Zeitschrift: Verhandlungen der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft = Actes de la Société Helvétique des Sciences Naturelles = Atti della Società Elvetica di Scienze Naturali

Herausgeber: Schweizerische Naturforschende Gesellschaft

Band: 101 (1920)

Rubrik: Discours d'introduction du Vice-président annuel, conférences et allocution prononcée à l'Ile St-Pierre

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: 24.11.2025

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

Discours d'introduction
du Vice-président annuel,

Conférences
et

Allocution prononcée à l'Ile St-Pierre

Eröffnungsrede
des stellvertretenden Jahrespräsidenten,

Hauptvorträge
und

Ansprache auf der Petersinsel

Discorso inaugurale
del Vice-Presidente annuale,

Conferenze
ed

Allocuzione sull'Isola San Pietro

Leere Seite
Blank page
Page vide

Leere Seite
Blank page
Page vide

Plissements précurseurs et plissements tardifs des chaînes de montagnes.

Discours d'ouverture de la 101e session de la Société Helvétique des Sciences Naturelles, prononcé le 30 août 1920, à Neuchâtel, par

Emile Argand.

Mesdames, Messieurs,

Le monde inorganique, a-t-on dit, manifeste une histoire, et dans ce flux qui change sans terme assignable, l'histoire de notre Terre se détache, pour nous, avec un relief particulier. Préjugé de Terrien, assurément; illusion que dissipe le spectacle de l'univers, mais illusion que l'esprit humain, pour de proches motifs et par une pente naturelle, incline à entretenir. La Terre n'est-elle pas, tout compte fait, le seul système inorganique un peu important que nous puissions toucher, et ne joint-elle pas, à cet avantage palpable, une variété, une beauté, une complexité qui la désignent d'autant plus à notre attention, que nous lui gardons un attachement plus forcé? Dans cette histoire générale de la Terre, ne voit-on pas se dessiner, à mesure du progrès des recherches, une *histoire des déformations de la planète,* histoire dont la narration exhaustive, si elle était possible, marquerait l'achèvement de la tectonique? Et qui donc, malgré l'impossibilité d'un tel récit, mettrait en doute l'avenir promis à cette science? En vain les océans couvrent-ils les trois quarts de l'objet; en vain le dernier quart, enveloppé d'une écorce dont nous voyons directement, en quelques pays privilégiés, les vingt ou trente premiers kilomètres, cèle-t-il des profondeurs qui semblent pour toujours au-dessous de nos prises: l'arrêt n'est pas sans appel, et s'il est vrai que les déformations de l'écorce se ramènent, en définitive, à des changements de volume dans les diverses enveloppes concentriques dont est faite la Terre, il y a beaucoup à espérer, pour la tectonique, et des progrès de la physique du globe, et de ceux de la chimie physique appliquée à l'histoire des magmas. En vain les couvertures tabulaires masquent-elles, sur de vastes étendues,

le bâti des vieilles chaînes arasées : il en perce toujours assez pour faire éviter, avec un peu de circonspection, de trop grosses méprises sur le style, l'âge et l'enchaînement des antiques déformations.

La tectonique, pour être éclaircie, veut être embrassée, et cela ne va pas sans une bonne vue : plus les objets sont nombreux, plus les mouvements sont variés, et plus il y faut d'une certaine transparence que l'esprit, reconnaissons-le sans détour, doit tirer de lui-même. La valeur de chaque détail se mesure à sa place dans l'ensemble, et ce dernier, loin d'être conçu comme une succession d'événements séparés, doit être *aperçu* comme une continuité de mouvement. L'objet de la tectonique, c'est toujours un corps à trois dimensions, un solide en train de se déformer dans toutes ses parties. En termes plus symétriques, et tenu compte du temps, nous trouverions une multiplicité à quatre dimensions. Tenons-nous en à la première expression, qui laisse paraître, dans son tour natif et dans sa force originale, la qualité des images visuelles qui se présentent au moment de l'invention et grâce auxquelles la tectonique, dépassant définitivement l'âge des tableaux statiques juxtaposés, a des chances de devenir ce qu'elle doit être : la figuration aussi pleine, aussi liée que possible, d'un ensemble de mouvements aperçu et joué.

Voici, courant sur les détails qu'il ordonne, explique, concilie, absorbe et dépasse, ce dynamisme spirituel et créateur, cet insaisissable qui saisit tout. Image de mouvements et mouvement d'images, il est plus qu'une synthèse de fragments ; il est un syncrétisme fécond, où chaque chose voudrait être présente au tout, et le tout à chaque chose ; il rend plus qu'il ne prend ; il n'est pas, il devient ; il ne pose pas à plein, il coule ; il est le jaillissement même de l'invention tectonique. En lui comme dans la nature, comme dans la réalité qu'il prétend cerner, il n'y a pas d'états, il n'y a que des transitions. Pas de stades, rien que du changement, ou lent, ou rapide ; en un mot, des phases. Le langage s'épuiserait à rendre tant d'aspects mobiles ; le dessin en train de naître y parvient en quelque mesure, pour peu qu'il soit alerte ; le dessin achevé y réussit encore, quand le spectateur sait y remettre le mouvement dont il fut l'expression.

Je vais désormais supposer connu, de l'objet dont il va être question, ce qui est parvenu à ma propre connaissance ; ou mieux, je le supposerai *vu,* et vu *en train de se déformer* au cours des

temps géologiques. Voici la marqueterie terrestre, avec ses abîmes océaniques, ses aires continentales courbées en dômes, découpées en môles et en fossés, ses chaînes plissées, diverses par l'âge autant que par le style; voici au surplus, et autant que j'y vois, le multiple cortège des phases traversées par tous ces objets; voici leur apparition sur l'immense échiquier où les coups vont se jouer; leur interaction, leurs luttes pour l'espace et leur instabilité radicale. Dans cette mouvante plénitude, il y a comme une place d'attente pour les choses qu'on ne sait pas encore: elles m'apparaissent toujours comme des espaces, mais des espaces vides dont le pourtour est en train de se déformer, et que je vois se refermer, s'évanouir et le céder à une image dynamique positive, quand survient, pour la région qui m'intéresse, une période mieux éclairée, plus remplie d'événements.

Cette représentation, où l'espace et sa déformation ne font qu'un, je me la donne en ce moment; je la soutiens, à mon gré, le temps de vous parler; je la fais couler, s'il me plaît, avec les temps géologiques ou en sens inverse; et dans les nombreuses séries d'événements qu'elle me fait voir, je choisis, sans les détacher tout-à-fait de l'ensemble, les aperçus changeants qui font l'objet de ce discours.

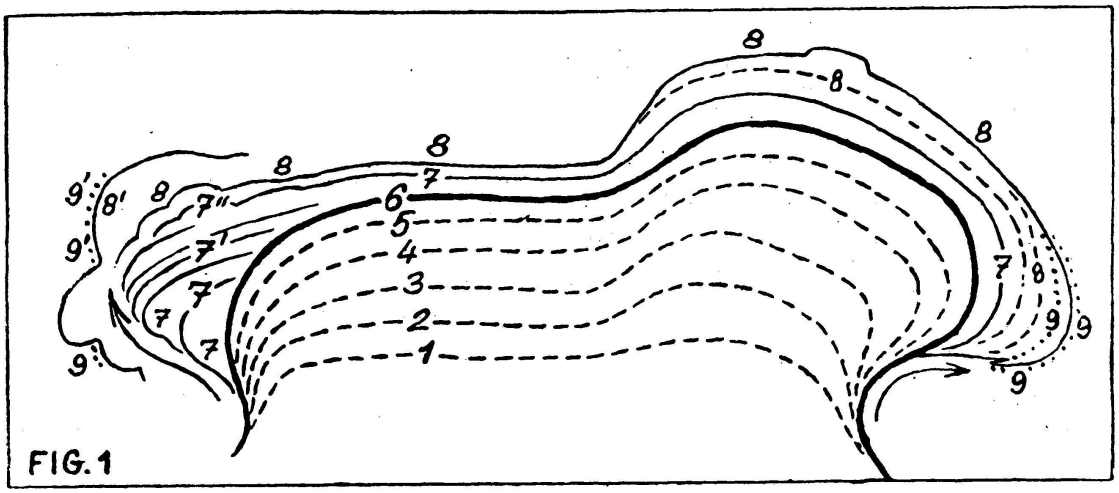
Voici les Alpes, et tant d'autres chaînes de type alpin; elles ne sont pas nées au Tertiaire, comme on l'a longtemps cru; un développement continu, lui-même commandé par des événements antérieurs, s'y manifeste dès le Trias, le Permien et même, pour certaines zones, bien avant le Carbonifère moyen, sans interruption entre le plissement hercynien et le plissement alpin. Période de plissements précurseurs où l'on voit s'ébaucher, dans la forme restituée des avant-fosses, des sillons marins et des cordillères dissymétriques en marche, le dessin des puissants organes dont le développement, sans changer essentiellement de qualité, va s'accélérer à divers moments du Jurassique, du Crétacé et surtout du Tertiaire, pour s'affirmer encore, dans le reste de cette période, dans le Quaternaire et au travers du présent, sous forme de *répliques* affaiblies, de plissements tardifs dans lesquels on reconnaît, sous des apparences attribuées, souvent à tort, à des mouvements épirogéniques, la continuation des mêmes phénomènes. En général, toute chaîne à développement continu nous offre, entre

des phases de rémission, un ou plusieurs *paroxysmes* sur lesquels on fait bien de mettre l'accent, mais qu'il ne faut pas poser trop à part de ce qui précède et de ce qui suit; ils ressortent, comme des touches particulièrement éclatantes, sur un fond continu qui n'en diffère que par sa moindre intensité, et dont ils ne sauraient être détachés. Et que les discordances ou les transgressions, par les lacunes qu'elles comportent, servent à dater certaines phases marquantes des mouvements, rien de mieux; encore faut-il voir que de telles lacunes ne prouvent jamais l'interruption des mouvements, mais seulement celle du dépôt.

