

# Principales Características Climáticas

ANTOINE CORNET

## RESUMEN

Dentro del marco del proyecto "Estudio integrado de los recursos vegetación, suelos y agua de la Reserva de la Biosfera de Mapimí" se realizó el presente estudio de los principales elementos del clima y de sus relaciones con la producción natural. El objetivo de este estudio no es una descripción exhaustiva del clima, sino el análisis de los elementos que condicionan la biología de las especies y determinan su producción.

Los mecanismos generales del clima pueden ser explicados por los grandes flujos atmosféricos que afectan a la zona y por la presencia de barreras orográficas que modifican la influencia de los mismos. La región estudiada está sometida a dos regímenes dominantes: un régimen de vientos del oeste ligado a las altas presiones subtropicales durante el período seco de octubre a mayo, y un régimen de aire tropical ligado a los alisios provenientes del Golfo de México durante el período cálido y más húmedo. A estos dos regímenes dominantes, relativamente regulares, se yuxtaponen fenómenos atmosféricos secundarios que son responsables de gran parte de la variabilidad del clima; entre ellos las depresiones ciclónicas tropicales que juegan un rol importante como fuente de precipitaciones en el desierto chihuahuense.

La radiación global no constituye un factor limitante para el crecimiento vegetal. No obstante, la variación de la duración del día, aún siendo pequeña (inferior a tres horas), es suficiente para inducir fenómenos de fotoperiodismo en los seres vivientes. La temperatura media anual (Estación Ceballos 1958-1983) es de 20.8°C, lo que corresponde a un clima cálido, pero con una fuerte variación estacional. Los inviernos son frescos (media de las mínimas de enero 3.9°C) con un número importante de días con heladas (37 días para Ceballos) repartidos de noviembre a abril. Los veranos son cálidos (media de las máximas de junio 36.1°C). A la fuerte amplitud anual se agregan fuertes amplitudes diarias a lo largo de todo el año (amplitud media diaria para Ceballos 20°C). Los estudios de ecología y de fenología realizados en la Reserva conjuntamente con el estudio de las temperaturas muestran que estas últimas condicionan de manera importante los ciclos de desarrollo de numerosos vegetales y la actividad animal.

De una manera general, en el Bolsón de Mapimí, dejando de lado a las masas montañosas, existe un gradiente de precipitaciones NW-SE. Las mismas son ligeramente superiores a 300 mm en el norte (Escalón, Chihuahua) e inferiores a 200 mm en el sur (San Pedro, Coahuila). Para la estación Ceballos (1956-1983) la media de las precipitaciones es de 264 mm (mínima 80.8 mm, máxima 512.5 mm) con un promedio anual de 40 días de lluvia. La media para la Reserva es muy parecida (264.2 mm, período 1979-1984). La variabilidad interanual y la variabilidad espacial, aún sobre cortas distancias, son muy fuertes. Se han podido registrar diferencias del 30% con respecto al total anual para sitios separados por menos de 10 km.

Lo esencial de las precipitaciones se produce en verano. Las lluvias de junio a septiembre incluidos representan el 71 % del total anual. Las lluvias de invierno, de diciembre a febrero representan el 9 %. Pero existe una gran variabilidad interanual en la repartición. En 1981, el 62 % de las precipitaciones se produjeron fuera del período estival. Los chubascos son de carácter torrencial, con fuerte intensidad, pero en general de corta duración y muy localizados, correspondiendo por lo tanto a precipitaciones diarias reducidas: el 62 % de las precipitaciones diarias son en promedio inferiores a 5 mm.

Para cuatro estaciones del Bolsón de Mapimí se realizó un análisis frecuencial de las precipitaciones con un modelo desarrollado por ORSTOM. Este modelo se basa en el ajuste de los datos a una ley de distribución de tipo "Gama incompleta" cuyos parámetros son estimados por el método de máxima verosimilitud. La forma de las curvas de frecuencia relativa de las alturas de lluvia muestra netamente la existencia de dos períodos de precipitaciones: un período principal en verano y un período secundario mucho menos importante en invierno. La década para la cual las probabilidades de lluvia son más elevadas es la segunda de agosto. No obstante, la probabilidad de tener un total de precipitaciones superior o igual a 20 mm en esa década, supera 0.5 solamente para la estación Escalón.

La evaporación media anual medida a partir de un tanque clase A internacional es de 2,805 mm para la estación Laboratorio del Desierto (período 1978-1984) y de 2,504 mm para Ceballos (período 1957-1983). El cálculo de la evapotranspiración potencial (ETP) por el método del tanque corregido y por el método de Penmann corresponden respectivamente a una media anual de 2,040 mm y de 1,800 mm (período 1978-1984). Los valores medios más pequeños son de 2.4 mm/día en enero y los más fuertes de 8.2 mm/día en mayo (ETP tanque corregido).

A partir de los datos de ETP para cada década y de las probabilidades de lluvia correspondientes a los mismos períodos, se pueden determinar las probabilidades de que P sea superior o igual a la ETP o a una fracción de ella. No obstante, el estudio muestra que las curvas obtenidas son muy irregulares y las probabilidades muy bajas. No es posible, por lo tanto, definir un período húmedo sobre la base de probabilidades elevadas de obtener P superior a una fracción de la ETP. Esto demuestra el escaso significado que tiene en este caso la noción de período húmedo en relación con el período de actividad vegetal. Este último, en efecto, comprende varias secuencias húmedas de corta duración, pero de fechas y frecuencias muy aleatorias.

Los aspectos de clasificación climática son abordados sólo en la medida en que ellos permiten situar a la zona estudiada dentro del marco más general de las zonas áridas. Teniendo en cuenta el sistema de UNESCO (1977) el clima de la Reserva puede ser definido como "árido, con inviernos frescos, veranos cálidos, lluvias estivales, y de 8 a 9 meses de estación seca". Para caracterizar este clima de manera bastante completa pero concisa se lo puede describir como "clima tropical árido, continental, de altitud media, con régimen de lluvias estival e inviernos frescos".

## RESUMÉ

Dans le cadre du projet "Étude intégrée des ressources en sol, eau et végétation dans la réserve de la Biosphère de Mapimí" a été réalisée une étude des principaux éléments du climat et de leurs relations avec la production naturelle. Le but de cette étude n'est pas une description exhaustive du climat, mais l'analyse des éléments qui conditionnent la biologie des espèces et qui déterminent leur production.

Les mécanismes généraux du climat peuvent être expliqués par les grands flux atmosphériques qui affectent la zone et la présence de barrières orographiques qui en modifie l'influence. La région étudiée est soumise à deux régimes dominants: un régime de vents d'ouest lié aux hautes pressions subtropicales durant la période sèche d'octobre à mai et un régime d'air tro-

pical lié aux alizés provenant du Golfe du Mexique durant la période chaude et plus humide. A ces deux régimes dominants, relativement réguliers, se juxtaposent des phénomènes atmosphériques secondaires qui sont responsables d'une grande partie de la variabilité du climat, parmi eux les dépressions cycloniques tropicales qui jouent un rôle important comme source de précipitations dans le Désert de Chihuahua.

La radiation globale ne constitue pas un facteur limitant pour la croissance végétale. Cependant la variation de la durée du jour bien que faible ( $< 3$  h) est suffisante pour induire chez les êtres vivants des phénomènes de photopériodisme.

La température moyenne annuelle (Ceballos 1958-1983) est de  $20,8^{\circ}\text{C}$  ce qui correspond à un climat chaud, mais avec une forte variation saisonnière. Les hivers sont frais (moyenne des minima de janvier  $3,9^{\circ}\text{C}$ ) avec un nombre important de jours de gelée (37 jours par an pour Ceballos répartis de novembre à avril). Les étés sont chauds (moyenne de maxima de juin  $36,1^{\circ}\text{C}$ ). A la forte amplitude annuelle s'ajoutent de fortes amplitudes journalières tout au long de l'année (amplitude moyenne journalière pour Ceballos  $20^{\circ}\text{C}$ ). Les études d'écologie et de phénologie réalisées dans la Réserve conjointement à celle des températures montrent que celles-ci conditionnent grandement les cycles de développement de nombreux végétaux et l'activité animale.

D'une manière générale, dans le Bolsón de Mapimí, exception faite des reliefs, il existe un gradient des précipitations Nord-Ouest, Sud-Est. Celles-ci sont légèrement supérieures à 300 mm au nord (Escalón, Chihuahua) et inférieures à 200 mm au Sud (San Pedro, Coahuila). Pour la station de Ceballos (1956-1983) la moyenne des précipitations est de 264 mm (mini 80, 8 mm, maxi 512,5 mm) pour un nombre moyen annuel de jours de pluie de 40 j. La moyenne pour la Réserve est très voisine (264,2 mm, période 1979-1984). La variabilité interannuelle et la variabilité spatiale, même sur de courtes distances sont très fortes. On a pu noter des différences de 30% sur le total annuel pour des sites éloignés de moins de 10 km.

L'essentiel des précipitations se produit en été. Les pluies de juin à septembre inclus représentent 71% du total annuel. Les pluies d'hiver, de décembre à février représentent 9%. Mais il existe une grande variabilité interannuelle de la répartition. En 1981, 62% des précipitations se sont produites en dehors de la période estivale. Les averses ont un caractère orageux, avec une forte intensité, mais elles sont généralement de courte durée et très localisées, correspondant à des averses journalières faibles: 62% des averses journalières sont en moyenne inférieures à 5 mm.

Pour quatre stations du Bolsón de Mapimí, l'analyse fréquentielle des précipitations a été effectuée grâce à un modèle ORSTOM d'analyse. Ce modèle est fondé sur l'ajustement aux données d'une loi de distribution de type "Gamma incomplète" dont les paramètres sont estimés par la méthode du maximum de vraisemblance.

L'allure de courbes de fréquence relative des hauteurs d'eau montre nettement l'existence de deux périodes de précipitations: une période principale en été et une période secondaire beaucoup plus faible en hiver. La décennie pour laquelle les probabilités de pluie sont les plus fortes est la deuxième décennie d'août. Cependant, pour celle-ci la probabilité d'avoir P décadaire supérieure ou égale à 20 mm ne dépasse 0,50 que pour la station de Escalón.

L'évaporation moyenne annuelle mesurée à partir d'un bac classe A international est de 2805 mm pour le laboratoire du Désert (1978-1984) et de 2504 mm pour Ceballos (1957-1983). Le calcul de l'ETP par la méthode du bac corrigé et par la méthode de Penmann correspondant respectivement à une moyenne annuelle de 2040 mm et de 1800 mm (1978-1984). Les valeurs moyennes les plus faibles sont de  $2,4 \text{ mm J}^{-1}$  en janvier et les plus fortes de  $8,2 \text{ mm J}^{-1}$  en mai (ETP bac corrigé).

A partir des données décadales d'ETP et des probabilités décadales de pluie on peut déterminer les probabilités pour que P soit supérieure ou égale à ETP ou à une fraction d'ETP. Cependant, l'étude montre que les courbes obtenues sont très irrégulières et les probabilités

très faibles. Il n'est donc pas possible de définir une période humide par des probabilités élevées d'avoir P supérieure à une fraction d'ETP. Cela montre le peu de signification que revêt ici la notion de période humide en relation avec la période de végétation. Celle-ci recoupe en effet plusieurs séquences humides de courte durée, mais de dates et de fréquence très alléatoires.

Les aspects de classification climatique ne sont abordés que dans la mesure où ils permettent de situer la zone étudiée dans le cadre plus général des zones arides. Dans le système UNESCO (1977) le climat de la réserve peut être défini comme "aride, à hivers frais, à étés chauds, à pluies estivales, présentant 8 à 9 mois de saison sèche". Pour caractériser ce climat de manière assez complète, mais concise nous préférons le décrire comme "Climat tropical aride, continental, de moyenne altitude à pluies d'été et hivers frais".

#### ABSTRACT

Within the framework of the project entitled "Integrated Study of Vegetation, Soil and Water Resources of the Mapimi Biosphere Reserve," the present research was carried out, on the main characteristics of climate and of its relation to natural production. The purpose of this study is not to achieve an exhaustive description of climate patterns, but rather an analysis of the elements that affect the biology of the species, and determine their productivity.

