

Zeitschrift: Mémoires de la Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles.
Géologie et géographie = Mitteilungen der Naturforschenden
Gesellschaft in Freiburg. Geologie und Geographie

Herausgeber: Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles

Band: 4 (1905-1914)

Heft: 4: Le désert et sa végétation

Artikel: Le désert et sa végétation

Autor: Schröter, C.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-306875>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 23.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

LE DÉSERT ET SA VÉGÉTATION

par le prof.

Dr C. Schröter à Zurich.¹

Depuis l'apparition de la vie, le monde des plantes s'efforce de recouvrir d'un tapis de verdure la surface primitivement dénudée de notre globe.

Grâce à la quantité inépuisable de germes disséminés partout à profusion, grâce à un pouvoir d'adaptation quasi illimité vis-à-vis des conditions extrêmes, les nombreuses espèces végétales qui peuplent notre terre disposent d'une force d'expansion irrésistible ; aussi envahissent-elles les contrées les plus déshéritées en apparence et l'armée pacifique des millions d'espèces végétales que nous connaissons aujourd'hui, a pris possession de la lithosphère et de l'hydrosphère de notre terre. Les plantes nous donnent, par leurs groupements en associations multiples et variées, une fidèle image de l'infinie variété des conditions de la vie sur notre planète.

¹ Conférence avec projections lumineuses, donnée à Fribourg le 6 février 1914. — Cette conférence est une reproduction abrégée du chapitre IX du travail de MM. Rikli et C. Schröter : „Vom Mittelmeer zum Nordrand der Sahara“, publié dans „Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft Zürich. Vol 57-1912. — Paru aussi séparément chez Orell-Füssli Zürich. — Les planches sont tirées du même ouvrage. Pour la traduction, MM. les prof. P. Jaccard et M. Musy, m'ont prêté leur aide amicale.

Il y a des contrées où ces conditions deviennent hostiles à la vie végétale et c'est là que se produisent des lacunes dans le tapis végétal, lacunes caractérisées par la rareté ou l'absence totale de plantes. Nous les appelons « déserts », dans le sens le plus large du mot.

I.

Les déserts ne sont pas tous dûs à la même cause. C'est tantôt à un excès, tantôt à un déficit de l'une des conditions primordiales de la vie qu'ils doivent leur origine.

A cet égard on peut en distinguer les catégories suivantes :

Déserts arides, causés par le manque d'eau ; *déserts glacés*, causés par le froid ; *déserts thermiques*, causés par un excès de chaleur, comme dans les sources ; *déserts stériles*, causés par la stérilité naturelle du sol ou des eaux, c'est-à-dire par leur insuffisance en substances nutritives. Je rappelle les sols de Serpentine de nos Alpes, les « Alpes mortes » (Totalp) des Grisons, les déserts de gypse dans les « sables blancs » (white sands) du Nouveau Mexique.

Les *Déserts obscurs* sont causés par l'absence de lumière, par exemple le fond des océans et des grands lacs.

Sous le nom de *déserts osmotiques*, on pourrait désigner les sols et les eaux à concentration trop forte de solution nutritive, où l'excès de sels est nuisible à la végétation,

Enfin, il y a des déserts d'origine purement *mécanique* : la dureté du rocher, la mobilité des dunes, le fort courant d'un fleuve, la force du vent empêchent la végétation de prendre pied.

Mais tous ces déserts ne sont pas absolument dépourvus de vie organique ; celle-ci pénètre partout, surmonte tous les obstacles et crée des adaptations aux conditions les plus hostiles. Le désert absolu est rare. Partout nous

trouvons une flore désertique, qui gagne notre profonde sympathie par le courage avec lequel elle mène le combat contre une nature hostile.

Les *déserts glacés* (Champs de glace et de névé) nourrissent une flore d'algues et de champignons qui compte environ 70 espèces caractéristiques et non immigrées par hasard de régions plus favorables ; il suffit de rappeler l'algue bien connue de la neige rouge. Du reste, nulle part la température n'est assez basse pour qu'aucune plante ne puisse y résister.

Les *déserts thermiques* (Sources thermales) ont aussi leurs schizophytes particuliers qui supportent jusqu'à 80° C. Les bactéries thermophyles prospèrent encore à la température de 70° C. et même les flagellées qui vivent normalement à 16° C. ont été adaptées par Dallinger, à la suite d'expériences qui ont duré 7 ans, à vivre à des températures de plus en plus élevées jusqu'à 70° C.

Les *déserts stériles* des eaux ensoleillées sont habités par un plancton végétal, microscopique, propre à absorber, grâce à sa chlorophylle, l'énergie solaire qui lui permet de fournir la nourriture au plancton animal, qui sert de nourriture aux poissons.

Les *déserts obscurs* des abîmes océaniques hébergent jusqu'à 4—5000 m., une faune aux formes étranges.

Enfin plusieurs organismes inférieurs s'adaptent à de hautes pressions osmotiques (*Déserts osmotiques*) soit à des solutions très concentrées : des moisissures vivent encore dans des solutions de glucose à 50%, des Diatomées siliceuses dans des eaux salines dont la concentration s'élève à 23%, et dernièrement Namyslowski a découvert dans les eaux salines et souterraines de Wieliczka tout un monde d'amibes, de flagellées et de champignons qui se sont adaptés à une pression osmotique de 200 atmosphères.

Les lichens, qui vivent de peu, sont fixés sur les rochers les plus durs, les graminées rampantes et les

laiches (carex) végètent dans le sable mouvant des dunes ; le lit caillouteux des fleuves travailleurs des tropiques est habité par les *Podostemonacées*, famille réduite à des formes de lichens, d'algues et de mousses et la poussière des déserts anthropogènes, des routes et des places publiques n'est jamais exempte de bactéries.

Les déserts arides enfin, soit les régions pauvres en pluie, ont une flore variée de Xérophytes à moyens nombreux de protection contre la sécheresse et portant d'une manière évidente l'empreinte de leur milieu. Toutes ces plantes contiennent des ressources inépuisables pour l'étude des *adaptations*.

II.

Le désert par excellence, le désert des voyageurs, des poètes, du naturaliste et du public en général, c'est le désert *aride*, causé par la sécheresse. Nous ne nous occuperons que de celui-ci, en jetant en passant un regard à la steppe, qui se rapproche du désert par des transitions graduelles.

Pour le botaniste, le désert est la dernière expression de la réduction de la végétation par une sécheresse de plus en plus menaçante. Mais «*Natura non facit saltus*» : la nature ne procède pas par sauts : nous constatons une série ininterrompue de végétations de plus en plus réduites avec la diminution de la quantité d'eau : le marais, la prairie, la steppe, le désert forment une de ces séries de réduction.

