitazioni, la temperatura dell'aria sotto riparo, l'umidità relativa dell'aria, la durata dell'insolazione e il vento, insieme ad una gamma quanto più larga possibile d'indicatori climatici di questi criteri differenti. Secondariamente la frequenza della grandine, nebbia, rugiada, neve, gelo, forti calori e venti forti completano questa caratterizzazione. Inoltre è stata realizzata anche un'analisi qualitativa di previsione della variabilità di questi parametri per definire le condizioni climatiche più frequenti e le situazioni più rare.