The general mechanisms of climate can be explained by the global atmospheric flows that affect this area, and by the presence of orographic barriers which modify the influence of these flows. The region under study is subject to two dominant systems: one of winds from the West that is linked to subtropical high-pressure systems during the dry season (October to May), and another of tropical air which is linked to Eastern Trades Winds that come in from the Gulf of Mexico during the warm and more humid season. Alongside these two relatively regular dominant systems, other secondary atmospheric phenomena operate, which are responsible, to a great degree, for much of the climatic variability. Among these are: tropical hurricane-type depressions, which play an important role as a source of rainfall for the Chihuahuan Desert.

Global radiation does not constitute a limiting factor in plant growth. However, variation in day-length, even when small (less than three hours), is sufficient to induce phenomena of photoperiodicity in living beings. The average mean temperature (Ceballos Station 1958-1983) is 20.8°C, which is equivalent to warm climate, but one with strong seasonal variation. Winters are cool (average January lows of 3.9°C) with a considerable number of frosty days (37 days a year, for Ceballos), distributed throughout the period from November to April. Summers are warm (average June highs of 36.1°C). To this strong annual amplitude are added considerable daily variations throughout the year (Ceballos' average daily amplitude: 20°C). Ecological and phenological studies, jointly carried out on the Reserve together with temperature studies, show that temperatures considerably affect the developmental cycles of numerous plant species, as well as animal activity.

In general terms, in the "Bolsón de Mapimi" (with the exception of the mountain ranges), there is a NW-SE rainfall gradient. The rainfall is just over 300 mm in the north (Escalón, Chihuahua) and under 200 mm in the south (San Pedro, Coahuila). With respect to the Ceballos Station (1956-1983), average rainfall is 264 mm (minimum 80.8 mm; maximum 512.5 mm), with a per annum average of 40 rainy days. This is very similar to figures from the Reserve (264.2 mm in the period 1979 to 1984). Geographical and year-to-year variation is great, even over short distances. Differences of up to 30%, in comparison to the annual total have been recorded at places that are 10 km away from each other. The substantial part of the rainfall occurs during summer. Precipitation from June to September inclusive, represents 71% of the total yearly amount. Winter rains from December to February represent 9% of it. But

a large year to year variation exists in the distribution of the rain. In 1981, 62% of the rainfall occurred outside the summer season. Storms are torrential and intense, but they generally do not last long, and are limited to certain areas, thus corresponding to reduced daily rainfall levels: 62% of daily precipitations are, on average, less than 5 mm.

For four localities of the Bolsón de Mapimí, a frequency analysis was made of the rainfall using a model developed by ORSTOM. This model is based on the fitting of data to an "Incomplete Gamma" distribution law, the parameters of which are estimated by the maximum likelihood method. The shape of the relative frequency, rain-level curves clearly shows the existence of two rainy periods: the main one in summer, and a much less important one in the winter. The ten-day-period for which the probabilities of rain are highest is the second one in August. Nevertheless, the probability of having a total rainfall reading of 20 mm or more, in this ten-day-period is over 0.5 for the Escalón Station alone. The average annual evaporation, measured using a class-A international tank, is 2,805 mm for the "Desert Laboratory" Station (period 1978-1984), and 2,504 mm for Ceballos (1957-1983). The calculations of potential evapotranspiration (PET) by the corrected tank method, and by the Penmann Method, correspond, respectively, to yearly averages of 2,040 mm and 1,800 mm (1978-1984). The smallest average values are of 2.4 mm per day in January, and the heaviest of 8.2 mm per day in May (PET corrected tank).

Utilizing the PET data from each ten-day-period, as well as rainfall probabilities corresponding to the same periods, one can work out the probabilities of rainfall being higher than, or equal to PET, or a fraction of it. However, the study demonstrates that the curves obtained are very irregular and the probabilities are very low. Therefore, it is impossible to define a wet season on the basis of high probabilities of obtaining a rainfall which is higher than a fraction of the PET. This shows how insignificant, in this case, the notion of a wet season in relation to the period of plant activity is. The latter is, in effect, made up of several, short rainy sequences, although frequency and dates are very random.

The aspects of climate classification are undertaken only insofar as they permit us to situate the zone under study within the more general framework of arid zones. Taking into account the UNESCO System (1977), the climate of the Reserve can be defined as "arid, with cool winters, warm summers, summer rainfall, and an eight-to-nine-month dry season." In order to describe this climate in a sufficiently complete, yet concise way, it may be called "an arid tropical, continental climate, at medium altitude, with summer rains and cool winters."

## INTRODUCTION

Dans l'étude des ressources naturelles d'une région, la caractérisation du climat revêt une grande importance. Il joue en effet un tel rôle dans l'ensemble des aspects physiques et biologiques du milieu, qu'il est difficile de les présenter et de les comprendre sans un minimum de connaissances sur le climat régional. Les fluctuations interannuelles de la productivité végétale et animale peuvent être rapportées pour l'essentiel aux variations interannuelles du climat.

Dans le cadre du projet "Etude intégrée des ressources en sol, eau et végétation dans la Réserve de la Biosphère de Mapimí" se réalise une étude des principaux éléments du climat et de leurs relations avec la production naturelle. La description des éléments du climat de la Réserve ont fait l'objet de quelques études antérieures: Vilchis 1979, Vilchis 1981, Cornet 1984 auxquelles il sera fait référence.

Le but du présent chapitre n'est pas une description exhaustive du climat, mais l'étude des éléments qui conditionnent la biologie des espèces, leur adaptation aux conditions d'aridité et qui expliquent leurs potentialités de production. Cette étude est réalisée en terme de fréquences de manière à prendre en compte la grande variabilité et à fournir une information utilisable pour l'aménagement.

En raison du petit nombre d'années de fonctionnement de la station du Laboratoire du Désert (7 années), les valeurs obtenues pour la station sont comparées aux valeurs des stations climatiques voisines, pour les situer dans le cadre des normales régionales. Les aspects de classification climatique ne sont abordés que dans la mesure où ils peuvent aider à la comparaison de la zone d'étude avec d'autres zones étudiées parfois très éloignées.

## MÉCANISMES GÉNÉRAUX DU CLIMAT

Le climat, dans la zone du Bolsón de Mapimí résulte de l'interaction existante entre sa position continentale, l'effet des barrières orographiques importantes qui l'entourent, et la circulation générale sous la dominance des hautes pressions subtropicales.

La circulation atmosphérique dans la zone est complexe et marquée par de nombreuses irrégularités. Cependant, à la suite des travaux récents Mosino, 1964; Rasmusson, 1967, Hales, 1974; in Schmidt, 1983a) on peut considérer qu'il existe deux régimes principaux dominants au cours de l'année, perturbés par des mécanismes atmosphériques secondaires plus ou moins fréquents.

1. Un flux zonal de vent d'ouest, lié aux hautes pressions subtropicales, persiste sur la zone du Désert de Chihuahua durant les deux tiers de l'année, d'octobre à mai (Schmidt, 1983a).
2. Un flux d'air tropical nord-est, sud-ouest en provenance du Golfe de Mexique, lié aux alizés, envahit la zone de juin à septembre, en relation avec le déplacement vers le nord durant l'été de l'anticyclone des Bermudes.

L'arrivée d'air humide est accompagnée de l'augmentation de l'humidité relative et de l'ennuage, et par la production d'orages souvent localisés. Elle constitue le phénomène régulier déterminant les pluies de saison chaude. Leur importance est atténuée par l'influence des barrières montagneuses.

En général, en juin, ce régime d'alizés atteint la latitude de 25° nord, alors que le régime d'ouest persiste au nord du 28°. Entre les deux il n'y a pas de dominante marquée. En juillet et en août le régime d'alizés domine toute la zone du Désert de Chihuahua (Schmidt, 1983a). En septembre, il diminue d'intensité et se replie vers le 27° parallèle pour disparaître de la zone en octobre.

A ces deux régimes dominants, relativement réguliers, caractéristiques de la saison sèche et froide et de la saison chaude et plus humide, se juxtaposent des phénomènes

de circulation atmosphérique importants mais non constants qui sont responsables de la grande variabilité du climat, ce sont:

a) Les "nortes", qui sont des vents du nord dus à des invasions de fronts froids continentaux, ils peuvent se produire d'octobre à mars. Ils diminuent d'importance du nord au sud de la zone. Leur établissement est précédé en général de fortes turbulences. Ils sont responsables des abaissements brutaux de température qui amènent des gelées dans la zone (Hill, 1969). En cas de présence d'air humide en provenance du Pacifique, ils peuvent produire de petites pluies fines mais en général peu abondantes.

b) Les pluies plus importantes qui peuvent se produire en période sèche (fin d'hiver, début de printemps) sont dues à des variations accidentelles de la circulation troposphérique (Jet Stream) qui conduisent à la formation de zones de basse pression dans le Pacifique-est. Ces zones de basse pression, s'intensifient et se déplacent vers le nord-est amenant des masses d'air humide à l'intérieur du continent (Schmidt, 1983a).

c) Les dépressions cycloniques tropicales ont une importance encore mal connue comme source de précipitations dans le Désert de Chihuahua. Cependant, à la lumière de travaux récents et selon Schmidt (1983b), il paraît raisonnable d'admettre que si les masses d'air humide présentes dans la zone durant l'été proviennent bien du Golfe de Mexique en liaison avec le régime des alizés, les fortes dépressions tropicales du Golfe comme du Pacifique sont responsables des phénomènes pluvieux les plus importants et les plus étendus se produisant à l'intérieur du Désert de Chihuahua. Ces dépressions peuvent se produire de mai à octobre, mais leur période maximum d'activité est août et septembre.

Un travail réalisé à El Paso (Schmidt, 1983a) montre que pour cette station, pour la période 1973-1978, 55% des précipitations seraient dues à l'influence des cyclones. Pour la station de Ceballos (Dgo.), à la suite des observations de Vilchis (1981) on estime pour la période 1970-1980 à 28% du total annuel la pluviométrie liée aux dépressions tropicales cycloniques. Cette proportion varie de 59% en année humide (1971, 512.5 mm) à 0% en année très sèche (1975, 161.5 mm). García (1969), Vilchis (1981) et Sierra-Morales (1981) soulignent également que les années à pluviométrie supérieure sont liées à l'abondance des cyclones touchant les côtes nord de Mexique.

## RADIATION SOLAIRE

Le rayonnement solaire constitue la source d'énergie qu'utilisent directement ou indirectement les organismes vivants. Sur le plan climatique, il détermine les flux d'énergie et conditionne l'évapotranspiration. Dans sa traversée de l'atmosphère, ce flux éner-

gétique subit des pertes inégalement réparties dans les différentes longueurs d'onde, Ainsi l'énergie qui atteint le sol diffère-t-elle beaucoup d'un point à un autre et d'un moment à l'autre.

Du fait de la position latitudinale de la Réserve (26°41' de Lat. nord) la durée du jour varie sensiblement au cours de l'année: 13 h 12' en été et 10 h 48' en hiver (Vilchis, 1979). Cette variation bien que faible est suffisante pour produire sur les êtres vivants des phénomènes de photopériodisme.

Le tableau 1 donne les valeurs moyennes décadaires du rayonnement solaire global pour la période 1980-1984, mesurées à l'aide d'un Pyrhéliographe.

Tableau 1. Laboratoire du Désert, valeurs moyennes du rayonnement solaire global en cal. cm.<sup>-2</sup>. jour<sup>-1</sup> pour la période: Mars 1980-Décembre 1984.

MOIS		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Rayonnement	1	289	355	414	498	521	520	445	445	410	413	367	296
global	2	266	413	421	520	513	482	460	387	412	386	321	297
par décades	3	345	409	475	473	503	470	474	456	400	370	321	281
Moyenne mensuelle		301	391	438	497	512	491	460	430	407	389	336	291

La radiation est directement liée à la hauteur du soleil aux différentes périodes de l'année, mais la pluie et la couverture nuageuse modifient cette relation notamment pour les mois de juillet, août et septembre. La radiation n'est que très rarement inférieure à 300 cal/cm<sup>2</sup>/jour, elle ne constitue donc pas dans la zone un facteur limitant pour la croissance végétale.

