

R

11-12

géographie des régions arides

jean dresch



puf
le géographe

Géographie des régions arides

Géographie
des régions arides

JEAN DRESCH

avec la collaboration de Christian Metzger



16° G

3378

(30)

COLLECTION DIRIGÉE PAR PIERRE GEORGE

72987-5891-5P 11-10
DL-11-15-1985-78927

LE GÉOGRAPHE

Géographie des régions arides

JEAN DRESCH

avec la collaboration de Christiane Motsch



PRESSES UNIVERSITAIRES DE FRANCE

DL-11-12-1982-38997

Géographie
des régions arides

JEAN DRESCH

avec la collaboration de Christiane Mouch



ISBN 2 13 037457 3

Dépôt légal — 1^{re} édition : 1982, novembre

© Presses Universitaires de France, 1982
108, boulevard Saint-Germain, 75006 Paris

SOMMAIRE

INTRODUCTION	7
CHAPITRE PREMIER. — <i>L'aridité</i>	13
1. Précipitations et humidité	13
2. Températures et évaporation	18
3. Indices, degrés et cartographie de l'aridité	22
4. Les causes de l'aridité.....	31
5. Le problème des changements de climat et de la désertification	35
CHAPITRE II. — <i>Les systèmes et milieux géodynamiques arides</i>	41
1. Les phénomènes météoriques	42
2. Le façonnement des formes	60
2.1. Les versants cryo-niveaux	60
2.2. Les versants rocheux de basse altitude	62
2.3. Modelés dans les marnes et les argiles	70
2.4. Regs	73
2.5. Loess	76
3. L'action des eaux courantes	78
3.1. L'organisation du drainage et les dynamiques des eaux courantes	78
3.2. Les formes résultant de l'action des eaux courantes	88
3.3. Les plaines de niveau de base	99
4. L'action du vent.....	103
4.1. La dynamique éolienne	103
4.2. Déflation et corrasion	109
4.3. Les accumulations sableuses	115
CHAPITRE III. — <i>La vie dans les régions arides</i>	139
1. Les conditions de la vie.....	139
2. Les plantes et les formations végétales	141
2.1. Les adaptations à l'aridité	141

2.2. Les oasis	145
2.3. Les « steppes ».....	147
2.3.1. Les steppes sahéliennes.....	148
2.3.2. Les steppes subtropicales de l'Ancien Monde	152
2.3.3. Les steppes continentales de l'Ancien Monde	153
2.3.4. Les formations végétales des Amériques arides	155
3. La vie animale	158
3.1. Les adaptations	159
3.2. Les modes de vie	164
CHAPITRE IV. — <i>L'homme et l'aridité</i>	169
1. L'Homme au « désert »	173
1.1. Le comportement physiologique.....	173
1.2. Les pasteurs	176
1.2.1. Le nomadisme « bédouin »	178
1.2.2. Les nomadismes montagnards et d'Asie froide	182
1.3. Les paysans	188
1.3.1. L'oasis	190
1.3.2. Les agriculteurs des steppes et des montagnes	196
2. Les crises des modes de vie traditionnels	202
2.1. Les pasteurs nomades	203
2.2. L'agriculture	207
2.2.1. L'agriculture irriguée	207
2.2.2. L'agriculture sèche des steppes	215
2.2.3. Les problèmes sociaux	221
2.3. L'urbanisation	229
2.3.1. Urbanisation pré-islamique et islamique	229
2.3.2. Urbanisation contemporaine	239
CONCLUSION. — <i>Désertifications et régionalisations</i>	245
BIBLIOGRAPHIE	257
TABLE DES FIGURES.....	269
INDEX DES NOMS : lieux et matières	271



Introduction

L'Européen moyen, surtout le Français, se représente le désert d'après ce que les manuels scolaires ou les mass media lui apprennent du Sahara, désert le plus proche : des immensités sans une plante ni un animal, considérées comme vides, composées pour une grande part de dunes que peuvent franchir seulement des chameaux et leurs guides, musulmans ou mystiques qui ignorent la société de consommation ou y ont renoncé. L'Américain ou le Soviétique n'ont pas du désert la même image. Le premier et, avec lui, beaucoup d'amateurs de westerns voient le désert hérissé de rochers et aussi de plantes surprenantes, succulentes, c'est-à-dire de « plantes grasses ». Mais il voit aussi de l'herbe, des Indiens, et des chevaux importés par les Européens. Le Soviétique, lui, imagine de grandes étendues sableuses, nullement dépourvues d'arbres, comme les *saxaoul*, et de pâturages parcourus, jadis du moins, par des pasteurs de moutons turco-mongols. Ainsi chacun a sa vision du désert. La notion de vide, d'absence de vie est de toute façon relative. Elle est plus exactement le sentiment d'une solitude que recherchaient les moines bouddhistes, les anachorètes, certains ordres monastiques¹ ou les « solitaires » de Port-Royal qui faisaient retraite au « désert », fût-ce dans la forêt, pour méditer.

Ainsi l'adjectif désert signifie abandonné et le nom exprime des paysages si variés qu'il a pris tardivement la

1. « Ils bâtirent de leurs propres mains, dans les déserts et les lieux sauvages, plusieurs monastères auxquels ils donnèrent des noms sacrés, la Maison-Dieu, Clairvaux, l'Aumône... », Orderic VITAL, *Histoire ecclésiastique*, VIII, 26 (1135).

signification proprement géographique qu'on lui attribue communément, pour confuse qu'elle soit. C'est à partir du XVIII^e siècle que les déserts se localisent sur les cartes de plus en plus précises et se réduisent dans les récits des voyageurs à des régions dont les caractères sont spécifiques. Les déserts se sont ainsi multipliés au point que le Français, qui voit le Sahara comme modèle, a de la peine à se reconnaître et introduit le terme encore plus vague de semi-désert. Mais des termes manquent pour désigner les transitions des déserts tropicaux aux savanes ou aux steppes et les paysages végétaux qui se succèdent depuis les « déserts » jusqu'aux forêts tropicales ou tempérées. Au bout du compte, le terme de désert est conservé par habitude et par référence aux régions désertiques mentionnées par un nom sur les cartes et dans la littérature ; il est utilisé pour la construction de mots nouveaux, pour exprimer la dynamique de la progression du désert qui effraye les autorités internationales, désertisation ou désertification : il n'a pas de valeur scientifique. C'est pourquoi on emploie de plus en plus l'expression de régions arides, car l'aridité a une signification bioclimatique, peut être quantifiée, faire l'objet d'une typologie et d'une cartographie sans cesse perfectionnées, surtout depuis la deuxième guerre mondiale.