Si nous définissons de préférence le désert d'après ses caractères positifs, nous pouvons le caractériser comme suit :

Le désert est une contrée aride causée par un climat sec ; la végétation peut manquer complètement, mais ordinairement elle est représentée par des individus isolés, herbacés ou ligneux adaptés à la sécheresse.

Une végétation passagère, plus riche, orne quelquefois le désert à l'époque des pluies ou des forts brouillards.

D'autre part, des espaces mieux arrosés sont couverts constamment d'un tapis de verdure ; ce sont les *oasis*, les îles de verdure dans l'océan d'aridité dûes aux conditions locales du sol plus humide.

Quelles sont maintenant les conditions de vie que le désert offre aux plantes ?

Le caractère décisif est la sécheresse : les contrées ayant moins de 25 cm. de pluie sont regardées comme *arides*. La comparaison d'une carte des pluies avec une carte des régions de végétation montre à l'évidence que la ligne de 25 cm. de pluie délimite les régions de déserts et de steppes.

Köppen a proposé de limiter les déserts aux contrées dont le mois le plus humide a au plus 6 jours de pluie.

Macdougall, un phytogéographe américain, fait intervenir surtout l'excès de l'évaporation sur la précipitation. En Amérique, on a mesuré très soigneusement ce facteur, négligé par la météorologie européenne, et l'on a constaté que, dans les stations les plus extrêmes, l'évaporation d'une surface libre d'eau peut être plus de trente fois supérieure à la précipitation (à Fort Yuma, dans l'Etat de l'Arizona). A Béni-Ounif, au bord du Sahara, station du chemir de fer saharien d'Oran à Colomb Béchar, on a constaté une évaporation 24 à 50 fois plus grande que la précipitation, suivant les époques et pendant les années 1905 à 1910. Ces chiffres sont tirés des observations de la station météorologique non publiées encore, mais que je dois à la complaisance de M. le prof. Trabut à Alger.

Quelquefois le brouillard est la source principale de l'humidité : ainsi dans le désert de Namah, sur la côte occidentale de l'Afrique méridionale, le prof. Schinz raconte que par le brouillard, le sable était rendu complètement humide jusqu'à 4 cm. de profondeur.

La rosée, très fréquente et très importante dans quelques déserts, surtout en Libye, dans le voisinage du Nil, est rare ailleurs, par exemple au Sahara.

Si nous jetons un regard sur les régions arides de notre globe, nous pouvons en distinguer quatre catégories d'après les causes de la sécheresse :

1. Les déserts *causés par les vents alizés* dus aux grands courants de la circulation atmosphérique des deux côtés de l'équateur.

L'air chauffé des régions équatoriales monte, se refroidit en montant, et laisse tomber son humidité condensée sous forme de pluies tropicales fertilisantes. Il est remplacé par des courants d'air venant du Nord et du Sud et détournés de leur direction par la rotation de la terre : ce sont les vents alizés. L'air qui s'élève, s'étant desséché, déborde des deux côtés de l'équateur et touche le sol au-delà des tropiques : c'est là qu'il produit des maxima barométriques et un effet desséchant, qui cause les deux grandes zones, les deux grandes bandes de déserts entourant le globe au-delà des tropiques.

2. Les déserts causés par l'action desséchante des chaînes de montagne sur les vents. (Désert orographique). Les massifs montagneux qui s'opposent à un courant dominant d'air humide, le forcent de monter, de se refroidir et de laisser tomber son humidité sous forme de pluie. Les contrées situées derrière ces montagnes reçoivent donc moins de précipitations. Voilà pourquoi sous le régime de vents orientaux, les côtes occidentales sont plus sèches. Dans l'Amérique du Sud, le désert se déplace avec le vent d'un côté des Andes à l'autre : au nord, sous l'influence de vents orientaux dominants, il est situé à l'occident des Andes ; au sud, sous l'influence de vents venant de l'occident, il se trouve à l'orient de cette chaîne de montagne.

3. Les *déserts littoraux* causés par des courants océaniques froids le long de la côte et empêchant la précipitation. La ville de Copiapo, située au milieu du désert de la côte du Chili, n'a que 8 mm. de précipitation annuelle, et la baie des baleines, dans l'Afrique méridionale, 7 mm. ; ce

sont les chiffres les plus bas de toutes les stations météorologiques du monde.

4. Les *déserts alpins* prennent naissance au-dessus de la zone des nuages d'été. Au pic de Ténériffe, au-dessus de la zone des brouillards, s'étend dans le «Cañadas» un désert prononcé et dans les déserts de la région nivale du Tibet, ce facteur contribue, avec le froid, à provoquer la dénudation.

A côté des mesures directes prouvant la sécheresse, nous avons une série de preuves indirectes de la rareté de la pluie dans les déserts.

Les habitations dans le désert, par ex. les Ksars primitifs des Sahariens, sont souvent bâties en briques séchées au soleil ; dans un climat humide ce matériel serait impossible, il serait détruit.

Dans l'île de Kischm dans le golfe persique, il existe une montagne de sel marin pur, longue de 6 km.

Fourreau a constaté dans le Sahara, que les traces de chameau se conservent jusqu'à 15 ans dans un sol argileux avec une netteté surprenante ; dans le désert californien, les traces de chars d'une expédition étaient même encore visibles 50 ans après.

Un excellent indicateur de la sécheresse est la nappe des eaux souterraines ; moins il pleut, plus elle est basse. Au Sahara, la «nappe artésienne» est située à une profondeur de 14 à 214 m. ; au désert du Texas, on ne l'atteint qu'à 300 m. de profondeur et près d'Aschabad dans le désert des Karakoum, on est descendu jusqu'à 660 m. sans trouver une trace d'eau.

Malgré les difficultés de les atteindre, ces eaux souterraines créent la seule possibilité de parcourir le désert. Les routes des caravanes ne sont qu'un réseau joignant les puits artificiels et naturels.

Les précipitations du désert ne sont pas seulement pauvres, elles sont en outre caractérisées par une inconstance et une distribution très capricieuse, interrompue par de longues périodes de sécheresse absolue, qui peuvent

durer plusieurs années. Lorsqu'enfin la pluie revient, elle tombe souvent sous forme d'averses violentes, soudaines et de courte durée.

C'est avec étonnement que le voyageur rencontre en plein désert des traces de torrents dévastateurs : à Duvayrnier, dans le Sahara algérien par ex., nous avons rencontré les débris d'un pont en fer du chemin de fer que les flots avaient enlevé. En 1876, une averse survint avec une telle rapidité qu'elle remplit tout le Wada Solop au Sinâï, détruisant un campement de Bédouins, tuant 40 hommes qui n'eurent pas le temps de se sauver ; mais non loin de là, l'eau disparut dans le sable et pas une goutte n'atteignit la mer.