## TEMPÉRATURE DE L'AIR SOUS ABRI

En zone aride, la température est directement liée à l'énergie solaire disponible, mais l'intervention de la pluie modifie cette relation et en fait, le régime thermique est l'image de l'interaction pluie-rayonnement solaire.

Le tableau 2 montre les valeurs moyennes décadaires et mensuelles des températures: maximum ( $t_m$ ), minimum ( $t_n$ ) et moyenne ( $\bar{t}$ ) de l'air, enregistrées sous-abri et exprimées en °C.



Tableau 2. Laboratoire du Désert: valeurs moyennes décadaires et mensuelles des températures: minimum, maximum et moyenne de l'air sous abri en °C (période Mars 1978 - Décembre 1984).

MOIS		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Température minimum	$t_m$												
	1	3.5	4.1	7.1	12.4	15.5	19.6	19.9	19.9	18.6	15.6	9.6	5.2
	Décades												
	2	4.5	6.2	9.9	12.5	16.7	19.3	20.2	19.0	17.3	14.0	7.2	5.8
	3	3.8	6.3	10.5	14.1	18.0	20.7	19.9	18.8	16.1	11.4	4.1	4.2
Moyenne Mensuelle	$t_m$	3.9	5.5	9.2	13.0	16.7	19.9	20.0	19.3	17.3	13.7	7.0	6.4
Température maximum	$t_M$												
	1	19.9	20.8	25.0	30.9	33.0	36.1	35.1	33.8	32.7	31.1	26.3	22.4
	Décades												
	2	19.5	23.3	27.7	31.3	33.7	35.7	35.7	32.4	31.8	29.0	24.1	21.5
	3	19.6	23.7	28.9	31.4	34.8	36.4	34.6	33.4	31.2	27.3	21.7	20.6
Moyenne Mensuelle	$t_M$	19.7	22.6	27.2	31.2	33.8	36.1	35.1	33.2	31.9	29.2	24.0	21.5
Température moyenne	$\bar{t}$												
	1	11.7	12.5	16.1	21.7	24.2	27.9	27.5	26.9	25.6	23.3	18.0	13.8
	Décades												
	2	12.0	14.7	18.8	21.9	25.2	27.5	28.0	25.7	24.5	21.5	15.7	13.6
	3	11.7	15.0	19.7	22.8	26.4	28.6	27.1	26.1	24.0	19.4	12.9	12.4
Moyenne Mensuelle	$\bar{t}$	11.8	14.1	18.2	22.1	25.3	28.0	27.5	26.2	24.7	21.4	15.5	13.3

La température annuelle moyenne pour la période est de 20,8°C ce qui correspond à un climat chaud, mais avec une forte variation saisonnière: les hivers sont froids (moyenne des minimums de janvier 3,9°) et les étés chauds (moyenne des maximums de juin 36,1°C).

On note, la forte amplitude au cours de l'année des valeurs moyennes des températures ( $\bar{t} = 11,8^\circ\text{C}$  pour janvier, et  $\bar{t} = 28,0^\circ\text{C}$  pour juin), mais également les fortes amplitudes journalières entre maximum et minimum tout au long de l'année. Ces amplitudes élevées sont caractéristiques des climats continentaux.

L'évolution des valeurs moyennes décadaires des températures présente un seul maximum en juin, qui est le mois le plus chaud. L'existence d'un seul maximum de température, caractérise en zone subtropicale les climats arides, par opposition aux climats semi-arides qui présentent généralement 2 maximums de température (Riou, 1975).

Le tableau 3 donne les valeurs moyennes mensuelles des températures pour la station de Ceballos, pour la période (1956-1983). La station de Ceballos est la plus proche station de la réserve (voir Fig. 3). On voit que ces valeurs sont très proches de celles enregistrées à la station du Laboratoire du Désert.

Tableau 3. Moyennes mensuelles des températures de l'air à Ceballos (1958-1983)

MOIS	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
$t_M$	21.6	24.0	28.5	32.9	35.8	37.4	36.4	35.3	33.0	29.8	25.5	22.0
$t_m$	1.6	2.7	5.8	10.7	11.5	18.3	18.9	18.1	16.2	11.3	5.2	2.0
t	11.6	13.4	17.1	21.8	25.2	27.9	27.7	26.7	24.6	20.6	25.3	12.0

La comparaison montre qu'il existe une excellente corrélation entre les valeurs moyennes mensuelles de température du Laboratoire du Désert et celles de Ceballos. Pour la période Mars 1978 - Décembre 1983 on obtient la régression  $y = 1.035 x - 0.625$  avec  $r = 0.985$

$$N = 70$$

$y$  = température à Ceballos en °C

$x$  = température au Laboratoire du Désert en °C

Pour cette station, nous avons effectué pour les années complètes (1957-1983) une analyse fréquentielle des températures. La figure 1, montre les probabilités d'avoir une température moyenne décadaire supérieure à un certain seuil.

Ainsi, 15°C étant la limite de croissance généralement admise pour les plantes en  $C_4$ , la période favorable à leur croissance sera du 10 mars au 20 novembre (probabilité  $\geq 50\%$ ).

De même l'analyse fréquentielle des températures minimum peut permettre de déterminer la période propice à l'activité d'animaux nocturnes. Ainsi la période où la température minimum est supérieure à 18°C sera du 10 juin au 10 septembre (probabilité  $\geq 50\%$ ).

Le tableau 4 donne pour Ceballos les moyennes mensuelles du nombre de jours de gelée et du nombre de jours très chauds ( $t_M \geq 40^\circ\text{C}$ ).

# CEBALLOS (1957-1983)

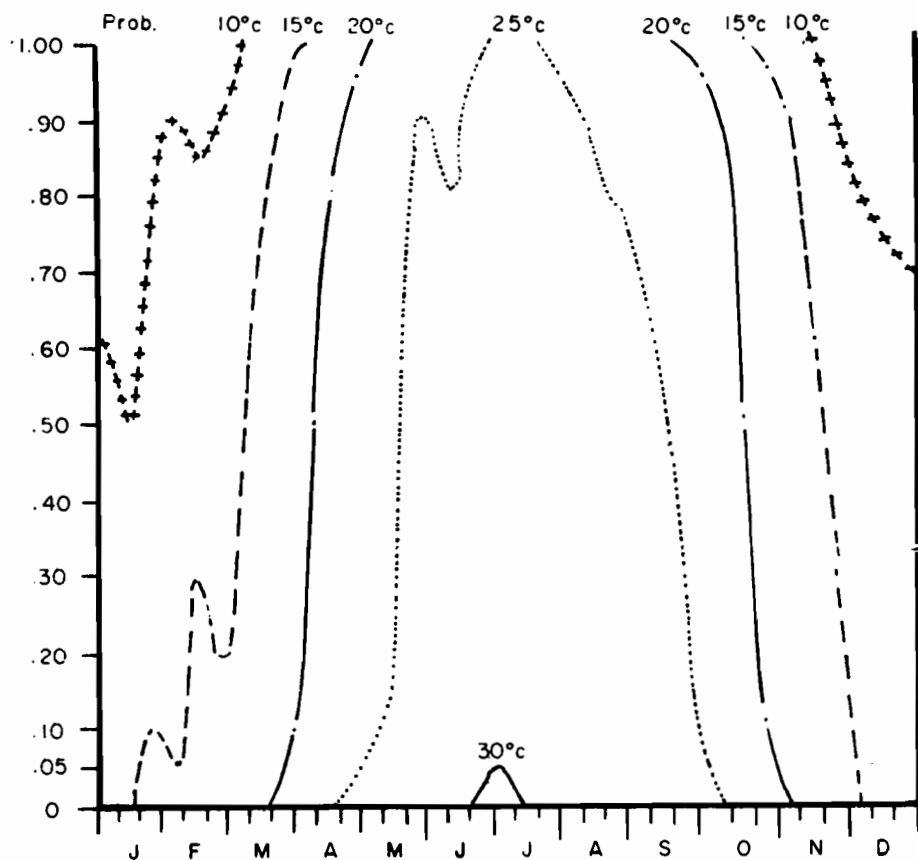


Figure 1. Station de Ceballos, probabilités d'avoir une température moyenne supérieure ou égale aux valeurs 10, 15, 20, 25, 30°C.

Tableau 4. Moyenne mensuelle du nombre de jours de gelée et du nombre de jours où la température maximale est  $\geq 40^{\circ}\text{C}$  (période 1956-1983) CEBALLOS.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Nombre de jours de gelée	12	7	3	0.2						0.1	4	11
Nombre de jours où $t_M \geq 40^{\circ}\text{C}$					2	7	1.5	0.75	0.2			

Pour Ceballos le nombre moyen de jours de gelée est de 37 jours par an (maximum observé: 58 j. minimum observé: 11 j.). Sur les 25 années observées nous avons une fréquence de 6 j. par an de gelée à  $t \leq -5^{\circ}\text{C}$ , et de un jour de gelée à  $t \leq -10^{\circ}\text{C}$  tous les 6 ans.

La figure 2 montre la probabilité par décade d'avoir un nombre déterminé de jours de gelée (Ceballos 1957-1983).

## CEBALLOS (1957-1983)

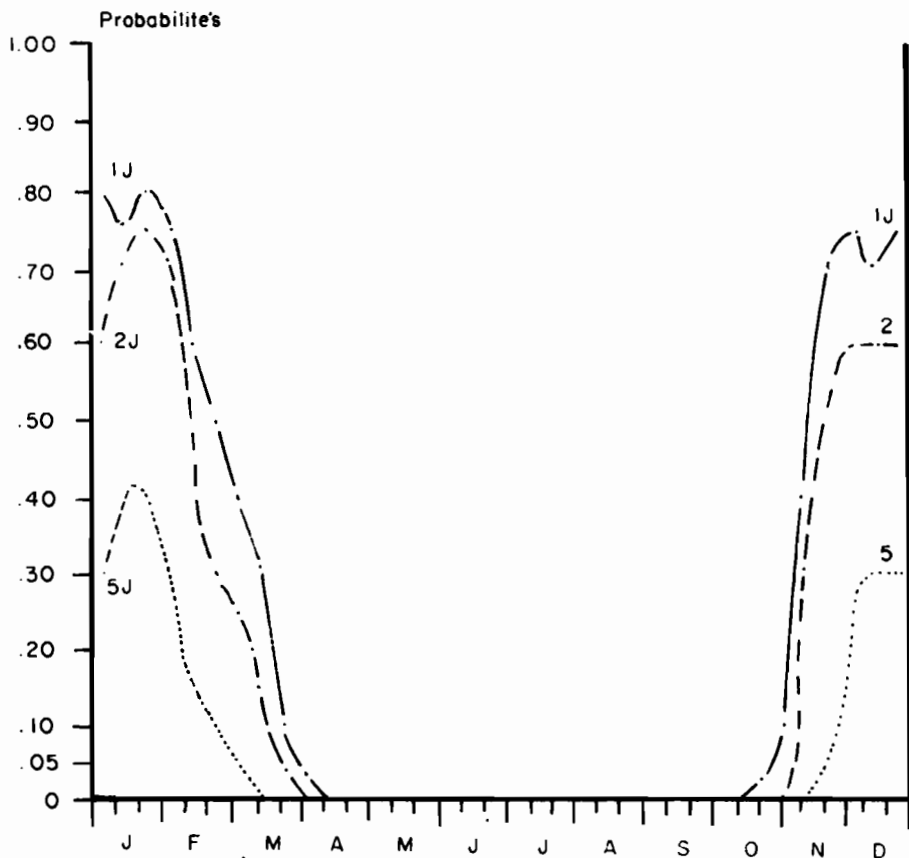


Figure 2. Ceballos: probabilités décadaires d'avoir un nombre de jours de gelée égal ou supérieur à: 1, 2, 5 jours.

On voit que la période durant laquelle le risque de gelée est nul va du 10 avril au 25 octobre.

Le tableau 5 donne pour le Laboratoire du Désert les moyennes décadaires des nombres de jours de gelée, de jours froids, et de jours chauds. Sont considérées comme jours froids, les journées pour lesquelles la moyenne des températures est inférieure ou égale à 15°C.

Sont considérés comme jours chauds, les jours où  $\tau \geq 30^\circ\text{C}$  ou pour lesquels  $t_M > 40^\circ\text{C}$ .