En effet, les déserts occupent, dans la géographie zonale des continents, par comparaison aux autres zones bioclimatiques, une surface considérable, un tiers, plus ou moins car on ne saurait en préciser les limites par une ligne, entre 33 et 36 %, entre 45 (*National Geographic Atlas of the World*, 1975) et 50 millions de kilomètres carrés (48 857 000 km² d'après P. Meigs², plus de 50 millions d'après la carte de l'Unesco, 1977, 44 689 000 d'après l'Office of Arid Lands Studies, Univ. of Arizona, Tucson, 1979). Encore seraient-ils beaucoup plus étendus si l'on y ajoutait les déserts froids continentaux, les régions non cou-

2. P. MEIGS, *Arid and semi-arid climatic types of the world. Proceedings XVIIth Geogr. Congress, Washington, 1952, 1957*, pp. 135-138.

vertes par les inlandsis : surfaces rocheuses du continent antarctique et du Groenland en particulier, ainsi que, sinon les régions où le pergélisol est permanent (plus de 2 millions de kilomètres carrés), car le mollisol porte souvent la forêt, du moins les régions de toundra et de barren grounds. Ces déserts froids s'étendraient d'après T. L. Pew sur 4 900 000 km². Les déserts seraient plus étendus encore, à l'échelle du globe entier, si l'on comptait parmi les régions arides les secteurs océaniques soumis à l'influence relativement stable des hautes pressions tropicales océaniques qui prolongent fort loin vers l'ouest les déserts tropicaux continentaux et doubleraient très largement leur superficie³, ainsi que les inlandsis ou le pack qui couvre l'Océan glacial arctique et prolonge en mer le continent antarctique. Mais, si de la sorte la surface couverte par les déserts bioclimatiques serait beaucoup plus que doublée, l'habitude veut que soient éliminés de la conception communément admise des déserts aussi bien les déserts « glacés » que les « déserts climatiques marins ». A vrai dire ces estimations concernent les déserts et semi-déserts classiques consignés sur les cartes. Mais si l'on se réfère à la notion plus précise d'aridité, on constate que les savanes, pampas, steppes, prairies et autres régions caractérisées par des paysages végétaux comparables sont menacées par des bilans négatifs, tous les vingt à quarante ans selon les cas. C'est pourquoi la carte de l'aridité et de la probabilité de sécheresse dressée par V. A. Kovda *et al.* finit par intégrer plus de 50 % de la surface des continents. Elle couvre la France et toute l'Europe moyenne! Mais le décompte des années sèches par rapport aux moyennes ne saurait autoriser une extension pessimiste des régions arides. La carte mondiale de la désertification et celle des régions arides, publiées en 1977 à l'occasion de la Conférence des Nations Unies sur la désertification, portent sur des surfaces comparables : ce sont

3. Cf. C. TROLL et Kh. PAFFEN, *Karte der Jahreszeiten Klimate der Erde, Erdkunde XVIII, Heft 1, 1964, 1964*, pp. 5-28, carte h. 1.

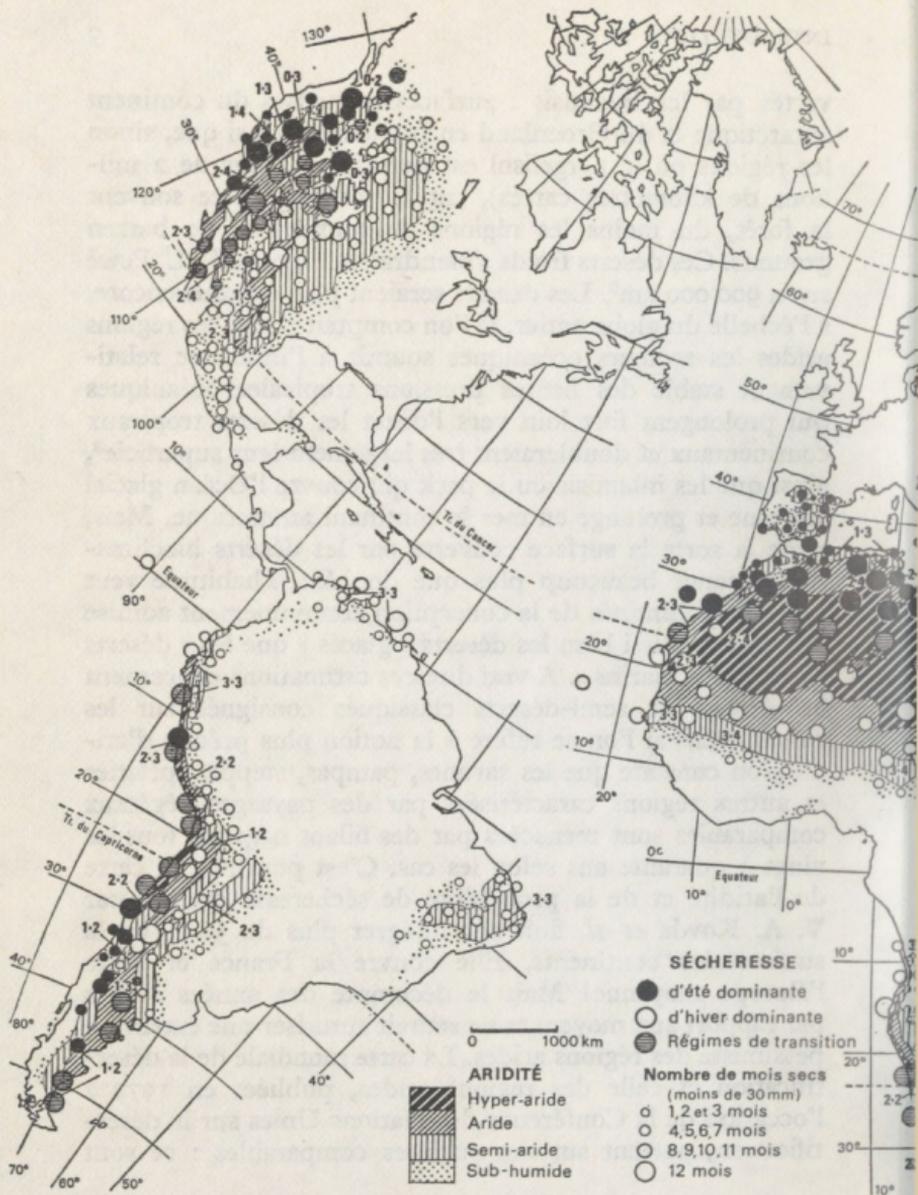
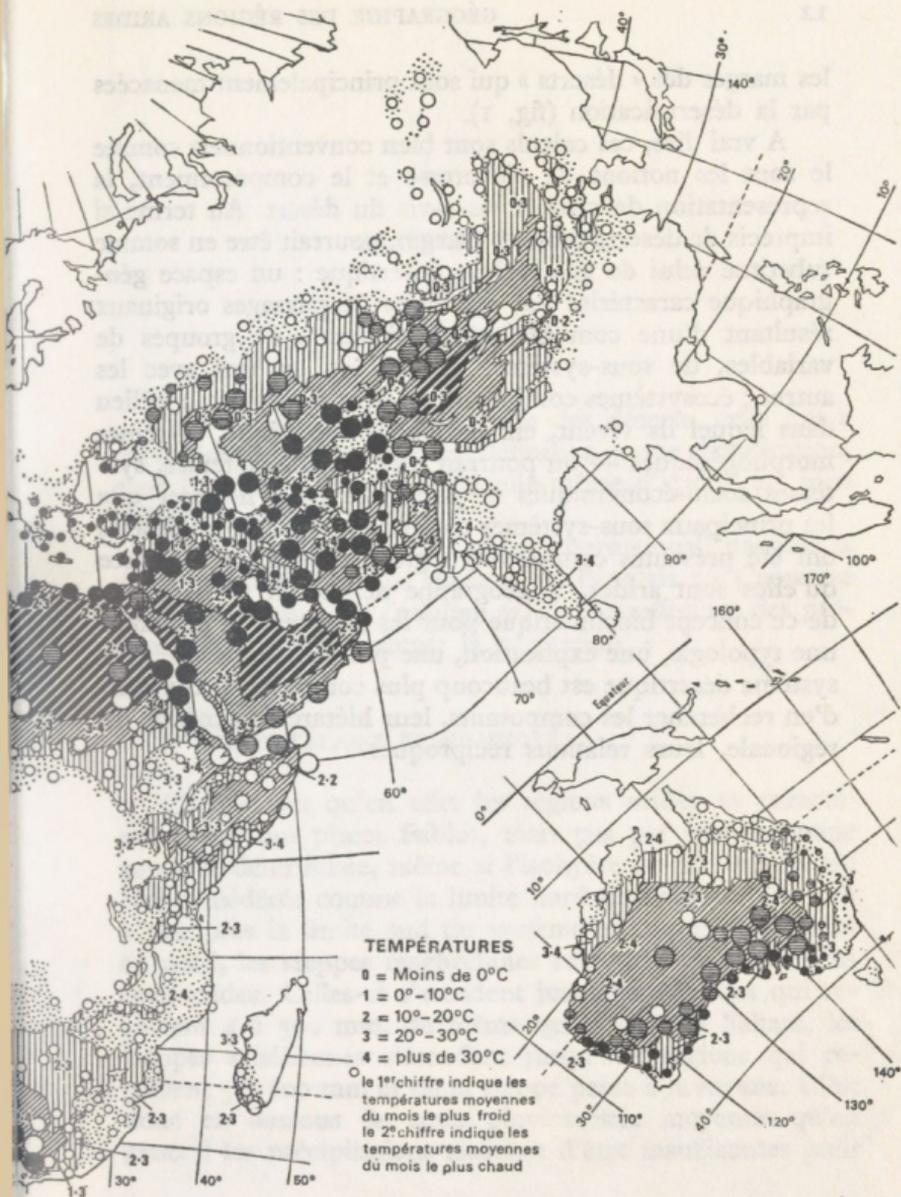


