

ZONES ET BIOCHORES GÉOGRAPHIQUES

PAR

MARTIN VAHL

Déjà les fondateurs de la géographie ont reconnu que les zones astronomiques, limitées par les cercles polaires et les tropiques, ne donnent que très imparfaitement l'image de la variation des facteurs géographiques du pôle à l'équateur. — Ce fait provient en partie de ce que les frontières géographiques ne sont pas parallèles aux cercles de latitude, et en partie de ce que la simple tripartition du domaine compris entre l'équateur et le pôle donne trop peu de zones, lesquelles contiennent chacune dans leur superficie de trop grands contrastes géographiques.

Pour comprendre le travail qui a été accompli pour donner une répartition géographique en zones, nous devons nous demander d'abord en quoi consiste la tâche du géographe.

La géographie peut se diviser en deux sections principales. L'une considère la terre comme la demeure des hommes et recherche les conditions d'existence qu'elle leur offre. C'est la géographie physique.

L'autre traite de la civilisation humaine, c'est-à-dire de la faculté d'utiliser les conditions d'existence fournies par la terre. C'est l'ethnographie.

La science des pays examine à ces deux points de vue les divers territoires, tandis que la géographie générale considère à part les divers facteurs géographiques, soit

pour toute la terre soit pour un territoire déterminé. Mais quand le géographe se livre à des recherches approfondies et spéciales sur le terrain, le climat, la végétation, la civilisation, etc. d'un domaine déterminé, il aura toujours présent à l'esprit l'ensemble dont ses recherches sont une partie.

Même dans l'étude des déserts de glace antarctiques, l'intérêt principal du géographe se concentre sur l'importance que ces régions peuvent avoir pour les régions habitées, par exemple par l'action qu'elles exercent sur la circulation de l'air, sur les courants marins, etc. . .

Une division géographique en zones devra donc exposer les divers types de possibilités de culture qui se succèdent de l'équateur au pôle, délimiter leurs domaines, enfin rechercher comment ces types se rattachent aux changements dans les conditions naturelles de zone à zone.

Les conditions naturelles que la terre offre à l'homme et qui lui permettent de gagner sa vie: agriculture, industrie, commerce, chasse, sont tantôt locales, par exemple la fertilité du sol, la présence de minéraux précieux, l'accessibilité du pays, tantôt zonales, et alors il s'agit du caractère du climat. Ce caractère se déterminera d'après les relations du climat avec les plantes, savoir les plantes cultivées et d'autres plantes utiles à l'homme, telles que des arbres forestiers ou des plantes fourragères à l'état sauvage, etc.

L'influence directe du climat sur l'organisme humain est extraordinairement compliquée. Il faut noter en particulier que les isothermes ordinaires ne donnent pas une idée des conditions de température telles qu'elles sont ressenties par les hommes.

On constate cependant que la chaleur émise par une peau en sueur peut s'exprimer par une formule où la température de l'air et l'humidité peuvent s'éliminer, de sorte que l'émission de chaleur apparaît comme dépendant seulement de

l'état du thermomètre humide et de la tension maximale de la vapeur à cette température. Si l'on désigne la température de la peau par T_h et la tension maximale de la vapeur par E_h , la température de l'air par T_l et la tension de la vapeur au moment même par e , on aura l'équation suivante :

$$\alpha(37 - T_h) = \beta(T_h - T_l) + \gamma(E_h - e).$$

La grandeur placée à gauche du signe d'égalité désigne le courant de chaleur allant de l'intérieur du corps à la peau. Le facteur α varie avec la provision de sang amenée à la peau; mais si toutes les forces sont utilisées pour porter au maximum le dégagement de chaleur, il aura pour chaque individu une valeur constante. Le premier terme de la grandeur placée à droite du signe d'égalité représente le dégagement de chaleur dans l'atmosphère et l'autre terme représente l'émission de chaleur par l'évaporation produite sur la peau. La perte de chaleur produite par rayonnement est si faible qu'on peut la négliger. L'équation exprime donc que l'apport de chaleur à la peau est égale à la perte de chaleur.

Si l'on désigne l'émission de chaleur par V , l'état du thermomètre humide par T_f et la tension maximale à cette température par E_f , on aura les deux égalités suivantes :

$$V = \alpha(37 - T_h)$$

$$V = \beta(T_h - T_f) + \beta(T_f - T_l) + \gamma(E_h - E_f) + \gamma(E_f - e).$$

Or, d'après la formule du psychromètre, le second et le quatrième termes de la seconde équation sont égaux avec des signes différents, et l'équation peut se réduire ainsi :

$$V = \beta(T_h - T_f) + \gamma(E_h - E_f).$$

L'émission de chaleur se trouve ainsi déterminée par deux équations qui l'expriment comme fonction de la température de la peau et de celle du thermomètre humide et comme fonction des tensions maximales qui en dépendent aux mêmes températures. Comme l'une de ces températures avec la tension de vapeur qui y correspond peut s'éliminer, l'émission

de chaleur ne dépend que de la seconde. Cette formule ne tient pas compte de l'émission de chaleur par la vaporisation à travers les poumons, laquelle dépend seulement de la tension de vapeur momentanée, ni de l'échauffement de l'air inspiré à la température du corps. Du reste, pour le même état du thermomètre humide une augmentation de la température de l'air signifie une diminution de la tension de la vapeur. Si donc le thermomètre humide ne constitue pas un moyen parfait pour indiquer la sensation de température, il est cependant très instructif et explique par exemple pourquoi les Chinois supportent la chaleur tropicale beaucoup mieux que les Européens du Sud; car l'été humide de la Chine enregistre sur les thermomètres humides des températures beaucoup plus hautes que l'été sec du Sud de l'Europe. Harrington¹ a publié une carte qui indique pour les États-Unis des valeurs moyennes de l'état du thermomètre humide en juillet. Cette carte nous explique pourquoi dans les états de l'Est l'été paraît plus chaud que dans les états intérieurs de l'Ouest, où la température est cependant plus élevée.

Mais la terre contient tant de races humaines réagissant différemment au climat que chaque climat trouve des êtres humains capables d'utiliser les conditions d'existence qu'il leur offre.

La base de la division par zones doit donc être le climat tel qu'il agit sur les plantes. Les frontières entre les zones doivent être des frontières climatériques coïncidant avec des frontières botaniques.

Les fondateurs de la géographie héritèrent de l'époque antérieure une division en zones fondée sur des principes

¹ International Medical Magazine 1894. Comme je ne connais que par compte rendu le travail de Harrington, je ne sais pas comment il établit la valeur du thermomètre humide pour la sensation de la température, et j'ai dû moi-même en fournir la preuve.

astronomiques. En dehors de cette notion générale que la chaleur diminue quand on va de l'équateur aux pôles, on n'avait aucune idée de la répartition de la chaleur sur le globe jusqu'au moment où Humboldt,¹ avec sa génialité coutumière, imagina de rassembler les observations thermiques dont on disposait et de dresser sur ces données la première carte d'isothermes. Cette carte révéla que les isothermes ne suivent pas les latitudes, mais que les côtes orientales sont plus froides que les côtes occidentales. Humboldt n'avait pas en main les matériaux suffisants pour démontrer que cette constatation n'est valable qu'au nord de 35° environ de latitude nord et que le rapport est inverse entre 35° de latitude nord et de latitude sud. En ce qui concerne la cause de cette anomalie, ses idées non plus ne sont pas claires. En outre il devint évident que les isothermes d'été et les isothermes d'hiver ne sont pas parallèles. La chaleur moyenne de l'année ne peut donc caractériser le climat. Dans le *Kosmos* et dans divers autres écrits Humboldt revient sur la grande différence de flore que l'on peut observer en des points présentant la même chaleur moyenne annuelle, suivant que le fait résulte d'un hiver doux et d'un été frais ou d'un hiver rigoureux suivi d'un été chaud.

C'est surtout la géographie botanique qui devait susciter des progrès dans la théorie de la division en zones. Dès 1807 Humboldt publiait son *Essai sur la géographie des plantes*, dont il donnait la même année une édition allemande: *Ideen zu einer Geographie der Pflanzen*; c'est la première tentative faite pour traiter la végétation à un point de vue géographique (je dis à dessein „géographique“ et non „topographique“). Du reste les autres écrits de Humboldt fourmillent d'observations sur la végétation. Il insiste sur deux points: la physionomie de la végétation et

¹ Mémoires de la société d'Arcueil 1817.

les plantes cultivées. A une époque où l'importance physiologique de la physionomie des plantes était encore inconnue, son coup d'œil pénétrant en avait apprécié la valeur géographique. La théorie de Humboldt sur la physionomie des plantes a donné naissance à la théorie des formes vitales, de même que sa théorie sur les plantes en société et les plantes isolées fut le premier germe de la science des formations végétales.

C'est aussi en examinant la végétation des divers pays que l'on devait sentir particulièrement l'insuffisance de la répartition en trois zones. On trouve chez Leopold von Buch l'expression de subtropicale appliquée à une végétation qui se rapproche de la végétation tropicale. Schouw partage la zone tempérée en deux zones, l'une tempérée-chaude et l'autre tempérée-froide, mais sans les définir. De même il emploie à l'occasion les termes de subtropical et de subpolaire, mais sans les définir non plus. La première tentative pour donner une nouvelle division en zones se trouve dans l'ouvrage de Meyen intitulé „Grundriss der Pflanzengeographie (1836)“. Meyen conserve les trois zones conventionnelles et les subdivise ensuite. Il signale cependant que les tropiques et les cercles polaires ne correspondent qu'approximativement aux frontières géographiques et ne sont pas parallèles aux isothermes. Le domaine compris entre l'équateur et le tropique se divise en deux portions: la zone équatoriale, représentant 15° des deux côtés de l'équateur, et la zone tropicale, d'environ 15° à 23°.

Viennent ensuite la zone subtropicale d'environ 23° à 34°, la zone tempérée-chaude, d'environ 34° à 45°, la zone tempérée-froide d'environ 45° à 58°, et la zone subarctique, d'environ 58° à 66°.

Au nord du cercle polaire se trouvent la zone arctique, d'environ 66° à 72° et la zone polaire d'environ 72° à 82°.

Meyen admet qu'au nord du 82° degré de latitude nord il n'existe plus de vie.

A l'intérieur de chaque zone, il essaye ensuite de décrire le climat, la physionomie de la végétation et les plantes cultivées. Il ne réussit que très imparfaitement pour les trois premières zones. La connaissance de ces régions était encore très rudimentaire. Il est en meilleure posture pour parler des zones suivantes. La zone tempérée-chaude est caractérisée par ses arbres à feuilles toujours vertes, la zone tempérée-froide par ses arbres à feuilles caduques, et la zone subarctique par la prédominance des conifères.

La zone arctique est plus difficile à caractériser. Elle s'étend du cercle polaire à la limite des forêts; mais l'auteur ne peut indiquer de différence essentielle entre cette zone et la précédente. En réalité il n'a pas pu se débarrasser du cercle polaire, qui a encore moins de raison d'être que n'en avait le tropique comme frontière entre les zones subtropicale et tropicale.