Tableau 5. Laboratoire du Désert. Moyenne par décade du nombre de jours de gelée, de jours froids, et de jours chauds (période 1978-1983).

MOIS	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Nombre de jours de gelée	1	2.4	1.6	0.6							0	1.0
Moyenne annuelle:	2	1.4	0.2	0							0.3	0.3
12.4 j	3	1.6	0	0							1.3	1.8
Nombre de jours froids	1	9.0	8.2	3.2	0.3					0	1.2	6.8
Moyenne annuelle:	2	7.6	5.2	2.2	0.3					0.2	4.0	7.2
86.6 j	3	8.4	3.4	0	0.3					0.8	6.2	9.0
Nombre de jours chauds	1					0.2	2.7	1.5	0.7			
Moyenne annuelle:	2					0	1.7	1.8	0			
14.2 j.	3					0.3	2.8	1.0	0			

Pour le Laboratoire du Désert le nombre de jours de gelée est sousestimé car l'observateur note "gelée" seulement lorsqu'il y a formation de glace sur le bac d'évaporation.

Le tableau 6 montre la comparaison entre les éléments du climat thermique de Ceballos et du Laboratoire du Désert.

Tableau 6. Comparaison entre les températures de Ceballos et du Laboratoire du Désert.

	CEBALLOS (1956-1983)	LABORATOIRE DU DESERT (1978-1983)
Moyenne annuelle	20.3°C	20.8°C
Minimum enregistré	-15.5°C (12-1-61)	-7.5°C (25-12-83)
Maximum enregistré	44°C (juin 60-80)	42.0°C (30-5-82)
Nombre moyen de jours de gelée		
(1979-1983)	26.6	12.4
(1956-1983)	37	

## PRÉCIPITATIONS

Les précipitations sont caractérisées par la quantité de pluie, sa répartition et sa variabilité. Le nombre d'observations nécessaires pour obtenir des moyennes stables et représentatives est très grand en zone aride, car la variabilité interannuelle est très élevée.

D'une manière générale dans le Bolsón de Mapimí, exception faite des reliefs, il existe un gradient de précipitations nord-ouest sud-est. Celles ci sont légèrement supérieures à 300 mm au nord et inférieures à 200 mm au sud. Ainsi, pour quatre stations (voir figure 3) nous avons les moyennes suivants.

Escalón (Chihuahua)	période 1961-1983:	340 mm
Ceballos (Durango)	période 1956-1983:	264 mm
Tlahualillo (Durango)	période 1964-1983:	228 mm
San Pedro (Coahuila)	période 1961-1983:	189 mm

Pour la station de Ceballos (1956-1983) la moyenne est de 264 mm avec un coefficient de variation de 42%. La médiane est de 255 mm. Le nombre moyen annuel de jours de pluie supérieure à 0.1 mm est de 40 jours. La moyenne annuelle des précipitations enregistrées de 1979 à 1984 au Laboratoire du Désert est de 264.2 mm avec un coefficient de variation de 14%.

La figure 3 montre d'après García *et al.* (1975) la répartition des isohyètes et la situation des stations.

La variabilité interannuelle des précipitations est très importante. La figure 4 montre pour Ceballos la variabilité interannuelle des totaux pluviométriques. Les précipitations annuelles pour 5 années (1979-1983) observées au Laboratoire du Désert ont été reportées sur la figure.

La fréquence des années très déficitaires ( $P < 180$  mm) est de 0.346, soit une périodicité d'une année tous les 3 ans.

A cette grande variabilité interannuelle se rajoute une variabilité spatiale forte même à courte distance. Ainsi, si l'on considère les résultats des pluviomètres situés à faible distance de la station du Laboratoire, nous obtenons en 1983 les valeurs suivantes:

SITE	DISTANCE A LA STATION	HAUTER DE PLUIE ANNUELLE
Station	0 Km	200.8 mm
Magueyal	1.5 Km	235.0 mm
Hilaria vega	10 Km	189.6 mm
Sporobolus	7 Km	165.0 mm
Dunes	9 Km	184.3 mm

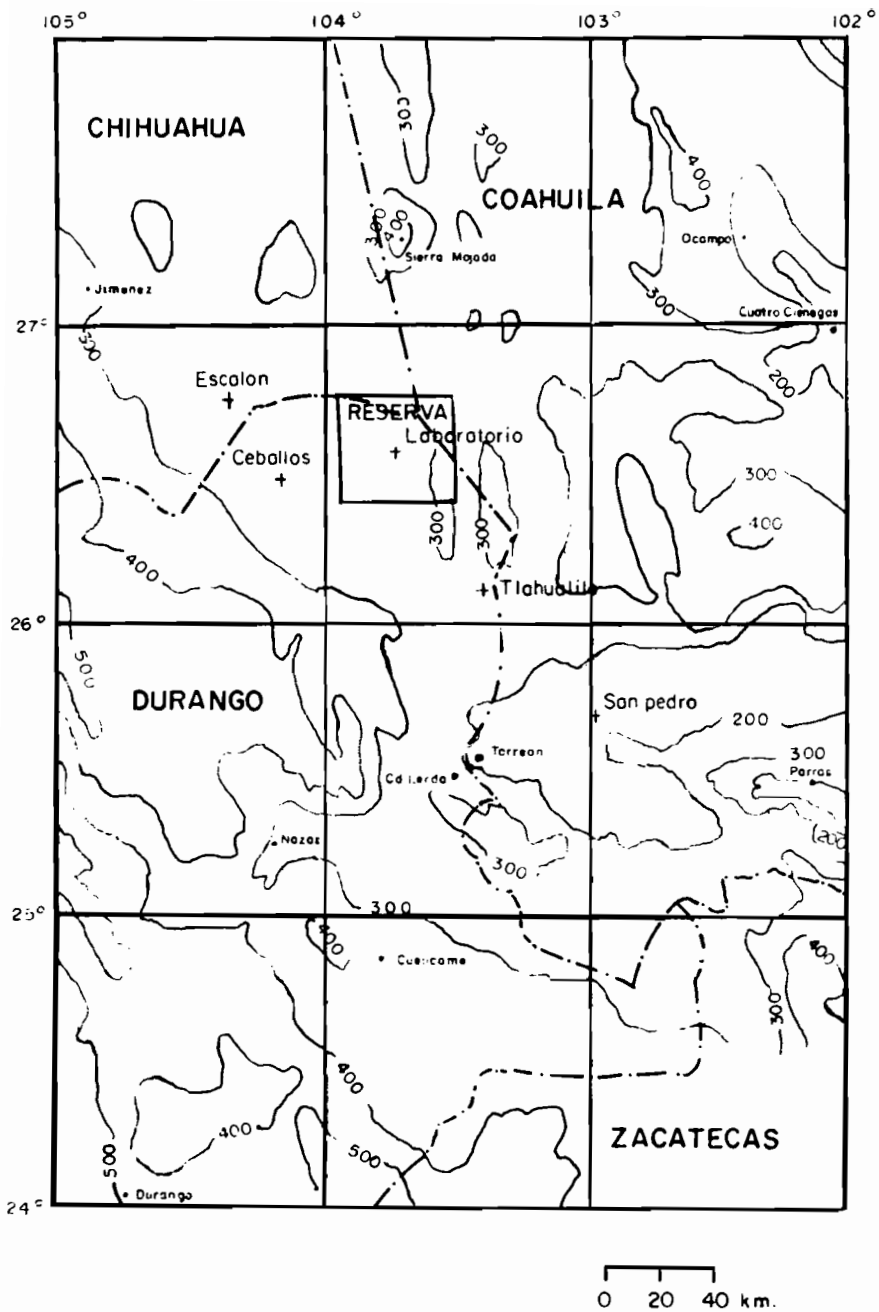


Figure 3. Carte des Isohyètes d'après García *et al.* (1975).

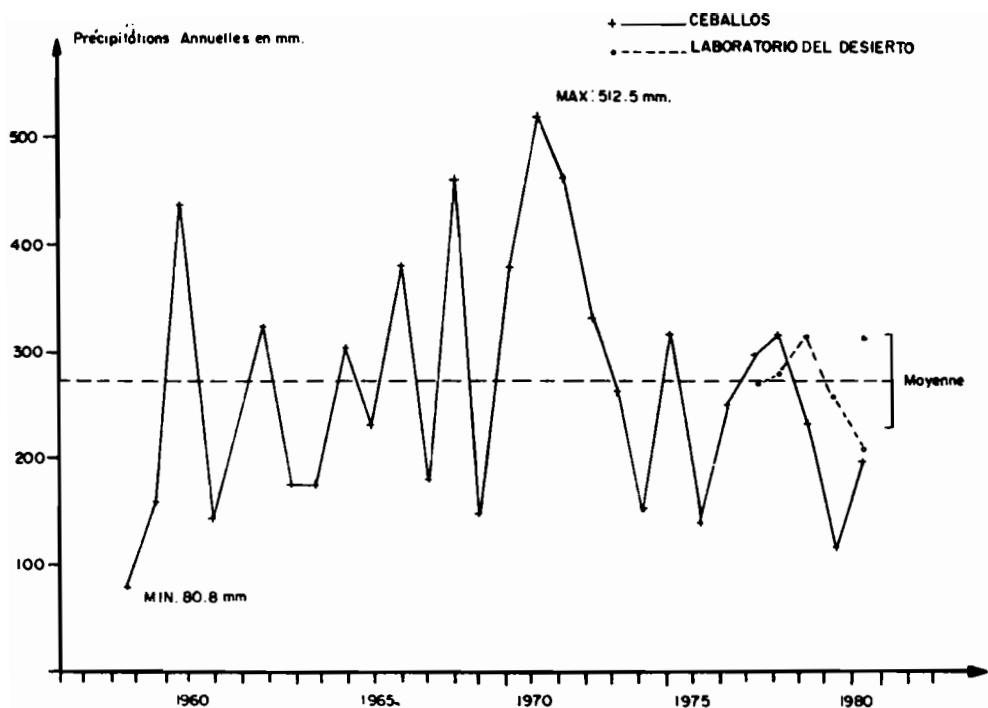


Figure 4. Variation interannuelle des précipitations.

Cette variabilité rend nécessaire l'étude des précipitations sur chaque site d'étude. Les mesures réalisées en 1984 et 1985 montrent qu'il existe bien, malgré les faibles dénivelées un gradient topographique des précipitations dans la réserve. Les positions hautes: magueyal, station, reçoivent plus de pluie que les zones de *playa* (*Sporobolus*, *Hilaria vega* . . .)

Le tableau 7 donne la répartition mensuelle des précipitations à Ceballos.

Tableau 7. Répartition mensuelle des hauteurs de pluie et du nombre de jours de pluie (période 1956-1983) Ceballos.

MOIS	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Moyenne mensuelle en mm	8.7	6.1	3.0	6.3	12.7	31.4	41.0	60.4	60.8	24.9	7.5	9.7
% du total annuel	3.2	2.2	1.1	2.3	4.7	11.5	15.0	22.2	22.3	9.1	2.8	3.6
Nombre de jours de pluie	1.3	1.3	0.7	1.0	2.3	5.5	6.5	8.0	6.1	4.0	1.3	2.0



L'essentiel des précipitations se produit en été, les pluies de juin, juillet, août et septembre représentent 71.0% du total annuel. Les pluies d'hiver: décembre, janvier, février, représentent 9% du total annuel.

Mais il existe une grande variabilité interannuelle de la répartition des pluies. Ainsi en 1981 la majorité des précipitations (62%) se sont produites en dehors de la période d'été.

Les averses ont un caractère orageux avec une forte intensité, mais généralement elles sont de courte durée et très localisées. La figure 5 montre la distribution des valeurs des hauteurs de pluies journalières pour Ceballos. On voit, que 62% des pluies journalières son inférieures à 5 mm. Cette proportion augmente encore en années sèches pour lesquelles le nombre d'averses importantes ets réduit.