Voici, dans la Méditerranée des temps jurassiques, les puissantes cordillères arquées qui donneront plus tard les nappes alpines et carpathiques. Au nord, l'avant-pays d'Europe, en grande partie submergé, offre à leur avancée un obstacle dont les singularités retentiront profondément sur la forme changeante des arcs, sur l'amplitude, sur la localisation, sur l'âge des nappes qui vont en sortir, et sur tout ce qui suivra. Qu'on embrasse d'un coup d'œil la forme de cet obstacle; c'est comme un vaste golfe allongé de l'ouest à l'est, du Dauphiné à la Moldavie, sur 1600 kilomètres; plus au sud, deux promontoires en rétrécissent l'entrée, réduite à un chenal de 1150 kilomètres. De ces deux promontoires, l'un, dont le redan le plus marqué est abîmé sous le golfe de Gênes, reconnaît pour fragments, un peu excentriques il est vrai, le massif de l'Esterel et celui du Mercantour, et peut-être pouvait-on lui rattacher encore, à ce moment, le massif corso-sarde. L'autre promontoire occupe tout le tréfonds des plaines et des plateaux du Bas-Danube: Grande-Valachie, dépression gétique, pays tabulaire bulgare; et ce socle paraît d'ailleurs au jour, à l'est, dans le massif de la Dobrogea. Au nord de chacun des deux promontoires, et protégées par eux contre l'invasion prématurée des nappes, s'étendaient deux *anses* en hémicycle; l'une, tout à l'ouest, loge aujourd'hui la boucle des Alpes occidentales; l'autre, plus vaste, à l'est, est actuellement remplie par la grande boucle des Carpathes roumaines.

Négligeons, pour l'instant, les petits mouvements précurseurs et les mouvements attardés: nous trouverons que la chaîne alpino-carpathique comprend des *nappes à deux paroxysmes,* l'un d'âge crétacé, l'autre d'âge tertiaire, et des *nappes à un paroxysme,* qui est le dernier des deux précédents. Aux nappes à deux paro-

xysmes appartiennent les zones internes des Alpes et des Carpathes, et notamment l'arc austro-alpin; aux nappes à un paroxysme, les zones externes du même ensemble.



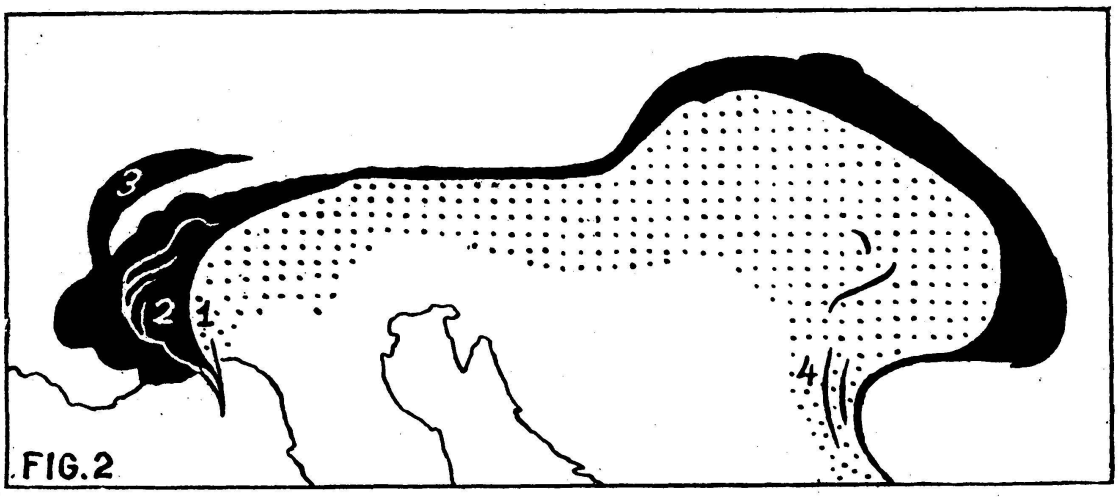


Fig. 1. Progression des fronts alpino-carpathiques. Echelle approximative 1:17,000,000, 1 à 9, progression des fronts de nappes (ou des arcs générateurs) du Jurassique au Quaternaire. 1 à 6, progressions au Jurassique et à l'Eocrétacé. 6, front des nappes au moment du premier paroxysme (fin de l'Eocrétacé). 7 à 9, nappes à paroxysme tertiaire. 7,7′,7″ progressions au Nummulitique; 8, au Néogène; 9, au Néogene supérieur et au Quaternaire. Les flèches indiquent le sens des dérives. — 8′, 9′, progressions frontales du Jura: 8′, au Néogène moyen; 9′, au Néogène supérieur et au Quaternaire. — Il est aisé de restituer à cette figure le mouvement qui traverse l'ensemble.

Fig. 2. Chaîne alpino-carpathique: distribution actuelle des unités d'après l'âge de leurs mouvements principaux — *Pointillé:* nappes à deux paroxysmes; 1, extrémité occidentale de l'arc austro-alpin; 4, virgation du Banat. — *Noir plein:* nappes à paroxysme tertiaire et régions à plissements tardifs; 2, virgation intérieure des Alpes occidentales; 3, Jura. Dans l'anse occidentale, les parties de nappes austro-alpines qui ont éte retransportées plus ou moins passivement sur le dos des nappes tertiaires n'ont pas été séparées de ces dernières.

Remettons le tout en mouvement et commençons par les nappes à deux paroxysmes. Le Valanginien passe, puis le Hauterivien et le Barrêmien. Les arcs se pressent à l'entrée du chenal; leur partie centrale s'y engage comme dans un goulet, bientôt dépassé, et prend une convexité de plus en plus prononcée vers le nord;

quant aux deux extrémités, bridées, retenues à l'arrière par les deux promontoires, elles s'y appliquent étroitement. Sur le promontoire bas-danubien, elles déferlent avec puissance en donnant ces imposantes nappes cristallines allongées du Timok à la Ialomitza, par les Portes de Fer, et dont Mrazec et Murgoci, qui les ont révélées, ont établi l'âge anté-cénomanien. Ainsi l'antiquité des grands charriages, dans cette région, s'explique aisément par la conformation de l'obstacle: le flot a déferlé, en premier lieu, sur les promontoires les plus avancés. Qu'un phénomène symétrique, comparable à celui-là, se soit produit avec plus ou moins d'intensité contre le promontoire occidental, c'est concevable; mais tant de choses sont cachées par la mer et par les nappes de charriage de l'Apennin septentrional, qu'on ne peut rien dire de plus.

Le segment médian des arcs, de plus en plus distendu vers le nord, l'est et l'ouest à mesure que le temps passe, envahit le grand golfe concédé par l'obstacle; il y dessine des fronts successifs, concentriques, de plus en plus externes et dont l'ensemble, aperçu dans le raccourci des temps, formerait une famille de courbes. Le centre de ce front, marchant au nord, balaie l'espace droit devant lui; vers la fin de l'Eocrétacé, il déferle, puis se ralentit en vue des avant-pays bavarois, autrichien, bohémien, galicien. Les deux ailes curvilignes, de plus en plus dilatées, s'efforcent d'occuper les deux anses latérales du golfe. Dans l'anse occidentale, la résistance du promontoire et l'étroitesse de l'espace ont tôt fait de ralentir, puis d'arrêter ce mouvement; voilà pourquoi l'arc austro-alpin se courbe à son extrémité ouest, sans remplir l'anse, et laisse à découvert, non sans y déclancher des plissements très affaiblis, la plus grande partie de ce qui sera plus tard la boucle des Alpes occidentales.

Beaucoup plus vaste et plus ouverte, l'anse orientale s'offre plus librement à l'avancée des arcs; elle sera donc plus complètement remplie par les nappes dues au paroxysme crétacé. L'espace considérable qu'occupent, plus en dehors, les nappes du Flysch carpathique, à paroxysme essentiellement tertiaire, montre d'ailleurs que l'invasion de l'anse, au Crétacé, n'a pas été complète, et que la partie la plus lointaine, au tournant sud-est de la chaîne, a été épargnée à ce moment.

Que le faciès du Flysch, exclusivement nummulitique dans les Alpes occidentales, débute au Crétacé à la marge septentrionale

des nappes austro-alpines et dans la plus grande partie des Carpathes, voilà un fait longtemps inexpliqué, mais qui n'a plus lieu, après ce que nous venons de voir, de nous étonner. Le Flysch est un faciès de fermeture des géosynclinaux et des avant-fosses; le Flysch crétacé devra donc se distribuer, dans l'espace, comme le paroxysme crétacé et ses répliques; le Flysch nummulitique, comme le paroxysme nummulitique, et tout ce jeu immense se trouve rattaché, en définitive, aux phases de progression des cordillères, phases qui dépendent elles-mêmes de la conformation de l'obstacle.

Nous trouvons ainsi, au bout du compte, que *les nappes à paroxysme crétacé,* c'est-à-dire à deux paroxysmes, *se sont produites uniquement dans les régions où l'on peut, d'après la forme de l'avant-pays, prévoir une maturation particulièrement précoce des arcs générateurs.*

Que dirai-je du paroxysme tertiaire? Non content de ranimer, dans toute leur masse, les nappes à paroxysme crétacé, il se fait sentir à la fois sous elles, en elles et à leur marge externe, d'un bout à l'autre de la chaîne; le remplissage des deux anses s'achève à l'Oligocène, dans l'ouest, par la formation des nappes penniques, complétées du faisceau helvétique; dans l'est, au Néogène, par le comblement des parties les plus reculées de la boucle; le bord de l'avant-pays, dominé sur toute sa longueur, reçoit une marge faite de ces nappes nouvelles et de nappes anciennes retransportées, qui jouent ou rejouent dans le détail. Ce second transport s'est accompli passivement sur le dos des nappes nouvelles, comme le montre la mise en place des Préalpes supérieures, partie intégrante de l'arc austro-alpin; on peut croire que dans l'autre boucle, un phénomène analogue est intervenu pour les nappes supérieures de la Bukovine. Au reste les Préalpes, reprises par des mouvements attardés, ont été finalement déchargées tout à l'avant, sur les mollasses chattiennes et aquitaniennes. Il va de soi que tout ce qui s'est déposé, entre les deux paroxysmes, sur les nappes d'âge crétacé, échappe au premier paroxysme et pâtit du second: c'est le cas, en général, du Mésocrétacé, du Néocrétacé et du Nummulitique.

Plus imposant, plus formidable que le paroxysme crétacé, le paroxysme oligocène le déborde en extension et le dépasse en profondeur: lui seul a pu constituer des nappes dans l'anse occidentale où était venue échouer l'offensive crétacée; lui seul a pu former

en plis couchés, tout au long des Alpes occidentales, l'immense tréfonds pennique épais d'une trentaine de kilomètres. A ce double résultat, reconnaissez la supériorité de l'effort.