La zone polaire se distingue par la rareté de sa végétation, l'absence d'arbres et de plantes cultivées.

De même que la décroissance de la chaleur de l'équateur au pôle donne naissance à une série de zones, de même la décroissance de la chaleur à mesure qu'on s'élève au-dessus du niveau de la mer produit une série de régions différentes.

Meyen croit retrouver les zones dans les régions d'altitude des montagnes tropicales, c'est-à-dire qu'en faisant vers l'équateur l'ascension d'une haute montagne on doit pouvoir rencontrer les mêmes zones de climat et de végétation que si l'on voyageait de l'équateur au pôle.

A chaque zone que l'on traverse, disparaît la région qui était auparavant la région la plus basse, et la région suivante se trouve déjà à la hauteur du niveau de la mer. L'auteur admet une épaisseur moyenne de 1900 pieds, correspon-

dant à une diminution de 3 degrés dans la température moyenne de l'année.

Meyen ne s'est pas dissimulé la difficulté qu'il avait à accorder son élégant système avec les observations.

Quant à l'absence d'une région d'arbres à feuilles caduques sur le versant ouest des Andes péruviennes, qui étaient alors presque la seule région montagneuse connue dans la partie centrale de la zone tropicale, il explique le fait par la sécheresse du climat qui empêche complètement la croissance des arbres. Dans le Mexique et sur l'Himalaya, à la frontière septentrionale de la zone tropicale il existe vraiment quelques rudiments d'une région d'arbres à feuilles caduques.

Dans la région des escallonias des Andes, Meyen voyait très justement un parallèle à la région des conifères. Il faut admirer sa pénétration à une époque où la théorie des formes vitales était encore en enfance.

Enfin Meyen fait observer qu' à une certaine région de terre basse scandinave correspond une température annuelle plus basse que dans la région correspondante d'une haute terre appartenant à une zone plus méridionale. Il explique fort bien le fait comme une conséquence de la différence de plus en plus grande entre les saisons à mesure qu'on s'avance vers les pôles. Il remarque encore, — ce qui du reste avait été mentionné déjà par Humboldt et Schouw, — qu'on trouve dans le Nord de l'Europe la culture du blé là où la température moyenne s'abaisse à 0°, tandis qu'aux tropiques on rencontre déjà la limite des neiges à une température moyenne égale. La cause en est dans la température d'été relativement élevée des régions scandinaves. Le mérite de Meyen est d'avoir exposé une division en zones qui, fondée sur les connaissances de l'époque, présente le rapport de dépendance de la végétation et de l'agriculture vis à vis des conditions de température telles qu'elles se modifient de l'équateur au pôle et en montant au dessus du niveau de la mer.

Pour arriver à cette division, l'auteur avait rassemblé tous les matériaux existants et comblé les lacunes de nos connaissances avec des hypothèses soutenables ou insoutenables. La ressemblance entre une ascension de montagnes et un voyage de l'équateur au pôle est devenu une sorte de cliché que l'on rencontre encore ça et là, bien qu'il soit démontré depuis longtemps que cette opinion ne concorde pas avec la réalité.

L'époque suivante devait collectionner des documents avant que l'on pût voir se produire de nouveaux progrès dans la théorie des zones. La seconde génération du XIX^e siècle est en somme une période de stagnation dans l'histoire de la géographie. Les grands fondateurs ne laissèrent aucun disciple. Les progrès qui eurent lieu dans la science positive ne furent pas dûs pour la plupart à des géographes et par suite ne furent pas tous également profitables à la science géographique proprement dite.

Mais lorsque les géographes commencent à se réveiller aux alentours de 1870, ils se mettent aussi à chercher une meilleure division en zones.

En 1879 parut dans les *Mittheilungen* de Petermann le travail de Supan intitulé: *Die Temperaturzonen der Erde*. Supan divise la terre en trois zones de température, dont chacune se subdivise en deux sous-zones.

La zone chaude est limitée au nord et au sud par des isothermes annuels de 20°. Elle se subdivise en zone tropicale où tous les mois ont une température moyenne supérieure à 20°, et zone ectropicale, où un ou plusieurs mois ont une température moyenne inférieure à 20°. Les zones tempérées ont une moyenne annuelle entre 20° et 0°. Elles se divisent en une zone équatoriale, où le mois le plus froid dépasse 0° et en une zone polaire, où le mois le plus froid est au-dessous de 0°.

Les zones froides ont leur moyenne annuelle au-dessous

de Zéro. Leur subdivision équatoriale a son mois le plus chaud au-dessus de Zéro, et ce mois est inférieur à Zéro dans la subdivision polaire.

Les zones de température de Supan ne reçurent pas un accueil favorable. Dans la première édition de sa Climatologie (1883), Hann leur adresse de vives critiques et proteste notamment contre la dilimitation de la zone tempérée à l'isotherme Zéro. Le Groenland du Sud se trouve gratifié d'un climat tempéré, tandis que la Sibérie du Sud-Ouest reçoit un climat polaire, bien qu'on se trouve ici à la limite sud de la zone des forêts de conifères; les forêts d'arbres à feuilles caduques commencent et on jouit des conditions les plus favorables pour la culture du blé.

Il est difficile d'imaginer une répartition moins géographique. De même l'isotherme annuelle de 20° ne constitue pas une bonne frontière pour la zone chaude. Elle coupe la Chine du Sud en un point où la nature n'offre aucune limite. Elle partage le bassin de la Méditerranée d'une manière étrange, de sorte que la côte occidentale de la Syrie se trouve dans la zone chaude et que la côte occidentale du Sahara tombe dans la zone tempérée. En Amérique, en Australie et dans l'Afrique du Sud, les résultats sont aussi défectueux.

La faute provenait de ce fait, — pourtant signalé très clairement cent ans plus tôt par les pères de la géographie, — que la chaleur moyenne annuelle donne une très mauvaise caractéristique d'un climat, car les êtres vivants ne dépendent pas de la chaleur annuelle mais bien de l'alternance des saisons. Les sous-zones de Supan étaient aussi caduques que ses zones.

Une répartition bien meilleure des zones de température fut proposée par Köppen¹.

Il range dans la zone tropicale les pays où tous les mois ont une température moyenne au dessus de 20°.

¹ Die Wärmazonen der Erde (Meteorologische Zeitschrift 1884).

La zone subtropicale a un ou plusieurs mois au-dessous de 20° , mais au moins 4 mois au-dessus de 20° .

Viennent ensuite trois zones tempérées :

La Zone à été chaud a au moins un mois au-dessus de 20° . La zone tempérée constante a tous les mois entre 10° et 20° . Dans la zone à été frais aucun mois ne dépasse 20° en moyenne, mais 4 mois au moins dépassent 10° . On voit que si l'isotherme de 10° pour le mois le plus froid coupe ou passe sur le côté équatoriale de l'isotherme de 20° pour le mois le plus chaud, la zone tempérée constante cesse et la zone à été chaud est remplacée directement par la zone à été frais. En fait la zone tempérée constante n'est représentée dans les terres basses que par quelques petites îles océaniques, mais par contre elle a une grande extension dans les régions montagneuses des tropiques. La limite nord de la zone à été frais coïncide à peu près avec la limite nord du chêne et de la culture du froment. La zone froide a un mois au moins, mais moins de 4 mois au-dessus de 10° . Sa limite nord coïncide à très peu près avec la limite des forêts. La zone polaire a tous ses mois au-dessous de 10° .

Le progrès réalisé dans cette répartition consiste en ce qu'elle tient compte des saisons. Il faut y remarquer comme ayant une valeur durable la démonstration de ce fait que la limite des forêts dépend seulement de la chaleur estivale. Quant à la valeur approximative de 10° pour le mois le plus chaud, elle se maintiendra jusqu'à ce qu'un réseau plus serré d'observations météorologiques permette de la déterminer avec plus de précision.

Köppen a démontré en outre que certaines limites de végétation qui ne sont pas parallèles aux isothermes d'été sont parallèles aux courbes de durée de la saison chaude. Du reste Grisebach¹ avait déjà noté que la cause climatique

¹ Vegetation der Erde (1872).

de la prédominance des arbres toujours verts dans la partie la plus froide de la zone tempérée doit être attribuée à la courte durée du temps de la végétation.

Supan¹ entreprit le travail méritoire de construire pour l'Europe une carte avec des courbes indiquant la durée de la période de froid et la durée du temps présentant une moyenne journalière supérieure à 10° et supérieure à 20°.

Les autres limites de zones tracées par Köppen ont une moindre valeur. Il manque notamment une limite entre la zone des arbres à feuilles caduques et la zone subtropicale aux arbres toujours verts, ou, ce que revient à peu près au même, entre une seule récolte annuelle de blé et la possibilité de deux récoltes. La zone subtropicale de Köppen est très malheureusement délimitée; dans l'Amérique de l'Est et dans l'Extrême-Orient elle atteint des régions à hiver très rigoureux; ainsi elle s'avance en Extrême-Orient jusqu'au nord de Pékin.

Les zones de Köppen ont été utilisées, avec des modifications, dans la „Géographie des Plantes“ de Drude et dans son exposé des zones de végétations (Atlas de Berghaus).

Dans les dernières éditions de sa *Physische Erdkunde*, Supan a adopté la limite sud proposée par Köppen pour la zone polaire, mais il conserve l'isotherme annuelle de 20° comme limite entre la zone chaude et la zone tropicale. Il en est encore ainsi dans la quatrième édition (1908).

En même temps qu'on travaillait à délimiter et à définir les zones, on a fait des efforts pour les subdiviser.

Les plus importantes frontières en géographie sont des frontières de température, car il n'y a rien à faire contre le manque de chaleur. La culture avec chaleur artificielle ne

¹ Die mittlere Dauer der Haupt-Wärmep perioden in Europa. (Petermans Mittheil. 1887).

peut se pratiquer que pour des produits de luxe plus ou moins coûteux et elle dépend du taux plus ou moins élevé des frais de transport en provenance des régions où les plantes en question peuvent se cultiver avec la chaleur naturelle, ou encore elle dépend du fait que la population des dites régions plus chaudes n'est pas encore assez civilisée pour faire une concurrence active sur le marché. Les conditions de pluie sont d'importance secondaire, car on peut sans trop de difficulté remédier artificiellement à l'absence de pluie, et les plantes que l'on peut cultiver ainsi sont les mêmes que celles que l'on cultive dans des régions pluvieuses de la même zone de température. De même les rives de cours d'eau et autres endroits à sol humide dans les régions pauvres en pluie nourrissent des plantes et des animaux que l'on ne retrouve ailleurs que dans des régions pluvieuses de la même zone de température.