### CEBALLOS (1956-1981)

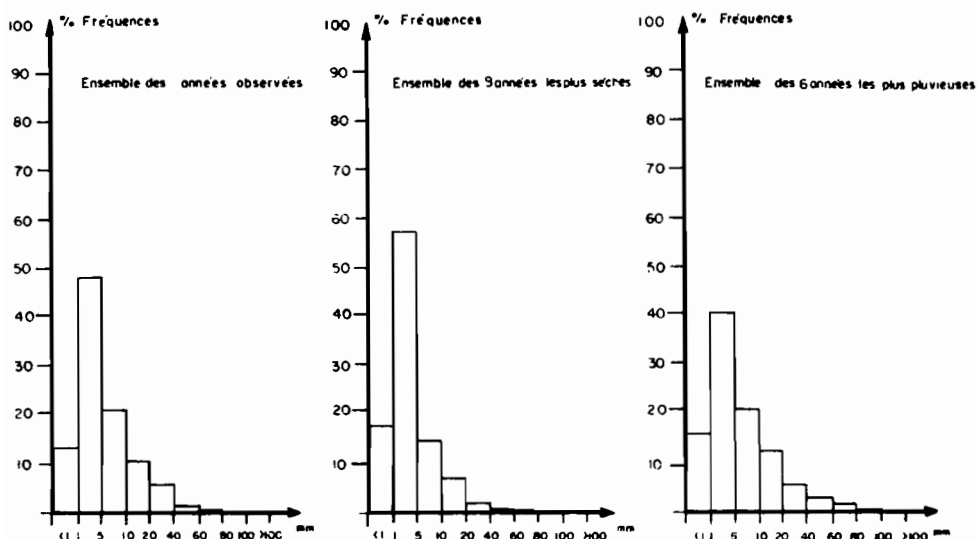


Figure 5. Fréquence des valeurs de hauteur de pluies journalières.

L'importance des averses faibles peut expliquer la dominance dans le peuplement végétal de certains types biologiques plus aptes à profiter des petites pluies (crassulacées, microphylls perennifoliés . . .).

Le caractère localisé des événements pluvieux explique la variabilité spatiale très importante des précipitations.

Le tableau 8 donne les hauteurs moyennes et le nombre moyen de jours de pluie observés au Laboratoire du Désert (1978-1984).

Les valeurs moyennes calculées sont peu représentatives en raison du petit nombre d'observations.

Tableau 8 Hauteurs moyennes décadaires de pluie et nombre moyen de jours de pluie. Laboratoire du Désert (1978-1984).

MOIS		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Moyenne décadaire en mm	1	0.2	2.4	0.5	0.1	5.9	20.6	19.2	14.3	6.7	16.7	3.2	4.6
	2	10.0	1.4	1.2	8.0	7.1	9.0	9.0	28.5	5.9	13.1	6.6	2.2
	3	7.3	4.1	0.6	3.4	8.2	11.7	18.9	7.2	11.0	4.3	2.4	4.9
Nombre de jours de pluie	1	0.6	1.2	0.3	0.1	0.9	2.1	2.6	3.7	2.1	1.7	0.4	1.0
	2	1.8	0.3	0.7	1.0	1.3	1.1	1.3	3.9	1.9	1.1	0.7	0.4
	3	1.2	0.2	0.4	1.0	2.3	1.4	2.6	1.6	2.1	0.9	0.6	1.0

L'insuffisance et l'irrégularité des pluies font de leur prévision statistique, fondée sur l'analyse fréquentielle des séries d'observations, un des éléments majeurs de la connaissance du climat pluviométrique dans les zones à tendance aride.

Pour quatre stations du Bolsón de Mapimí: Escalón, Ceballos Tlahualillo et San Pedro (Voir figure 3), l'étude a été effectuée grâce au modèle ORSTOM d'analyse fréquentielle des pluies (Brunet-Moret, 1969). Ce modèle est fondé sur l'ajustement aux données d'une loi de distribution du type: "distribution incomplète gamma ou de Pearson III" dont les paramètres sont estimés.

On appellera que cette loi de distribution peut s'écrire:

$$F(x) = F(x_0) + \frac{1 - F(x_0)}{\Gamma(\gamma)} \cdot \int_{x_0}^x \left(\frac{x - x_0}{S}\right)^{\gamma-1} \cdot e^{-\frac{x - x_0}{S}} \cdot \frac{dx}{S}$$

où  $\Gamma(x)$  est la fonction gamma complète,

$F(x)$  représente la probabilité au non dépassement d'une grandeur observée  $x$  dont la valeur minimale est  $x_0$ , la fréquence étant  $F(x_0)$  pour  $x = x_0$ .

La fonction est caractérisée par trois paramètres:

$x_0$ : borne inférieure de l'intervalle de définition

$S$ : paramètre d'échelle de même dimension que  $x$ .

$\gamma$ : paramètre de forme.

Ces paramètres sont estimés par la méthode du maximum de vraisemblance. Dans la pratique, on obtient pour chaque période de durée fixée (ici décadaire) et mobile dans le temps (de 5 en 5 jours), les hauteurs d'eau à espérer à un certain nombre de niveaux de probabilité entre 0.01 et 0.99. On peut déterminer pour chaque décade la probabilité d'avoir telle hauteur décadaire de pluie.

Graphiquement, l'axe des abscisses étant celui du temps, et l'axe des ordonnées une échelle de fréquences relatives ou de probabilités, la variabilité d'occurrence de tout événement (par exemple  $P \text{ nul ou } P > 20 \text{ mm} \dots$ ) peut être figurée par un histogramme de densité de probabilité ou une courbe de fréquences relatives. La figure 6 donne, pour les quatre stations étudiées, les probabilités d'avoir:

- $p \geq \text{à } 10 \text{ mm}$
- $p \geq \text{à } 20 \text{ mm}$
- $p \geq \text{à } 50 \text{ mm}$

On note la grande irrégularité des courbes en relation avec la forte variabilité des précipitations: Cependant l'allure reste la même pour les quatre stations, traduisant ainsi leur appartenance au même type climatique avec les mêmes mécanismes de production de pluies. L'allure des courbes montre nettement l'existence de deux périodes de précipitation. Une période principale en été, centrée sur juillet-août-septembre, et une période secondaire beaucoup plus faible en décembre-janvier. La décade pour laquelle les probabilités de pluies sont les plus fortes est la deuxième décade d'août. Les probabilités de pluies sont faibles ainsi la probabilité d'avoir  $P \text{ décadaire } \geq 20 \text{ mm}$  ne dépasse 0.50 que pour la station de Escalón, pour la décade la plus arrosée.

Les résultats de l'analyse fréquentielle sont utilisés pour déterminer la période humide et définir les probabilités au non dépassement par les pluies de telle ou telle fraction choisie de l'évapotranspiration (Franquin, 1976).

## HUMIDITÉ DE L'AIR

L'évolution de l'humidité atmosphérique est liée au régime des vents et à la pluviosité. Le Tableau 9 donne les valeurs moyennes décadaires de l'humidité de l'air maximum ( $h_M$ ), minimum ( $h_m$ ) et moyenne ( $\bar{h}$ ).

Les valeurs maximum croissent dès le mois de juin avec l'instauration de la circulation atmosphérique en provenance du Golfe de Mexico. Elles restent relativement élevées jusqu'en janvier, puis décroissent de janvier à avril, en relation avec l'élévation de température.

Par contre, les valeurs minimums restent basses toute l'année, culminant à 30% durant les périodes les plus humides. Les variations journalières d'humidité sont fortes, elles sont maximum en période humide (60% en août et septembre).

Probabilités pour 4 stations d'avoir des précipitations décadaires  
supérieures ou égales à --- 10 mm, — 20mm, ..... 50mm.

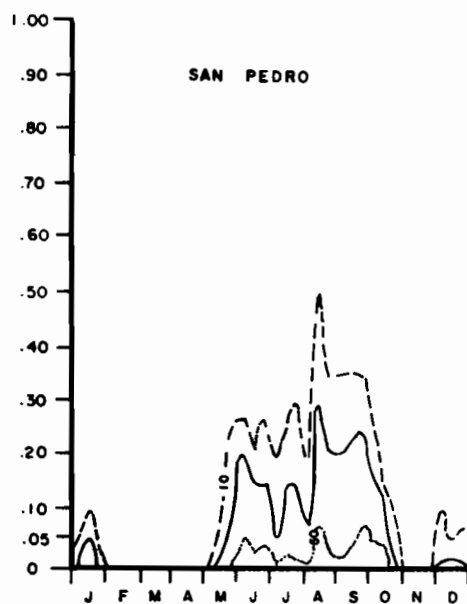
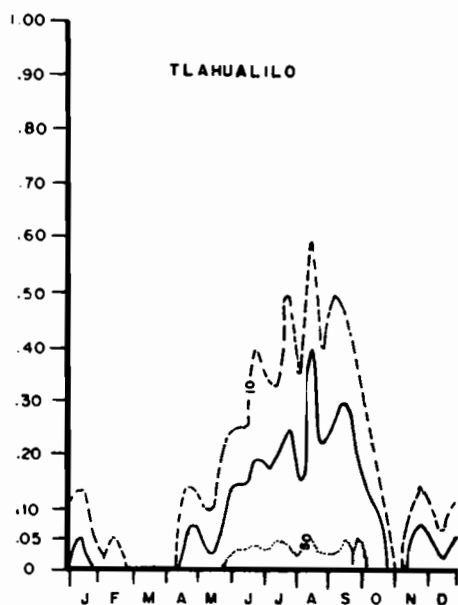
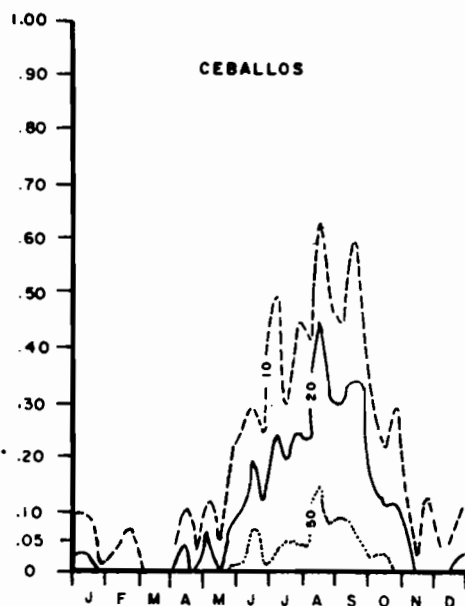
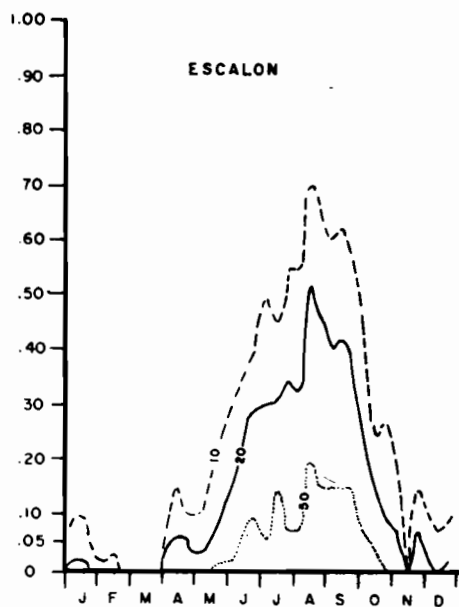


Tableau 9. Laboratoire du Désert. Valeurs moyennes décadaires et mensuelles de l'humidité de l'air (période mars 1978-décembre 1984) en %.

MOIS		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
Humidité maximum														
	$h_M$	1	72	70	48	38	55	70	75	81	87	79	76	76
		2	74	61	48	36	54	70	73	90	82	79	73	79
		3	73	58	40	56	59	67	77	83	78	75	70	76
Moyenne mensuelle		73	63	45	43	56	69	75	85	82	78	73	77	
Humidité minimum														
	$h_m$	1	26	23	13	9	12	15	22	28	29	23	22	23
		2	28	15	10	10	13	17	22	30	26	25	24	25
		3	20	15	8	14	14	19	26	24	26	24	21	25
Moyenne mensuelle		25	18	10	11	13	17	23	27	27	24	22	24	
Humidité moyenne														
	$\bar{h}$	1	49	47	31	24	33	43	49	55	58	51	49	50
		2	51	38	89	23	34	44	47	60	54	52	48	52
		3	47	37	24	35	36	43	52	54	52	50	46	50
Moyenne mensuelle		49	41	28	27	34	43	49	56	55	51	48	51	

## EVAPORATION ET ETP

L'évaporation est mesurée journallement à partir d'un bac d'évaporation type "classe A international". Les valeurs moyennes décadaires obtenues sont données par le Tableau 10.