Les produits du paroxysme crétacé ont, à l'ordinaire, le caractère de nappes brisantes, avec prédominance des vastes surfaces de décollement, des contacts mécaniques brusques: il s'agit de phénomènes relativement superficiels. Les produits du paroxysme oligocène présentent dans les Alpes, partout où la profondeur est grande, et c'est le cas de beaucoup le plus fréquent si l'on a égard au *volume* total déformé, le caractère de plis couchés, à flanc renversé souvent laminé, mais présent: effet de la profondeur du site et du confinement de la matière.

Que nous apprennent, maintenant, les plissements tardifs du Néogène et du Quaternaire? En une série de répliques affaiblies, la masse entière des chaînes roule sur ses charnières ou avance sur ses surfaces listriques: sous cette poussée qui mord l'avant-pays, la marge la plus exposée de l'avant-fosse néogène prend des plis qui ne tardent pas, d'ailleurs, à être surmontés par les nappes elles-mêmes. Imaginons que pour ces nouveaux objets, la forme générale de progression des fronts continue et accentue ce que nous avons trouvé pour la marche des arcs au Crétacé et au Nummulitique. Il est clair, dès lors, que les témoignages les plus anciens de cette progression néogène seront particulièrement nets au centre du front, c'est-à-dire, si l'on veut, de la Suisse à la Galicie, et que ces plissements ne s'étendront pas, aux deux régions extrêmes des anses, sans y manifester une différence de phase, un retard appréciable.

Eh bien, que voyons-nous? Tout au fond de l'anse orientale, dans les Subcarpathes, dans l'éperon de Valeni, les couches levantines sont plissées, comme l'a établi Mrazec. Ce plissement quaternaire manifeste, dans cette région de la boucle qui est la plus lointaine, la moins accessible au flux, le retard dont nous venons de parler. Transportons-nous au fond de l'autre anse; nous y trouvons, près de Digne, des charriages post-pontiens dont il faut rapprocher, dans le Jura plissé après le Tortonien, des traces d'un plissement plaisancien et post-plaisancien dont nous parlerons l'instant d'après. En faut-il plus pour établir, au moins dans les grands traits, le bien fondé des hypothèses faites? Ne voit-on pas des faisceaux néogènes, tout en gagnant peu à peu du terrain vers

l'extérieur, s'allonger à partir du front central vers les deux ailes du dispositif? Et n'est-ce pas cette précédence des plis nés du segment central qui a maintenu, à l'Aquitanien et au Burdigalien inférieur, la séparation entre le bassin rhodanien et le bassin extra-alpin de Vienne? Et cela malgré la condition déprimée qui prévalait alors? En regardant de plus près à ce jeu des avant-fosses, on trouverait, en général, un ou plusieurs *foyers* initiaux à partir desquels s'est fait l'allongement des plis, dont les extrémités libres, au cas de foyers multiples, finissaient par se rencontrer et par s'enchaîner en faisceaux continus.

Revenons à l'intérieur des Alpes et des Carpathes. Les *virgations* qui s'y manifestent avec tant d'ampleur vont résulter, elles aussi, des conditions que l'avant-pays offre au déferlement. Une virgation se produit, en général, quand l'*abordage* de l'obstacle par des nappes ou par des plis se fait avec une incidence oblique. Toute virgation dessine une gerbe de plis qui, d'abord serrés, s'étalent et divergent au loin. Une virgation a encore ceci de précieux, qu'elle fait paraître, dans les courbes de ses branches, et tout d'un temps, dans le présent, quelque chose des formes successives jadis assumées par les fronts, par les trains de plis en marche. Elle est comme un rappel des progressions passées; mieux encore, elle en est le témoignage direct, conservé dans sa forme, à quelques détails près, grâce à la grande viscosité du milieu. Au même titre que les arcs dont elle fait partie intégrante, elle est toujours, pour l'embryogénie des objets tectoniques, du plus grand intérêt. La partie serrée de la gerbe est aussi la plus déviée par l'obstacle; la partie étalée est la moins contrariée; elle répond, en quelque manière, aux libres ondes du large. L'abordage est toujours plus ancien dans la partie serrée, plus récent en avant de la partie étalée; de la première à la seconde région, l'application du front à l'obstacle se fait de plus en plus tard, et l'on conçoit qu'une *dérive* longitudinale comparable, pour l'image, à un courant littoral, s'y produise dans le même sens et travaille à étirer les plis suivant leur longueur. Au total, on aura dans toute virgation un moyen subtil d'apprécier la qualité et la succession d'un certain nombre de phases du mouvement.

Voyez cette virgation du Banat, par quoi les faisceaux internes des Carpathes, dirigés au NNE, s'écartent si notablement du fron que présente la chaîne en Olténie, et considérez cette virgation intérieure

des Alpes franco-italiennes qu'on est parvenu à déceler, il y a peu d'années, sous la complication des nappes penniques où elle se cache profondément. Comme elles se font vis-à-vis, dans l'une et dans l'autre anse du bord résistant! Comme l'une est l'image symétrique de l'autre! Douteriez-vous, après cela, d'une communauté d'origine? Toutes deux expriment, en effet, le mode de progression des nappes sitôt après le dépassement de l'un et de l'autre promontoire; et si la dérive, comme on l'a montré ailleurs, s'est produite du sud au nord au long de l'hémicycle occidental, il faut bien qu'une dérive analogue ait eu lieu de l'ouest à l'est, tout au long des Alpes de Transylvanie, où l'abordage doit devenir de plus en plus récent dans le même sens. Le fait que ces deux virgations ne sont pas de même âge, et se rattachent l'une au paroxysme crétacé, l'autre au paroxysme oligocène, ne détruit pas l'analogie mécanique: il la marque au contraire plus fortement.

La virgation des Alpes occidentales présente d'ailleurs, dans le temps et dans l'espace, beaucoup plus de durée et d'ampleur que je ne le voyais il y a quelques années. La branche la plus méridionale en même temps que la plus ancienne de la gerbe, n'est autre que le bord dévié de l'arc austro-alpin à son extrémité occidentale: elle date du Crétacé. Vient ensuite la virgation intérieure proprement dite avec les branches du Pelvo d'Elva, d'Ambin, de la Vanoise-Valsavaranche, toutes d'âge nummulitique, mais de plus en plus récentes dans l'ordre indiqué. La branche la plus septentrionale de la virgation, enfin, n'est autre que le Jura, plissé après le Tortonien avec rejeu au Pliocène et au Quaternaire. Toutes les gerbes ainsi dessinées se ferment au sud et s'ouvrent au nord, au nord-est, à l'est-nord-est; le plus largement ouvert des éléments synclinaux de cette virgation, c'est le pays mollassique suisse, et sans cette résistance de la Forêt-Noire qui a obligé le Jura oriental à se serrer, à se *compliquer* sur lui-même, le Jura tout entier se terminerait par une vaste gerbe étalant au loin dans les plaines ses nombreuses extrémités libres divergeant au nord-est et au nord. Ainsi les Alpes occidentales entières, par leurs éléments les plus reculés et les plus anciens comme par leurs ouvrages les plus avancés et les plus récents, manifestent l'extraordinaire persistance d'une certaine forme de mouvement qui se rattache elle-même, de la manière la plus étroite, aux conditions que l'avant-pays imposait à l'abordage du flux. Et dans les dérives à tendance sud-nord

d'intensité variable, que suppose un tel ensemble en virgation, ne voit-on pas s'affirmer dans des régions de plus en plus septentrionales, à mesure que passent le Crétacé, le Nummulitique, le Néogène et le Quaternaire, comme une survivance de plus en plus cachée de ce que fut, avant l'entrée des arcs dans le chenal, la poussée méridienne générale?

Parlerai-je du volcanisme alpin? On a proposé, il y a peu, de rattacher les produits volcaniques recélés par le grès de Taveyannaz au batholite du val Bregaglia. Avant d'en venir à ce détail que nous croyons inexact, élargissons le problème jusqu'à ses vraies dimensions: nous trouvons que le batholite post-alpin apparaît à Traversella, à Biella, en Bregaglia, à l'Adamello, à la Presanella, à l'Iffinger, au Riesenferner, au Bachergebirge; ce n'est rien autre, à tout prendre, que la cicatrice tonalitique de Michel-Lévy, ou encore les granites périadriatiques de Salomon; sa longueur reconnue passe donc 600 kilomètres, mais il se prolonge bien au-delà, et tout ce déluge de roches volcaniques, principalement andésitiques, dacitiques et rhyolitiques, qui s'est épanché au bord interne des Carpathes, jusqu'en Transylvanie et au Banat, ne fait sans doute que projeter en surface la continuation de notre batholite, admissible, désormais, sur plus de 1800 kilomètres. On doit encore rattacher à ce long cortège la cicatrice batholitique du Banat, plus jeune que divers niveaux du Crétacé supérieur. Le groupe volcanique des Monts Euganéens occupe, comme on sait depuis longtemps, une position analogue au revers de la cordillère alpino-dinarique, et tout porte à le croire branché sur le même réservoir: il nous permet de passer, sans autre étonnement, à la considération de volcans tertiaires greffés sur les Alpes elles-mêmes. Fouillons encore le problème, mais dans le temps cette fois: nous trouvons qu'au Vicentin, les éruptions commencent au Londinien et se poursuivent après l'Oligocène; en Transylvanie, elles vont du Nummulitique au Vindobonien. Passons maintenant au cas particulier du grès de Taveyannaz: comme il s'agit du Lattorfien, nous sommes bien dans l'intervalle de temps qui convient; mais où était le centre volcanique? C'était Traversella. La masse principale du grès de Taveyannaz se trouve, à n'en pas douter, dans la Suisse occidentale, la Haute-Savoie et le Dauphiné; Bregaglia est loin, Traversella est près; au surplus, Bregaglia ne s'entoure pas de ce vaste étoilement de filons andésitiques qui ceint Traversella

et Biella et qui, en s'irradiant à des dizaines de kilomètres autour de ce foyer, dans la zone insubrienne, dans le Canavese et dans la zone Sesia, jusqu'au cœur des Alpes Pennines, dessine le plan d'un volcan très profondément décapé, situé exactement en arrière, et au plus près de la zone où prédominent les produits effusifs du grès de Taveyannaz. En outre, Traversella est dioritique, ce qui s'accorde, bien mieux que le Bregaglia principalement granitique, avec les affinités andésitiques des tufs du Taveyannaz. Puis-je ajouter que toute cette minéralisation qui se traduit en tant de points de la zone pennique, par exemple dans les massifs du Mont-Rose et du Simplon, par des venues de quartz aurifère, et dont l'âge postérieur au principal plissement alpin a été établi, est une manifestation téléfilonienne qui se rattache sans doute, en profondeur, au batholite récent qui pointe de temps à autre dans le sud?