Ainsi donc les frontières de température doivent délimiter les grands domaines géographiques, les zones, tandis que les conditions de pluie servent à les subdiviser. Ainsi se constituent les individualités géographiques ou les biochores, comme les appelle Köppen, autrement dit les domaines où le climat est le même et où la végétation, la faune et l'agriculture trouvent des conditions semblables. Les principales formes de terrain apparaissent d'elles-mêmes, si elles sont assez importantes pour produire de nouvelles conditions de vie par la température plus basse des hautes terres et, en règle générale, de plus grandes quantités de pluie. Des subdivisions encore plus petites résultent de facteurs purement locaux.

C'est à Hult¹ que l'on doit le premier essai d'une répartition du globe en biochores. L'importance de son travail consiste en ce qu'il pose en principe que les limites des

¹ Jordens Klimatområden (Vetensk. Medd. af Geografiska Foreningen i Finland, 1892—1893).

climats doivent se placer là où les différences de climat produisent des différences dans la végétation.

Pour les États-Unis la répartition en biochores a été étudiée avec beaucoup de zèle pour des raisons toutes pratiques. Merriam explique¹ que pour savoir quelles espèces de blé et d'arbres fruitiers on peut cultiver avec profit dans une région déterminée il faut étudier l'extension des plantes sauvages et des animaux sauvages et d'après cela partager le pays en zones et en domaines plus petits où les conditions d'existence sont les mêmes et où les mêmes plantes de culture ont des chances de prospérer. On éviterait de grandes pertes par la connaissance des zones de vie.

Il partage l'Amérique en zones d'après le besoin de chaleur des plantes et il subdivise ces zones d'après le régime pluvial. A l'intérieur de chaque zone il dresse des listes de plantes cultivées.

Vers la fin du XIX^e siècle on était arrivé, grâce surtout aux travaux de Hult et de Merriam, à reconnaître que la solution du problème le plus central de la géographie, savoir dans quelle mesure les ressources de l'homme dépendent du climat, devait se rechercher en étudiant la végétation.

Les limites des plantes cultivées ne peuvent s'utiliser directement, car elles dépendent du degré de civilisation de l'homme, c'est-à-dire de conditions ethnographiques, et souvent aussi du développement des moyens de transport, des douanes, etc... Il en va autrement de la végétation naturelle, et de ce que Humboldt avait appelé la *physionomie de la végétation*.

Au lieu de cela, nous avons vu apparaître dans la géographie moderne les formes vitales et les sociétés de plantes. Une série de botanistes, Griesebach, Warming,

¹ Life zones and crop zones (Washington 1898).

Schimper et beaucoup d'autres, ont continué le travail des anciens géographes et ils ont créé des unités qui sont beaucoup plus scientifiquement fondées¹.

En 1901 Köppen publia un nouveau système dans la *Geographische Zeitschrift*; avec beaucoup de logique, il examine d'abord les frontières de végétation, puis il cherche à établir quelles sont les valeurs climatiques qui les déterminent.

Köppen adopte une répartition des plantes en groupes biologiques telle que l'avait proposée de Candolle² et il établit cinq climats d'après ces groupes.

Autour de l'équateur s'étend le domaine des mégathermes jusqu' à l'isotherme de 18° pour le mois le plus froid. Vient ensuite le domaine des mésothermes qui va jusqu' à l'isotherme de 22° pour le mois le plus chaud (dans les régions continentales) où jusqu'à l'isotherme de 6° pour le mois le plus froid (dans les régions océaniques). Puis c'est le domaine des microthermes, jusqu'à l'isotherme de 10° pour le mois le plus chaud, et enfin nous avons le domaine des hékistothermes au-delà de cette limite.

A travers ces zones s'étend le domaine des xérophytes qui, sur les côtes occidentales descend à la limite entre les domaines des mégathermes et des mésothermes, mais qui dans le continent remonte à travers le domaine des mésothermes (lequel se trouve ainsi divisé en une portion occidentale et une portion orientale), et enfin pénètre un peu dans le domaine des microthermes. Les limites du domaine des xérophytes sont déterminées par une „vraisemblance de pluie“³ de 0,36 pour

¹ Shantz a publié un ouvrage où il pour une partie des Etats-Unis de l'Amérique designe la connexion entre les formations végétales naturelles avec les conditions de l'agriculture (Natural vegetation as an indicator of the capabilities of land for crop production in the great plains area. Washington 1911).

² Archives des sciences de la bibl. univ. de Genève (1874).

³ Cette vraisemblance s'obtient en divisant le nombre normal de jours de pluie d'une période par le nombre de jours de cette période.

le mois le plus pluvieux. Ces domaines sont partagés en biochores par plusieurs lignes frontières, dont nous ne mentionnerons que les plus importantes.

Dans le domaine des mégathermes on distingue une région avec pluie dans toutes les saisons et une région avec temps sec. Köppen pose comme limite 3 cm. dans le mois le plus sec.

Dans le domaine des xérophytes on distingue la portion centrale, la région désertique, avec vraisemblance de pluie inférieure à 0,2 pour le mois le plus riche en pluie. Cette portion centrale est entouré par les régions de steppes, dont la vraisemblance de pluie pour le mois le plus pluvieux oscille entre 0,2 et 0,36.

Dans le domaine des mésothermes on trace une ligne fixant l'isotherme de janvier à 2° . Dans la pensée de l'auteur, cette ligne coïncide avec la frontière entre les forêts toujours vertes et les forêts à feuilles caduques. Elle se continue à travers le domaine des xérophytes et le partage également en deux.

Dans le domaine des microthermes on trace une ligne représentant 4 mois avec moyenne quotidienne supérieure à 10° . On trace encore plusieurs frontières de domaines moindres.

Considéré à un point de vue géographique, le travail de Köppen marque un très grand progrès; mais il présente aussi de graves défauts.

L'un des moins graves, c'est que l'insertion du domaine des xérophytes brise les zones, et pourtant la différence entre les déserts subtropicaux et les déserts tempérés est au moins aussi grande que l'analogie. Les plantes cultivées des oasis sont les mêmes que l'on trouve dans les régions pluvieuses de la zone de température correspondante. Enfin si nous passons aux limites du domaine des xérophytes, où il existe des steppes gramineuses avec du blé cultivé sans irrigation,

ces régions se rattachent si étroitement aux autres domaines des zones où elles se trouvent, que la réparation par une grande ligne devient tout à fait inexacte.

Le point le plus faible est la distinction entre le domaine des mésothermes et celui des microthermes, distinction qui se fait d'un côté par une isotherme d'été et d'un autre côté par une isotherme d'hiver.

Raunkiær a suivi une méthode entièrement différente de celle qu'avaient suivi tous les auteurs antérieurs. En 1905 il exposa son système connu des formes vitales¹ dans lequel les plantes, d'après le mode de protection des bourgeons hivernants contre la mauvaise saison, sont distinguées en phanérophytes, chamæphytes, hémikryptophytes, géophytes, hélrophytes, hydrophytes et thérophytes. Dans son étude sur les types biologiques et dans plusieurs autres écrits ultérieurs²) il a exposé en outre ses théories sur la statistique des types biologiques en tant qu'ils servent à caractériser les provinces de la géographie botanique. Raunkiær abandonne complètement la division en zones et partage la terre en domaines ou provinces présentant le même climat botanique. Ces provinces n'ont pas d'extension zonale.

Le progrès accompli est grand et évident, en ce sens que la méthode de Raunkiær donne des chiffres pour caractériser les domaines de végétation au lieu de se livrer à des évaluations approximatives.

Le procédé qui consiste à caractériser les domaines de végétation à l'aide de relations mathématiquement appréciables entre les types biologiques de la flore présente aussi un avantage essentiel sur la caractéristique par les formations végétales dominantes: c'est que les flores locales sont étudiées

¹ Types biologiques pour la géographie botanique (Bulletin de l'Académie des Sciences et des Lettres du Danemark, 1905).

² Planterigets Livsformer og deres Betydning for Geographien. (Copenhague 1907). Livsformernes Statistik som Grundlag for biologisk Plantegeografi. (Botanisk Tidsskrift 1908).

pour un grand nombre de régions, tandis que les renseignements sur la diffusion des formations végétales sont beaucoup plus clairsemés. Il n'existe que pour très peu de pays de bonnes descriptions des formations végétales d'un point déterminé; et pour que les formations végétales soient sûrement reconnaissables et comparables, elles ont également besoin de statistiques des types biologiques.

Dans le dernier ouvrage cité (1908), Raunkiær pose quatre types principaux de climats, savoir: le climat des phanérophytes, correspondant essentiellement au climat tropical; le climat des hémicryptophytes, comprenant essentiellement le climat subtropical avec été pluvieux et climat tempéré; le climat des thérophytes, correspondant au climat subtropical avec été sec; et enfin le climat des chamæphytes, coïncidant en gros avec le climat arctique.

Pour les domaines de ces types climatériques l'auteur donne un certain nombre de spectres biologiques, tableaux indiquant, en pour cent, le rapport entre les types biologiques de la flore, et l'on a ainsi des indications claires et nouvelles sur l'adaptation des plantes aux types climatériques différents. Mais on manque encore de „spectres“ pour divers domaines climatériques bien caractérisés par leurs formations végétales; ainsi on en manque pour les domaines climatériques tropicaux à longue saison sèche, pour les domaines de steppes dans la zone tempérée, et pour d'autres encore, de sorte qu'on ne peut pas encore voir dans quels types climatériques de Raunkiær doivent se ranger ces régions. A ce défaut rémédieront des enquêtes et la publication de flores locales. Dans le domaine arctique des chamæphytes, Raunkiær a examiné un grand nombre de flores locales et suivi les courbes que l'on peut tracer par les points présentant 10 % et 20 % de chamæphytes. Raunkiær désigne ces frontières biologiques sous le nom de biochores, par opposition à Köppen qui comprenait sous ce terme les „natürliche Lebensgebiete“.

Il est hors de doute que les climats de végétation de Raunkiær apportent à la géographie des plantes des contributions précieuses et entièrement nouvelles. Lorsque cette science nouvelle sera parvenue à comprendre de grandes portions du globe, elle sera certainement profitable aussi à l'anthropogéographie, mais elle ne pourra rendre superflue l'étude des formations végétales, qui présente à tant de points de vue une importance directe pour l'homme.

Il faut donc maintenir comme principe général de répartition pour les biochores géographiques ce que Schimper a appelé les formations climatériques, lesquelles se rapprochent beaucoup de ce que les géographes botanistes américains appellent Climaxformations.

La variété de formations végétales que l'on observe dans la plupart des pays est due en effet pour une grande part au stade de développement géologique du terrain. Quand une région a été soulevée par des forces tectoniques, les forces dénudantes travaillent à l'aplanir de nouveau, et elles ne se reposent pas avant que la région ne soit devenue une pénélaine. Les dernières falaises se sont effondrées et émiettées. Le sous-sol est partout recouvert d'une couche épaisse de détritiques. Les vagues de terrain sont basses et plates, et entre elles les cours d'eau coulent lentement, avec de nombreux méandres. Une très grande partie des inégalités du sol vont maintenant disparaître; il restera la côte, les environs immédiats des cours d'eau et le terrain faiblement ondulé. Le terrain à peu près uniforme et la faible élévation au-dessus du niveau de la mer, d'où s'ensuit une hauteur d'eau relativement forte, enfin une désapégation avancée, font que les différences de sol deviennent de moins en moins marquées. La formation végétale qui va dominer, lorsque la région sera devenue pénélaine, est la formation climatérique de la dite région.