Tableau 10. Laboratoire du Désert. Valeurs décadaires et mensuelles de l'évaporation bac, moyennes pour la période 1978-1984.

MOIS		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
Evaporation bac en mm														
		1	30.4	44.6	73.0	109.0	109.6	112.9	102.7	94.5	76.9	72.3	53.4	46.4
		2	32.7	58.5	85.6	100.5	115.7	116.7	106.5	78.5	81.7	64.9	47.0	36.2
		3	46.3	54.5	103.2	96.1	122.7	118.8	105.2	90.5	71.7	62.4	40.2	43.5
Moyennes mensuelles		109.4	157.6	261.8	305.6	348.0	348.4	314.4	263.5	230.3	199.6	140.6	126.1	

L'évaporation moyenne annuelle est de 2805 mm pour le Laboratoire du Désert (moyenne 1978-1984) et de 2504 mm pour Ceballos (1957-1983). Ces valeurs sont comparables aux valeurs enregistrées en zone sahélienne (Riou, 1975, Cornet, 1981)

mais inférieures aux valeurs observées en zone aride sub-sahariennes (Riou, 1975; Cocheme et Franquin, 1967).

La figure 7 montre la comparaison des valeurs moyennes décadaires d'évaporation bac pour Ceballos (1956-1983) et le Laboratoire (1978-1984). Ces valeurs sont exprimées en  $\text{mm} \cdot \text{jour}^{-1}$ .

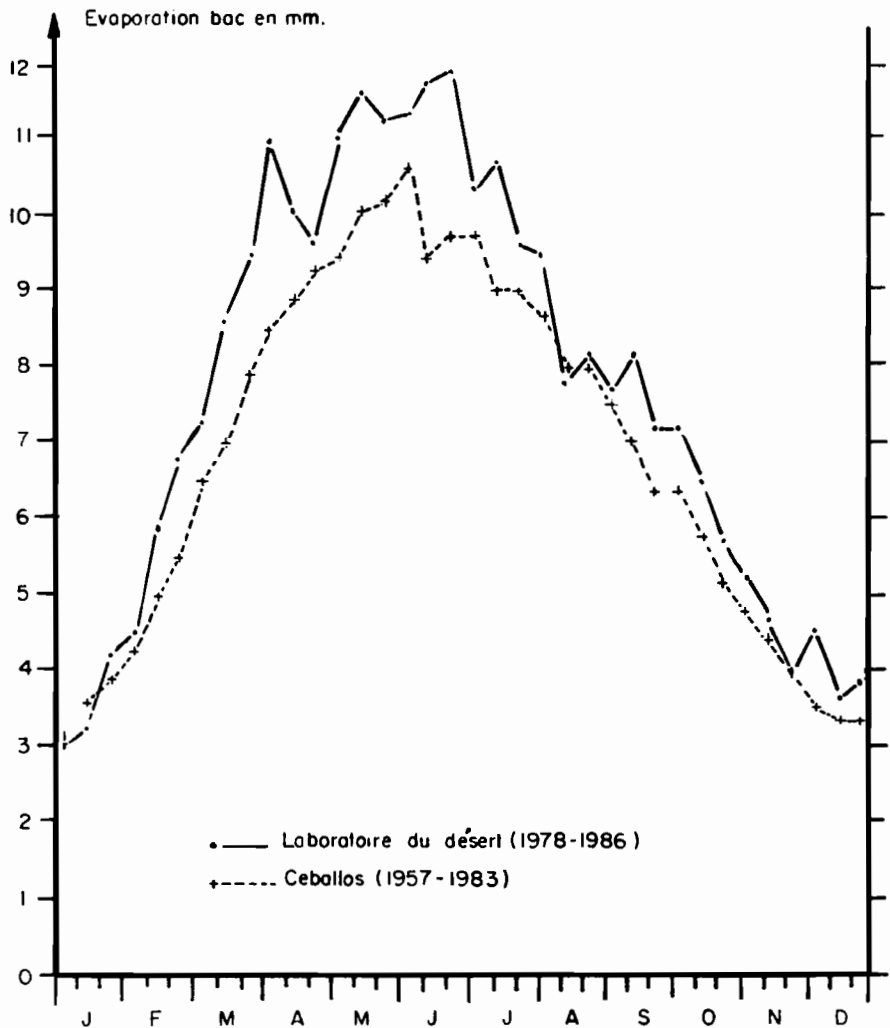


Figure 7. Valeurs moyennes décadaires d'évaporation bac pour Ceballos et pour le Laboratoire du Désert.

On constate que les valeurs obtenues à la station du laboratoire sont systématiquement plus élevées en période chaude et sèche que celles enregistrées à Ceballos. Cela peut s'expliquer par la présence autour de Ceballos de périmètres irrigués qui atténuent fortement l'advection.

La figure 8 réalisée à partir des résultats de l'analyse fréquentielle des valeurs de l'évaporation bac montre pour Ceballos (1956-1983) les probabilités pour que E bac décadaire soit supérieure ou égale à une valeur donnée.

## CEBALLOS (1957-1983)

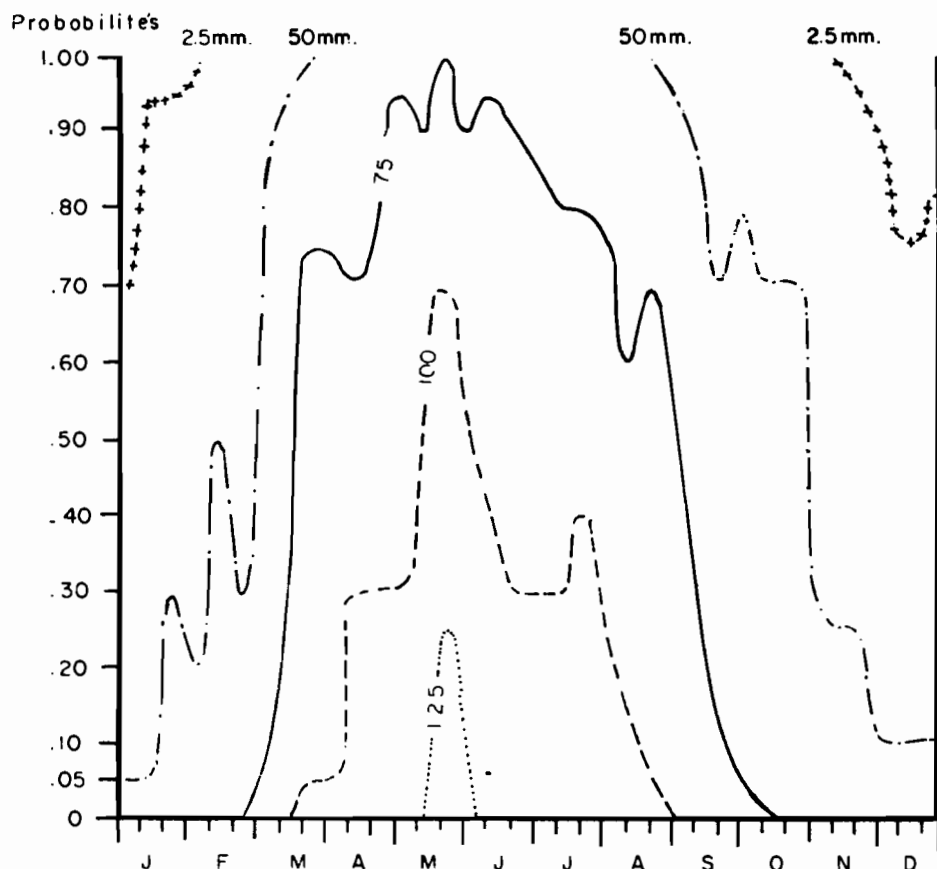


Figure 8. Ceballos: Probabilités pour que l'évaporation bac soit supérieure ou égale aux valeurs 25, 50, 75, 100 et 125 mm.

Il faut noter que si la variabilité décadaire de l'évaporation est élevée, le total annuel varie peu d'une année à l'autre.

La demande évaporative, considérée comme élément climatique est caractérisée par la notion d'évapotranspiration potentielle introduite par Thornthwaite (1944). En zone aride la notion d'ETP n'a de sens que si sa détermination prend en compte la part importante de l'advection (Perrier 1975, Baldy 1978). La détermination de l'ETP est relativement complexe et a fait l'objet de très nombreuses études tant théoriques que pratiques. D'une manière générale, en l'absence de possibilités de mesures directes la plupart des auteurs (Riou 1975, Dancette 1976, Baldy 1978, Thom *et al.*, 1981) recommandent l'utilisation des données du bac d'évaporation corrigées à partir des données de vitesse de vent, température et déficit de saturation de l'air.

Nous utiliserons la relation proposée par Riou (1975) pour la zone sèche de l'Afrique centrale.

$$ETP = 0.96 (E_{\text{bac}} - \frac{0.24 U(e_s - e_a)\gamma}{\Delta + 2 \gamma})$$

dans laquelle ETP est l'évapotranspiration potentielle en mm j<sup>-1</sup>

$E_{\text{bac}}$  l'évaporation bac en mm j<sup>-1</sup>

U la vitesse du vent en m.s<sup>-1</sup>

$e_s - e_a$  le déficit de saturation de l'air en mbar

$\gamma$  est la constante psychrométrique

$\Delta = F'(t)$  la dérivée de l'équation donnant la tension de vapeur en fonction de la température

Les calculs de détermination de l'ETP ont été effectués pour 1984 par la méthode du Bac corrigé et par la formule Penman. Le Tableau 11 donne les valeurs obtenues.

On note que les valeurs obtenues par la formule de Penman sont globalement très inférieures à celle obtenues par la méthode du bac corrigé:

Laboratoire du Désert 1984.

Evaporation bac	2715 mm
ETP bac corrigé	1985 mm
ETP Penman	1680 mm

Divers auteurs (Riou 1975, Baldy 1978) ont constaté la tendance de la formule de Penman en zone aride à sous estimer ETP en raison d'une sous estimation de la part advective de l'évapotranspiration.

L'étude du rapport  $k = ETP \text{ calculée} / E_{\text{bac}}$  montre qu'il existe des groupes de valeurs constantes en fonction des saisons, ainsi on obtient pour le Laboratoire du Désert:



Tableau 11. Moyennes décadaires en mm.j.<sup>-1</sup> d'évaporation bac de ETP calculé à partir du bac et de ETP Penman. (Laboratoire du Désert 1984).

MOIS	JANVIER			FEVRIER			MARS		
Décade	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Evaporation bac	3.0	3.8	3.1	3.5	7.0	6.3	7.7	9.8	10.1
ETP calculée	2.3	2.8	2.4	2.9	5.3	4.9	6.1	7.1	6.4
ETP Penman	2.0	2.2	2.2	2.4	3.9	2.7	4.1	4.9	5.5
MOIS	AVRIL			MAI			JUIN		
Décade	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Evaporation bac	10.2	9.9	9.6	12.6	10.5	9.0	11.2	11.6	11.7
ETP calculée	6.7	6.3	4.4	8.3	8.3	6.5	7.9	9.7	9.4
ETP Penman	6.0	6.0	7.3	7.1	5.9	7.1	6.9	5.6	6.2
MOIS	JUILLET			AOÛT			SEPTEMBRE		
Décade	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Evaporation bac	7.4	9.4	6.0	9.4	7.5	8.0	8.5	7.9	6.9
ETP calculée	5.4	7.3	4.6	7.1	5.9	6.0	6.4	6.0	5.4
ETP Penman	5.8	5.8	5.6	5.6	5.1	6.1	5.2	4.6	4.6
MOIS	OCTOBRE			NOVEMBRE			DECEMBRE		
Décade	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Evaporation bac	6.3	7.8	6.2	6.0	6.1	4.2	5.3	4.6	3.9
ETP calculée	5.0	5.8	4.6	4.5	4.7	2.9	3.9	3.7	3.1
ETP Penman	4.1	4.5	4.4	3.2	2.9	2.7	2.4	2.3	2.4

Décades fraîches et sèches	$k = 0.76 \pm 0.03$
Décades fraîches et humides	$k = 0.80 \pm 0.01$
Décades chaudes et très sèches	$k = 0.66 \pm 0.04$
Décades chaudes et humides	$k = 0.795 \pm 0.03$

On considère comme décade sèche toute décade pour laquelle P est < à 10 mm et pour laquelle le nombre de jours de pluie est inférieur à 3. Sont considérées comme décades fraîches toutes décades pour lesquelles  $\bar{s} < 18^\circ\text{C}$ .