FIG. 1. — Carte des régions arides.

(D'après la carte Unesco 1977 (note technique 7 du MAB), établie par le Laboratoire de Cartographie thématique du CERCG, CNRS, Paris, 1977.)



les marges des « déserts » qui sont principalement menacées par la désertification (fig. 1).

A vrai dire, ces calculs sont bien conventionnels comme le sont les notions de sécheresse et le comportement, la représentation de chacun vis-à-vis du désert. Au terme si imprécis de désert, avec ses marges, pourrait être en somme substitué celui de géosystème désertique : un espace géographique caractérisé par des traits de paysages originaux résultant d'une combinaison de facteurs, de groupes de variables, de sous-systèmes en relation les uns avec les autres : écosystèmes combinant les êtres vivants et le milieu dans lequel ils vivent, en particulier climatique, systèmes morphogéniques — on pourrait dire morphosystèmes, systèmes socio-économiques et politiques pour ne citer que les principaux sous-systèmes composants. Car, si les déserts ont été présentés comme des régions privées de vie parce qu'elles sont arides, le géographe ne saurait se contenter de ce concept bioclimatique pour les analyser, en présenter une typologie, une explication, une problématique. Le géosystème désertique est beaucoup plus complexe. Il convient d'en rechercher les composants, leur hiérarchie générale ou régionale, leurs relations réciproques.

CHAPITRE PREMIER

L'aridité

Une caractéristique essentielle des déserts, celle qui a été utilisée pour proposer une définition et une classification, c'est l'aridité. Mais la notion elle-même d'aridité est bien difficile à définir.

Le vocabulaire météorologique international¹ propose la définition suivante, mal traduite de l'anglais : « Caractère d'un climat vis-à-vis (*relating to*) de l'insuffisance des précipitations pour maintenir la végétation. »

I. PRÉCIPITATIONS ET HUMIDITÉ

Chacun sait qu'en effet les régions arides se caractérisent par des pluies faibles, mais pas par une moyenne annuelle déterminée, même si l'isohyète de 100 mm a pu être considérée comme la limite nord du Sahara : elle suit à peu près la limite sud du système atlasique, mais, plus au nord, les steppes maghrébines sont bien pour le moins semi-arides. Celles-ci s'étendent jusqu'aux régions qui reçoivent 4 à 500 mm, de même qu'au sud du Sahara, les steppes sahéliennes s'étendent jusqu'aux régions qui reçoivent 5 à 600 mm et où la steppe passe à la savane. C'est donc en dessous de cette pluviométrie moyenne qu'en général les précipitations risquent d'être insuffisantes pour