Dans la plupart des régions la formation climatérique est

déjà dominante longtemps avant que le développement géologique soit aussi avancé. Là où elle n'est pas dominante soit par suite de conditions particulières du sol, soit par suite de l'intervention de l'homme, on arrivera généralement à la déterminer en combinant une enquête géologique et une enquête de géographie botanique.

Le climat se trouve modifié par la transformation en pénéplaine. Le terrain devient plus bas et le régime pluvial particulier qui résulte de l'inclinaison du terrain disparaît. Par „formation climatérique d'un lieu“ il faut donc comprendre la formation qui serait dominante dans une pénéplaine ayant le même climat que le lieu en question. En général il n'est pas difficile de trouver pour les différents endroits le sol qui répond à ces conditions, et la formation végétale que l'on y constate est la formation climatérique.

La récente agrogéologie a donné d'importantes contributions à la science des formations végétales climatériques. Treitz¹ déclare que le résultat le plus remarquable des nouvelles recherches effectuées dans ce domaine est la démonstration scientifique de ce fait que „toute province de climat a une formation de plantes caractéristique et que de toute formation végétale naturelle se dégage un type de sol uniforme“.

Ramann² passe en revue les zones de terrain climatériques et exprime cette idée que „toute formation végétale dominante se développe le plus favorablement dans des espèces de sol déterminées et change en même temps le sol dans un sens qui lui est favorable. Sous la domination d'une formation végétale se produisent et se maintiennent dans le sol des particularités qui favorisent sa capacité de concurrence vis-à-vis d'autres formations“.

Une „biochore géographique“ doit donc se définir: un

¹ Die Aufgaben der Agrogeologie (Földtani Közlöny 1910).

² Bodenkunde, Berlin 1911.

domaine présentant la même formation climatérique. Dans l'intérieur de la même biochore peuvent se trouver des différences climatériques, et même de très grandes différences, mais la végétation ne réagit pas contre elles de façon à constituer une autre formation climatérique.

A l'intérieur de la même biochore la formation climatérique peut se présenter avec une combinaison floristique différente. Ce peuvent être aussi des différences œcologiques qui conditionnent la scission en plusieurs sous-formations et conduisent éventuellement à partager la biochore en sections plus petites.

A la frontière entre deux biochores les conditions d'existence sont également favorables à leurs deux formations climatériques, et une lutte se livre entre elles. Mais ce domaine frontière est souvent extrêmement étroit, et des deux côtés de cette marche très mince les deux formations climatériques peuvent être entièrement prédominantes. Le plus important élément de succès pour les formations dans leur lutte, c'est leur pouvoir de modifier le sol dans un sens favorable à elles-mêmes et défavorable aux autres formations.

Comme exemple de frontière nette, dans un cas où il n'existe pas de différence de sol et où les différences climatériques ne sont pas grandes, nous citerons en Suède la limite entre le domaine des forêts à feuilles caduques dans les provinces de Scanie et de Bleking et le domaine des forêts de conifères dans la province de Småland. En beaucoup d'autres endroits les frontières sont aussi tranchées.

Il n'est pas besoin de noter qu'une formation peut se trouver comme formation édaphique bien loin des limites où elle est climatérique, et il est encore moins nécessaire de dire que des espèces de plantes qui constituent les éléments essentiels d'une formation peuvent se présenter comme éléments secondaires d'autres formations bien loin du domaine de la première.

Comme il peut se trouver dans la même biochore de grandes différences climatériques contre lesquelles ne réagit pas la formation climatérique, tandis que de petites différences de climat aux frontières des biochores donnent la prédominance à une autre formation, il est intéressant de déterminer quelles sont les valeurs climatériques qui conditionnent les limites. Köppen a désigné ces valeurs sous le nom de „Schwellenwerthe“.

Je me suis occupé pendant plusieurs années de la répartition des zones et des biochores, et, bien que pour de nombreuses régions les recherches effectuées dans la nature soient insuffisantes pour mieux préciser les types et pour déterminer avec plus d'exactitude que précédemment les valeurs climatériques de ces types, il existe cependant plusieurs endroits où l'on peut tracer des frontières plus sûres. Il me paraît donc intéressant d'exposer l'état actuel de ces recherches.

Je dirai d'abord en quelques mots comment peuvent s'exprimer les valeurs climatériques qui déterminent les frontières des biochores.

C'est un fait général que beaucoup de frontières de végétation ont dans leur parcours une certaine ressemblance avec des courbes de température par exemple avec des isothermes. Mais très souvent elles se présentent de telle sorte que là où la courbe de température est unie, c'est-à-dire là où la moyenne annuelle et la moyenne hivernale sont relativement élevées, elle coïncide avec une valeur plus basse de la moyenne estivale que dans les cas où la courbe de température est inégale et où les moyennes de l'année et de l'hiver sont plus faibles.

On voit ainsi qu'un été frais peut se compenser par une moyenne annuelle plus élevée ou par une température plus haute du printemps et de l'automne, tandis qu'une moyenne

annuelle basse ou des printemps et des automnes froids peuvent se compenser par un été chaud.

Une telle frontière de végétation ne dépend donc pas de la chaleur moyenne d'un seul mois mais d'une période de végétation de plusieurs mois qui réclame une certaine chaleur. En examinant les températures moyennes le long d'une frontière de végétation, on constate que si les points s'ordonnent par exemple suivant une température moyenne croissante pour le mois le plus froid, les températures moyennes pour le mois le plus chaud formeront une série de valeurs décroissantes, mais que ces valeurs décroîtront selon une progression différente que celle suivant laquelle s'élèvent les valeurs du mois le plus froid. Comme il existe une relation de dépendance entre les températures moyennes du mois le plus froid et du mois le plus chaud, cette relation peut s'exprimer par une équation qui doit se trouver réaliser le long de la frontière en question. Si l'on désigne par v et k les températures moyennes du mois le plus chaud et du mois le plus froid, on aura :

$$v = f(k).$$

La fonction $f(k)$ peut s'exprimer par une série se développant suivant les puissances croissantes de la température pour le mois le plus froid. Avec le degré d'exactitude que l'on peut demander ici, il suffira le plus souvent de donner la première puissance, de telle sorte que l'équation prendra la forme suivante :

$$v = a + bk.$$

Il faut donc déterminer les constantes a et b .

L'utilité de cette méthode est subordonnée à la question de savoir dans quelle mesure on peut considérer la température moyenne du mois le plus chaud et du mois le plus froid comme exprimant la marche annuelle de la température. Le long d'une frontière de végétation déterminée par la température on ne pourra guère trouver ensemble une température

tropicale et une température tempérée; mais même si la limite de végétation se tient dans un domaine où le même type général de température est dominant, il y aura un assez grand nombre de différences secondaires. Ainsi il existe dans la zone tempérée des régions où le mois d'avril est plus chaud qu'octobre, bien qu'il arrive beaucoup plus fréquemment qu'avril soit plus froid qu'octobre. En outre dans certaines régions le chiffre moyen de la température pour le mois le plus froid et le mois le plus chaud est inférieur à la moyenne annuelle, tandis qu'il lui est supérieur dans d'autres régions.

Il s'agit donc de savoir si les fautes introduites en considérant les températures moyennes de mois le plus froid et du mois le plus chaud comme l'expression de la température de l'année et en écartant les plus hautes puissances de k , sont assez grandes pour sortir des limites des fautes inévitables qui résultent du manque de très longues séries d'observations, de la réduction de courtes séries d'observations à des séries de longues périodes, du choix des points d'observations et de la disposition des instruments en ces points, etc.

Nous prendrons comme exemple la détermination de l'équation pour la limite septentrionale du froment. On choisit, aussi rapprochés que possible de cette limite, des points aussi nombreux que possible où il existe des observations de température provenant de nombreuses années ou des observations qui ont été ramenées à de longues périodes. Dans le tableau ci-dessous, les deux premières colonnes donnent la température moyenne du mois le plus froid et du mois le plus chaud dans les diverses stations. Les deux colonnes suivantes donnent les différences entre les valeurs obtenues pour les diverses stations et celle obtenue pour Skourie en Ecosse.

Les troisième et quatrième colonnes nous donnent les différences moyennes de $-264,8:15$ pour le mois le plus froid et de $74,7:15$ pour le mois le plus chaud.

	<i>k</i>	<i>v</i>	<i>Dk</i>	<i>Dv</i>	<i>a</i>
Skourie	3,8	13,4	—	—	14,5
Tongue	3,2	13,3	— 0,6	— 0,1	14,2
Falun	— 6,0	16,2	— 9,8	2,8	14,5
Gefle	— 4,7	15,9	— 8,5	2,5	14,6
Wöro	— 9,0	17,5	— 12,8	4,1	15,0
Sordavala	— 10,6	17,7	— 14,4	4,3	14,7
Kuopio	— 10,6	17,8	— 14,4	4,4	14,8
Bjelosersk	— 12,5	17,9	— 16,3	4,5	14,4
Veliki Ustjug	— 15,2	18,8	— 19,0	5,4	14,5
Slobodskoi	— 14,7	18,6	— 18,5	5,2	14,5
Perm	— 16,3	19,0	— 20,1	5,6	14,4
Tjumen	— 18,2	19,1	— 22,0	5,7	14,0
Omsk	— 20,5	19,7	— 24,3	6,3	14,0
Minussinsk	— 21,2	20,8	— 25,0	7,4	14,9
Selenginsk	— 26,0	21,8	— 29,8	8,4	14,5
Blagsveschtschensk	— 25,5	21,4	— 29,3	8,0	14,3

Le rapport entre ces différences est la constante *b* de l'équation. Celle-ci prend donc la valeur de $-0,28$. Si l'on introduit cette valeur dans l'équation $v = a + bk$, on obtient les valeurs de *a* qui sont données dans la cinquième colonne. Celle-ci présente la valeur moyenne de 14,5, qui est donc la valeur de la constante *a* dans l'équation. La différence entre les valeurs observées de *v* et celles calculées par l'équation ne dépasse pas $\pm 0,5$.

Sur la côte ouest de la Norvège la différence de température est trop grande entre les stations du littoral et celles de l'intérieur des fjords pour qu'on ait pu les utiliser pour calculer les constantes de l'équation. La courbe correspondant à l'équation court juste en deçà des récifs littoraux extrêmes, de sorte que les stations de fjords, jusqu'en un point situé un peu au nord du 60° degré de latitude, se trouvent à l'intérieur de la frontière, ce qui répond à l'état de choses réel.

Sur la côte de l'île de Sakhalin, Kusunai, qui compte — 13,8 et 19,1 de moyennes pour le mois le plus froid et le mois le plus chaud, se trouve un peu au sud de la limite du froment.