Il est donc possible de calculer pour les années pour lesquelles on ne dispose pas de données suffisantes, la valeur approchée de l'ETP par la relation

$$\text{ETP}_c = k \cdot E_{\text{bac}}$$

$$k = 0.66 \text{ pour les décades chaudes et très sèches}$$

$$k = 0.76 \text{ pour les décades froides et sèches}$$

$$\text{et } k = 0.80 \text{ pour les décades humides.}$$

Les valeurs moyennes de ETP calculée ainsi déterminées pour le Laboratoire du Désert (1978-1979) sont données par le Tableau 12.

Tableau 12. Laboratoire du Désert. Valeurs décadaires et mensuelles moyennes de ETP calculée pour la période 1978-1984

MOIS		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
ETP calculée en mm	1	23.5	34.5	55.8	73.3	75.5	78.1	71.8	70.7	59.8	56.3	38.5	35.3
	2	25.0	44.5	62.1	68.8	81.5	81.3	76.8	62.5	63.3	49.7	36.2	28.1
	3	35.5	41.6	68.7	63.6	83.6	80.8	75.3	70.5	55.8	47.7	30.5	33.5
Moyennes mensuelles		84.0	120.6	186.6	205.7	240.6	240.2	223.9	203.7	178.9	153.7	105.2	96.9

## NOTION DE PÉRIODE HUMIDE

La seule définition exacte d'une période humide est: toute période durant laquelle les précipitations sont égales ou supérieures à l'évapotranspiration. Toutefois, en zone sèche, les périodes durant lesquelles P est supérieure ou égale à ETP, sont très courtes et ne correspondent qu'à une petite partie de la saison de végétation. Il serait donc important de considérer la quantité minimum d'eau nécessaire à la poursuite de la croissance végétale. Différents travaux ont donné des valeurs voisines de 1/3 ou 1/4 de ETP pour les formations herbacées des zones arides ou semi-arides. Cependant le problème est compliqué par la redistribution de l'eau dans le paysage et le rôle de la réserve hydrique du sol. Les études de phénologie (Cornet *et al.*, 1984) montrent qu'il existe une grande hétérogénéité dans la durée des périodes de végétation des principales espèces. Certaines présentent plusieurs cycles courts de végétation au cours de l'année: d'autres, bénéficiant de conditions stationnelles plus favorables, ont des périodes de croissance plus longues, fonction de la reconstitution de la réserve en eau du sol.

A partir des données décadaires d'ETP et des probabilités décadaires de pluies fournies par l'analyse fréquentielle, on peut déterminer les probabilités pour que P soit supérieure ou égale à ETP, ou à une fraction d'ETP. La figure 9 montre pour Ceballos (1956-1983) les probabilités obtenues par le modèle ORPROB (Cornet, 1981) pour que P décadaire soit supérieure ou égale à  $0.25 E_{\text{bac}}$ ,  $0.5 E_{\text{bac}}$  et  $E_{\text{bac}}$ . On constate que les courbes sont très irrégulières et que les probabilités sont très faibles. La probabilité d'avoir  $P \geq ETP$  est constamment inférieure à 15%. Il apparaît deux périodes plus humides une en hiver, où les pluies sont faibles, mais correspondent à des ETP faibles, et une irrégulière en été. Il n'est cependant pas possible de définir une période humide réelle par des probabilités élevées d'avoir P supérieure à une fraction d'ETP.

Si nous considérons pour le Laboratoire du Désert les données de mars 1978 à décembre 1985, soit 282 décades, nous avons:

# CEBALLOS (1956-1983)

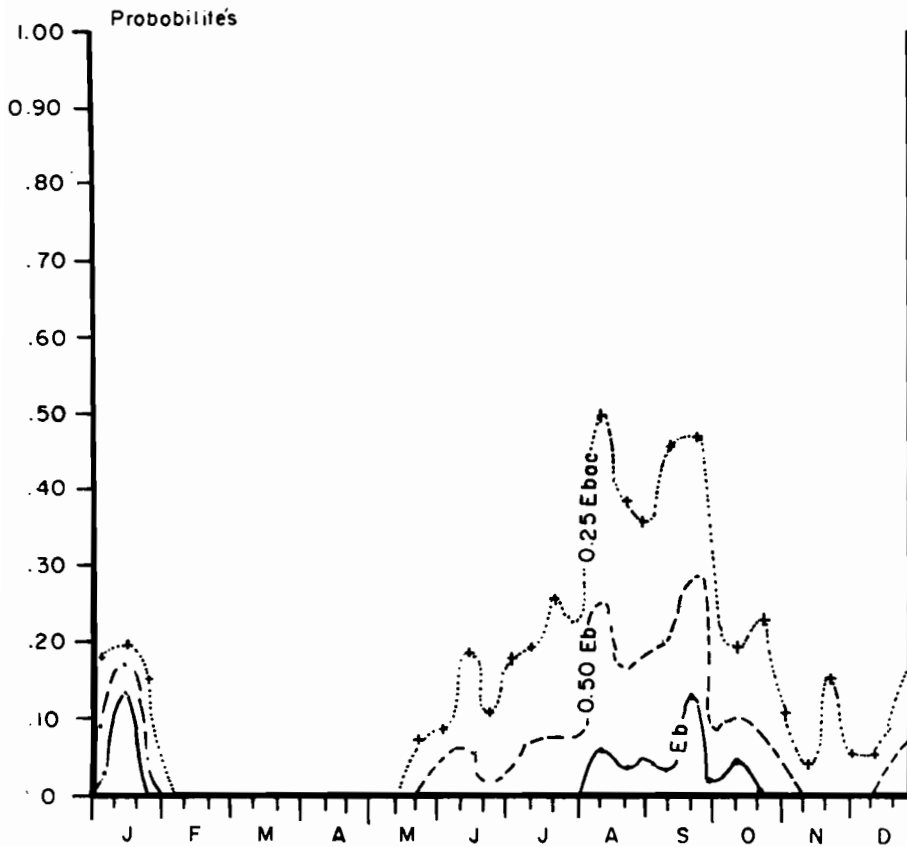


Figure 9. Probabilités d'avoir  $P$  décadaire supérieure ou égale à  $E_{bac}$ ,  $0.5 E_{bac}$ ,  $0.25 E_{bac}$ .

- 9 décades avec  $P \geq [E_{bac} \text{ corrigé}]$
- 29 décades avec  $P \geq [E_{bac} \text{ corrigé}/2]$
- 52 décades avec  $P \geq [E_{bac} \text{ corrigé}/4]$

Si nous recherchons comment se regroupent ces décades:

- Nous n'avons aucune période de 2 décades consécutives avec  $P \geq E_{bac}$
- 4 périodes de 2 décades successives avec  $P \geq E_{bac}/2$

- 10 périodes de 2 décades successives avec  $P \geq E_{\text{bac}}/4$
- aucune période de 3 décades successives avec  $P \geq E_{\text{bac}}/2$
- 3 périodes de 3 décades successives avec  $P \geq E_{\text{bac}}/4$

Cela démontre le peu de signification que revêt ici la notion de période humide en relation avec la période végétation. Celle-ci recoupe en effet plusieurs séquences humides de courte durée mais de date et de fréquence très aléatoires. On peut seulement définir une période estivale de végétation où généralement les séquences humides de courte durée sont plus fréquentes.

## CARACTÉRISATION DU CLIMAT ET CLASSIFICATIONS

La nécessité de comparer entre eux des climats de régions parfois très éloignées a amené climatologues et géographes à classer les climats. Les classifications qui consistent à créer des coupures dans un phénomène essentiellement continu, sont diverses et pas toujours concordantes. Cependant les grands types climatiques ont été définis progressivement à partir de critères précis et admis par tous.

Le climat tropical est défini généralement par le régime des pluies et le régime thermique:

- pluies de saison chaude avec saisonnalité très marquée
- température moyenne du mois le plus froid  $>$  à  $15^{\circ}\text{C}$  (Gausson, 1955).
- amplitude thermique diurne supérieure à l'amplitude annuelle moyenne (Emberger, 1955).

Le climat de notre zone correspond bien à deux de ces définitions: 71% des pluies sont estivales et l'amplitude moyenne journalière des températures pour Ceballos (1956-1981) est de  $20^{\circ}\text{C}$  alors que l'amplitude annuelle moyenne est de  $16.3^{\circ}\text{C}$  seulement. La température moyenne du mois le plus froid est par contre inférieure à  $15^{\circ}\text{C}$  ( $11.6^{\circ}\text{C}$ ). Ceci est dû à l'altitude de la zone, supérieure à 1000 m.

Pour Emberger (1938) "chacun des grands types de climat qui se partagent le globe existent sous différentes formes et variétés dont l'une est plus ou moins aride: climat méditerranéen, climat tropical . . .". Pour cet auteur, (Emberger, 1955) un climat aride correspond à "un climat à pluviosité faible, combinée avec une forte évaporation résultant des températures élevées . . .". De nombreux travaux ont cherché à définir et à caractériser la zone aride (UNESCO, 1977) en introduisant parfois dans sa définition, outre les critères climatiques, des critères de végétation et d'agriculture (Meigs, 1959; UNESCO, 1958). Il est clair cependant que l'aridité est déterminée essentiellement par les conditions climatiques, même si ses effets peuvent être accentués ou atténués par les types de milieu ou l'action de l'homme (Floret et Pontanier, 1982).

Mc Ginnies (1979) reconnaît à la zone aride trois caractères essentiels qui correspondent parfaitement à ceux de notre zone:

- Séparation de la région de l'influence humide des océans par la distance et le relief
- Formation de masses d'air chaud et sec, stables, résistantes aux courants convectifs
- Caractère très violent de précipitations entraînant une forte perte d'eau pour ces régions par ruissellement

Les principaux types de classifications climatiques à visées biogéographiques (Koppen, 1926; Thornthwaite, 1931; Emberger, 1955 . . .) reposent essentiellement sur la comparaison entre l'offre pluviométrique et la demande climatique exprimée par l'ETP (Cornet, 1974) ou par une fonction plus ou moins empirique de la température. Cela conduit à l'élaboration d'indices servant à quantifier le degré d'aridité du climat. La portée de ces indices est toutefois limitée et leur extrapolation doit être faite avec précaution. Schmidt (1979) a montré, à l'occasion d'une étude critique sur les propositions de délimitation du Désert de Chihuahua que les indices ne sont pas toujours concordants.

L'indice d'aridité de De Martonne (1926) fait intervenir les précipitations annuelles  $P$  et la température moyenne annuelle ( $T$ )

$$I_a = \frac{P}{T + 10}$$

Sa valeur est de 8.6 pour le Laboratoire du Désert et de 8.7 pour Ceballos correspondant à un climat tropical aride. Schmidt (1979) utilise la valeur  $I_a \leq 10$  pour délimiter le désert de Chihuahua.

Le quotient pluviothermique d'Emberger (Morat, 1969) fait intervenir la moyenne des maximums du mois le plus chaud ( $M$ ), la moyenne de minimums du mois le plus froid ( $m$ ), le nombre de jours de pluie ( $N$ ) et les précipitations annuelles ( $P$ )

$$Q = \frac{NP}{3.65 (M + m) (M - m)}$$

sa valeur est ici de 2.2 ce qui correspond avec  $m = + 4.0^\circ\text{C}$  à un climat aride à hiver froid.

L'indice d'aridité de Stretta et Mosino (1963) est une adaptation de la formule d'Emberger (1955) aux conditions mexicaines

$$IA = \frac{(M + m) (M - m) (m + 45)}{P}$$

donne une valeur de 245 ce qui situe la station en climat aride de type  $A_2$ .