1. Organisation météorologique mondiale (OMM), Genève, 1966.

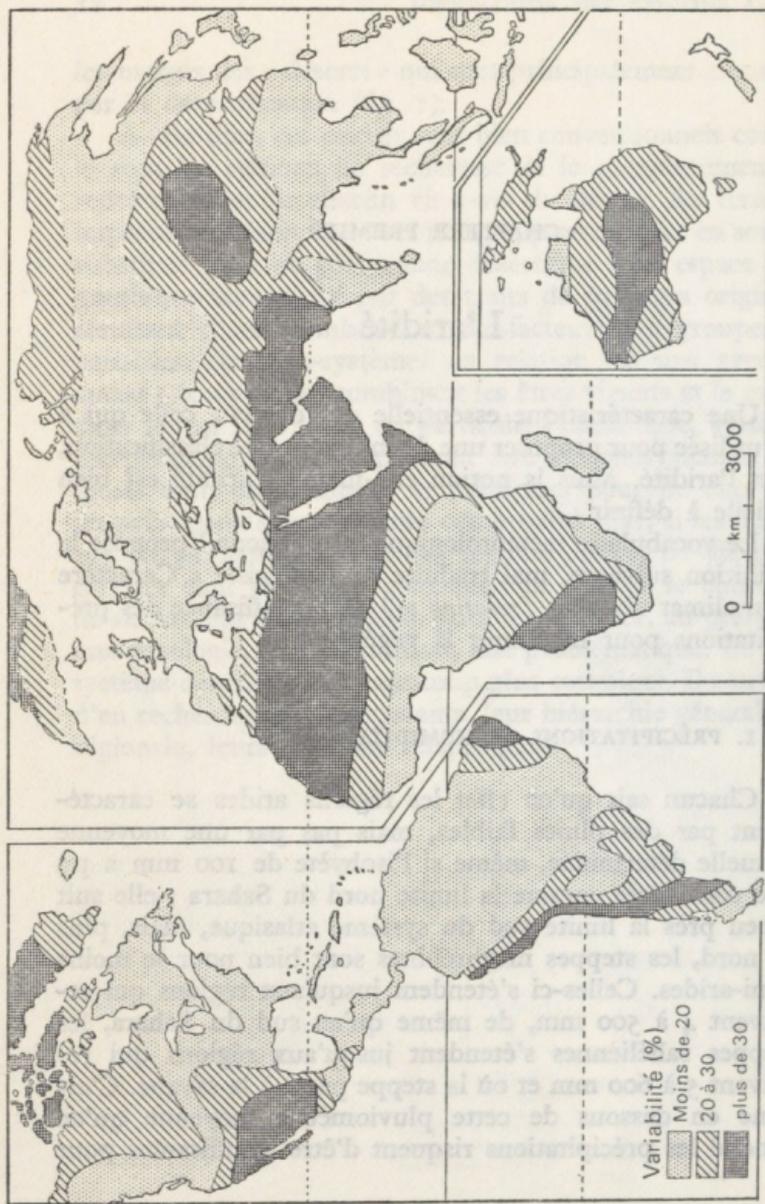


FIG. 2. — Variabilité interannuelle des précipitations : écart en pour cent à la moyenne annuelle. Il est supérieur à 20 % dans les régions arides. (D'après A. GOURDIE.)

la végétation. Mais ces pluies ne sont pas seulement faibles. Elles sont en outre irrégulières : dans les régions les plus arides, il peut ne pas pleuvoir pendant douze mois, pendant des années (désert d'Atacama). C'est là le caractère adopté pour définir les régions hyperarides.

Partout les précipitations se limitent à quelques mois de l'année. Leur nombre peut intervenir dans une typologie des régions arides. Généralement, elles sont saisonnières, tombent en été dans les régions tropicales ou dans les régions continentales tempérées, en hiver dans les régions méditerranéennes. Dans les régions tropicales, les régions de mousson spécialement, l'opposition entre la saison sèche et la saison humide est assez brutale et l'on peut utiliser la longueur de la saison humide pour distinguer par exemple les divers secteurs de la zone sahéenne au sud du Sahara : un mois et demi à deux mois pour le secteur sahélo-saharien, deux à trois mois pour le secteur sahéen proprement dit, trois à quatre pour le secteur sahélo-soudanien qui fait transition avec la savane. La répartition saisonnière des précipitations est plus complexe dans les climats méditerranéens. On peut y distinguer des secteurs à l'aide de la durée moins de la saison humide que de la saison sèche estivale, trois à six mois en général (fig. 1).

Partout cette répartition des précipitations, saisonnières ou non, est très irrégulière d'une année à l'autre. Les pluies arrivent rarement au bon moment pour l'agriculteur ; le plus souvent elles sont ou précoces et s'arrêtent, ou tardives. En fin de saison pluvieuse, elles s'arrêtent aussi trop tôt ou se prolongent au-delà des besoins. Les écarts à la moyenne sont généralement supérieurs à 25 % et augmentent naturellement vers les régions hyperarides où, par définition, ils atteignent 100 %² (fig. 2). Les années de vaches maigres sont ainsi plus fréquentes que les années

2. L'écart moyen relatif peut même dépasser 100 %. C'est en effet le rapport entre l'écart moyen et la hauteur des précipitations annuelles multiplié par 100. Tel est le cas notamment au Sahara libyen et dans le désert d'Atacama.

de vaches grasses. Quand se succèdent des séries de mauvaises années, c'est partout la catastrophe pour les populations, quelles que soient les précautions qu'elles ont coutume de prendre. La question se pose de savoir quelles sont les relations entre ces années sèches et les modifications dans la circulation atmosphérique générale, s'il y a des cycles et si, par suite, des prévisions sont possibles, si enfin des oscillations climatiques ne sont pas le signe de changements de climat.

L'aridité ne saurait donc être définie par la faiblesse du total moyen des précipitations. Ce total réparti dans un petit nombre de jours est d'une efficacité très variable. Fréquentes sont les précipitations qui, inférieures à 0,1 mm, ne sont pas mesurables ou celles qui, inférieures à environ 5 mm, sont insuffisantes pour provoquer un ruissellement et mouiller le sol en permettant aux graines de germer. Les jours où il ne tombe que des gouttes ou des précipitations non mesurables peuvent être trois à quatre fois plus nombreux que les jours de précipitations mesurables. Ils sont d'autant plus nombreux que l'aridité est plus grande (J. Dubief, 1963). Les jours de précipitations supérieures à 5 mm sont naturellement en proportion inverse et peuvent être séparés par de longues périodes sèches. Il est vrai que les précipitations peuvent être intenses : elles le paraissent d'autant plus qu'elles sont plus rares et frappent l'imagination. Leur moyenne annuelle est généralement supérieure à 1 mm par heure. L'intensité croît dans les déserts littoraux, dans les marges sahéliennes du Sahara, plus encore dans les marges méditerranéennes où le nombre des pluies dites torrentielles, supérieures à 30 mm en vingt-quatre heures, augmente sensiblement plus vite que les moyennes annuelles, plus encore enfin dans les montagnes. Des pluies de 50 à 100 mm, en vingt-quatre heures, voire beaucoup plus, sont signalées avec une fréquence d'autant plus grande que les régions sont moins arides. Dans le Sahel saharien la moyenne des précipitations pendant les orages de la saison pluvieuse dépasse 10 mm en dix minutes ;

la moyenne des précipitations journalières y dépasse les 10 mm, comme sur la marge méditerranéenne, et est supérieure au nord de l'Atlas maghrébin. La hauteur des précipitations d'une seule journée peut, dans la plupart des stations, dépasser la hauteur moyenne annuelle. Aussi les jours de pluie sont-ils peu nombreux, généralement inférieurs à 100, même dans les régions les moins arides, et si nombre de jours de pluie sont biologiquement inefficaces parce que les précipitations sont insuffisantes, d'autres ne le sont pas moins parce que les précipitations torrentielles déterminent des ruissellements intenses et des crues qui augmentent brutalement l'efficacité de la morphogénèse, provoquent noyades et destructions. Au surplus, les précipitations sont aussi mal réparties dans l'espace que dans le temps, d'autant plus qu'elles sont plus violentes, car des pluies fines peuvent se produire sur de vastes étendues. Du moins les différences entre les données de stations voisines sont-elles généralement fortes : les moyennes pluviométriques et leur répartition régionale ont d'autant moins de signification que l'aridité est plus grande³.