Le limite de température est exprimée d'une façon plus frappante par des courbes représentant le nombre de jours avec moyenne quotidienne supérieure à une température donnée, — courbes que Köppen a été le premier à employer.

Le fait que ces courbes peuvent donner un résultat satisfaisant est dû aux variations de température. Celles-ci, comme l'a démontré Hult¹, agissent de la manière suivante. Pour une température inférieure au minimum exigé par tel ou tel processus physiologique, les variations de température font que pour un temps plus ou moins long la température s'élève au-dessus de ce minimum. La température variable a donc plus de valeur que la température moyenne. Pour des températures plus élevées, les variations ont pour effet que la température s'élève souvent au-dessus de „l'optimum“. Les variations diminuent ici la valeur. Enfin des températures élevées amènent souvent une forte évaporation qui réduit divers processus vitaux. Donc le nombre de jours supérieurs à une certaine limite de température fournit des valeurs utilisables pour la comparaison, quand les courbes annuelles de température n'ont pas une forme trop différente. Les valeurs obtenues par cette méthode indiquent très clairement quel est le facteur climatérique qui est le facteur déterminant pour la frontière de végétation, c'est-à-dire qui a la même valeur le long de la dite frontière. Mais pour que la méthode puisse donner des valeurs utilisables, il est nécessaire que la marche annuelle de la température dans les divers points ne soit pas trop différente; et la méthode n'a plus d'efficacité lorsque la différence entre les tempéra-

¹ Recherches sur les phénomènes périodiques des plantes, (Upsal 1881).

tures des saisons devient très faible. L'équation donnée par moi est moins frappante, mais on constate qu'elle peut sans grandes erreurs s'appliquer à une marche de température très différente de celle pour laquelle elle est calculée. Elle peut sans grandes inexactitudes s'étendre à des cas où la différence disparaît entre les saisons.

Ces méthodes ne nous donnent évidemment pas une connaissance théorique des besoins de chaleur des plantes, car la vie de la plante se compose de processus multiples ayant chacun son minimum, son optimum et son maximum. On détermine simplement d'une manière tout empirique quelles sont les conditions de chaleur qui imposent une limite à l'aptitude vitale de certaines sociétés végétales naturelles et à la possibilité de cultiver avec profit certaines plantes domestiques; on voit aussi quelles sont les conditions de température des saisons qui jouent un rôle décisif.

La limite sud de la zone polaire doit se placer provisoirement à la limite des forêts. Pohle a montré¹ que dans le Nord de la Russie s'étendent des bandes de forêts un peu au nord du domaine où la forêt est la formation dominante. Ces bandes de forêts se rencontrent sur des pentes de vallées où l'écoulement des eaux est facile, tandis que les espaces plats sont occupés par des tourbières. Mais la limite des forêts en tant que formation climatérique est entièrement inconnue.

On peut limiter la zone polaire par l'isotherme de 10° pour le mois le plus chaud. Une courbe avec l'équation $V = 9, 5 - \frac{1}{30} k$ donne peut-être un meilleur résultat; mais d'une part la limite des forêts n'est pas exactement tracée sur les cartes, et d'autre part nous avons bien peu de bonnes observations faites sur les régions intéressées. Si l'on prend pour base la courbe donnée ici, la côte sud et sud-ouest de

¹ Pflanzengeographische Studien über die Halbinsel Kanin und das angrenzende Waldgebiet. (Acta Horti Petropolitani XXI).

l'Islande depuis la région située au sud-est du Vatnajökul jusqu'au nord de Stykkisholm, appartiendra à la zone tempérée, tandis que la côte du nord et du nord-est rentrera dans la zone polaire. Les parties basses de l'intérieur de l'Islande et le fond des fjords qui partant de la côte nord et est pénètrent le plus profondément dans l'île, appartiennent également à la zone tempérée. Cela concorde avec la diffusion des bosquets de bouleaux en Islande et avec la végétation des algues le long des côtes¹. A la pointe sud du Groenland toutes les stations côtières rentrent dans la zone arctique, tandis que l'intérieur des fjords les plus méridionaux, où l'on sait que l'été est un peu plus chaud que sur la côte, fait partie de la zone tempérée: ceci concorde avec la présence en ces endroits de bosquets de bouleaux. En revanche la limite entre les deux zones coïncide en Sibérie avec une moyenne de juillet un peu supérieure à 10°, — ce qui s'accorde avec l'état de choses réel. Dans l'hémisphère sud, une partie des îles subantarctiques rentrent dans les limites de la zone tempérée. Sur certaines d'entre elles se trouvent des halliers, tandis que d'autres en sont dépourvues, sans doute à cause de la violence des vents, comme cela a lieu aussi sur beaucoup de côtes tempérées.

Gunnar Andersson² a proposé une division en sous-zone haute-arctique et sous-zone basse-arctique, séparées par l'isotherme de 6° pour le mois le plus chaud. La zone haute-arctique manque presque entièrement de sociétés végétales, tandis que la zone basse-arctique est caractérisée par des bruyères et des tourbières arctiques.

La frontière pourrait se placer plutôt à l'isotherme de 5°. La courbe de 20 % de chamæphytes tracée par Raunkiær ne diffère pas beaucoup de cette frontière. La même division

¹ Jonsson: Om Algevegetationen ved Islands Kyster (Botanisk Tidsskrift 1910).

² Zur Pflanzengeographie der Arktis. (Geogr. Zeitschrift 1902).

s'applique aussi à la zone polaire antarctique. Si l'on pose 5° comme frontière, la Géorgie du Sud et les îles de Kerguelen se placent dans la zone basse-antarctique. Les îles de Kerguelen ont une végétation de toundras qui rappelle beaucoup celle de la zone arctique, bien que le mois le plus froid ait une température moyenne supérieure à 0° et que par conséquent la glace de fond fasse complètement défaut. Aux latitudes élevées de l'hémisphère sud apparaît une nouvelle sous-zone qui manque entièrement aux terres basses des régions polaires du nord, c'est-à-dire un domaine où le mois le plus chaud a une température moyenne inférieure à 0°. A 0° pour le mois le plus chaud apparaît à peu près, — autant qu'il est possible de l'affirmer jusqu'ici, — la limite sud de l'existence de phanérogames. La zone polaire est dépourvue d'agriculture. Dans la zone basse-arctique on pratique l'élevage du renne.

La zone tempérée a sa frontière équatoriale, où cesse le repos hivernal régulier des plantes. Nous reparlerons plus tard de cette frontière. La zone tempérée se divise en deux sous-zones: celle des forêts de conifères et celle des arbres à feuilles caduques. Contrairement à Köppen, j'ai placé la limite sud des forêts de conifères à peu près à la courbe correspondant à 4,5 mois au-dessus de 10°. Comme beaucoup d'autres auteurs qui ont traité de la géographie des plantes, Köppen a compté la limite nord du chêne comme la limite entre la zone des conifères et celle des arbres à feuilles, tandis que je me suis guidé d'après la prédominance des forêts de conifères sur celles d'arbres à feuilles caduques, là où des circonstances locales ou l'intervention humaine n'ont pas favorisé les conifères. J'ai publié ma frontière en 1904 sur une carte faisant partie d'un livre scolaire. Je connaissais par mon expérience personnelle le tracé approximatif de cette frontière pour la Suède; en fait elle est facile à constater. On peut la suivre à travers la Russie avec l'aide de livres russes.

A d'autres endroits elle est à peu près inconnue. Hesselmann¹ a publié en 1906 une carte de Suède où il choisit la frontière d'après le même principe que moi. Cette carte la fait maintenant connaître avec précision. L'équation pour la frontière sud de la zone des conifères est la suivante: $v = 16,2 - 0,3k$. L'été bref de cette zone favorise les arbres toujours verts, résistants à la gelée (Grisebach), et favorise aussi les formations de tourbe sec et de tourbières, lesquelles prennent ici une extension bien supérieure à celle qu'elles avaient dans la zone des arbres à feuilles, les conditions du sol étant égales.

On peut partager cette zone des conifères en trois sections; la plus septentrionale est située au nord de la frontière des céréales dont l'équation est $v = 10,4 - 0,2k$, ou est déterminée par 3 mois supérieurs à 8°. D'après cette équation la côte sud de l'Islande se trouve à l'intérieur de la limite des céréales, tandis que l'Islande occidentale est au nord de cette limite. Il reste toujours quelque chose d'arbitraire dans la façon de déterminer la région où la culture des céréales est possible, car la zone où elle est praticable dans les bonnes années mais en général incertaine, peut être assez large et elle l'est particulièrement dans les régions océaniques où l'été normal est frais. Cependant il paraît conforme à la réalité de compter l'Islande du Sud dans le domaine où la culture des céréales est possible. Dans les Andes équatoriales, où la différence entre les saisons est tout à fait minimale, la limite des céréales coïncide avec une altitude de 3400 m. au-dessus du niveau de la mer. Dans cette altitude la température moyenne annuelle est ca. 9°. L'équation de la frontière des céréales donne 8,7°, ou la différence entre le mois le plus chaud et le mois le plus froid disparaît.

Des équations données pour la limite des bois et pour la

¹ Svenska skogar og skogssamhållen (Skogsvårdsföreningens Folkskrifter, 1906).

limite des céréales il résulte que ces limites sont très voisines l'une de l'autre là où l'hiver est doux, mais s'écartent beaucoup dans les points où il est rigoureux. Elles coïncident là où le mois le plus froid présente une chaleur moyenne de $5,4^{\circ}$ tandis que le mois le plus chaud a une moyenne de $9,3^{\circ}$. Même si l'on ne peut attribuer à ces chiffres une très grande exactitude, ils ont cependant de la valeur en ce sens qu'ils rendent compte d'un phénomène connu depuis longtemps mais non expliqué. La distance différente entre les deux limites dans les régions océaniques et dans les régions continentales est due à cette circonstance que la limite des forêts est déterminée par une courte période de végétation et la limite des céréales par une période sensiblement plus longue.

La seconde section va de la limite des céréales à celle du chêne et à celle du froment, lesquelles coïncident toutes deux à peu près avec la courbe de 4 mois supérieurs à 10° ou avec une courbe caractérisée par l'équation $v = 14,5 - 0,28k$. On a suivi cette frontière à travers l'Europe et la Sibérie. Elle est difficile à suivre dans le Canada par suite du manque de renseignements. Les deux frontières nord pour le trémois (froment d'été) et pour la culture des céréales en général (orge) sont à peu près parallèles, ce qui de marque dans leurs équations parce que les valeurs de la constante b sont à peu près égales pour toutes deux. Dans la zone comprise entre la limite des céréales et la limite du froment, la culture des blés est encore bien incertaine et souffre souvent de la gelée précoce et même de la gelée en plein été. Dans la section sud de la zone des conifères, au sud de la limite du froment, l'agriculture trouve de bonnes conditions, bien qu'elle puisse souffrir parfois des gelées précoces. Dans les endroits où les eaux trouvent un écoulement facile poussent souvent des bois d'arbres à feuilles caduques de mêmes espèces que dans la zone spéciale des arbres à feuilles; mais les terrains

plats sont beaucoup plus exposés que dans la zone des feuilles à ce que le sol y devienne acide et forme de tourbe sec : en ces endroits dominent les conifères et les bouleaux. Dans l'hémisphère sud, la zone antarctique des hêtres forme, comme je l'ai déjà dit dans l'„*Écologie*“ de Warming, un parallèle parfait à la zone des conifères.