Nous avons, sans inconvénient jusqu'ici, négligé une période pour laquelle, dans les Alpes, les témoignages sont ou paraissent très clairsemés. C'est l'Eonummulitique, période pendant laquelle se déclanche, dans les Alpes, une phase orogénique appréciable; et il y a bien, en effet, dans cette chaîne, comme un petit paroxysme qui s'intercale entre les deux grands. A lui se rattache évidemment cette émersion qui s'est maintenue, pendant tout l'Eonummulitique, dans la plus grande partie de la chaîne. Je dis la plus grande partie, encore que pour quelques-uns, il s'agirait de la totalité. Cette surrection de plis en marche, fréquemment poussée jusqu'à l'émersion, a affecté pour le moins toute la zone helvétique et les deux grands géanticlinaux penniques. Il faut bien qu'un reste de mer ait duré dans le sillon le plus profond du géosynclinal piémontais, sans quoi on ne saurait d'où faire venir la transgression mésonummulitique alpine.

Si, cessant de regarder les Alpes entières, on n'a égard qu'à l'arc pennique et helvétique des Alpes occidentales, on trouvera, d'ailleurs, que l'effort éonummulitique a été plus important que l'effort crétacé et qu'il n'a été dépassé, en intensité et en efficace, que par le paroxysme oligocène. Entre ces trois maxima de poussée orogénique se placent deux minima, dûs à la rémission de l'effort horizontal et manifestés par de légers fléchissements du bâti plissé: le premier minimum est souligné par la transgression maestrichienne, le second par la transgression mésonummulitique, avec

minimum le plus déprimé au Priabonien. Nous voici de nouveau à l'avant-veille du grand paroxysme: il se produit à l'Oligocène moyen dans le sud de l'arc. Le jeu de la dérive porte à le croire légèrement plus récent, ou à le faire durer plus tard dans le nord des Alpes occidentales, et en effet, les Préalpes supérieures ne déferlent complètement qu'après le Chattien.

Mais voici bien autre chose. Quand un faisceau de plis ou de nappes, au cours de sa marche horizontale, vient à rencontrer un obstacle, il subit une rétention qui le force à se tuméfier, et il se forme un *bombement axial*. Qu'un autre segment de ce faisceau se meuve vers un avant-pays plus découvert, il trouve un écoulement plus facile et garde un niveau moins élevé: les axes des plis présentent un point bas, un *ensellement*. Cette *segmentation* active des faisceaux n'a rien à voir avec les dislocations radiales; elle est donnée en même temps que le plissement, dont elle est une manifestation normale; elle témoigne, comme les déversements et les recouvrements, d'un effort horizontal; elle fait paraître l'unité de l'acte qui forme les nappes et du même coup leurs inflexions d'axe; elle fournit une image vraiment dynamique où tout est lié; elle dispense de recourir au surrogat de mouvements épirogéniques qui seraient venus après coup, on ne sait trop pourquoi, surprendre les nappes déjà faites et les relever inégalement. On a montré ailleurs comment se manifeste, au cœur même des nappes alpines, ce jeu si naturel, et par quelle illusion d'origine analytique on avait été conduit à dissocier, en deux stades successifs, deux aspects synchroniques d'un même mouvement. Le moment est venu d'appliquer ce critère à des mouvements plus délicats, à ces phases attardées dans lesquelles on fait encore, trop souvent et trop exclusivement, intervenir des dislocations radiales: affaissements, soulèvements, jeux de failles, épirogénèse.

Voici, par exemple, le bord méridional des Alpes: il plonge au Plaisancien pour se relever à l'Astien et au Quaternaire. Si nous trouvons, entre les isobases de ce mouvement et celles que donnerait la résultante verticale de segmentation nettement aperçue, une certaine conformité, nous serons en droit d'affirmer qu'il y a aussi une composante horizontale, donc plissement. Des environs d'Ivrée à la coupure de la Sesia, les altitudes du Pliocène soulevé vont en augmentant: 280 mètres près de Baldissero Canavese; 520 mètres pour les lambeaux plaisanciens et astiens de la basse

Sesia. Mais dans les Alpes Pennines, au droit de tout cela, les axes des plis couchés montent dans le même sens; autrement dit, sur la coupe en long qui réunit les deux localités que je viens de nommer, la composante verticale de segmentation, après le dépôt des sables jaunes astiens, donc *au Quaternaire,* a accru d'au moins 240 mètres la dénivellation que les plans axiaux présentaient auparavant. Nous sommes ici dans la retombée occidentale de ce grand bombement qui culmine dans le Tessin et s'étend du Valais aux Grisons. La continuation du plissement alpin au Quaternaire s'est certainement traduite, pour le faîte structural et notamment pour le point de plus grande culmination, par des chiffres très supérieurs à 240 mètres: la coupe en long que nous venons d'examiner passe, en effet, très en arrière du faîte, dans la retombée sud de la cordillère, où la montée ne se manifestait qu'avec modération. D'après l'altitude des surfaces séniles qui existent en tant de points des Alpes Pennines et qu'on peut, sans trop d'incertitude, faire dater du Pliocène, on admettra, pour les régions rapprochées du Rhône, une ascension quaternaire de l'ordre de 2000 à 2400 mètres; pour la région du faîte structural, 3000 mètres et plus; pour la culmination absolue, dans le Tessin, des valeurs encore plus grandes; et cette ascension qui décroît du faîte aux deux bords de la cordillère, et des régions bombées aux régions ensellées, n'a rien, évidemment, d'épirogénique; elle se distribue comme le plissement lui-même; elle n'en est que la résultante verticale, d'où la nécessité d'admettre, pour le Quaternaire, un important effort horizontal déroulant ses effets dans toute la chaîne.

Quant aux lambeaux pliocènes qui s'étendent vers l'est, à partir du lac Majeur, ils ne peuvent entrer en ligne de compte dans de telles restitutions, car ils reposent sur des zones plus méridionales appartenant aux Dinarides, où les mouvements ont affecté un style différent, excluant, pour l'heure, la comparaison.

Passons au bord externe du Jura. Nous y trouvons le lac plaisancien de la Bresse, avec ses couches à Paludines dans lesquelles Delafond et Depéret ont reconnu cinq zones paléontologiques successives. Imaginons la masse entière des Alpes, Jura compris, soumise à un léger renouveau de plissement. Le front externe du Jura avancera quelque peu et les dépôts du lac bressan seront relevés au bord de la chaîne: c'est précisément ce qui a lieu en nombre de points. Considérons, en outre, que ce lac occupe une

véritable avant-fosse; que la moitié sud de ce sillon, serrée entre le Jura qui avance et le Massif Central qui résiste, va prendre un léger bombement axial, de nature orogénique; prévoyons, par surcroît, le sort de ces parties plus septentrionales de l'avant-fosse qui, ne trouvant devant elles que le détroit morvano-vosgien, vont rester déprimées, et nous aurons saisi, comme en mouvement, les raisons pour lesquelles le lac, dans sa partie sud, a moins duré qu'au nord.

Ainsi donc, un léger mouvement orogénique, sensible à mesure que dure le Plaisancien, se précise à la fin de cette période; les sables de Trévoux, d'âge astien, reposent sur les couches à Paludines ravinées. Que ces plissements, continués et accentués au Quaternaire, aient du même coup déclanché ce rajeunissement topographique du Jura que manifestent la reviviscence de l'anticlinal interne, la présence de nombreuses cluses antécédentes, et ces longues vallées à cycles emboîtés dont le Doubs est un des plus beaux exemples, c'est ce qu'on ne saurait plus mettre en doute, du moment que des plissements d'âge pliocène viennent établir, des plissements vindoboniens aux plissements quaternaires, la transition nécessaire.

Revenons à la zone des volcans tertiaires qui s'allonge au bord interne des Alpes et des Carpathes. Nous y trouvons, sous une forme profondément cachée, la marque d'inflexions axiales dues aux plissements attardés. Il y a, dans les Carpathes, deux maîtres bombements axiaux; celui de la Tatra et celui des nappes gétiques entre le Timok et la Dambovitza. Pris en gros, l'intervalle entre ces deux aires est un ensellement qui résulte, d'ailleurs, de la liberté relative avec laquelle les nappes s'avançaient dans le large chenal compris entre le massif de la Bohême et le promontoire du Bas-Danube. Eh bien, c'est dans ce segment déprimé des nappes que la zone volcanique présente, avec le plus de continuité, le moins de dissection. Elle s'éparpille davantage en arrière de la Tatra et plus encore dans la boucle banatique, où les témoins volcaniques sont, à l'ordinaire, fort espacés ou réduits à leur cicatrice batholitique. Simple effet, dans un cas, de la condition déprimée, dans l'autre, de l'ascension axiale manifestée, au Néogène et au Quaternaire, par les plissements attardés qui ont affecté ces segments.

Une relation analogue se rencontrerait entre les volcans des Euganéens et celui qui, selon toute probabilité, surmontait la région de Traversella. Le premier est notablement disséqué; le second

est réduit à l'étoilement filonien de son plan, avec un batholite central sectionné, semble-t-il, peu au-dessous de la cheminée. Comme les axes des nappes alpines présentent, d'une région à l'autre, une ascension considérable d'est en ouest, on comprend que par l'effet de cette ascension continuée, le volcan occidental soit plus profondément décapé que l'autre.