Pour la carte de la répartition mondiale des zones arides (UNESCO, 1977) l'aridité est exprimée par le rapport entre les précipitations annuelles moyenne (P) et l'ETP moyenne annuelle calculée suivant la formule de Penman

$$I = \frac{P}{ETP}$$

plus les valeurs de ce rapport sont basses plus le climat est considéré comme aride:

$I < 0.03$	Zone Hyperaride	
$0.03 < I < 0.20$	Zone aride	Pour Ceballos $I = 0.16$
$0.20 < I < 0.50$	Zone semiaride	

Les températures moyennes du mois le plus froid et du mois le plus chaud, ainsi que le régime des pluies et la longueur de la saison sèche sont utilisés en plus du degré d'aridité pour classer les climats. Dans ce système (UNESCO, 1977) le climat de la région qui nous intéresse est: "aride, à hivers frais, à été chauds à très chaud, à pluies estivales, présentant 8 à 9 mois de saison sèche".

Selon la classification de Koppen, adaptée pour le Mexique par García (1973), le climat de la zone correspond au type BWhw(e) c'est à dire: climat très aride, semi-chaud ( $18^{\circ} < \bar{T} < 22^{\circ}\text{C}$  et  $T_m < 18^{\circ}\text{C}$ ), à pluies d'été, et amplitude thermique élevée.

Le Tableau 13 montre la comparaison des valeurs d'indice d'aridité et leur classification climatique pour trois zones géographiques très distinctes appartenant aux régions arides.

Tableau 13. Comparaison des valeurs d'indice d'aridité pour trois régions arides éloignées géographiquement.

ZONE GEOGRAPHIQUE	DÉSERT DE CHIHUAHUA	ZONE SAHELIENNE NORD (SENEGAL)	TUNISIE PRÉ SAHARIENNE
	Stations CEBALLOS	PODOR	GABÈS
Précipitations annuelles	264 mm	300 mm	187 mm
Indice d'aridité de Martonne	8.7	7.8	5.1
Quotient pluviothermique d'Emberger	2.2	1.4	1.5
Indice d'aridité UNESCO, 1977	0.16	0.14	0.15
CLASSIFICATION UNESCO, 1977	Climat aride hiver frais été chaud pluies d'été 8 à 9 mois de saison sèche	Climat aride hiver chaud été chaud pluies d'été 8 à 9 mois de saison sèche	Climat aride hiver tempéré été chaud pluies d'hiver 8 à 9 mois de saison sèche

On voit qu'il est parfois difficile par les valeurs numériques des indices de séparer et de caractériser des climats qui sur le terrain paraissent bien distincts. Il est alors nécessaire de prendre en compte d'autres éléments tels que le régime thermique et le régime des pluies.

Pour caractériser de manière assez complète mais concise, le climat de la région on peut le décrire comme: "Climat tropical aride, continental, de moyenne altitude, à pluies d'été et hiver frais".

#### BIBLIOGRAPHIE

- BALDY, CH., 1978. Utilisation d'une relation simple entre le bac de classe A et la formule de Penman pour l'estimation de l'ETP en zone soudano-sahélienne. *Ann. Agron.* 29,5: 439-452.
- BRUNET-MORET, Y., 1969. Etude de quelques lois statistiques utilisées en Hydrologie. *Cah. ORSTOM série Hydrologie* 6,3.
- COCHEME, J. et FRANQUIN, P., 1967. A study of the agroclimatology of the semiarid area south of the Sahara in West Africa. *Rapport technique FAO/UNESCO/WMO.* Rome 1967, 325 p.
- CORNET, A., 1974. Essai de cartographie bioclimatique à Madagascar. *Carte thématique ORSTOM* No. 55: 1 notice 28 p. + 1 carte.
- CORNET, A., 1981. Le bilan hydrique et son rôle dans la production de la strate herbacée de quelques phytocénoses sahéliennes au Sénégal. *Thèse Docteur-ing.* USTL Montpellier, 1981, 353 p.
- CORNET, A., 1984. Análisis de los Datos Climáticos de la Estación "Laboratorio del Desierto". Reserva de la Biosfera de Mapimí, Durango, México. Período 1978-1983. 35 pp. mecanogr. Documento Técnico, Instituto de Ecología.
- CORNET, A., E. RIVERA y R. RUIZ DE ESPARZA, 1984. Observaciones sobre la Fenología de Algunas Especies Leñosas y Herbáceas en la Reserva de la Biosfera de Mapimí. Resúmenes IX Congreso Mexicano de Botánica. México, D. F., septiembre de 1984. 14 p. dactylo + 5 fig.
- DANCETTE, C., 1976. Mesures d'évapotranspiration potentielle et évaporation d'une nappe d'eau libre au Sénégal. Orientation des travaux portant sur les besoins en eau des cultures. *Agron. trop.* 31-4: 321-338.
- DE MARTONNE, E., 1926. Aréisme et indice d'aridité. *C.R. Acad. des Sci.* Paris, 182: 1395-1398.
- EMBERGER, L., 1938. La définition phytogéographique du climat désertique. *Mem. Soc. de Biogéographie*, 6: 9-14.
- EMBERGER, L., 1955. Projet d'une classification biogéographique des climats in *Coll. inter. C.N.R.S. Regions Ecologiques du Monde.* Paris, 1954, 59: 249-255.
- FLORET, CH. et R. PONTANIER, 1982. L'aridité en Tunisie présaharienne. *Travaux et doc. ORSTOM* No. 150, ORSTOM, Paris, 543 p.
- FRANQUIN, P., 1976. La caractérisation fréquentielle du milieu agroclimatique D.G.R.S.T. Comité Equilibre et lutte biologique. Groupe de travail méthodologie. Note 13, 32 p. multigr.
- GARCÍA, E., 1969. Distribución de la precipitación en la República Mexicana. *Bull. Instituto de Geografía, UNAM*, I: 175-191.
- GARCÍA, E., 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). *Publ. UNAM*, México, 1973, 246 p.
- GAUSSEN, H., 1955. Théorie et classification des climats et des microclimats. Congr. International of Bot. Paris, 1954.
- HALES, J.E., JR., 1974. Southwestern United States summer monsoon source: Gulf of Mexico or Pacific Ocean? *Jour. of Applied Meteorology* 12: 331-342 (in Schmidt 1983).
- HILL, J.B., 1969. Temperature variability and synoptic cold fronts in the winter climate of Mexico. McGill University, Depto. of Geography. *Climatological Research Series*, No. 4, Montreal (in Schmidt, 1983).

- KÖPPEN, W., 1926. Der geographische system der klimate, in *Handbuch der Klimatologie*. Ed. Köppen and Geiger, Vol. I, part C. Berlin.
- MCGINNIES, W.G., 1979. General description of desert areas in arid land ecosystems. Vol. 1, PBI 16, Ed. Goodall and Perry: 5-19.
- MEIGS, P., 1959. World distribution of arid land, semi-arid homoclimates. *Rev. Res. on Arid Zone Hydr.* UNESCO, Paris, 203-210.
- MORAT, PH., 1969. Note sur l'application à Madagascar du quotient pluviothermique d'Emberger. *Cah. ORSTOM sér. Biol.*, 10. déc. 1969: 117-132.
- MOSINO, A.P., 1964. Surface weather and upper air-flow patterns in Mexico. *Geofisica Internacional. Technical Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology*, 4: 117-168.
- PERRIER, A., 1975. Etude physique de l'évapotranspiration dans les conditions naturelles: I. Evaporation et bilan d'énergie des surfaces naturelles. *Ann. Agron.*, 26,1: 1-18.
- RASMUSSEN, E.M., 1967. Atmospheric water vapor transport and the water balance of North America: Part 1. Characteristics of the water vapor flux field. *Monthly Weather Review*, 95: 403-426 (in Schmidt, 1983).
- RIOU, CH., 1975. La détermination pratique de l'évaporation. Application à l'Afrique centrale. *Mém. ORSTOM*, 80, 236 p.
- SCHMIDT, R. H., Jr., 1979. A climatic delineation of the real Chihuahuan Desert. *J. of Arid Environments*, 2: 243-250.
- SCHMIDT, R.H. Jr., 1983a. Chihuahuan Climate. Invited papers from the *II Chihuahuan Desert Symposium*, 20-21 october, 1983. Alpine, Texas. Ed. Chihuahuan Desert Research Institute: 40-63.
- SCHMIDT, R.H., Jr., 1983b. Climate and the Chihuahuan Desert. In: *Natural Resources and Renewable Resources and Development in Arid Regions* (E. Campos and R.J. Anderson, Eds.). West View Press, Boulder, Co.: 35-52.
- SIERRA MORALES, R., 1981. Las trayectorias ciclónicas de 1976-1979, sus efectos e influencia en el régimen de lluvias de México. *Mem. del VIII Congreso Nacional de Geografía*. Toluca, Méx. I: 124-137.
- STRETTA, E.P. y MOSINO, P.A., 1963. Delimitación de las zonas áridas de la República Mexicana, según un índice de la aridez derivado del de Emberger. *Revista de Ingeniería Hidráulica de México*, 17, 1.
- THOM, A.S., J.L. THONY and M. VAUCLIN, 1981. On the proper employment of evaporation pans and atmometers in estimating potential transpiration. *Quart. J. R. Met. Soc.* 107: 711-736.
- THORNTHWAITTE, C.W., 1944. Report of the committee on transpiration and evaporation. *Trans. Am. Geophys. Union*, 5: 687 p.
- UNESCO, 1958. Afrique du Nord et Australie Méditerranéenne, in climat et microclimat. *Paris. Res. Zone Arides XI*: 141-147.
- UNESCO, 1977. Carte de la répartition mondiale des régions arides. *Notes Techniques du MAB 7* — UNESCO, Paris, 55 p.
- VILCHIS MARÍN, A., 1979. Estudio climático del Bolsón de Mapimí. *Tesis de Licenciatura*, UNAM, México, 136 p.
- VILCHIS MARÍN, A., 1981. "Las precipitaciones en el Bolsón de Mapimí y los estados atmosféricos que determina". *Instituto de Ecología, México*, 63 p. + anexos multigraf.



CARLOS MONTAÑA (Editor)

ESTUDIO INTEGRADO DE LOS RECURSOS  
VEGETACIÓN, SUELO Y AGUA EN LA  
RESERVA DE LA BIOSFERA DE MAPIMÍ.

I. AMBIENTE NATURAL Y HUMANO

INSTITUTO DE ECOLOGÍA, A.C.

MÉXICO. D. F.

1988

## Contenido

<i>Lista de Autores</i>	7
<i>Prólogo</i>	
F. DI CASTRI	11
<i>Presentación</i>	
C. MONTAÑA	15
<b>1. El Concepto de Reserva de la Biosfera</b>	
G. HALFFTER	19
<b>2. Principales Características Climatiques</b>	
A. CORNET	45
<b>3. Cenozoic Geology of the Eastern Half of the La Flor Quadrangle, Durango and Chihuahua, México</b>	
J. R. BARTOLINO	77
<b>4. Major Vegetation and Environment Units</b>	
C. MONTAÑA y R. F. BREIMER	99
<b>5. Physiographic Soil Survey</b>	
R. F. BREIMER	115

<b>6. Distribution Spatiale des Sols le Long d'une Toposéquence Représentative</b>	
J. P. DELHOUME	135
<b>7. Las Formaciones Vegetales</b>	
C. MONTAÑA	167
<b>8. La Vegetación y sus Relaciones con el Ambiente</b>	
C. MONTAÑA	199
<b>9. Lista de las Especies Vasculares</b>	
R. RUIZ DE ESPARZA VILLARREAL	225
<b>10. El Hombre y su Impacto en los Ecosistemas a Través del Ganado</b>	
H. BARRAL	241
<b>11. La Evolución del Uso de los Recursos Naturales Renovables en el Norte Árido de México</b>	
E. EZCURRA y C. MONTAÑA	269
<i>Anexos (ver contraportada)</i>	
<b>Mapa de Suelos de la Reserva de la Biosfera de Mapimí</b>	
R. F. BREIMER	
<b>Mapa de Vegetación de Reserva de la Biosfera de Mapimí</b>	
C. MONTAÑA	