Tandis que la zone des conifères forme un cercle complet tout autour du globe, la zone des arbres à feuilles est brisée à l'intérieur du continent par des régions de steppes et de déserts, où cependant il peut exister le long des cours d'eau et en d'autres endroits favorables des bois et des bosquets d'arbres et d'arbustes à feuilles caduques.

Les steppes sont dus à la décroissance de la quantité de pluie tombée. L'action utile des pluies pour les plantes est de nature très complexe. Il semble toujours que la meilleure méthode consiste à exprimer cette action en chiffres par les „vraisemblances de pluie“, comme le proposait Köppen. Mais une difficulté réside toujours dans l'absence de renseignements précis sur le nombre des jours pluvieux dans beaucoup de pays.

Dans les steppes de la région tempérée je distingue les steppes gramineuses, les steppes d'arbustes et les déserts. Cette division a été introduite dans l'„*Écologie*“ de Warming. Köppen place la limite des steppes gramineuses et du domaine des forêts à l'endroit où la vraisemblance de pluie est descendue à 0,36 pour le mois le plus pluvieux. Mais la carte de Köppen nous montre que ce chiffre est trop faible, car d'après cette évaluation les terres basses de la Hongrie et de la Roumanie rentrent dans le domaine des forêts.

Conformément à la nature des choses, la frontière entre steppe et forêt est très flottante, en ce sens que dans la région-limite la forêt alterne avec le steppe pour des causes édaphiques. Partout où il existe des facteurs qui rendent la terre sèche physiquement ou physiologiquement le steppe

régne; et lorsque d'autres causes agissent en sens inverse la forêt se développe. Des bois peuvent se présenter dans tout le domaine des steppes herbeux. J'ai déjà donné un aperçu des conditions édaphiques qui favorisent le steppe¹. La plus importante de ces causes est naturellement la sécheresse physique du sol, laquelle a sa cause dans le manque de pluie. Comme dans ces régions la pluie tombe surtout pendant quelques jours sous forme de violentes averses, une grande partie de l'eau de pluie s'écoule superficiellement sans pénétrer dans le sol. Ce fait se produit principalement sur des terres présentant une grande capacité d'eau, c'est-à-dire sur un sol argileux, tandis que l'eau pénètre beaucoup plus facilement dans le sable. L'argile est donc beaucoup plus défavorable que le sable à la croissance des forêts. Le facteur important qu'il faut considérer ensuite est l'accumulation de sels solubles dans le sol, car ils empêchent l'absorption de l'eau par les plantes et rendent la terre physiologiquement sèche. Là où le terrain est en pente et où l'eau de pluie peut enlever en partie les sels, le sol est favorable à la croissance des arbres. Dans les creux de terrain où l'eau se rassemble et s'évapore, le sol est souvent saturé de sels, et alors régnent le steppe salé où l'on rencontre souvent en grande quantité des chénopodiacées succulentes.

On trouve donc dans le domaine des steppes les forêts le long des fleuves dans leur zone d'inondation, ou en d'autres endroits où l'eau existe dans le sol, par exemple dans les terrasses des rivières, ou encore dans les parties montagneuses qui émergent au-dessus du steppe. Enfin on trouve des bois en pleine steppe sur de petites élévations de terrain où l'enlèvement du sel par les eaux est plus complet que sur les étendues planes. Il n'y a presque pas de bois de conifères dans les régions de steppes. Les forêts d'arbres à feuilles caduques semblent y être plus ouvertes que dans la région

¹ Vegetationen i Dobrogea (Geografisk Tidsskrift, 1907—1908).

des forêts. Une étude plus précise de la végétation qui se trouve à fond des forêts du domaine des steppes contribuerait certainement à déterminer la limite des steppes avec plus de sûreté qu'il n'est possible actuellement.

Dans la région frontière entre les steppes et les forêts, des étendues souvent très vastes sont couvertes de buissons bas. D'après Adamovic, ces buissons portent le nom de Sibljak. Plus avant dans les steppes, ils couvrent des espaces moins grands. Ils se composent souvent de diverses espèces de chênes avec des arbustes qui ne se trouvent jamais dans la région des bois, et souvent aussi de ces arbustes seuls. Ces halliers sont naturels, et ce qui le prouve, c'est que des arbustes très vieux sont desséchés au sommet. Dans des années particulièrement sèches, des parties plus ou moins grandes de ces bosquets, peuvent faner jusqu' à la surface de la terre, et il se produit alors une régénération par des rejets provenant des parties inférieures survivantes. En Serbie, en Roumanie et dans le Nord-Ouest de l'Asie Mineure j'ai observé de vastes fourrés de ce genre.

Dans la mesure où j'ai pu déterminer la frontière entre le domaine des steppes et celui des bois, il me paraît que cette frontière dépend de la présence ou de l'absence d'une période suffisamment pluvieuse d'environ quatre mois. La période la plus riche en pluie peut se déterminer en détachant la série des quatre mois qui fournissent ensemble le plus grand nombre de jours de pluie. Mais il ne faut pas comprendre dans ce calcul les mois d'hiver ni les premiers mois du printemps; il ne faut pas tenir compte tout au moins des mois dont la chaleur moyenne est inférieure à 5°. La frontière des steppes coïncide dès lors à peu près avec la courbe qui indique une vraisemblance moyenne de pluies de 0,35 pour les quatre mois de la période pluvieuse. Dans les steppes gramineuses, la culture des céréales réussit sans irrigation artificiel. L'espèce principale de céréales est le froment.

En deux points, savoir au Canada et dans la Sibérie occidentale, les steppes s'avancent un peu dans la zone qui, d'après les conditions de température, devrait appartenir à la portion méridionale de la zone des conifères. Dans les forêts de steppes de ces régions les conifères sont rares et les espaces boisés se composent des arbres à feuilles qui dans les régions de forêts poussent dans les endroits où la terre n'est pas acide.

Les meilleures steppes appartiennent aux régions cultivées le plus anciennement.

Gradmann¹ fait observer que l'abondance des tumulus coïncide avec des sociétés de plantes de steppes. Ces plantes ne sauraient avoir émigré là après le déboisement, car elles évitent les routes et les endroits cultivés et elles ont dû souffrir au moins autant que les plantes de forêts. On doit tenir pour certain que les espaces ont été primitivement sinon des steppes typiques, du moins des „sibljak“, et qu'en tous cas ils étaient dépourvus de forêts. Gradmann admet que la steppe a été préféré par les agriculteurs primitifs parce qu'il était d'accès plus facile et n'exigeait pas l'abattage des arbres. Naturellement la question reste encore ouverte, et la solution en dépendra d'une étude spéciale entreprise sur les tumulus et sur la présence des plantes de steppes. Cette étude a été faite pour le Wurtemberg, et elle a montré que la frontière des anciens emplacements habités s'écarte au plus de 7 km. de la frontière que l'on peut, d'après la végétation, assigner aux anciens espaces de steppes.

Les steppes de buissons et les déserts ont pour la période la plus pluvieuse pendant trois mois une vraisemblance de pluie inférieure à 0,24. L'agriculture est celle des oasis ou consiste dans l'élevage des moutons (nomadisme).

A travers la zone des forêts à feuilles et les domaines de

¹ Beziehungen zwischen Pflanzengeographie und Siedlungsgeschichte. (Geogr. Zeitschr. 1906).

steppes on peut tracer une ligne frontière importante, savoir celle de la culture du maïs, et les frontières voisines de celle-là, qui sont celles du vin et du mûrier.

La culture du maïs est impossible sans irrigation dans les portions médiocrement pluvieuses des steppes gramineuses, car la période de végétation du maïs est très longue. Mais dans les bonnes régions de steppes gramineuses, par exemple en Hongrie, en Roumanie et dans certaines parties des prairies de l'Amérique du Nord, la culture du maïs est importante.

Dans les régions de la zone des forêts à feuilles où il n'y a pas de gelées rigoureuses la frontière du châtaigner suit à peu près la même ligne. La limite de cette portion plus riche de la zone des forêts à feuilles peut se représenter par une courbe que détermine l'équation $v = 18,7 - 0,3 k$, soit 4,8 mois au-dessus de 12° .

Sur les côtes où le vent a une grande force, il constitue un facteur climatique hostile aux forêts. C'est là un fait que l'on retrouve dans toutes les zones de végétation, mais il atteint sa plus grande extension dans la zone tempérée, où la valeur moyenne de la force du vent est la plus grande. Dans les régions côtières de la zone des forêts de feuilles en Europe la bruyère se manifeste comme une formation climatique. L'emploi de la tourbe de bruyère dans la confection des tumulus prouve que la bruyère est primitive dans ces régions, même si le déboisement lui a donné une étendue supérieure à celle qui lui revient naturellement. Dans les régions où la bruyère est la formation climatique, le Podsol est le type de sol le plus répandu, comme dans la zone des conifères, tandis que la terre brune est le sol des forêts à feuilles.

La ligne frontière entre les régions que j'ai réunies dans la zone tempérée et la zone subtropicale se trouve chez Köppen à l'état de fragments de diverses frontières. Dans le type de climat continental il place cette frontière à 2° pour le mois le plus froid et à 6° dans le climat océanique. La vérité est

qu'elle se trouve dans l'Asie orientale à 2°, dans la portion orientale du domaine méditerranéen à 4°—5°, sur les côtes de l'Atlantique à 7°, en Amérique à 10° pour le mois le plus froid.

Les limites des formations végétales doivent comme toutes les autres frontières physiologiques être déterminées par la condition vitale existante à son minimum. Une formation végétale exige peut-être une certaine quantité de pluie, un certain temps de végétation avec des températures supérieures à une certaine limite, elle ne supporte peut-être pas certaines températures minima, etc. etc.

Si l'une de ces conditions vitales descend au-dessous du minimum qu'exige la formation végétale, c'est cette condition vitale qui détermine la frontière. Peu importe que les autres conditions soient présentes, fût-ce en grande abondance.

On connaît maintenant beaucoup de frontières de végétation qui pour une portion sont déterminées par un facteur climatérique et pour une autre portion par un autre, savoir lorsque deux conditions climatériques différentes doivent être satisfaites. Ainsi la frontière du hêtre est déterminée dans les régions à hiver doux par le besoin d'une certaine chaleur estivale; mais plus vers l'Est la frontière fait un coude parce qu'elle est déterminée ici par l'impossibilité où se trouve le hêtre de supporter les fortes gelées. Par contre il est impossible qu'une frontière de végétation soit sur une partie de son parcours déterminée par une valeur et sur une autre partie par une autre valeur pour le même facteur climatérique. Beaucoup de facteurs climatériques peuvent avoir le long d'une frontière de végétation des valeurs extrêmement différentes, sauf le facteur qui sur une portion de la frontière détermine celle-ci. Même si les valeurs climatériques qui déterminent une frontière de végétation ne sont que des approximations grossières, ils doivent satisfaire à la condition que nous indiquons.