Les géologues discutent la question de savoir si ces forces d'érosion récentes sont suffisantes pour expliquer le relief de la surface du désert : les vallons, les cours d'eau, l'érosion des rochers, ou bien s'il faut admettre une période fluviale, riche en précipitations et correspondant à notre période glaciaire, ou bien encore si l'action du vent pourrait être rendue responsable de ce phénomène. La question n'est pas encore tranchée, et je n'ai pas la prétention d'émettre un jugement sur ce point.

Pour les plantes, les précipitations sont surtout importantes par leur influence sur l'humidité du sol où elles puisent l'eau nécessaire. Sur ce point nous étions jusqu'ici très peu renseignés. Mais dans ces dernières années, les conditions écologiques des plantes du désert ont été étudiées soigneusement dans un laboratoire créé à cet effet. C'est le laboratoire de désert à Tucson, dans l'Etat d'Arizona (Etats-Unis), fondé en 1903 par Carnegie et doté de grandes ressources. L'année passée, j'ai eu l'occasion de le visiter. Un Etat-major de six botanistes et géologues travaillent là sous la direction de M. Macdougall avec beaucoup de succès.

Spalding et Livingstone, deux de ces savants, ont démontré que le sol du désert contient des quantités remarquables d'eau grâce à l'effet protecteur de la couche

superficielle, contenant beaucoup d'air et empêchant la transpiration. Dans les dunes du Sahara, près d'Aïn-Sefra, nous avons trouvé au-dessous de la couche chaude et sèche de la surface le sable humide et frais. C'est d'ailleurs une vieille expérience des agriculteurs des contrées arides. Dans les îles Canaries par exemple, surtout à Fuerta Ventura, les paysans ont l'habitude d'étendre sur leurs champs de blé une couche de sable volcanique, de « Lapilli » pour conserver l'humidité du sol. Une méthode spéciale d'agriculture, la culture sèche, « *Dry farming* » des Américains, s'est développée surtout en Amérique, elle est basée sur ce principe et donne de bons résultats. Tous les deux ans, on laisse les champs en jachère et couverts d'une couche bien travaillée et bien aérée, et dans ce laps de temps l'humidité du sol s'accroît suffisamment pour nourrir les cultures de l'année suivante.

D'autre part, cette couche aérée superficielle a le désavantage de ne laisser pénétrer que les pluies d'une certaine force ; les pluies faibles s'écoulent et s'évaporent. A Tucson M. Shreeve a démontré qu'un grand pourcent de la précipitation n'a aucune influence sur l'humidité du sol ; mais il y a là, en juillet et août, de grandes averses qui remplissent les réservoirs souterrains.

L'air du désert contient très peu de vapeur d'eau. Nous avons par exemple au bord septentrional du Sahara, les chiffres suivants : pour l'humidité relative (100 % indique la saturation) : Biskra 48 %, Laghouat 51,3 %, Ghardaia 34 %, El Golea 37 % ; les Minima sont 32,6 %, 34,7 %, 19,8 %, 14 %. Le Professeur Massart de Bruxelles, pendant un voyage entre Tougourt et Ouargle, le 18 mai 1898, a observé les chiffres suivants : à 5 h. 18 %, 10 h. 30 : 7 % ; 1 h. 30 : 4 % ; 2 h. 45 3 % ; 4 h. 10 : 3 % ; 6 h. : 6 % ; le 23 mai même seulement 2 %, et Schirmer, dans son bel ouvrage sur le Sahara, parle même d'un minimum de 0 % ! „Les lèvres sont gercées, les ongles se cassent comme du verre, l'encre sèche sur la plume, les miroirs se cassent sous la pression de leurs cadres ».

Le climat *thermique* du désert est caractérisé par sa nature excessive, par les grandes différences entre les Minima et les Maxima. Au Sahara, les Maxima absolus à l'ombre s'élèvent jusqu'à 51°, 40, les Minima tombent jusqu'à —7°, 5, Deckert cite même un Maximum de 58° dans la « Vallée de la Mort » en Californie !

Le sol se chauffe durant le jour jusqu'à 50, 60 et même 70° ; pendant la nuit, sous l'effet de la radiation très forte vers un ciel clair et dans une atmosphère sèche, la température s'abaisse tellement que les cailloux sautent avec une forte détonation, qui a souvent été confondue par les voyageurs avec des coups de fusil. L'oscillation journalière de la température de l'air à l'ombre peut atteindre jusqu'à 35°, et dans le sol au moins le double.

Le courant chaud ascendant est souvent si fort qu'il évapore la pluie à mesure qu'elle tombe. On voit descendre la pluie d'un nuage et l'on espère être trempé : mais en s'approchant on voit que, à plusieurs centaines de mètres au-dessus du sol, la pluie disparaît dans ce bain d'air chaud et pas une goutte n'atteint la terre. Ce sont les nuages du désert qui ne nous mouillent pas.

Les tempêtes sont très fréquentes au désert, au Sahara. Fourreau en a constaté une tous les quatre jours et, par conséquent, 6 0/0 seulement des jours sont calmes.

L'action érosive du vent du désert chargé de sable est très forte ; il polit les cailloux, il creuse les rochers, il enlève les parties les moins résistantes du sol, il ronge les plantes et les menace de déracinement ; il peut même balayer le sol jusqu'à une profondeur de 18 cm.

Il emporte la poussière fine en dehors du désert et la dépose dans les steppes avoisinantes, où elle est retenue par la végétation plus serrée, en formant les dépôts éoliens du Löss. Ainsi, le désert se caractérise comme une région où prévaut la déflation, la steppe comme une région d'accumulation.

Tous ces facteurs du climat : l'air sec, la température haute, le vent violent, se réunissent pour produire une très.

grande force d'évaporation dans l'air désertique. Et c'est ce qui est décisif pour le bilan de l'eau des plantes du désert : peu d'apport et par contre une forte perte d'eau ; c'est ce qu'elles doivent supporter.

La valeur de l'évaporation peut dépasser énormément celle de la précipitation : en 1906, par exemple à Beni-Ounif, il n'est tombé que 91,6 mm. de pluie pendant que dans le même temps, il s'est évaporé une couche d'eau de 4657,7 mm., soit 50 fois plus. Le lac d'Aral perd chaque année une couche d'eau de 1,15 m. par l'évaporation ; le lac de Balkasch, dans l'Asie centrale, perd annuellement 1300 millions de mètres cubes d'eau de plus qu'il n'en reçoit, de manière que son niveau s'abaisse chaque année d'un mètre.