A dater du paroxysme tertiaire, la chaîne alpino-carpathique, appliquée contre le massif bohémien, prend cette incurvation rentrante qui délimite assez nettement un arc alpin et un arc carpathique, dont l'histoire manifestera, désormais, un certain degré d'indépendance. Pour l'arc alpin, le maximum de la poussée répond à la partie la plus convexe, en Suisse. Dans un arc de plissement, on doit s'attendre, en général, à voir les recrudescences de la poussée tangentielle agir d'abord sur le segment central le plus convexe, et gagner avec le temps les extrémités, où elles manifesteront un retard. Les défaillances de l'effort ont toutes chances, au contraire, de débuter aux extrémités et de ne gagner que plus tard, si elles durent assez, la région centrale. Dans les deux cas, la résultante verticale, ascension ou descente, superpose ses effets à ceux de la résultante verticale de segmentation. Les deux facteurs sont-ils de même sens, ils s'ajoutent; au cas contraire ils se retranchent et l'un des deux prime l'autre, dont l'effet est masqué. On conçoit que ces petits mouvements verticaux, dont le siège éprouve des transferts graduels dans le sens horizontal, peuvent faire croire au déplacement de larges ondes épirogéniques. Essayons d'appliquer ces critères, évidemment plus subtils que l'hypothèse épirogénique, à la cordillère et à l'avant-fosse alpines. Les dépôts néogènes qui entourent nos chaînes ne sont-ils pas souvent, grâce aux nombreux changements de faciès qu'ils présentent dans le sens vertical et dans le sens horizontal, d'excellents enregistreurs des petites pulsations orogéniques? Dans les cordillères devenues, depuis l'empilement des nappes, des organes essentiellement transmetteurs et de grande section, l'effort se dilue et l'allongement des plis est lent; dans les avant-fosses, organes récepteurs et de faible section, l'effort se concentre et l'allongement est rapide: de là, dans la dernière partie de l'histoire de ces deux éléments, une certaine disparité dont on rencontre parfois les effets.

A dater de l'Aquitanien, décroissance lente de l'effort horizontal, descente graduelle de la cordillère et de l'avant-fosse, le

tout plus tôt et plus complètement exprimé aux extrémités qu'au centre: de là l'invasion marine qui se fait sentir dès le début du Néogène dans le bassin extra-alpin de Vienne et dans le bassin rhodanien. La décroissance s'accentue, et la plongée est assez marquée, au Burdigalien supérieur, pour permettre à ces deux bassins de se rejoindre en un trait continu, par la Suisse et la Bavière; là descente a gagné le segment central. A l'Helvétien inférieur, le Schlier bathyal se dépose à l'est, à partir de la Haute-Autriche, et il y en a des traces dans le bassin du Rhône; au centre de l'arc, en Suisse, nous avons un régime néritique et sableux; c'est que ce centre, plus richement doté d'énergie que les deux ailes, éprouve le moins et le plus tard les effets de la diminution de poussée orogénique. L'Helvétien répond donc, pour l'avant-fosse et dans la règle, à un minimum d'effort.

Au Tortonien, reprise de l'effort horizontal dans le segment central, en Suisse; le sens de l'évolution précédente est renversé et des dépôts d'eau douce remplacent le régime marin; cette reprise ne gagne que lentement les ailes et n'y sera guère sensible avant le Sarmatien. Dans le bassin extra-alpin et dès l'Helvétien supérieur, la superposition des couches de Grund au Schlier marque, il est vrai, un léger relèvement du fond de la mer, mais un facteur localisé, la présence du massif bohémien tout proche, a provoqué ici un faible serrage favorable à l'ascension. Dès cette époque la cordillère manifeste, au rebours de ce qui a lieu pour l'avant-fosse, une plongée qui se maintiendra ou s'accentuera au Tortonien; ce régime caractérise le bassin intra-alpin de Vienne, assis sur la cordillère même. Ainsi, pour l'aile orientale de la chaîne, le minimum helvétien se prolonge et se creuse encore pendant le Tortonien; la reprise d'effort, qui débute en Suisse, au centre, dans cette même époque tortonienne, n'a pas encore eu le temps de s'étendre jusqu'à l'extrémité. La nouvelle phase de serrage et d'ascension commence donc à des époques diverses, Helvétien, Tortonien, Sarmatien, suivant les conditions mécaniques données dans chaque segment. Cette phase atteint, au Pontien, à un maximum absolu dans toute la chaîne, et sans doute aussi dans toutes les chaînes issues de la Méditerranée, mer qui est réduite, à ce moment, à sa plus faible extension. Il est naturel de faire coïncider, avec ce maximum orogénique de la fin du Vindobonien, la principale phase d'avancée des nappes bordières sur les plis de

l'avant-pays néogène. Au Plaisancien, rémission très générale du plissement et plongée, suivie d'un relèvement qui débute à l'Astien et se poursuit dans le Quaternaire.

Nous avons donc en général, pour l'intensité des plissements attardés, un premier minimum touché ici à l'Helvétien et ailleurs au Tortonien; un maximum au Pontien, un minimum au Plaisancien et un ou plusieurs maxima au Quaternaire. Ajoutez à cela un faible maximum datant de l'Helvétien supérieur et localisé dans certaines parties de l'avant-fosse; il divise le premier minimum en deux minima secondaires, l'un à l'Helvétien inférieur, l'autre au Tortonien. Résultats morphologiques: une évolution en plusieurs cycles de la topographie néogène, préglaciaire, des Alpes, évolution analogue à celle que présentent les Carpathes, mais beaucoup plus voilée par le modelé glaciaire; ensuite, rajeunissement fluviatile quaternaire, puis amorçage de la première glaciation par l'augmentation d'altitude; et quant aux origines, rien que des plissements ordinaires.

Voici l'Apennin, et voici l'Atlas; dans cette longue cordillère arquée, bornons-nous à signaler des traces de virgation et d'allongement des plis. Ce long alignement mésozoïque, qui court et s'étire de Spoleto à Terni et Tivoli, n'est qu'une épave de nappes enrobée dans du Flysch; il s'allonge suivant le méridien alors que le front de la chaîne se dirige au sud-est: nous avons une virgation fermée au nord, ouverte au sud. Au bord extrême des nappes, une dérive a dû se faire sentir du nord-ouest au sud-est, mais comme ce vrai front de la chaîne est enfoui sous la plaine côtière néogène du versant adriatique, il ne sera peut-être pas aisé de constater le phénomène. Passant au Sahara algérien, voici qu'un train de plis autochtones s'avance du nord-ouest, obliquement au bord de la plateforme; les relais en échelon qu'il présente sont comme l'amorce d'une virgation symétrique de la précédente. La masse de ces chaînes frontales a dérivé vers l'est au long de la plateforme, et tout le dispositif résulte très naturellement de l'abordage oblique. Que ces deux virgations laissent paraître quelque chose de l'antique progression des arcs et des plis, du traînage des extrémités déviées contre l'obstacle caché sous l'Adriatique, et contre celui que recouvrent les tables sahariennes, on en conviendra, comme on restituera aussi, en pensée, la convexité que ces branches ont présentée exactement en arrière de celle que dessine, en Sicile et en Calabre, le front le plus avancé de la chaîne.

Qu'il y ait eu, au surplus, tendance à l'allongement des extrémités libres de la chaîne, on en aura quelque idée par le fait que les nappes sont antérieures au Burdigalien en Sicile, tandis que les plissements attardés ont affecté le Pliocène, près de Turin, à l'extrémité libre de la chaîne.

Voici les Dinarides: considérables en Grèce, en Albanie, en Dalmatie, elles diminuent peu à peu d'importance en Vénétie, en Lombardie, au Tessin; cette atrophie graduelle annonce l'extinction de ce faisceau, dont les extrémités libres, cachées sous la plaine du Piémont, ne doivent pas être très à l'ouest des derniers lambeaux de la basse Sesia. On les a souvent, sous la plaine, prolongées dans l'Apennin, mais je n'en crois rien. L'Apennin montrant au jour son extrémité libre, on ne voit pas comment une autre chaîne s'y raccorderait; et cette extrémité, du reste, au lieu de pointer au nord-est, vers les derniers lambeaux dinariques, ne se recourbe-t-elle pas à l'ouest, au sud-ouest et finalement au sud, dans le dernier éperon de Moncalieri?

Voici la chaîne double méditerranéenne: les Pyrénées, les Alpes, les Carpathes et le Balkan en sont l'aile nord, marchant vers l'Europe; l'Atlas, l'Apennin, les Dinarides sont l'aile sud, marchant vers l'Afrique. Par le sens de la poussée qui les anime, les deux ailes s'opposent; par le tréfonds commun où elles plongent, elles ne font qu'un. Cette notion de chaîne double, vieille de quelques dizaines d'années et que certains, dans ces derniers temps, ont peut-être cru inventer, n'a pas cessé d'être commode, et voici ce que j'y vois. Quand, sur la même transversale, sur le même *diamètre de poussée,* l'une des ailes est puissamment développée, l'autre l'est peu; que l'une vienne à consommer plus d'énergie, ce sera aux dépens de l'autre; que le cube de matière mis en jeu vienne à grandir ici, il diminue là; il s'établit donc entre les deux ailes, pour chaque diamètre ou mieux pour chaque segment, une compensation. Premier segment: les terres égéennes et balkaniques, jusqu'à un diamètre tiré de la dépression gétique au rebroussement de Scutari. Voici l'aile nord: c'est le Balkan bulgare, en grande partie autochtone et de faible volume; l'aile sud, Dinarides helléniques, domine complètement; charriages présumés en Lycie et en Carie, charriages de Rhodes, de Crète, du Péloponnèse et du Pinde, à séries épaisses, géosynclinales, à grand volume. Deuxième segment, du diamètre précédent à un autre que vous tireriez de

Vienne à Trieste à peu près; aile nord: les Carpathes avec charriages de cube modéré; aile sud: les Alpes Dinariques proprement dites avec les charriages du Velebit, de la Hrusica, les déversements de l'Istrie; en somme, équilibre approché entre les deux ailes. Troisième segment: du diamètre précédent à cet autre qui, d'Ivrée à Sion, traverse les Alpes Pennines et se prolonge, marqué par l'avancée maximum des Préalpes et par celle du Jura, dans la direction de Besançon. Aile nord, les Alpes, dont l'importance va sans cesse en augmentant de l'est à l'ouest; aile sud, les Dinarides de Vénétie, de Lombardie et du Piémont, qui s'affaiblissent dans le même sens jusqu'à l'évanouissement complet. Quatrième segment: du diamètre précédent au golfe de Gênes; les nappes alpines se réduisent progressivement vers le sud; dans les Alpes Maritimes, elles n'atteignent pas à la moitié du volume qu'elles présentent dans les Alpes Pennines; mais à l'aile sud, l'Apennin paraît et ne cesse d'augmenter en importance à mesure que les Alpes paraissent s'atrophier.