Il est vrai que les précipitations ne sont pas la seule source d'humidité. L'humidité relative joue un rôle important dans le bilan hydrique, voire dominant, du moins très variable selon les types climatiques de déserts, selon les saisons et en vingt-quatre heures. Elle est généralement faible dans les déserts continentaux. Sa valeur moyenne est de 15-20 % à 40-55 % suivant les mois au Sahara central et oriental. Mais les minima peuvent descendre à moins de 10, voire moins de 5 %. L'humidité relative moyenne est plus élevée en Asie moyenne ainsi que dans la plus grande partie de l'Australie. Elle est par contre très forte dans les déserts littoraux et s'élève souvent à 100 %. Elle oppose les déserts où le ciel est sans nuages, l'ombre absente, le rayonnement terrestre nocturne maximum aux déserts

3. A Arica (désert d'Atacama), la moyenne annuelle de dix-sept ans, 0,6 mm, fut le résultat de trois averses.

littoraux où la lumière est tamisée, les brouillards sont stables sur la mer ou sur la terre, plus ou moins longtemps selon les saisons. Ce sont là des conditions favorables à des précipitations occultes, condensations du brouillard, rosées, même dans les déserts continentaux dans la mesure où l'air n'est pas trop sec et les températures nocturnes sont basses ; mais l'albédo sur le sol nu est toujours élevé, variable suivant la couleur claire ou sombre de la roche ou du sol. Il détermine un échauffement diurne et un refroidissement nocturne différentiels et, par suite, des précipitations occultes très inégales localement et dans le temps. Celles-ci peuvent être importantes, plus même que les pluies dans les déserts littoraux. On a mesuré 40 à 50 mm en Israël, jusqu'à 100 mm dans le Neguev, 50 mm aussi dans le désert du Namib, des centaines de millimètres dans le désert côtier péruvien⁴. Dans les déserts continentaux tropicaux, au contraire, l'humidité au sol est inférieure à celle de l'air, mesurée à 1,50 m.

2. TEMPÉRATURES ET ÉVAPORATION

L'aridité ne se mesure pas seulement à l'aide de précipitations dont les moyennes ont, au surplus, peu de signification. L'effet de ces précipitations est, en outre, diminué par une forte évaporation qui résulte d'une forte insolation sur le sol nu et de températures élevées — puisque ces températures font, par convention, exclure des déserts les régions arides polaires. La forte insolation est elle-même la conséquence de la faiblesse des précipitations et de l'humidité relative, du moins dans les déserts continentaux. La durée de l'insolation moyenne est presque celle de l'insolation théorique, évidemment variable selon les latitudes et l'inclinaison des rayons solaires... et la hauteur des pré-

4. 1 240 mm sous eucalyptus en 1949 à Lachay alors que le pluviomètre a recueilli 204 mm.

cipitations. Elle est supérieure à 3 250 h dans le Sahel au sud du Sahara comme en Australie centrale, traversée par les tropiques sous lesquels l'insolation théorique est de 4 100 h. Elle diminue vers les marges méditerranéennes où elle descend en dessous de 3 000 h, n'est plus que d'environ 75 % de l'insolation théorique en Asie moyenne. Elle diminue plus encore vers les déserts littoraux, principalement ceux qui sont situés sur les façades occidentales des continents. La nébulosité est à l'inverse très faible ; exprimée en dixièmes de ciel couvert, la nébulosité annuelle est, dans les déserts continentaux, inférieure à 4 (Asie moyenne) ou 3, généralement à 2, parfois à 1.

Les températures moyennes sous abri, réduites au niveau de la mer, sont élevées, dans les déserts continentaux, tant sur leurs marges de basses latitudes qu'au centre des déserts : 22 à 26-27 °C au Sahara, jusqu'à plus de 30 °C au Sahara méridional. Elles sont sensiblement inférieures dans les déserts littoraux, 19 °C à Tarfaya au Maroc et en Atacama, 17 même à Walvis Bay au Namib. Les moyennes du mois le plus chaud sont généralement entre 30 et 35 °C dans la plupart des déserts et ne sont inférieures que dans les déserts littoraux ou d'altitude. Mais ce sont les maxima moyens et absolus qui expriment la chaleur « torride » des déserts. Les premiers dépassent presque partout, pendant les mois les plus chauds, 40 °C au Sahara continental, en quelques stations même 45 °C, en tout cas plus de 35 °C tant au Sahel que sur les marges méditerranéennes, au Moyen-Orient, en Asie moyenne soviétique, en Australie, dans le sud-ouest des Etats-Unis. Les maxima absolus dépassent souvent 50 °C et quelques stations se disputent les plus forts maxima absolus, 57 °C à Tindouf (Algérie), et dans la Death Valley (Californie), 58 °C à Azizia (Libye). Ces hautes températures s'y prolongent pendant les mois d'été, sans s'abaisser de beaucoup pendant la nuit, du moins dans les déserts continentaux tropicaux. Mais il y fait froid également. La moyenne des minima du mois le plus froid y est inférieure à 10 °C, à 4 ou 5 dans le Sahara

occidental et même dans les déserts littoraux. Elle s'abaisse bien davantage dans les déserts continentaux de la bordure méditerranéenne (Moyen-Orient) et de la zone tempérée : les minima moyens sont de -4 à -16 en Asie moyenne soviétique, les minima absolus inférieurs à -25 , à -20 en Arizona. Il gèle donc dans la plupart des déserts continentaux, dans le Sahara septentrional ainsi qu'en montagne où il peut aussi neiger (Hoggar-Tibesti). Dans ces conditions, les amplitudes des températures sont fortes, du moins dans les déserts continentaux, bien qu'on les ait exagérées, au Sahara du moins. L'amplitude diurne est plus marquée que l'amplitude annuelle dans les basses latitudes, 15 à 20 °C en moyenne annuelle au Sahara méridional, 14 à 16 °C au Sahara septentrional, davantage aux latitudes plus hautes. L'amplitude annuelle croît vers les déserts des latitudes moyennes : inférieure à $14-15$ °C sur les marges sahéliennes et littorales du Sahara, elle s'élève à environ 25 dans le Sahara septentrional et surtout ses marges méditerranéennes, à plus de 30 °C dans les déserts de la zone tempérée (fig. 1).

Mais les températures au sol et dans le sol expriment mieux que les températures sous abri les effets de l'inso-lation diurne et du rayonnement nocturne ainsi que leurs conséquences. Les températures maxima relevées en été ont été de $82,5$ °C dans la chaîne arabique, 80 au Tibesti et 78 au Sahara occidental, plus de 70 dans le sud-ouest des Etats-Unis, plus de 60 en Asie moyenne, soit 20 à 30 ° de plus que sous abri. Elles décroissent en effet très vite dans les premières dizaines de centimètres au-dessus du sol, et dès une quinzaine de centimètres au-dessous. Entre 15 cm et 1 m de profondeur, plus ou moins selon qu'il s'agit de sable, de dépôts plus grossiers ou de roches en place, et selon la saison, la température moyenne devient à peu près constante. Les températures maxima d'hiver au sol sont encore supérieures à 30 °C au Sahara. Les températures minima sont de même plus basses que sous abri ; le gel peut se manifester jusqu'au sud du Sahara, excep-

tionnellement, mais fréquemment au nord ou dans les déserts continentaux des moyennes latitudes. Dans le Gobi la température dans le sol s'abaisse à -30°C : l'amplitude annuelle est de 70°C . Ainsi les alternances toute l'année d'intense insolation diurne et de rayonnement nocturne, latéralement différenciées par les variations de l'albédo, font d'une mince tranche de sol le lieu de phénomènes physiques, voire biochimiques, particulièrement actifs.