Après avoir caractérisé ainsi le climat du désert par la sécheresse de l'air, les températures excessives, le vent violent et l'évaporation énorme, jetons un regard sur le sol. On se figure ordinairement un désert comme une immense plaine de sable, mais il n'est pas aussi uniforme, au contraire il montre une grande variété dans la configuration du sol. La nature désertique s'étend sur des montagnes entières, sur des vallées comme sur des plaines, et la surface du sol est très variée. Ici le voyageur croise des plateaux rocheux d'une extension immense, couverts de débris anguleux (le Hammada des Arabes), là il se heurte contre des masses entassées de cailloux polis par le vent (c'est le désert caillouteux, le *Reg* ou *serir*) ; puis il traverse des plaines argileuses immenses, imprégnées de sel, soit le sol de lacs salés desséchés (les *Setkas* du Sahara, les *Takyrs* des *Turkmènes*) ou bien il s'égare dans une mer de dunes difficiles à traverser se dressant de tous les côtés, c'est l'*Erg*, (au pluriel *Areg*) du Sahara, ce sont les *Barchanes* en Asie, (les *Medanos* au Pérou) ; ou bien enfin, le pied de son chameau écrase des masses salines efflorescentes.

Le caractère le plus général du sol est : richesse en sel et manque d'humus.

Ce sel des régions arides n'est pas du sel marin ; ce n'est pas le résidu d'une mer évaporée, mais l'enrichissement en sel du sol est une conséquence du manque de drainage qui constitue un caractère très important du désert : ses sources ne forment pas des ruisseaux, ses rivières se perdent dans le sable, ses lacs sans écoulement ont un niveau très variable et se dessèchent souvent, et les produits de l'érosion chimique du sol, c'est-à-dire les sels minéraux, ne sont pas emmenés vers la mer, mais ils restent dans le sol, montent à la surface par l'effet capillaire et forment des efflorescences. Souvent il se forme à la surface ou un peu en dessous, une croûte solide, produite par les eaux calcaires qui cimentent les particules du sol.

Ces sels du désert sont surtout des sels de soude, du sel marin, des sels de magnésie et heureusement aussi des substances nutritives pour les plantes, soit des sels de potasse, des nitrates et des phosphates. Voilà pourquoi les sols des régions arides montrent, quand on peut les irriguer, une fertilité riche et durable. Le Prof. Hilgard, le renommé agronome, a depuis longtemps insisté sur le fait curieux que les vieux centres de culture se trouvent non pas dans les contrées fertiles par elles-mêmes, mais dans les régions arides, où l'irrigation forme la base de l'existence : dans les Indes, en Perse, en Syrie, en Mésopotamie, en Egypte, dans l'Afrique du Nord, l'Espagne du Sud, au Mexique, dans l'Arizona, ainsi que dans l'Amérique du Sud, où la civilisation des Incas s'est développée sur l'aride pente occidentale des Andes, et non pas dans les forêts luxuriantes de l'Amazone. C'est ainsi que les régions arides jouent un rôle important dans l'histoire de l'humanité.

Le défaut d'écoulement des eaux a une grande importance au point de vue des formations géologiques d'origine désertique. La fine poussière est seule emportée par le vent, tous les autres produits de la décomposition des roches restent en place ; aussi le désert est-il le lieu d'ori-

gine de roches clastiques pauvres en fossiles. On a démontré du reste que des couches importantes de la croûte terrestre sont d'origine désertique.

Au point de vue anthropogéographique, le désert est hostile à la colonisation humaine et au commerce ; il ne tolère que de rares régions cultivables, les Oasis ; au contraire la steppe, avec son pâturage maigre, mais existant partout, est le domaine des nomades.

III.

Enfin nous arrivons à la végétation.

Quel en est le caractère ?

Le désert se montre hostile à la végétation par le manque d'eau combiné avec l'évaporation très forte, par le manque d'humus et la trop grande richesse en sels minéraux, par sa croûte imperméable, ainsi que par la mobilité du sol et par l'action destructive du vent.

Malgré tout, les déserts *absolus*, dépourvus totalement de toute vie organique, sont rares. Ce sont des déserts salés ou des déserts de sables. Le plus grand désert absolu se trouve en Perse ; c'est un désert de sable, où le botaniste Buhse ne trouva aucune trace d'être vivant sur une surface de 6325 km², soit à peu près une surface égale à celle du canton de Berne. Une partie du désert d'Akkla Makran, dans le bassin du Tarim (Asie Centrale) est si désolé que Sven Hedin n'y rencontra ni eau, ni vie pendant 11 jours de voyage. C'est un désert de dunes de sable. On trouve aussi de grandes étendues semblables dans le désert de Gobi et dans le Sahara.

Le désert ne possède donc ordinairement qu'une végétation éparse, plus dispersée que dans la steppe. On peut dire qu'il commence là où la surface du sol dénudé est plus grande que celle du sol couvert par la végétation.

Il faut distinguer en outre les déserts permanents et les déserts périodiques, dont l'aridité est interrompue par des périodes plus humides. Parmi ces derniers, le plus accentué s'étend sur une longueur de 540 lieues le long

de la côte septentrionale du Chili : pendant l'été (d'octobre à avril), une bande littorale de 620 lieues de large est totalement dénudée ; en hiver (de Mai à Septembre) apparaissent des brouillards épais et humides et subitement, comme par une force magique, la contrée se transforme en un jardin fleuri, un tapis de verdure parsemé de fleurs brillantes, faisant oublier la désolation qui y régnait auparavant.

Le printemps, dans la plupart des déserts, une période de pluie fait apparaître une verdure passagère qui anime, comme par un chaud sourire, la surface précédemment morte et *raide* de l'*Eremaea*. Des milliers de germes dorment sous le sol ; ce sont des graines, des bulbes, des oignons, des rhizômes. Une heureuse pluie éveille cette vie latente et, le lendemain, le sol s'orne de verdure et de fleurs. Au maximum de son développement, cette flore printanière du désert peut être comparée aux splendeurs si chères à nos yeux, d'une prairie alpine en pleine floraison.

Si cette période humide est une atténuation périodique du caractère désertique, l'Oasis en est une atténuation locale. C'est une île colonisable, produite par un apport d'eau continu, soit par une source, ou par un ruisseau venant des montagnes ou encore une nappe d'eau souterraine. Rien ne montre d'une manière plus frappante l'importance de l'eau pour la vie végétale, que ces taches vertes au milieu des sables arides.

Il existe aussi des formes imparfaites d'oasis, soit des dépressions, où la nappe d'eau souterraine est plus facile à atteindre : ce sont les *Dayas* du Sahara, les *Scholis* des Turkmènes, les *Schala* de l'Asie centrale.

Ce sont les stations préférées par les arbres désertiques, car le désert en possède aussi dont les longues racines descendent jusqu'aux sources profondes de la vie. C'est là que croissent, en Asie, le Saxaul (*Haloxylon-Ammodendron*), les Tamarisques et le Peuplier de l'Euphrate ; en Amérique, les Yucca, le Palmier à feuilles filamenteuses ; en Afrique, le Betoum (*Pistacia atlantica*), le Dattier, les Acacias et les Aloës arborescents.