Arrêtons-nous un instant au diamètre Ivrée, Alpes Pennines, Sion, Besançon. La chaîne alpine, aile nord de la chaîne double, atteint là son expression la plus puissante et par compensation, *l'aile sud cesse d'exister* sous forme d'Apennin ou de Dinarides.

Je pourrais, au surplus, décrire chacune des deux ailes de la chaîne double comme un système de *plis en retour* de l'autre aile; par exemple les Dinarides et l'Apennin comme plis en retour de la chaîne alpino-carpathique. On gagnerait, à cela, une certaine unification dans l'énoncé des sens de poussée et on y trouverait, d'ailleurs, plus qu'un simple tour discursif: ne vois-je pas, dans le court intervalle où les Dinarides et l'Apennin oublient de se rejoindre, *le bord interne des Alpes elles-mêmes se compliquer de plis en retour* d'une puissance qu'on ne retrouve en aucune autre partie de cette chaîne? Je ne parle point, ici, de l'éventail briançonnais; je désigne, comme vous voyez, cet éventail des racines alpines qui est si manifeste au bord interne des Alpes Pennines, dans la zone Sesia-Lanzo par exemple. Nous voyons ici les Alpes, par une substitution singulière, se charger de produire, comme en un rappel dont la signification n'échappera pas, tout ce qui peut être réalisé de l'aile sud dans le segment où la dominance de l'aile nord se fait le plus complètement sentir. C'est ainsi que

les Alpes, dans ce tronçon si remarquable, assument à elles seules le rôle de la double chaîne méditerranéenne.

En parlant d'un évanouissement des Dinarides vers l'ouest, je ne saurais en dire autant de la zone insubrienne, car cet objet, avec ses prolongements, fait pour moi partie des Alpes; affaire de définition. Comme les Dinarides, telles que je les vois, ne sont que la couverture sédimentaire un peu bousculée, mais en somme normale et adhérente, de cet objet alpin, on conçoit que je me passe de limites tectoniques entre les Alpes et les Dinarides. Les Dinarides ne seront donc pas, dans notre acception, quelque chose qui recouvre toute la largeur des Alpes; c'est, si l'on veut, cette partie arriérée des Alpes qui, tout en marchant vers le nord, a pris des plis et des charriages vers le sud, grâce à un déplacement graduel, vers le bas, du point d'application de l'effort maximum. Ce déplacement résultait, d'ailleurs, des progrès de l'affaissement adriatique, progrès qui entraînaient peu à peu, vers la profondeur, les organes transmetteurs de l'effort. Le vrai problème alpino-dinarique est moins de disjoindre que de restituer l'ensemble qui préexistait à toute disjonction; et un déroulement bien conçu des objets tectoniques ne laissera subsister aucune solution de continuité entre les Alpes et les Dinarides, pas plus, en général, qu'entre deux ailes opposées de la chaîne double.

M'occuperai-je des chaînes anciennes? Elles sont trop, au regard du temps qui vole rapide; mais voici, tout de même, la chaîne calédonienne d'Europe.

L'Ecosse nous montre, tout au nord-ouest, ses charriages classiques, de type rigide et brisant; elle nous montre aussi, à l'arrière, toute cette grosse masse ancienne des Highlands, principalement cristallophyllienne, où Bailey a reconnu, il y a peu d'années, de grands plis couchés. Pour le style, la première zone est comparable, en plus superficiel, aux coins cristallins du massif de l'Aar et du Mont-Blanc; la seconde zone, avec ses séries concordantes, ses charnières bien formées, sa grande épaisseur, son caractère de plis profonds, issus d'un géosynclinal, est l'analogue du grand intérieur pennique. On ne sait pas encore, il est vrai, si les plis couchés de Bailey marchent, comme il est probable, de l'est à l'ouest ou s'ils cheminent en sens inverse; on ne sait pas davantage dans quel sens il faut lire la série stratigraphique qui se contourne en eux. Ces deux problèmes sont connexes, et on les

résoudrait d'un coup si l'on pouvait dire où se trouvent, dans ce foisonnement de plis repliés, les anticlinaux et les synclinaux couchés originels. Qu'on s'adresse aux Alpes, on y trouvera peut-être la clef du problème. Il est de règle, dans les vastes plis couchés penniques, que les charnières frontales, anticlinales, soient bien dessinées; mais les charnières synclinales *d'origine*, celles qui unissent chaque grand anticlinal couché à ses congénères, sont sans exception réduites, par laminage et écrasement, à des queues appointies. Qu'on transporte ce critère aux plis couchés de l'intérieur des Highlands et l'on saura ce qui est anticlinal, et ce qui est synclinal, et dans quel sens lire la série.

Voici les Alpes scandinaves, et voici leur grande moitié occidentale, moins élucidée que l'autre. Que sont ces nombreux lambeaux de gabbro, ou de granite, de Ryfylke, des régions au nord du Hardangerfjord, des Jotunfjelde, du Dovre, des Okstinder, du Svartis, de Lyngen, et au-delà peut-être vers le nord-est? De l'avis de tous ils reposent fréquemment, en compagnie de schistes cristallins, sur du Cambro-Silurien, et il n'est presque pas, dans ces derniers terrains, de synclinal qui n'en renferme au moins un. Ils n'appartiennent pas, assurément, à la grande nappe complexe, de style brisant, que Törnebohm a jadis découverte, et dont le bord frontal se dessine plus à l'est. Les plus hardis y trouvent le témoignage de renversements localisés; pour d'autres, plus écoutés de nos jours, ce sont des laccolites épanchés dans le Silurien, et ils en veulent pour preuve la soudure parfaite qui existe souvent entre les roches éruptives et leur soubassement cristallophyllien ou silurien, avec défaut, en certains points, de contacts brusques; pour preuve encore, le fait que les schistes du substratum auraient éprouvé, à partir du haut, un métamorphisme de contact dû aux roches éruptives sus-jacentes. Mais qu'est-ce que tout cela? La répétition, à une échelle immense, de ce qu'on voit en Valais, dans le flanc renversé du pli couché de la Dent-Blanche. L'argumentation que nous venons de rappeler porterait, évidemment, contre l'idée de nappes brisantes, à vastes décollements et brusques superpositions mécaniques, comme est la nappe de Törnebohm; elle ne porte pas contre l'hypothèse, qui est la nôtre, d'un système de plis couchés, à flanc renversé aussi laminé qu'on voudra, mais en grande partie conservé et d'un mouvement assez souple pour avoir souvent respecté, malgré d'énormes étale-

ments et une vigoureuse déformation, les attaches originelles des objets. Que des portions de batholites, entraînées dans un tel système de plis couchés, en viennent à se ployer, à se retourner fond sur fond, la tête en bas, et à poser sur les schistes injectés et métamorphisés qui jadis leur servaient de calotte, c'est ce qui nous semble être la règle dans ces lambeaux; on conçoit d'ailleurs que cette injection et ces actions de contact se soient produites, en réalité, de bas en haut, avant les derniers plissements, car à l'ordinaire, la série est renversée.

Tout ce cortège de phénomènes, ai-je dit, répète le massif de la Dent-Blanche, où nous l'avons décrit, il y a une douzaine d'années, non sans y joindre l'appui de levés détaillés. Même absence de limites tranchées; même renversement de batholites granitiques aujourd'hui posés sur leurs auréoles de contact, après engagement dans des plis couchés. Les schistes cristallins qui entrent, avec les granites et les gabbros, dans la composition des lambeaux norvégiens, sont beaucoup plus métamorphiques que ne le sont, en moyenne, les schistes siluriens du substratum. Même phénomène dans les Alpes Pennines où les schistes de type profond, à minéraux de la catazone, se trouvent portés, par le jeu des plis couchés, à des milliers de mètres au-dessus des schistes de l'épizone, ainsi qu'il paraît au Mont-Cervin, à la Dent d'Hérens, en Valpelline.

On saisit, d'après les nombreuses similitudes qui viennent d'être relevées, l'analogie des deux problèmes; on mesure l'étendue des conséquences qui en résultent pour la structure générale de la chaîne scandinave, et que nous venons de tirer; on conçoit, enfin, la nécessité de revoir, à l'échelle régionale et à l'échelle locale, le problème des Alpes Norvégiennes en tenant compte de ce qui est établi pour les Alpes Pennines. Un grand système de plis couchés, sorti d'un géosynclinal, a marché vers l'est jusqu'à recouvrir cette nappe plus externe, plus basse et de caractère plus superficiel pourtant, avec ses grands décollements, qu'a trouvée jadis Törnebohm. Du paquet cambro-silurien qui reste engagé entre les deux systèmes de nappes, on peut tout aussi bien dire qu'il les sépare ou qu'il les unit; dans sa partie basse, ce paquet est la couverture ordinairement normale des nappes de Törnebohm ; dans sa partie haute, repliée sur la précédente, il appartient au système supérieur et y adhère encore. C'est un vaste et complexe

synclinal couché, divisé en planchers superposés par des lames anticlinales, et l'analogue, comme on voit, de la zone du Combin en Valais.

Qu'on trouve encore, dans le système supérieur, des sorties axiales obliques de plis couchés superposés, analogues à celle qui couvre tout le Valais central et oriental, c'est ce que révèlent suffisamment, à mes yeux, certains levés récents, et notamment la belle carte que Rekstad a donnée, en 1912, de la région côtière que domine le Svartis, entre 66° 20′ et 67° de latitude nord. En y regardant de près, on trouvera là, au sud du Melfjord, une structure à empilements complexes et répétés, dont le trait le plus accusé est la présence de deux grands plis couchés principaux, à cœur anticlinal de granite et enveloppes cambro-siluriennes; la forme des traces indique un paquet de plis couchés poussés au sud-est, et dont les axes s'enfoncent au nord-est. Au plus profond de ces deux plis appartiennent les Strandtinder, à noyau granitique renversé sur la série jeune de l'Aldersund et plongeant normalement à l'est, ainsi qu'au nord-est, sous une série analogue. Au plus élevé de ces deux plis couchés, on rattachera le cœur granitique des Kjerringviktinder, du Gjervalhatten et du Snefjeld. Ce dernier pli couché offre une trace curviligne presque complète, qui fait penser à celle de la nappe du Mont-Rose: trace du flanc renversé au bord sud-ouest du massif; trace de la charnière frontale autour du Snefjeld; trace du flanc normal au bord nord-est de la masse, vers le Langvatn, le Storvatn et le Melfjord. Le granite du Svartis appartient à un troisième grand pli couché encore plus élevé. Les traces de flancs normaux ne sont, d'ailleurs, pas rares dans toutes ces nappes supérieures de Norvège, et tout incline à y reconnaître la succession verticale primitive des batholites encore recouverts de leur calotte. Nous regardons le cas de la région indiquée, et tant d'autres cas analogues que réalisent les Alpes scandinaves intérieures, comme une répétition du problème classique des *traces* de plis couchés, tel qu'il se présente dans les Alpes Pennines.