Des températures aussi contrastées, surtout au sol dans le temps et dans l'espace, expliquent le déficit de saturation de l'air quasi permanent, c'est-à-dire la différence entre l'humidité relative et la saturation (100 %), du moins dans les déserts continentaux (40 à 55 % dans le Sahara central) et, par suite, une très forte évaporation. Celle-ci contribue à diminuer l'efficacité des précipitations et autres formes de condensations. Mais elle est difficile à mesurer. Les mesures sur bac rempli d'eau (bac Colorado) ou à l'évaporomètre Piche sont très contestables. Les moyennes d'évaporation au Piche sont généralement inférieures aux résultats obtenus au bac Colorado. Elles ont été cartographiées par J. Dubief au Sahara où elles sont les plus élevées, 6 m au centre du désert à l'ouest et plus encore en Libye, 3 m seulement sur les bordures sud et nord. C'est là le chiffre qu'on retrouve à peu près dans le Kalahari, en Californie. Il s'abaisse à moins de 1,50 m dans le domaine méditerranéen... et sur les océans et les mers tropicaux. Il s'agit bien évidemment, sur les continents, d'une évaporation potentielle. Encore n'est-elle que l'une des causes, théorique, du bilan hydrique déficitaire. Une part des précipitations s'infiltré. Une troisième part est utilisée par la transpiration des plantes. Mais ces deux dernières parts sont aussi difficiles à mesurer que l'évaporation, d'autant plus qu'elles s'influencent l'une l'autre. C'est pourquoi à la notion d'évapotranspiration (ETA) a été substituée, comme pour l'évaporation, la notion d'évapotranspiration potentielle (ETP) « quantité maximale d'eau susceptible d'être perdue en phase vapeur, sous un climat donné, par un cou-

vert végétal continu bien alimenté en eau » (*Vocabulaire météorologique international*, OMM, 1966). C'est donc une notion d'agroclimatologie, très utilisée depuis 1945.

3. INDICES, DEGRÉS ET CARTOGRAPHIE DE L'ARIDITÉ

Cette notion permet de calculer des indices plus précis que ceux qui, auparavant, avaient été proposés pour exprimer le bilan hydrique à partir d'une relation entre les précipitations et les températures, pour discutable que soit la signification de leurs valeurs moyennes. Il suffit de rappeler ici les formules qui ont été établies pour délimiter les divers types de climats arides. Köppen dans son ouvrage sur les climats de la terre (1931) a défini les climats semi-arides, climats de steppe en région méditerranéenne, par :

$$P \leq 20 T$$

où P et T sont les moyennes annuelles.

Les vrais climats désertiques étaient définis par

$$P \leq 10 T.$$

Dans les régions de pluies d'été, les formules correspondantes étaient :

$$P \leq 20(T + 14)$$

$$P \leq 10(T + 14).$$

Dans les régions sans saisons précises, les formules adoptées étaient :

$$P \leq 20(T + 7) \text{ en régions semi-arides}$$

$$P \leq 10(T + 7) \text{ en régions arides.}$$

De Martonne avait auparavant (1923) proposé un « indice » :

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

où P est la moyenne annuelle des précipitations et T la température moyenne annuelle. La valeur de l'indice aug-

mente dans ces conditions avec l'humidité et non pas avec l'aridité : l'hyperaridité correspond à une valeur de I inférieure à 5 ; la semi-aridité à 10-20. Malgré son extrême simplicité, l'indice permet de délimiter assez bien les « déserts » du globe. Pourtant, de Martonne et ses élèves ont tenté de le préciser en substituant à un indice annuel un indice mensuel, voire saisonnier, ou en faisant la moyenne arithmétique de l'indice annuel et de l'indice du mois le plus sec, multiplié par 12 pour être comparable à l'indice annuel :

$$I = \frac{P}{T + 10} + \frac{12p}{t + 10}.$$

Il est peu expressif dans des régions où l'irrégularité des précipitations est de règle et les températures sont contrastées, en dehors des déserts littoraux.

C'est pourquoi divers auteurs ont cherché à exprimer la longueur de la période sèche (*P*. Birot par exemple, pour les régions méditerranéennes) ou la rigueur des climats des mêmes régions méditerranéennes, en utilisant non pas les moyennes des températures mensuelles, mais les maxima moyens du mois le plus chaud (*M*) et les minima moyens du mois le plus froid (*m*) : l'indice du botaniste Emberger exprime mieux de la sorte l'amplitude des variations de l'évaporation :

$$I = \frac{P}{2\left(\frac{M + m}{2} \times M - m\right)} \times 100.$$

D'autres auteurs ont cherché à délimiter la sécheresse et l'humidité, plutôt pour les pays tropicaux, par une relation entre la pluviométrie moyenne annuelle et une fonction quadratique de la température moyenne annuelle (*P. Moral*).

En cherchant à préciser la relation entre précipitations et températures pour exprimer l'aridité et plus précisément l'évapotranspiration potentielle, les indices proposés s'appliquent de préférence à des régions arides particulières.

Pourtant des botanistes encore, H. Gaussen et F. Bagnouls d'une part, H. Walter et H. Lieth de l'autre, ont exprimé la longueur de la saison sèche annuelle à l'aide de diagrammes où sont représentés les mois en abscisses, en ordonnées les précipitations mensuelles, à droite en millimètres, les températures, à gauche, à une échelle double des précipitations. Un mois est donc considéré comme sec quand p (mm) est inférieur à $2t$ °C. Ces diagrammes ont été appelés par H. Gaussen *courbes ombrothermiques*, souvent utilisées (fig. 3). Ils ont l'avantage de pouvoir l'être dans toutes les zones bioclimatiques. H. Gaussen a du reste précisé ce qu'il entend par mois sec en liant les précipitations et la température par une fonction non linéaire : moins de 10 mm quand $t < 10$ °C, moins de 25 mm quand t est entre 10 et 20 °C, moins de 75 mm quand $t > 30$ °C. Il a en outre introduit dans la définition de jour sec l'humidité relative moyenne, inférieure à 40. Quand celle-ci est supérieure, le jour n'est que les 9/10 d'un jour sec (H entre 40 et 60) ou les 8/10 (H entre 60 et 80) ou les 7/10 (80-90) ou les 6/10 ; les jours de brouillard et de rosée comptent pour 5/10. Ainsi peut être proposé un *indice xérothermique* qui représente le nombre de jours biologiquement secs au cours de la période sèche. En combinant la valeur de l'indice et le nombre de mois secs, H. Gaussen a pu distinguer, dans les régions où la courbe thermique est toujours positive, des climats désertiques chauds (érémiques), subdésertiques chauds (hémi-érémiques, neuf à onze mois secs), à jours secs longs (xérothermiques), ou courts (xérochiméniques), à deux périodes sèches (bixériques), ou sans saison sèche (axériques). Le critère $p = 2t$ pour la détermination du mois sec a au surplus été discuté. P. Birot a proposé $p < 4t$. Aussi bien peut-on discuter sans fin sur la relation à adopter entre les précipitations et les températures pour définir un jour, un mois, une saison sèche ! Le résultat est toujours contestable car les précipitations, voire l'humidité et les températures, ne sont pas les seuls facteurs de l'aridité.