Au point de vue floristique, le désert est pauvre : le Sahara entier nourrit sur ses 160 000 milles carrés, seulement 500 espèces ; mais cette flore est d'un type très spécialisé : elle possède de nombreux Endémismes et une série de types antédiluviens, extrêmement localisés.

Le désert joue un rôle important dans l'histoire de la végétation : il est un centre de création pour beaucoup de nouvelles espèces et il est un obstacle aux migrations et constitue une ligne de démarcation absolue pour des flores entières. C'est le Sahara et non la Méditerranée qui sépare la flore de l'Europe de celle de l'Afrique. Les déserts de l'Australie centrale sont la cause de la différence marquée qui existe entre les flores de l'Australie orientale et occidentale ; les déserts américains ont empêché la riche flore de la Californie de peupler l'Amérique orientale.

IV.

Mais ce qui provoque souvent notre intérêt et même notre sympathie pour la flore du désert, c'est son combat victorieux contre des conditions extrêmes ; ce sont les adaptations variées, c'est en un mot l'écologie de cette végétation.

Etudions d'abord la lutte contre la sécheresse.

Nous avons, pour ainsi dire, deux armées qui suivent une tactique opposée vis-à-vis de la sécheresse ; l'une, constituant la flore pluviale, évite la sécheresse, se borne aux périodes humides en buvant les eaux atmosphériques ; l'autre tend à supporter la sécheresse à l'aide des eaux souterraines.

La flore pluviale, printanière, périodique ne végète que pendant les périodes de pluie et passe le dangereux temps de la sécheresse à l'état de vie latente.

Nous avons plusieurs catégories de plantes pluviales, différentes par leur écologie :

D'abord les résistantes : elles ont une faculté étonnante de supporter la dessication, surtout quelques plantes cryptogamiques, des lichens, des mousses ; elles peuvent

être exposées pendant des semaines, des mois même à la dessiccation la plus énergique, même sous un dessicateur où elles deviennent si sèches qu'on peut les pulvériser, et cependant elles restent à l'état de vie latente et, dès qu'une pluie bienfaisante survient, elles s'éveillent et continuent d'assimiler et de croître. Elles n'ont pas d'adaptation visible ; leur résistance doit avoir son siège dans la constitution du protoplasma ou, pour le dire plus franchement, nous n'en savons rien !

Parmi ces plantes résistantes se trouve entre autres le lichen de la manne de l'Asie ; il forme une croute sur les pierres, il s'enroule sous l'action de la dessiccation, se détache de la pierre sous forme de globules pour être disséminé par le vent. Quelquefois les pluies l'entassent en grandes quantités dans les dépressions du sol, où les habitants le ramassent comme nourriture. Nous avons ensuite deux fougères de l'Amérique, les *Selaginella lepidophylla* et *serpentina* qui s'enroulent, se dessèchent et passent des mois dans cet état.

La seconde catégorie est formée par les éphémères : ce sont de petites herbes annuelles, germant par les premières pluies et produisant avec une vitesse étonnante des tiges, des feuilles, des fleurs et des graines. Quand la sécheresse survient, les graines tombent dans le sol, jusqu'à ce qu'une nouvelle pluie les réveille. Ces petits êtres passagers ne végètent que pendant les jours humides : ils n'ont donc pas besoin d'un moyen quelconque de protection contre la sécheresse ; les feuilles en sont grandes, non protégées et les racines superficielles.

Quelques-unes ont une méthode spéciale de disséminer leurs graines : la capsule qui les contient reste fermée à l'état sec et ne s'ouvre que lorsqu'il pleut ; les graines sont disséminées par la pluie et elles trouvent tout de suite un sol humide où elles peuvent germer. Ce sont surtout les deux roses de Jéricho, la vraie et la fausse (*Anastatica hierochuntina* et *Asteriscus pygmaeus*, qui appartiennent à cette catégorie.

Une troisième méthode est suivie par les plantes à réserves souterraines ; elles passent la période sèche sous forme de bulbes, d'oignons ou de rhizômes. A la saison des pluies, elles poussent des tiges aériennes éphémères. Des tulipes, des lis, des fritillaires, les *Urginea*, les *Aphodilles*, les *Amaryllis* et beaucoup d'autres *Monocotylédones* à belles fleurs se comportent ainsi. Rarement les organes de réserve sont au-dessus du sol ; c'est le cas chez le curieux pied d'éléphant de l'Afrique (*Testudinaria elephantipes*), qui possède un bulbe énorme reposant sur le sol et protégé par une cuirasse épaisse d'écailles subéreuses. Ses tiges volubiles n'apparaissent que pendant la pluie.

Voilà les méthodes que ces plantes à réserves souterraines emploient pour fuir la sécheresse ; ce sont des lâches !

Les autres au contraire, les courageuses, ne craignent pas la lutte, mais ont le courage d'exposer à l'air sec des pousses aériennes persistantes et protégées par des moyens très variables contre le danger de la dessiccation.

Ce sont les *Xérophytes*, soit des plantes à adaptations protectrices contre la sécheresse. On les reconnaît à leur structure et souvent l'effet égalisant de l'adaptation à des conditions analogues est si fort, si dominant, que des plantes appartenant aux familles les plus différentes deviennent tout-à-fait semblables. On appelle ce phénomène une *convergence* ; la plus frappante est celle des cactacées et des Euphorbiacées succulentes.

V.

Les adaptations xérophytiques, soit les moyens de protection contre la sécheresse, peuvent être groupées sous quatre points de vue différents :

Ce sont d'abord des moyens pour utiliser d'une manière intensive l'eau du sol ; puis des appareils pour emmagasiner l'eau comme réserve, ou encore des moyens de protection contre une perte trop grande d'eau par la trans-

piration et enfin des structures qui servent à protéger les tissus contre les effets mécaniques de la dessiccation.

Etudions successivement ces quatre catégories.

L'eau utilisée provient soit du sol, soit directement de l'atmosphère. La première est souvent puisée par les arbres désertiques à de grandes profondeurs : Les *Yucca* possèdent des racines de 15 m. de longueur, il en est de même des *Prosopis* des déserts américains. Les travaux pour le canal de Suez ont mis à découvert des racines de Tamarisques longues de 30 m.

L'eau superficielle, qui est protégée, comme nous avons vu, par la surface sablonneuse, est utilisée par des racines horizontales souvent très longues. Un exemplaire d'une cactée (*Opuntia echinocarpa*), haut de 48cm. avait, selon Coville, des racines longues de 2,70 m. ; chez le «*Drin*» des Arabes, (*Aristida pungens*, voir pl. I) la graminée la plus typique des dunes du Sahara, nous avons trouvé des racines d'une longueur de 11 m. ; Massart parle même de 20 m. Et ces racines horizontales sont admirablement adaptées à sucer l'eau des couches humides, car elles sont pourvues sur toute leur longueur de radicelles absorbantes. Dans le Cactus géant des steppes de l'Arizona, les botanistes du «*Desert-Laboratory*» ont trouvé des racines longues de 9 m., qui sont nues pendant les périodes sèches, mais qui se couvrent immédiatement de radicelles absorbantes sur toute leur longueur dès que la pluie est tombée.