En Amérique la valeur-frontière élevée est due aux valeurs extraordinairement basse des extrêmes de température inférieurs. Dans les autres régions on n'observe aucune relation avec les extrêmes de température. Ici en effet les minima moyens de l'hiver ne tombent jamais au-dessous de -10° . C'est pourquoi ce sont d'autres facteurs qui déterminent la frontière.

La basse valeur-frontière pour le mois le plus froid dans les régions continentales où la courbe de température est escarpée et la valeur-frontière plus élevée pour le même mois dans les régions océaniques où la courbe est plate, montrent que la frontière ne dépend pas de la température d'un seul mois mais de la longueur de l'hiver. La courbe pour 4 mois avec température quotidienne inférieure à 8° convient bien si l'on excepte l'Amérique. Cette ligne frontière coïncide presque avec une courbe déterminée par l'équation $v = 34,3 - \frac{1}{3} k$. Le fait que le coefficient b est plus grand que 1 montre que c'est l'hiver qui a un rôle décisif.

Ce ne sont donc pas les extrêmes d'hiver qui établissent la limite de la végétation subtropicale toujours vertes c'est la longueur de l'hiver qui, agissant comme la sécheresse physiologique, crée des interruptions de végétation trop nombreuses et trop longues. On a aussi reconnu depuis longtemps que les arbres toujours verts des régions méditerranéennes et est-asiatiques peuvent pousser très au nord de leurs frontières naturelles, avec cette seule particularité qu'ils n'arrivent pas à produire des fruits mûrs. On connaît l'olivier en Crimée. Dans les États-Unis seulement, les extrêmes de température sont si bas qu'ils déterminent la frontière. Ici les arbres toujours verts peuvent avoir des fruits mûrs au nord de leur frontière naturelle, mais ils sont détruits par la gelée dans les hivers particulièrement froids.

Là où l'humidité naturelle ou artificielle existe en quantité suffisante, la zone subtropicale permet en général deux récoltes. Mais on ne peut employer comme récolte d'hiver

que des espèces de céréales n'exigeant pas beaucoup de chaleur. La frontière des deux récoltes annuelles coïncide avec des températures un peu plus élevées que la frontière indiquant une prédominance d'arbres et arbustes toujours verts.

La zone subtropicale se divise en trois sections qui n'ont pas un parcours zonal: domaines des pluies d'hiver, domaines avec pluies pendant toute l'année ou avec maximum caractérisé en été, et domaines secs.

Les domaines des pluies d'hiver sont, à vrai dire, caractérisés moins par leur hiver pluvieux que par leur été sec. Comme frontière entre ces domaines et ceux à pluies annuelles, Köppen a posé une vraisemblance de pluie de 0,20 pour le mois le plus pauvre en pluie. Avec les renseignements dont nous disposons, cette frontière ne saurait être mieux déterminée.

Le domaine des pluies d'hiver se divise en deux sous-sections: domaines des forêts de sclérophylles et domaines des maquis, les premiers ayant une période de sécheresse plus courte que les seconds.

Les arbres les plus importants des forêts de sclérophylles sont, dans le domaine méditerranéen: *Laurus nobilis*, *Quercus suber*, *Quercus ilex* et autres espèces de chênes ainsi que *Pinus pinea* et plusieurs espèces de pins. Dans cette dernière catégorie de forêts nous retrouvons le même type biologique que celui qui domine dans la zone des conifères. Cependant le pin diffère des conifères scandinaves en ce qu'il ne peut supporter une forte gelée et qu'il exige une période de végétation plus longue et plus chaude. Dans tous les types biologiques nous rencontrons des espèces qui sont différentes par des particularités internes comme: besoin de chaleur, besoin d'une longue période de végétation, résistance à la gelée, mais qui sont protégées de la même manière contre un autre inconvénient commun, — et dans ce cas contre une

évaporation trop forte. Les conifères de la Scandinavie ont à lutter contre des difficultés pendant l'hiver, où ils restent verts et ne peuvent soutirer de l'eau à la terre gelée. Les conifères du Sud souffrent du même besoin pendant l'été pauvre en pluie.

La quantité de pluie et la répartition des pluies que les forêts de sclérophylles réclament pour prospérer dans un sol médiocrement favorisé par les conditions édaphiques, ne peuvent se déterminer pour le domaine méditerranéen, en partie parce que le sol a beaucoup souffert du déboisement et de la transformation consécutive en pâturage pour chèvres et moutons, en partie parce que nous n'avons pas de renseignements suffisants sur le nombre des jours de pluie. Trabut¹ nous dit qu'en Algérie la forêt de sclérophylles est abondante là où la quantité annuelle de pluie dépasse 60 cm. Dans d'autres régions du domaine méditerranéen, où la répartition de la pluie d'après les saisons n'est pas tout à fait la même que sur les côtes de l'Algérie, on ne peut s'attendre à ce que la moyenne annuelle de pluie exigée par la forêt des sclérophylles soit aussi la même.

Lorsque l'humidité est trop faible pour la forêt des sclérophyllés, celle-ci descend graduellement au maquis. Le passage de l'une à l'autre formation est uni et sans frontière nettement marquée. D'abord disparaissent certaines des espèces d'arbres les plus exigeantes, par exemple le chêne-liège, et aussi les quelques espèces à feuilles caduques, par exemple le châtaigner, des espèces de *Populus*, *Fraxinus*, etc., qui entrent comme des éléments secondaires dans la forêt des sclérophylles (mais, d'après Trabut, seulement lorsque la quantité annuelle de pluie dépasse 80 cm.). Une partie des autres espèces d'arbres se trouvent encore dans le meilleur maquis, mais à l'état d'arbustes, et un certain nombre

¹ Association française pour l'avancement des sciences. (Congrès d'Oran, 1888).

d'espèces nouvelles apparaissent. Dans des conditions un peu plus défavorables, toutes les espèces spéciales aux forêts disparaissent et les arbustes du maquis régissent sans partage.

Dans les domaines du maquis on trouve encore la forêt de sclérophylles dans des crevasses humides ou le long des cours d'eau. On constate un peu partout dans le domaine méditerranéen l'existence sur les collines d'un maquis bas, lequel fait place dans les vallées à une forêt fort haute. Dans les domaines du maquis on peut sans irrigation cultiver le froment comme récolte d'hiver. La vigne peut également se cultiver sans arrosage, mais seulement dans de bonnes conditions édaphiques. L'olivier et le figuier se cultivent aussi sans arrosage. Là où l'on organise un système d'irrigation, on cultive l'oranger et d'autres arbres fruitiers, et sous ces arbres la vigne, le maïs et des légumes, ces derniers fournissant plusieurs récoltes annuelles.

Dans le domaine des forêts de sclérophylles on peut cultiver sans arrosage plusieurs plantes domestiques qui exigent l'arrosage dans le domaine du maquis.

La limite nord du domaine des pluies d'hiver, dans les pays méditerranéens, se trouve un peu plus au sud que la frontière qui d'après l'équation est assignée à la zone subtropicale. Mais la distance entre les deux lignes est très faible dans la plus grande partie du domaine méditerranéen. Dans l'intervalle qui les sépare on trouve des forêts d'arbres à feuilles caduques de la zone tempérée mélangés à certaines espèces de la forêt des sclérophylles, par exemple *Quercus ilex* et *Pinus pinaster*, et à certains arbustes toujours verts formant sous-bois. On peut rencontrer le maquis sur des collines sèches. A cette zone de transition appartiennent la pointe méridionale de la Crimée, la Caucasic occidentale et la côte nord de l'Asie Mineure.

Mais sur les côtes européennes de l'Atlantique le domaine avec température subtropicale sans période de sécheresse en

été occupe une large zone. Le domaine des pluies d'hiver a sa frontière nord à peu près à Oporto. De là le domaine subtropical avec pluie pendant toute l'année s'étend comme un mince ruban le long de la côte du golfe de Biscaye et comprend encore la Bretagne, la Cornouaille anglaise et la point sud-ouest de l'Irlande. Dans ces régions la forêt à feuilles caduques est générale, mais en même temps apparaissent des arbustes toujours verts et notamment *Erica scoparia* et *Ulex europæus*.

Dans l'hémisphère sud on trouve trois régions importantes qui pour la température et le régime des pluies correspondent très bien à la côte européenne de l'Atlantique: ce sont le Chili entre 37° et 45° environ de latitude sud, la pointe méridionale de l'Australie avec la Tasmanie, et enfin la côte occidentale de la Nouvelle-Zélande. L'hiver y est doux et l'été frais, la pluie abondante et distribuée sur toute l'année avec maximum en hiver. On trouve dans ces régions une très abondante forêt mésophile d'arbres toujours verts. Si la forêt mésophile et toujours verte correspondante fait défaut dans la région analogue de l'Europe, où se retrouvent les mêmes conditions d'existence, cette anomalie ne saurait s'expliquer que par des raisons historiques. A l'époque glaciaire les espèces d'arbres mésophiles toujours vertes ont été arrachées en Europe, et elle ne sont conservées que dans les forêts humides des régions montagneuses des îles Azores, de Madère et des îles Canaries. Après la période glaciaire ces espèces n'ont pas été réintroduites et le domaine qu'elles occupaient a été accaparé par une végétation qui est un mélange de deux végétations, l'une méditerranéenne et l'autre médio-européenne.

Enfin sur tous les côtés orientaux des continents on rencontre dans la zone subtropicale des domaines ayant de la pluie toute l'année; mais la pluie la plus abondante y tombe presque partout dans la demi-année d'été. Les pays en

question se trouvent dans l'Amérique du Nord sur la côte du golfe du Mexique et se continuent un peu le long de la côte de l'Atlantique. En Asie, le Japon méridional et la Chine méridionale appartiennent à cette catégorie de pays, dans l'Amérique du Sud, c'est le Brésil méridional; en Australie, la côte orientale de la Nouvelle Galles du Sud et la portion subtropicale de la côte du Queensland. Dans tous ces pays la forêt mésophile toujours verte est la formation végétale dominante là où la quantité de pluie est abondante, et par contre là où la quantité de pluie est plus faible on trouve la savane subtropicale. Les frontières entre les domaines de la forêt et de la savane ne peuvent pas encore être déterminées sur de longues étendues.

Les domaines subtropicaux avec pluie toute l'année peuvent ainsi se partager en deux types principaux: domaines placés sur les côtés orientaux des continents, avec maximum de pluie en été et été chaud, et domaines occidentaux avec maximum de pluie en hiver et été frais. Ces deux domaines ne sont limitrophes l'un de l'autre que dans le coin sud-est de l'Australie. Il y a des différences œcologiques entre les forêts de ces deux domaines. On ne sait pas au juste si les différences sont dues à la répartition un peu différente de la pluie dans l'année ou à la chaleur estivale différente. Enfin on peut indiquer comme troisième type les domaines subtropicaux des terres hautes de la zone tropicale, qui peuvent se rapprocher tantôt de l'un, tantôt de l'autre des deux types principaux.