Dans l'impossibilité de corriger les données de l'évaporomètre Piche, malgré les tentatives non suivies de J. Dubief

($D = \frac{P}{E_j}$ où P exprime les précipitations utiles et E_j l'évaporation quotidienne) et de R. Capot-Rey ($I = 100 \frac{E}{P} + 12 \frac{P}{e}$

où l'indice du mois le plus humide est ajouté à l'indice annuel), de nombreux auteurs ont recherché depuis la dernière guerre des formules plus complexes et plus rigoureuses. La rigueur scientifique conduirait à écarter les facteurs T et P trop contestables et à recourir à la radiation solaire. Elle a été utilisée par M. I. Budyko et H. Lettau dont le « rapport de sécheresse » est :

$$D = R/LP$$

où :

- R est le bilan radiatif, c'est-à-dire la radiation solaire globale plus la radiation atmosphérique reçue à la surface, moins la radiation solaire réfléchie et moins la radiation émise par la surface ;
- P la précipitation moyenne annuelle ;
- L la chaleur latente de vaporisation de l'eau.

Le rapport indique donc, pour une station donnée, le temps nécessaire pour que l'énergie radiative nette reçue à la surface puisse évaporer la précipitation moyenne annuelle. Il a permis de dresser une carte fort intéressante où les régions humides ont un rapport inférieur à 1 et où les régions arides ont des rapports compris entre 3 ou 5 et 7 (Australie), 20 (Taklimakan, Roub' el Khali), 50 (Sahara continental, Namib, Atacama), 200 (Sahara libyen). La carte de Budyko accuse donc bien les contrastes du « rapport de sécheresse » et l'originalité climatique des déserts. Elle n'a pourtant pas été adoptée internationalement car elle ne permet guère une typologie.

Au contraire, parce que L. W. Thornthwaite a cherché à définir des indices multiples en utilisant de nombreuses données, on a utilisé sa méthode pour dresser la première

carte quelque peu détaillée des régions arides (Unesco, 1952). Botaniste et climatologue, Thornthwaite est resté fidèle à la recherche d'un bilan hydrothermique permettant de mesurer les besoins en pluie d'une prairie irriguée. Il a proposé une série d'indices, de pluvio-efficacité, d'évapotranspiration potentielle, des températures moyennes, de chaleur mensuelle et de concentration estivale ; il tient compte des latitudes et des saisons ; il combine ces divers indices d'humidité et d'aridité selon que le bilan hydrique est positif ou négatif. Ces indices et les cartes dressées grâce à eux correspondent assez bien aux cartes de Köppen et de de Martonne, sauf pour les régions froides. On les a critiqués parce que des facteurs importants ont été négligés, les maxima et les minima de températures, l'humidité atmosphérique, le vent. D'ailleurs, des stations identiques par leurs indices sont pourtant bien différentes. Ce sont néanmoins ces indices, complétés ou corrigés, notamment par celui d'Emberger, qu'a utilisés Peveril Meigs pour préparer la carte de l'Unesco. Il distinguait les catégories suivantes :

1 / *Hyperaride*, conformément à la définition d'Emberger.

2 / *Aride*, régions où la quantité des pluies est insuffisante pour des cultures sèches. Il convient d'ajouter que la végétation n'est pas un élément du paysage, sinon par taches, mais que l'action du ruissellement est sensible et que, à défaut d'écoulement permanent, sinon allogène, les précipitations provoquent des crues chaque année dans les « oueds » principaux. Ce sont les « déserts » classiques, correspondant à l'indice d'humidité de Thornthwaite supérieur à — 40.

3 / *Semi-aride*, régions où des cultures sèches sont possibles, où la couverture de végétation herbacée, ouverte, steppique, voire arborée, devient un élément essentiel de l'environnement et permet un élevage de petit et même de gros bétail, où des crues modèlent chaque année des chenaux d'écoulement mieux organisés.

Peveril Meigs n'ajoutait pas de catégorie semi-humide car on ne se préoccupait guère encore de désertification. Mais, à l'aide de lettres, il distinguait les régions où les précipitations tombent sans saisons distinctes, ou en été, ou en hiver. Il utilisait enfin des figurés et des chiffres pour exprimer les températures critiques, du point de vue de la biologie végétale, par les moyennes mensuelles du mois le plus froid et du mois le plus chaud : températures *froides* inférieures à 0 °C, *fraîches* entre 0 et 10 °C, *douces* entre 10 et 20 °C, *chaudes* entre 20 et 30 °C, *très chaudes* au-dessus de 30 °C⁵.

Pour la nouvelle carte de l'Unesco (fig. 1), on est revenu à une relation apparemment simple entre les précipitations moyennes mensuelles ou annuelles et l'évapotranspiration potentielle de la période correspondante. Mais l'ETP a été calculée d'après la formule de H. L. Penmann, formule fort complexe, à partir de l'évaporation physique sur une surface d'eau libre. Elle tient compte du bilan radiatif net, du pouvoir desséchant de l'air en fonction de la vitesse du vent. Elle a permis de distinguer les mêmes « zones » que Peveril Meigs :

— zone hyperaride, $\frac{P}{ETP} < 0,03$;

— zone aride, $0,03 < \frac{P}{ETP} < 0,20$;

5. Ces zones ou catégories adoptées pour les cartes de l'Unesco, à très petite échelle, peuvent être complétées, précisées à plus grande échelle, du moins dans le désert le plus étendu, le Sahara. Y. Dewolf, F. Joly, R. Raynal et G. Rougerie y ont distingué les domaines ou milieux suivants (Premières observations sur une traversée du Sahara central, *Bull. Assoc. géogr. français*, n° 399, mai 1972, pp. 191-211).

- 1 a) *Hyperaride accentué* : phénomènes éoliens quasi exclusifs mais sans grandes accumulations dunaires ;
- 1 b) *Hyperaride franc* : phénomènes éoliens dominants sans grandes constructions, coexistant avec des écoulements temporaires sur fortes pentes ;
- 2 a) *Aride accentué* : grandes accumulations éoliennes, écoulements liés à des dépressions localisées ;
- 2 b) *Aride modéré* : ruissellement temporaire diffus et constructions dunaires de petites dimensions ;
- 3) *Subaride* : ruissellement dominant la dynamique éolienne ; héritages de paléoflèches (emboitements, altérations) ;
- 4) *Semi-aride* : écoulements saisonniers ; cultures sèches.