Il n'est pas jusqu'aux *plissements en retour* des zones intra-alpines qui ne se reproduisent parfois en Norvège, au côté interne de la chaîne, c'est-à-dire à l'approche de cet Océan Atlantique sous lequel les racines des nappes sont abîmées; et l'on trouvera, par analogie avec les Alpes occidentales, que ces plis en apparence

rétrogrades résultent d'une continuation tardive de l'effort originel *vers l'est,* avec déplacement graduel vers le bas, au cours des temps, du point d'application des forces.

La chaîne scandinave, ainsi complétée, n'est pas sans ressembler aux Alpes; elle devient, d'ailleurs, l'exact pendant symétrique de la chaîne écossaise: dans les deux cas, les nappes brisantes, de type superficiel, sont en dehors et les plis couchés, de type profond, en dedans. Les deux poussées, en Ecosse et en Scandinavie, sont dirigées en sens opposé, vers les deux marges d'un géosynclinal: on trouve ici les témoignages d'une double chaîne calédonienne analogue, à l'âge près, à la double chaîne méditerranéenne.

Que dire des pays tabulaires, si ce n'est qu'en un sens, *il n'y en a pas?* Voyez l'Irlande, au nord des faisceaux hercyniens qui longent son bord méridional. C'est une couverture de Dévonien et de Carbonifère déposée sur un fond calédonien très plissé, et faiblement plissée elle-même, aux temps hercyniens, par le contrecoup des plissements plus intenses et de même âge qui sont si manifestes, comme on sait, dans les latitudes plus basses de l'Europe. Même explication pour les plis modérés, plus encadrés de môles dominants, qui affectent les bassins houillers des Lowlands écossais. Voyez, au surplus, ces vastes espaces qui s'étendent du bord alpino-carpathique à la Fennoscandie! Le contrecoup des plissements alpins s'y manifeste partout, et dans ce plissement, il n'est de questions que pour le degré. Plis du bassin de Paris, du Boulonnais, du Weald, de Wight, de la bordure du Harz et du Teutoburger Wald; plis extrêmement faibles que dessinent, en vue même du bouclier baltique, les auréoles contournées des divers niveaux du Crétacé et du Tertiaire danois. A peu près partout d'excellents travaux ont éclairci la longue histoire de ces plis. On y retrouve en pulsations affaiblies, croyons-nous, l'écho de chacun des paroxysmes méditerranéens, voire même de mouvements andins. Et que sont, dans la vaste Russie, les fameuses lignes de Karpinsky, sinon des plis compliqués de fractures, comme ils le sont tous? Et les larges *uplifts* paléozoïques du centre des Etats-Unis, avec les vasques auxquelles ils passent horizontalement? Des plis. On peut d'ailleurs, en général, conserver l'expression si commode de *pays tabulaires,* à la condition de n'y voir qu'un de ces concepts-limites que la nature ne se charge pas de réaliser dans leur perfection,

et qui restent bons pour la notation approchée de certains aspects; à la condition, en outre, d'entendre qu'il s'agit de plis différents par le degré, par l'intensité, l'étendue ou la forme, mais non par la qualité, de ceux qui composent les *chaînes réglées*.

J'ai parlé, tout à l'heure, de *plissements andins* manifestés jusqu'en Europe. Où se trouvent, au Jurassique supérieur, les principaux foyers de plissements intenses, à caractère paroxysmal? Assurément, dans les Cordillères qui longent le bord occidental des deux Amériques, et pour être plus explicite, dans les faisceaux occidentaux de ces Cordillères. La Sierra Nevada en est, peut-être, l'exemple le plus complètement étudié; d'autres témoignages en sont offerts par les Klamath Mountains, les environs de San Francisco, la Colombie Britannique. Qu'un si grand paroxysme se soit fait sentir, parfois avec un léger retard, bien en dehors de ces chaînes, sous forme de contrecoups plus ou moins affaiblis, et prenne par là une importance grandissante, c'est ce dont on ne saurait douter, et on ne voit pas de meilleure explication aux plissements cimmériens de Suess, si manifestes en Crimée, non plus qu'aux rejeux de cordillères et aux creusements de sillons marins, souvent si profonds, qui se produisent à ce moment dans les embryons des chaînes alpines et méditerranéennes. Ajoutons-y toutes les traces de plissements reconnues, pour cette époque, en tant de points de l'Europe au nord des Alpes: centre de l'Allemagne, Boulonnais, Weald et autres localités du bassin anglo-parisien, ainsi que la production de ce large *uplift* qui se traduit, de l'Angleterre au Jura, par la régression du Purbeck. Qu'un tel contrecoup des plissements andins ait été possible, c'est une raison de plus d'admettre une indivision très fortement constituée, une solidarité mécanique assurée à l'intérieur du bloc continental qui englobait alors les parties anciennes de l'Eurasie et de l'Amérique du Nord.

Je m'arrête: la tectonique ainsi contée m'entraînerait loin, et il ne sied point, pour l'heure, que toute la Terre y passe. On a vu, dans la peinture des ensembles en mouvement plus encore que dans l'esquisse des structures, ce que la tectonique veut être demain. On a vu aussi, je pense, comment la connaissance des Alpes, qui ont révélé tant de secrets et qui en gardent encore quelques-uns, peut éclairer et rajeunir celle de bien d'autres chaînes. Saluons les

Alpes, gage de fécondité pour notre science; les Alpes, parure auguste de la Terre; les Alpes qui nous semblent plus belles, depuis que nous avons le sentiment de leur mobilité et le pressentiment de leur impermanence. Admirons l'illusion que répand, sur leur majesté transitoire, sur leurs flancs amoindris par l'érosion, sur leur destin entrevu, la généreuse splendeur de ce clair matin. Que d'aurores ont lui, en des matins sans nombre, sur les Alpes en travail, depuis le temps où de souples cordillères, premières ébauches de la chaîne, parurent pour la première fois au-dessus des mers bleues!

Les aciers au nickel dans l'Horlogerie.

Ch.-Ed. Guillaume

Le voyageur qui parcourt pour la première fois les montagnes et les hautes vallées neuchâteloises ne peut manquer d'être frappé par la place immense qu'y occupe l'horlogerie. Elle en est comme le sang et la moëlle. Depuis tantôt deux siècles, elle a modelé l'esprit de leurs habitants, et commandé tous les mouvements de leur population. Que l'on relève les dates ciselées dans la pierre qui surmonte la porte d'entrée des vieilles fermes burgondes, dont chacune abritait une seule famille, partageant son temps entre les travaux des champs et les délicates besognes de la montre, et l'on reconnaîtra qu'elles se groupent autour des périodes où l'horlogerie était florissante, et qu'elles s'espacent, pour disparaître presque, aux époques de grande crise, alors que les enfants du Pays neuchâtelois allaient au loin gagner le pain qui se faisait rare sur la terre natale.

L'intensité croissante de la production horlogère a créé les villages montagnards, le Locle et la Chaux-de-Fonds, dont les habitants disent, non sans fierté, qu'ils sont les plus grands du monde.

Au temps de mon enfance, l'atelier familial vivait encore. Donnons-lui un pieux souvenir. Là, dans les longues soirées d'hiver, tandis qu'à la lumière des quinquets, on taillait, limait, polissait des roues, des pignons, des platines, tour à tour les jeunes ou les très vieux faisaient, à toute la famille réunie, une lecture à haute voix: science, histoire, géographie, voyages; et l'étranger venant au pays restait surpris de l'élévation de la pensée qui y régnait, du savoir étendu de chacun, au sein de ce patriciat des artisans, auxquels l'horlogerie apportait, avec le bien-être matériel, le désir profond de connaître et de tendre vers la perfection.

C'est à ce besoin de perfection qu'il faut rattacher les multiples progrès que la montre doit au travail neuchâtelois. Innombrables sont les artistes ingénieux qui ont apporté, à cet admirable mécanisme, un élément susceptible d'en améliorer le fonctionnement. Quelques noms se détachent de leur foule, plusieurs sont célèbres. Un siècle de labeur industriel n'a point amoindri le prestige qui entoure ceux de Ferdinand Berthoud et d'Abram-Louis Bréguet.

Beaucoup de Neuchâtelois ont, dès leur enfance, rêvé de marcher sur leurs traces. Au plus profond de ma mémoire, j'en retrouve les vestiges. J'en distingue encore une marque plus nette, lorsque je me revois, suivant les cours du Gymnase ou de l'Académie de Neuchâtel, sous l'égide de mes maîtres vénérés. Je tentais alors de très naïfs essais de calcul, ne me doutant pas qu'il me faudrait des années d'étude pour arriver seulement à comprendre les mémoires, alors déjà connus des initiés, et aujourd'hui classiques, dans lesquels Phillips et Yvon Villarceau avaient définitivement établi les principes mathématiques du réglage.

C'est par une autre voie que, vingt ans après, ayant parcouru un long circuit dans la métrologie, et ayant appris à connaître mieux les propriétés de la matière, j'eus enfin l'immense joie de voir se réaliser mon rêve d'enfant, et d'apporter, comme un hommage à tant de chers disparus, des solutions nouvelles de problèmes posés depuis le jour où les montres, construites avec une perfection suffisante, avaient laissé apparaître, dans leurs marches, des écarts systématiques, connexes des changements de la température. C'est ce problème de la compensation, auquel je me suis attaché, que nous allons maintenant examiner avec quelques détails. Mais, pour en bien saisir le fond dans le cas de la montre, il est utile de traiter d'abord celui de l'horloge.

Principes de la compensation.

Les conditions sont connues, dans lesquelles le mouvement d'un pendule d'horloge est le même que celui d'un pendule libre, et les bonnes horloges y satisfont; on peut donc traiter, au point de vue qui nous occupe, les variations de leurs marches comme celles d'un pendule oscillant librement.