Tout dernièrement, on a découvert un autre moyen très efficace dont se servent les xérophytes pour attirer l'eau du sol. M. Fitting, le physiologiste bien connu qui occupe actuellement la place de Strassburger à Bonn, a constaté à Biskra, que les cellules des feuilles des plantes du désert développent des forces aspirantes d'une intensité énorme, grâce à la forte concentration de leur suc cellulaire. Elles accumulent dans leurs tissus des substances qui ont une très grande force attractive pour l'eau, et sont douées d'un pouvoir osmotique considérable. Cette force aspirante correspond, par exemple, chez le petit buisson du sumac

(*Rhus oxyacantha*), à une pression de 100 atmosphères, soit à une colonne de mercure de 7,6 m. de hauteur. On comprend comment, avec cette puissante action aspirante, les plantes peuvent sucer les dernières traces d'eau dans le sol désertique. Et l'on comprend en outre comment des plantes dont les feuilles ne montrent aucun moyen de protection contre la sécheresse, comme par exemple le Harmel (*Pegamun Harmala*) le *Capparis*, le *Rhus oxyacantha*, le *Zizyphus lotus* peuvent résister à la dessiccation. Cette adaptation devient encore plus étonnante par le fait qu'elle varie selon les stations ; la même plante pouvant développer une pression osmotique d'autant plus grande que le sol est plus sec.

Ces résultats obtenus par Fitting sont extrêmement instructifs. Ils montrent que la plante possède des moyens de protection invisibles mais très efficaces. Il est très vraisemblable que la résistance « constitutionnelle » contre la dessiccation chez des plantes inférieures dont nous avons parlé tout à l'heure, est la conséquence d'un pouvoir osmotique très haut. En effet, M. Senn, de Bâle, a constaté dernièrement chez une algue aérienne, le *Trentepohlia* qui peut supporter un air très sec, une pression osmotique de 100 asmosphères.

Outre ces moyens d'utiliser l'eau du sol, on connaît chez des plantes du désert des appareils pour absorber directement l'eau atmosphérique, la pluie et la rosée. Ce sont des poils suceurs, couvrant les feuilles par exemple des *Diplotaxis Harra*, et qui absorbent l'eau par le moyen de cellules à parois minces et riches en protoplasma.

La seconde catégorie de moyens xérophytiques est formée par des organes emmagasinant l'eau. Ce sont quelquefois des cellules isolées pourvues de membranes gélifiées et retenant l'eau de cette manière ; ou bien encore des tissus aquifères dans la tige ou dans les feuilles. Nous appelons ces plantes gonflées d'eau, des *succulentes* et nous distinguons les plantes à feuilles succulentes et à tiges succulentes. Parmi les premières, nous avons en

Afrique les Aloës, les *Mesembryanthemum*, les Crassulacées ; en Amérique les Agaves. Une tige succulente, avec des feuilles réduites ou remplacées par des épines, s'observe en Amérique chez les Cactacées, en Afrique chez les *Stapelia*, le *Boucerosia*, les Euphorbes et plusieurs composées.

Ces plantes grasses sont les xérophytes les plus typiques ; la structure entière de la plante est dominée par le principe de protection contre la sécheresse : l'adaptation est plus forte que le caractère spécifique et ainsi des plantes des familles les plus différentes acquièrent le même aspect ; c'est un cas classique de convergence.

Ces plantes grasses montrent tout un ensemble d'adaptations xérophytiques : réduction de la surface transpirante, cuticule épaissie, stomates enfoncées sous l'épiderme, développement exubérant du tissu aquifère et des mucilages. Par conséquent, elles transpirent peu, et c'est pourquoi elles peuvent se chauffer considérablement au soleil ; on a mesuré chez le cactus géant du Mexique, à l'intérieur de la plante, des températures s'élevant jusqu'à 60°, au soleil. Les protubérances multiples, les cannelures, les côtes dont les tiges des cactées sont pourvues, sont peut-être un moyen de diminuer l'élévation de température en même temps qu'elles servent à augmenter la surface assimilante et le tissu aquifère. Au laboratoire du désert à Tucson, on a démontré par des mesures exactes que le cactus géant se gonfle sensiblement après chaque pluie, en remplissant son magasin d'eau, en même temps ses cannelures s'écartent comme un jeu d'harmonica.

Le troisième principe des xérophytes, la diminution de la transpiration produit des adaptations bien variées.

L'élévation de température et la perte d'eau sont réduites par les moyens suivants :

Les feuilles tournent leurs bords vers le soleil et non leurs surfaces (*Capparis*), les branches s'incurvent et transforment la plante en une sorte de boule dans laquelle les parties intérieures sont à l'ombre des extérieures (chez la « Rose de Jéricho »).

La surface transpirante est réduite par les moyens suivants :

1. la plante perd ses feuilles pendant les périodes sèches : on pourrait la nommer plante à verdure par la pluie (regengrün) le *Zilla* du Sahara, le *Fouquiera* de l'Arizona. On a constaté à Tucson que cette dernière et merveilleuse plante peut perdre et renouveler ses feuilles cinq fois dans la même saison, depuis février à septembre. Quand elle est tout-à-fait nue, il suffit de l'arroser fortement pour que, en cinq jours, elle se couvre de nouvelles feuilles.

2. Par la réduction de la surface de la feuille (Microphyllie) ;

3. Par l'enroulement du limbe de la feuille, surtout chez les graminées (*Stipa*, *Aristida*), et par les plantes à feuilles éricoïdes ;

4. Par l'avortement total des feuilles ; dans ce cas, c'est la tige qui devient verte et se charge de la fonction de l'assimilation ; les buissons ainsi adaptés prennent la forme de balai ; on les appelle buissons à Retama. Cette forme est très répandue dans les familles les plus différentes ; nous avons constaté au Sahara algérien 10 plantes à balai appartenant à 7 familles différentes ;

5. Par des structures spéciales et bien connues de l'épiderme : cuticule forte, production d'un enduit de cire, ou d'un feutre de poils rempli d'air ou encore enfoncement des stomates.

Il y a un type de plantes qui réunit, comme les plantes grasses, plusieurs adaptations xérophytiques ; ce sont les *plantes à coussinet*. Elles forment des masses sphériques ou hémisphériques compactes (voir pl. III), composées de pousses abondamment ramifiées, serrées les unes contre les autres et se terminant toutes dans la même surface sphérique. A l'intérieur du *coussinet*, ces pousses sont recouvertes dans toute leur longueur, par de petites feuilles écailleuses et desséchées.