— zone semi-aride, $0,20 < \frac{P}{ETP} < 0,50$;

— zone subhumide, $0,50 < \frac{P}{ETP} < 0,75$;

ajoutée à la liste de Peveril Meigs, mais dont les limites avec la précédente sont difficiles à établir par suite de l'irrégularité interannuelle des climats arides, spécialement des variations dans la longueur de la saison sèche. Elle comprend les régions que menace la désertification, régions d'agriculture et d'élevage, savanes sèches ($> 600 \text{ mm} < 800 \text{ mm}$), maquis et chaparrals méditerranéens, steppes continentales de la zone tempérée. Du moins les divisions adoptées par Peveril Meigs pour les régimes thermiques (0°C , 10°C , 20°C , 30°C) ont-elles été conservées. La carte de l'Unesco 1978 exprime en outre le nombre et la saison des mois secs, définis par des précipitations inférieures à 30 mm. Les résultats sont assez comparables à ceux qui sont obtenus par l'application de la formule $P > 2t$ de Gaussen-Bagnouls ou Walter-Lieth.

La carte des « déserts » (fig. 1) ne présente donc guère matière à contestation sauf dans les régions marginales où l'aridité progresse ou menace de progresser. Elle exprime l'extension mondiale de paysages bioclimatiques arides qu'on peut grouper en adoptant le classement dégressif des cartes :

— *Déserts extrêmes* ou *régions hyperarides*, à étés très chauds ou chauds mais pouvant comporter un hiver doux (Sahara à l'exception du littoral atlantique et libyen, Roub' al Khali en Arabie, une partie du désert sonorien au Mexique et aux Etats-Unis) ; *littoraux* à étés chauds ou doux (Atacama et désert péruvien, Namib) ; *continentaux* à étés très chauds ou chauds mais à hivers froids (Nefoud en Arabie, Lut en Iran, Taklimakan en Chine) ($5\ 850\ 000 \text{ km}^2$?).

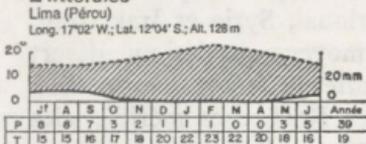
— *Déserts* ou *régions arides* (environ $21\ 500\ 000 \text{ km}^2$), *tropicaux*, à étés très chauds ou chauds et à hivers chauds,

① Régions hyperarides :

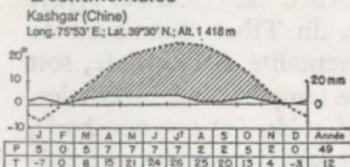
— à étés chauds



— littorales

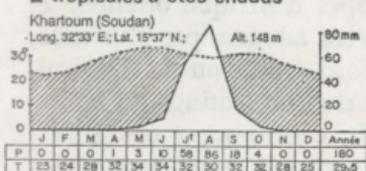


— continentales

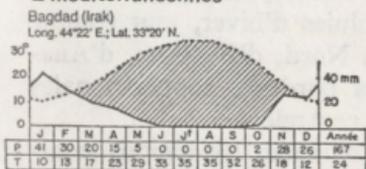


② Régions arides :

— tropicales à étés chauds



— méditerranéennes



— continentales

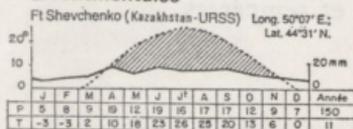
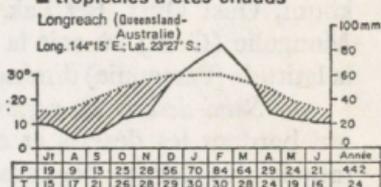


FIG. 3. — Diagrammes ombrothermiques.

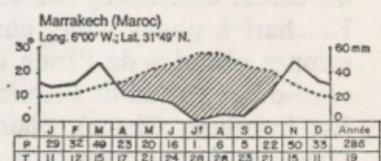
(D'après la carte Unesco 1978 de la répartition mondiale des régions arides (notice).)

③ Régions semiarides :

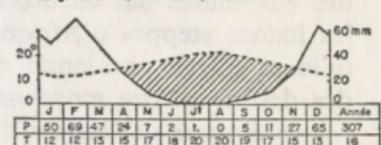
— tropicales à étés chauds



— méditerranéennes



Los Angeles (États-Unis)
 Long. 118°15' W; Lat. 34°00' N; Alt. 30 m



Quetta (Pakistan)
 Long. 67°01' E; Lat. 30°10' N; Alt. 1 674 m



Les régions arides sont celles où le bilan humidité-évapotranspiration est négatif toute l'année ou une partie de l'année, au point que la végétation en paraît absente ou du moins clairsemée. Aussi, les paysages y sont-ils minéraux, les formes dénudées du relief frappent l'imagination. Elles résultent en effet de processus originaux.

Ces pays, en apparence vides et sans vie, s'étendent sur plus du tiers de la surface des continents, depuis les « déserts » chauds tropicaux jusqu'aux semi-déserts et aux steppes subtropicales et continentales tempérées. Or, ni la végétation ni les animaux n'en sont jamais tout à fait absents. L'homme lui-même y a trouvé, à l'aube de son histoire, des conditions favorables à son expansion, à la pratique de l'élevage et de l'agriculture, à l'organisation d'Etats. Mais aujourd'hui où il craint de manquer d'espace et de ressources, les déserts, pour variés qu'ils soient, deviennent de vrais déserts et l'homme est responsable à la fois de leur abandon et de leur extension. La désertification peut-elle être combattue ?

BIBLIOTHEQUE NATIONALE DE FRANCE



3 7502 00679849 2

Participant d'une démarche de transmission de fictions ou de savoirs rendus difficiles d'accès par le temps, cette édition numérique redonne vie à une œuvre existant jusqu'alors uniquement sur un support imprimé, conformément à la loi n° 2012-287 du 1^{er} mars 2012 relative à l'exploitation des Livres Indisponibles du XX^e siècle.

Cette édition numérique a été réalisée à partir d'un support physique parfois ancien conservé au sein des collections de la Bibliothèque nationale de France, notamment au titre du dépôt légal. Elle peut donc reproduire, au-delà du texte lui-même, des éléments propres à l'exemplaire qui a servi à la numérisation.

Cette édition numérique a été fabriquée par la société FeniXX au format PDF.

La couverture reproduit celle du livre original conservé au sein des collections de la Bibliothèque nationale de France, notamment au titre du dépôt légal.

*

La société FeniXX diffuse cette édition numérique en accord avec l'éditeur du livre original, qui dispose d'une licence exclusive confiée par la Sofia – Société Française des Intérêts des Auteurs de l'Écrit – dans le cadre de la loi n° 2012-287 du 1^{er} mars 2012.

Avec le soutien du