En ce qui concerne les plantes cultivées il existe aussi des divergences à l'intérieur des diverses parties des domaines de la pluie annuelle subtropicale, et ces divergences sont dues exclusivement à la chaleur estivale. On peut établir comme subdivisions: d'abord le domaine le plus chaud depuis la frontière de la zone tropicale jusqu' à la frontière de la culture de la banane, ensuite un domaine allant jusqu' à la

frontière des oranges; ici se trouve aussi à peu près la limite des deux récoltes annuelles de céréales. Vient ensuite un domaine compris entre la frontière de l'orange et celle du maïs et enfin un domaine situé en dehors de celui-là. Dans les deux derniers domaines se cultivent des arbres à fruits de l'Europe moyenne.

Lorsque la différence entre les saisons est très faible, la zone de la forêt à feuilles caduques devient très mince ou disparaît complètement. A l'aide des équations servant à la zone des conifères et aux frontières de la zone subtropicale on peut déterminer les valeurs pour lesquelles les deux frontières coïncident. Ce fait a lieu lorsque la température moyenne pour le mois le plus froid est de $6,0^{\circ}$ et pour le mois le plus chaud de $14,4^{\circ}$. Donc lorsque la différence entre le mois le plus froid et le mois le plus chaud est inférieure à 8° environ, la forêt mesophile subtropicale toujours verte fait place à la forêt xérophile à petites feuilles toujours vertes, laquelle peut supporter de longues périodes où l'assimilation de l'eau est entravée par des températures insuffisamment élevées. Ce fait a lieu sur la côte occidentale de l'Amérique du Nord, sur la côte occidentale de l'Amérique du Sud, en Nouvelle-Zéland et dans les terres hautes de la zone tropicale.

Les domaines pauvres en pluie occupent de plus grands espaces dans la zone subtropicale que dans la zone tempérée. Sur toutes les côtes occidentales subtropicales les étendues désertiques s'avancent jusqu' à la mer et là elles séparent les domaines subtropicaux à pluies hivernales des domaines tropicaux à pluies estivales. A cette catégorie appartiennent dans l'ancien monde le Sahara, l'Arabie, le désert de Syrie, la Mésopotamie et la Perse, plus certains espaces de steppes qui dans le Nord de l'Afrique, en Espagne et dans la péninsule balkanique s'étendent dans le domaine des maquis, enfin de grandes étendues dans l'Afrique du Sud. En Amérique le domaine de la sécheresse s'avance jusqu' à la côte dans la

Californie du Sud, ainsi qu'au Pérou et dans le Chili septentrional. En Australie il accapare la plus grande partie du continent. Particulièrement intéressants sont les domaines de steppes en Patagonie et en Nouvelle-Zélande, où les vents d'ouest dominants dessèchent les régions situées à l'est des montagnes. En Patagonie et dans la Terre de Feu les steppes s'étendent à travers la zone des hêtres à petites feuilles et descendent jusqu' à la frontière de la zone antarctique.

Dans la zone subtropicale on peut comme dans la zone tempérée distinguer les steppes gramineuses, les steppes d'arbustes et les déserts. Les pampas de l'Argentine et les steppes du Transvaal donnent des exemples de steppes gramineuses avec culture de céréales sans irrigation artificielle. Mais les formations de steppes subtropicales sont si peu étudiées qu'on ne peut établir quel est le rapport qu'il y a entre elles et les conditions agricoles. Leur frontière climatique ne peut pas non plus se déterminer.

A Funchal sur la côte sud de Madère, la période la plus riche en pluie comprend 40,5 jours de pluie en quatre mois, soit une vraisemblance de pluie de 0,33. Avec cette indication concorde le fait que Funchal, d'après le témoignage des premiers pionniers, était primitivement dépourvue de maquis, et ce fait qu'actuellement les fourrés de maquis ne se trouvent qu' à 100 m. environ au-dessus du niveau de la mer. Dans mon livre sur la végétation de Madère, je me suis opposé à ce que l'on comptât la végétation des terres basses de cette île parmi les steppes, à cause de la pénurie de géophytes. Mais comme on ne sait pas quel rôle jouent les géophytes dans d'autres domaines de steppes, je ne veux pas maintenir mon opinion, et je crois pouvoir ranger les herbages d'Andropogon parmi les formations de steppes: c'est donc pour le moment la seule formation de steppe sur laquelle il existe une étude statistique des types biologiques.

A Laguna de Ténérife, les quatre mois les plus pluvieux

ont 44,8 jours de pluie, ou une vraisemblance de pluie de 0,36 pour ces quatre mois. La ville de Laguna se trouve dans le domaine des maquis, mais proche de la frontière du domaine des steppes.

Santa Cruz de Ténérife présente dans sa période trimestrielle la plus pluvieuse une vraisemblance de pluie de 0,34, ou seulement de 0,31 d'après un autre renseignement. A Santa Cruz règne le steppe d'arbustes. L'arrosage artificiel y est généralement pratiqué, mais on y cultive le froment sans irrigation. Ainsi donc, tandis que dans ces localités la frontière entre maquis et steppe paraît correspondre à la même frontière d'humidité que dans la zone tempérée, cette constatation n'a pas lieu pour la frontière entre le steppe d'herbes et le steppe d'arbustes.

La limite de la zone tropicale est placée par Köppen à 18° pour le mois le plus froid. Je l'ai posée à 16° dans l'„Öcologie“ de Warming. La limite de Köppen est décidément trop élevée. Le chiffre de 16 est trop bas dans les régions océaniques et trop haut dans les régions continentales. Ici aussi on doit chercher une frontière dépendant de la température de plusieurs mois; mais nous n'avons pas les matériaux nécessaires pour déterminer exactement la frontière de végétation.

Dans la zone tropicale on peut, si l'on dispose d'une humidité naturelle ou artificielle suffisante, obtenir plusieurs récoltes, qui exigent une forte chaleur.

La zone tropicale se divise en trois sections principales: les domaines secs, les domaines avec saison sèche et saison de pluies, et les domaines sans saison sèche.

Aux domaines qui ont une température tropicale mais n'ont pas une période de pluies suffisante appartiennent la portion la plus méridionale du Sahara, l'Arabie du Sud et les régions de l'Indus. On ne peut dans ces pays obtenir

aucune récolte de céréales sans arrosage artificiel. La végétation naturelle est inconnue.

Dans les domaines tropicaux à saison sèche et saison de pluies la majorité des arbres et arbustes sont à feuilles caduques. Suivant le caractère plus ou moins favorable du climat et des conditions édaphiques, quatre formations végétales ont tour à tour la prédominance, savoir celles que l'on appelle dans la terminologie de Schimper: 1) buisson d'épines, forêt d'épines, 2) savane, 3) forêt de savane et 4) forêt de monsoon. Le buisson ou fourré d'épines est assez bas, très xérophile, et préfère les régions les plus sèches. La forêt d'épines est un peu plus haute et également très xérophile. La savane est intermédiaire entre les deux autres, tandis que la forêt de savane a des arbres plus hauts, est peu xérophile, a un sol riche en herbes et préfère des régions encore meilleures. La forêt de monsoon est nettement mésophile et ne se trouve que là où la quantité de pluie annuelle dépasse 150—180 cm. Ainsi donc dans la zone tropicale les arbustes sont le type biologique qui a les conditions les plus favorables dans la lutte pour la vie. Les herbes et les petits arbres paraissent avoir à peu près les mêmes chances, tandis que les grands arbres sont les plus exigeants. Il est intéressant de rappeler comme fait parallèle que dans les régions arctiques et en Scandinavie les chamæphytes sont la forme biologique la plus endurante.

Dans les domaines tropicaux avec saison sèche et saison de pluies on peut obtenir sans arrosage une récolte à l'époque des pluies, tandis que la culture des céréales pendant la saison sèche exige l'irrigation artificielle.

La frontière entre les domaines tropicaux avec et sans saison sèche est placée par Köppen à 3 cm. pour le mois le plus pauvre en pluies. Raunkiær l'a placée à 2 mois ayant une quantité de pluie inférieure à 5 cm., ce qui paraît préférable. Les domaines sans saison sèche comportent deux

sous-sections. Là où la quantité de pluie annuelle est inférieure à 150—180 cm., règne une végétation de buisson xérophile toujours vert. Cette végétation est dominante dans certaines parties des Antilles et dans l'Est-Africain allemand ainsi que sur le côté oriental du Dekkan. Là où la quantité de pluie est grande, la forêt de pluie (Regenwald) domine.

Les valeurs climatiques des frontières entre toutes ces sections de la zone tropicale sont encore trop peu connues pour qu'on puisse faire autre chose que les indiquer avec les plus grandes précautions.

Là où n'existe pas de saison sèche, on peut obtenir plusieurs récoltes sans arrosage artificiel; mais dans les domaines pauvres en pluies on ne les obtient que pour des plantes qui exigent peu d'eau.

L'intérêt d'un exposé général comme celui que nous venons de donner des zones et des biochores consiste avant tout à mettre en lumière ce qui nous manque encore pour la solution du problème central de la géographie. On voit ainsi sur quelles régions il faut tout d'abord recueillir des renseignements relatifs aux plantes cultivées, aux méthodes de culture, à la végétation sauvage et au climat.

Les progrès se feront par de minutieuses études de détail qui semblent aux non initiés très éloignées de l'objet principal de la géographie, mais qui n'en sont pas moins le seul moyen d'approcher de la solution des grands problèmes.

Parmi les tâches que nous devons nous proposer pour le moment, il faut placer en première ligne celle qui consiste à délimiter avec précision les formations végétales naturelles, de telle sorte qu'on puisse les utiliser pour l'étude des conditions de la culture. Cette délimitation exacte ne peut se faire que par la statistique des formes biologiques.

Une statistique de ce genre a été heureusement donnée

en gros pour certains domaines de la flore; nous renvoyons notamment au travail de Willkomm¹ sur les domaines de steppes de l'Espagne. La première fois qu'on se soit servi de ces sortes de documents comme d'une base pour l'étude des formations végétales, c'est dans mon livre sur la végétation de l'île de Madère.

Le système de Raunkiær² sur les formes biologiques fournit une aide précieuse pour l'application de la méthode statistique. J'ai expérimenté ce système dans ces deux dernières années en examinant des forêts et des tourbières en Danemark et en la Suède, et j'en ai reconnu la grande utilité comme principe général de classification. Mais pour le géographe le principal doit consister dans l'efficacité du système pour caractériser les formations végétales. Le système paraît également apte à distinguer celles-ci, bien qu'il faille ici considérer chez les plantes beaucoup d'autres conditions que leur mode de protection contre une saison difficile.

¹ Vegetation der Strand- und Steppengebiete der iberischen Halbinsel (1852).

² Bulletin de l'Académie Royale des Sciences et des Lettres du Danemark, 1905.