On peut résumer comme suit les adaptations *xérophytiques* de ces merveilleuses plantes. Les milliers d'espaces

capillaires de l'intérieur du coussinet se comportent comme une éponge propre à absorber et à conserver l'eau. Il se forme, dans cet intérieur, un humus conservateur de l'humidité.

Les feuilles vivantes, coriaces ou tomenteuses, forment à l'extérieur une couverture protectrice contre un excès de la transpiration et contre l'action corrosive du vent.

La surface apte à transpirer est réduite à un minimum.

Le développement des coussinets « Polsterwuchs » constitue un cas de *convergence* très caractéristique. Sur toute la terre, on ne compte pas moins de 338 espèces de plantes phanérogames à coussinet, elles appartiennent à 34 familles différentes¹.

Enfin la dernière catégorie d'adaptations au climat du désert consiste dans la prépondérance du tissu mécanique et dans la formation d'épines. On a constaté par des expériences que ces caractères dépendent directement de l'influence du climat; des plantes épineuses cultivées dans une atmosphère humide perdent leurs épines. Ce n'est donc pas un caractère fixé par la sélection à cause de son utilité. Mais il va sans dire qu'il peut devenir utile comme moyen de protection contre le vent chargé de sable, contre les effets nuisibles d'une contraction des tissus par la dessiccation et contre les animaux herbivores.

Passons de l'influence du climat à celle des herbivores du désert: les antilopes, les girafes, les chameaux, les rongeurs sont dangereux pour les plantes désertiques. Le pâturage est maigre et si même les plantes les plus dures et les plus épineuses sont mangées par les chameaux, les plantes grasses, ces sources d'eau vivantes du désert, sont particulièrement exposées aux attaques des animaux. Les ruminants coupent la tête de ces cactus immenses en

¹ Voir *Hauri et Schröter*: Versuch einer Uebersicht der siphonogamen Polsterpflanzen. In Englers's bot. Jahrbüchern, Vol. 50 (Supplementband), 1914.

forme de tonneaux et sucent la sève des tissus aquifères gonflés d'eau.

On voit par cela que les moyens de protection ne leur donnent pas une garantie absolue contre tout dommage. Mais la plupart des buissons épineux du désert ont une très grande faculté de reproduction végétative, qui remplacent bientôt les pousses mangées ; c'est la meilleure réaction contre les attaques du chameau.

Les plantes à odeur forte et désagréable sont mieux protégées. Le Harmel, par exemple (*Pegamun Harmala*), qui semble offrir, avec ses feuilles larges, une pâture excellente, n'est jamais touchée par les chameaux, grâce à son odeur nauséabonde ; de même le *Cleome arabica*. La coloquinte, le retama sont amères, les euphorbes ont un suc laiteux et vénéneux.

La biologie florale et carpologique des plantes désertiques a très peu été étudiée jusqu'à présent.

VI.

Résumons brièvement, pour terminer, les caractères essentiels du désert et de sa flore :

Le désert, comme type géomorphologique et comme formation végétale est causé par le climat et le manque d'écoulement des eaux. Le climat désertique est caractérisé par la sécheresse, les précipitations capricieuses, les températures excessives, à grandes oscillations journalières, les vents très forts à action mécanique très prononcée et chargés de sable, l'évaporation très grande et surpassant de beaucoup la précipitation.

Le sol est caractérisé par les faits suivants :

La formation géologique et l'altitude sont sans influence, le terrain est souvent très accidenté, le sol peut être rocheux, caillouteux, argileux ou sablonneux ; il est toujours pauvre en humus, riche en sels ; il est enfin tantôt mobile, tantôt recouvert d'une croûte.

Les caractères de la végétation sont les suivants :

Elle est rarement nulle, le plus souvent elle est éparse, laissant plus de la moitié du sol à nu.

Elle peut être périodiquement plus riche (après la pluie) ou localement (Oasis).

Parmi les types biologiques, nous trouvons beaucoup de plantes annuelles, beaucoup de plantes grasses, beaucoup d'halophytes, de buissons épineux à feuilles petites ou nulles, ou encore poilues et des graminées à feuilles enroulées. Par contre, peu d'arbres, peu de plantes grim-pantes, peu d'épiphytes, peu de cryptogames (algues, champignons, lichens, mousses, fougères).

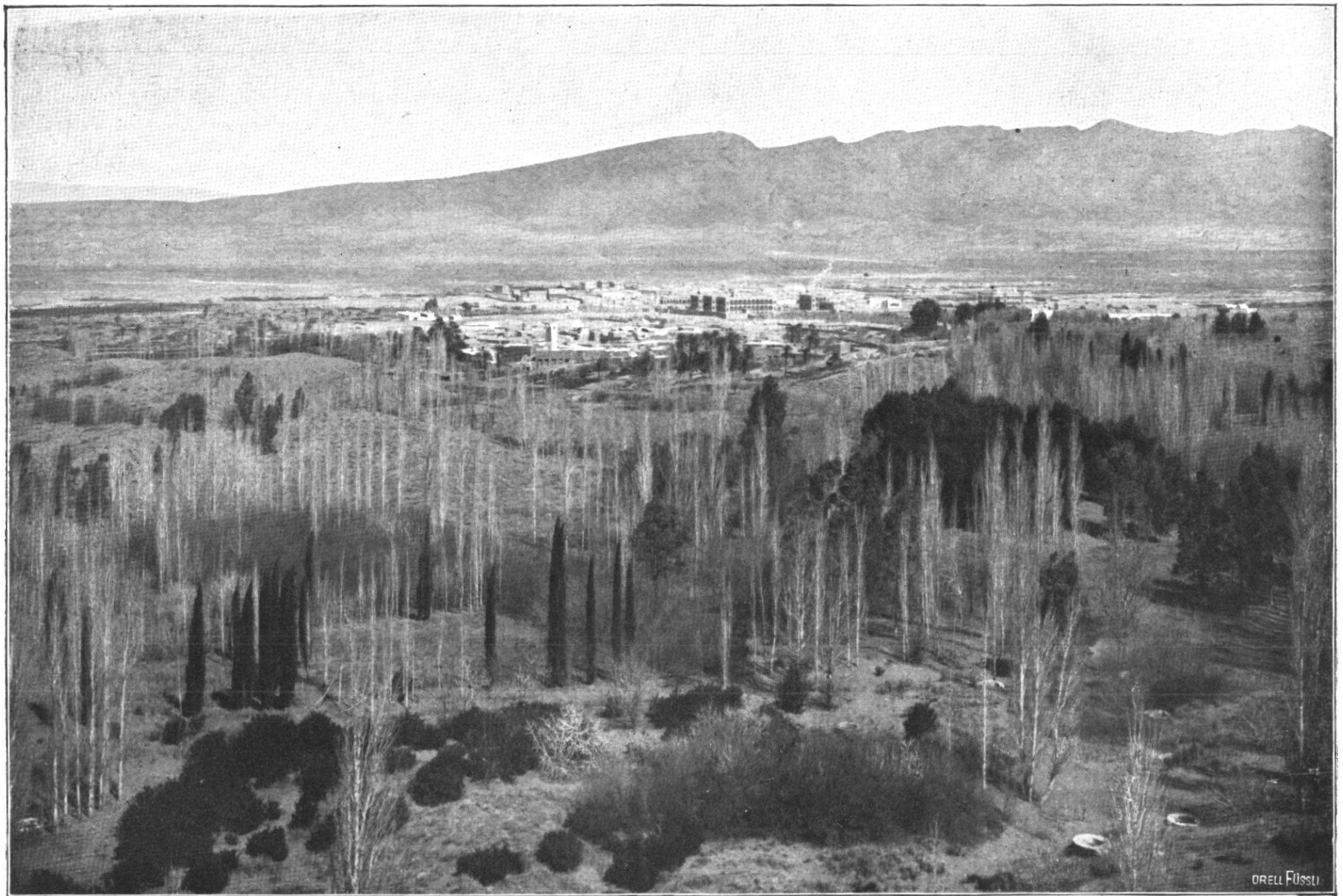
Les adaptations contre la sécheresse et le broutage sont nombreuses et variées. La flore est pauvre en espèces, mais riche en formes localisées et spécialisées.



Pl. I. — Dans les dunes d'Aïn-Sefra

Phot.: Prof. J. Businger, Lucerne.

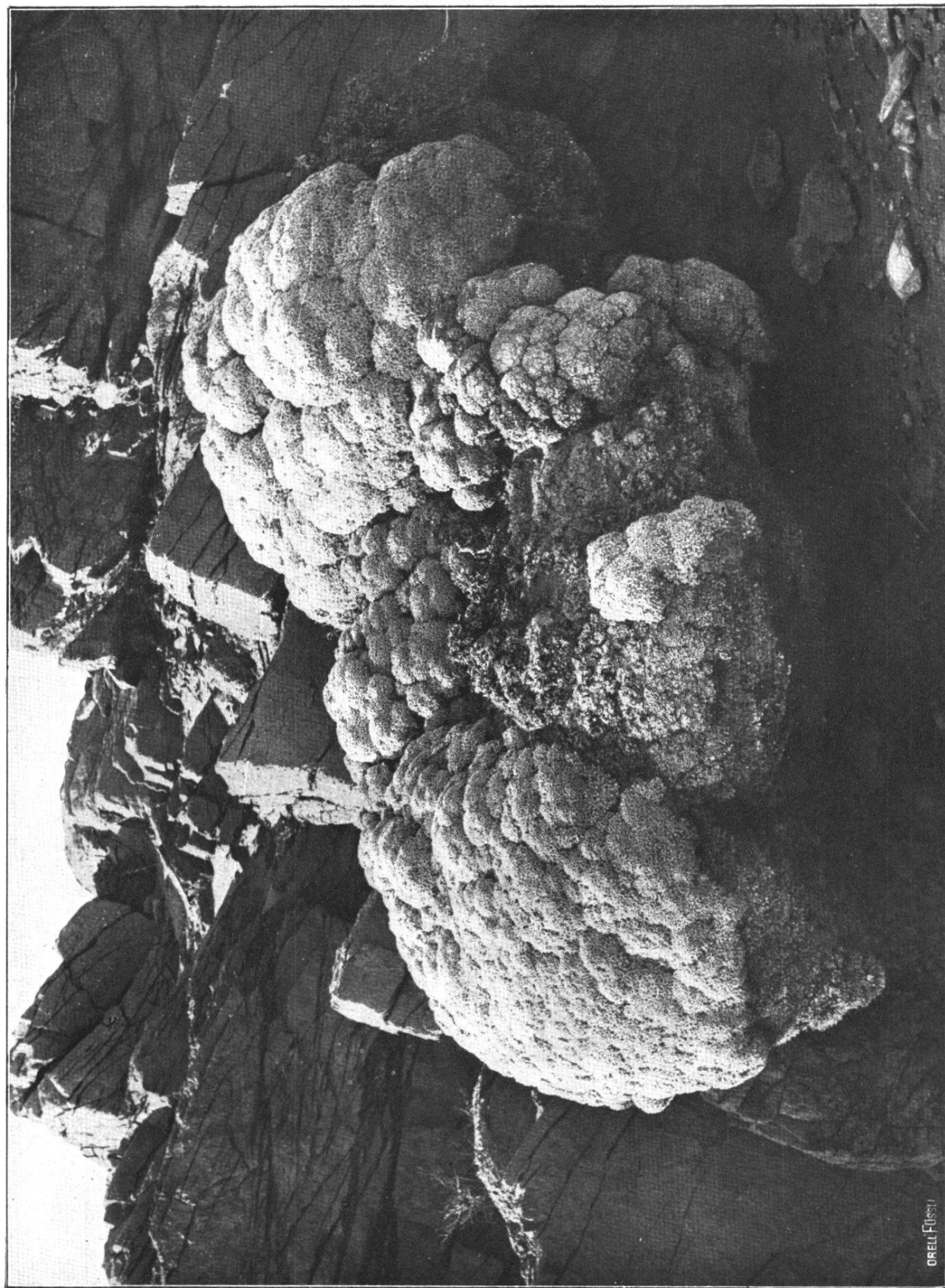
Premier occupant: *Aristida pungens* Desf. — Le « Drin » des arabes, Graminée dont les racines horizontales (Tauwurzeln) atteignent jusqu'à 20 m de longueur.



Pl. II. — Aïn-Sefra, à la limite nord du Sahara algérien

Phot.: Prof. J. Businger, Lucerne.

Au premier plan, protection contre l'avancement des dunes (de 1880–1885) à l'altitude de 1100 m, plantations de *Populus alba* L. et surtout de *Populus nigra* L. var. *fastigiata*, avec écorce blanche (*Populus Thevestina*, Dode), *Salix babylonica* L., *Robinia pseud-acacia* L., Laurier rose (*Nerium Oleander*). *Elacagnus angustifolia* L., *Ficus carica* L., différentes espèces d'*Eucalyptus*, *Cupressus sempervirens* L. et *Pinus halepensis* Mill.



OREL FLORE

Pl. III. — Coussin géant du « Choux-fleur » : *Anabasis aretioides* Coss. et Moq.

une Chénopodiacee, près de Hassi-Said (Sahara).

Phot.: A. Vollenweider, Alger.



Pl. IV. — Dunes et dattiers à la limite du désert près de Colomb-Béchar (Sahara).
La racine est en partie dénudée par l'action mécanique du vent.

Phot.: Prof. J. Businger, Lucerne-