La tige, suspendue à un ressort, ou fixée à un couteau, porte une lentille, posée sur un écrou fileté servant au réglage moyen;

mais la dilatation thermique de la tige produit des changements de la durée d'oscillation, que l'on corrige par un organe compensateur. Les deux solutions classiques d'autrefois sont le pendule à gril et la compensation à mercure de Graham, peu à peu substituée au premier, malgré les inconvénients inhérents à une masse oscillante fluide.

Le calcul, limité aux organes propres du pendule, n'est pas complet. Si, en effet, l'oscillation s'effectue dans l'air, la poussée diminue le moment statique, sans affecter sensiblement le moment d'inertie; la période d'oscillation s'en trouve allongée; mais, l'effet diminuant avec la densité du milieu ambiant, l'air produit un peu de compensation, qui disparaît, évidemment, si le pendule oscille dans un espace hermétiquement clos.

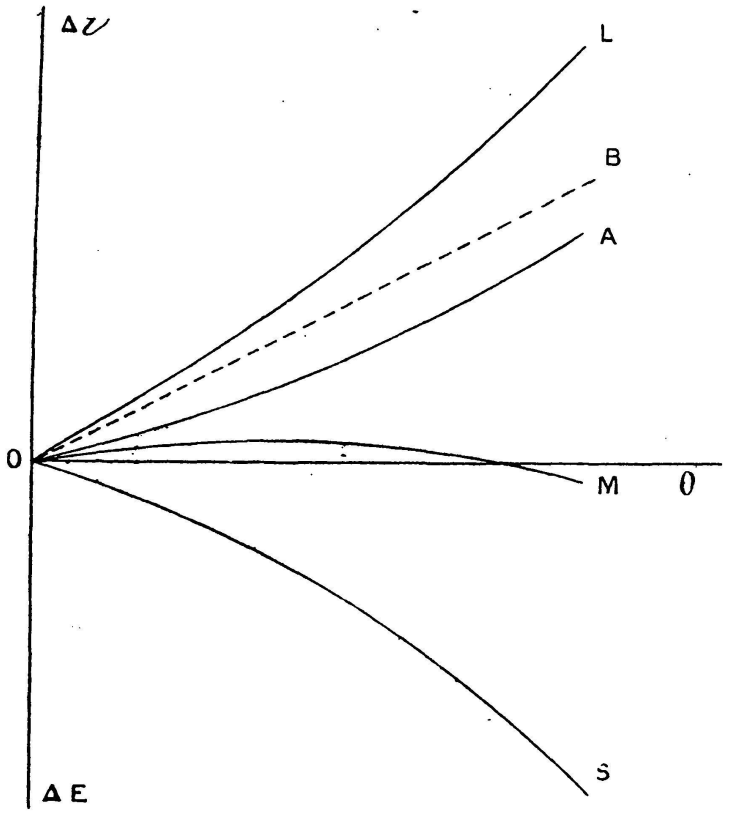
Le calcul de la compensation se fait alors sur les éléments mêmes du pendule. Si sa tige est en acier, dont la dilatabilité est de l'ordre de 11 millionièmes, la quantité à compenser correspond à un retard d'une demi-seconde environ par jour et par degré. Le coefficient de la dilatation cubique du mercure dans le verre étant d'environ 160 millionièmes, la remontée du centre de gravité de la masse entière suffit à compenser la descente globale du vase qui le contient, sans que celui-ci doive atteindre une longueur impraticable.

Tout autre est le cas de la montre. Ici, le moteur appliqué au mobile oscillant n'est pas la pesanteur, mais un ressort-spiral, fixé sur l'axe d'un balancier, qu'il ramène vers sa position d'équilibre, après qu'il en a été écarté par le choc de la roue d'échappement.

L'action de la température s'exerce alors sur le métal du spiral, dont, en s'élevant, elle diminue le module d'élasticité. Le spiral et le balancier se dilatent également; mais un examen tout élémentaire du problème montre que, dans la combinaison spiral d'acier et balancier de laiton, les deux actions se compensent sensiblement; pratiquement, tout le changement des marches se ramène donc à celui du module d'élasticité. Dans le cas envisagé ici, le retard de la montre est d'environ 11 secondes par degré et par jour.

Au XVIIIe siècle, les horlogers opposaient à cette cause de variation des marches, un changement automatique de la longueur agissante du spiral, par le déplacement, provoqué à l'aide d'une raquette bimétallique, des goupilles de serrage. Arnold et Earn-

shaw ont enseigné l'emploi du balancier compensateur. Celui-ci se compose d'un bras diamétral, aux deux extrémités duquel sont fixées des lames semi-circulaires, composées de deux anneaux concentriques, respectivement en acier et en laiton. L'extrémité de chaque lame opposée au bras étant libre, l'élévation de la tempé-



Extrait de l'ouvrage:
Ch.-Ed. Guillaume, Les Aciers au nickel et leurs applications à l'horlogerie. (Edit.: E Magron, Bienne [Suiss.])

Fig. 1.

Cause de l'erreur secondaire des chronomètres (OS fonction perturbatrice du spiral; OB fonction compensatrice du balancier acier-laiton).

rature la courbe vers l'intérieur, et ainsi, le moment d'inertie du balancier se trouve diminué. Des vis placées en divers endroits des lames, et dont le régleur dispose, permettent de modifier à volonté les changements du moment d'inertie, et d'opposer ceux-ci exactement aux changements du moment élastique du spiral.

Mais voyons de plus près quel est le mode d'action du balancier.

Le changement du module d'élasticité de l'acier avec la température est régi par une fonction affectée d'un second terme important. On peut la représenter par la courbe OS. (fig. 1.) D'autre part, l'action compensatrice du balancier est proportionnelle à la

différence des dilatabilités des deux métaux constituant la lame du balancier: OA et OL pour l'acier et le laiton. Or, il se trouve que, les dilatabilités moyennes de ces deux corps étant très différentes, les termes quadratiques des fonctions qui les représentent sont cependant sensiblement égaux. La fonction compensatrice du balancier sera donc représentée par la ligne pratiquement droite OB, dont on peut modifier l'inclinaison, mais non pas la forme, par les dimensions de la bilame, ou par la position des vis de réglage.

La marche de la montre étant commandée par la somme algébrique, OM, de la fonction perturbatrice, OS, et de la fonction compensatrice, OB, on pourra réaliser l'égalité des marches pour deux températures déterminées; mais les marches aux autres températures seront affectées par le résidu quadratique, lié aux propriétés élastiques ou de dilatation de l'acier et du laiton.

La compensation ayant été réalisée pour deux températures telles que 0° et 30°, le maximum du résidu dans leur intervalle est de 2 secondes environ par jour. Cette erreur a été découverte en 1832, par l'horloger anglais Dent, et porte son nom, en même temps que celui *d'erreur secondaire*. Ferdinand Berthoud l'avait déjà aperçue, dès l'année 1775, dans les marches d'un chronomètre compensé par la raquette. Le diagramme ci-dessus s'applique identiquement à ce procédé de réglage, et il n'y a pas à nous étonner, si la valeur que Ferdinand Berthoud donne de l'erreur secondaire est égale à celle que lui attribue Dent.

La correction de l'erreur secondaire a beaucoup préoccupé les horlogers, et de multiples solutions en ont été proposées. Mais elles obligent à faire, au balancier, des additions coûteuses, et qui ne sont pas sans influence sur sa conservation dans le cours du temps.

Le seul emploi, dans la montre, d'un balancier compensateur, substitué à un volant monométallique, est déjà une complication inacceptable pour les pièces à bas prix. Il y a une vingtaine d'années, la grande majorité des montres ignoraient toute compensation, et leurs marches, en avance ou en retard marqué à tout changement de la température moyenne, exposaient leurs détenteurs à tous les inconvénients, graves dans la vie moderne, de ne jamais connaître l'heure exacte.

Les propriétés singulières des aciers au nickel ont permis de résoudre très simplement les divers problèmes qui viennent de se poser devant nous. Il est temps d'apprendre à les connaître.

L'anomalie des aciers au nickel.

Quel que soit le mode d'investigation que l'on applique aux alliages du fer et du nickel, on constate que leurs propriétés les classent à part de tous les autres corps métalliques. Il en est, par exemple, de non-magnétiques à la température ordinaire; mais, si on les refroidit, on voit apparaître les propriétés magnétiques, qui se conservent ou s'évanouissent suivant la composition de l'alliage, lorsqu'il est ramené à la température de départ. Les propriétés de ces alliages sont donc *irréversibles* ou *réversibles*, et leur étude montre que les plus pauvres en nickel appartiennen à la première catégorie, les plus riches à la seconde.

Pour l'objet qui nous occupe, les alliages à transformations réversibles sont les seuls intéressants. Ces alliages partent d'une proportion de nickel égale au quart environ, et s'étendent jusqu'au nickel pur.

Leur dilatabilité est en frappante contradiction avec la règle des mélanges.

Partant d'une valeur en forte anomalie positive, marquée par la distance à la droite AB (fig. 2), qui représenterait les résultats conformes à cette règle, elle s'abaisse rapidement, coupe la droite aux environs 29 p. 100, puis continue, pour passer, vers 36 p. 100, par un minimum accusé, après lequel elle vient lentement se raccorder à la droite des mélanges. Les alliages voisins du minimum ont reçu le nom générique d'*invar*.

Il est nécessaire de préciser le sens dans lequel la courbe doit être comprise. Elle ne se rapporte pas à des alliages de fer et de nickel, purs de toute addition. Ces alliages, sans doute irréalisables, seraient, de plus, inutilisables, faute de pouvoir subir le forgeage. Tous les résultats ont été ramenés à des alliages contenant uniformément 0,4 p. 100 de manganèse et 0,1 p. 100 de carbone, proportions moyennes des fabrications industrielles pour les alliages du type invar.

Les dilatabilités représentées ici se rapportent, en plus, aux alliages dits *à l'état naturel*, pour cette raison qu'ils ont été simplement abandonnés à l'air après le laminage, fait au rouge.

Partant d'un alliage à l'état naturel, on peut relever sa dilatabilité en le réchauffant au rouge pour le laisser refroidir lentement; on l'abaisse par la trempe, et plus encore par un écrouis-

sage: forgeage, laminage, tréfilage; ainsi, des dilatabilités négatives peuvent être aisément obtenues. Une chauffe prolongée (à 100° par exemple) les relève modérément. Et l'on possède maintenant

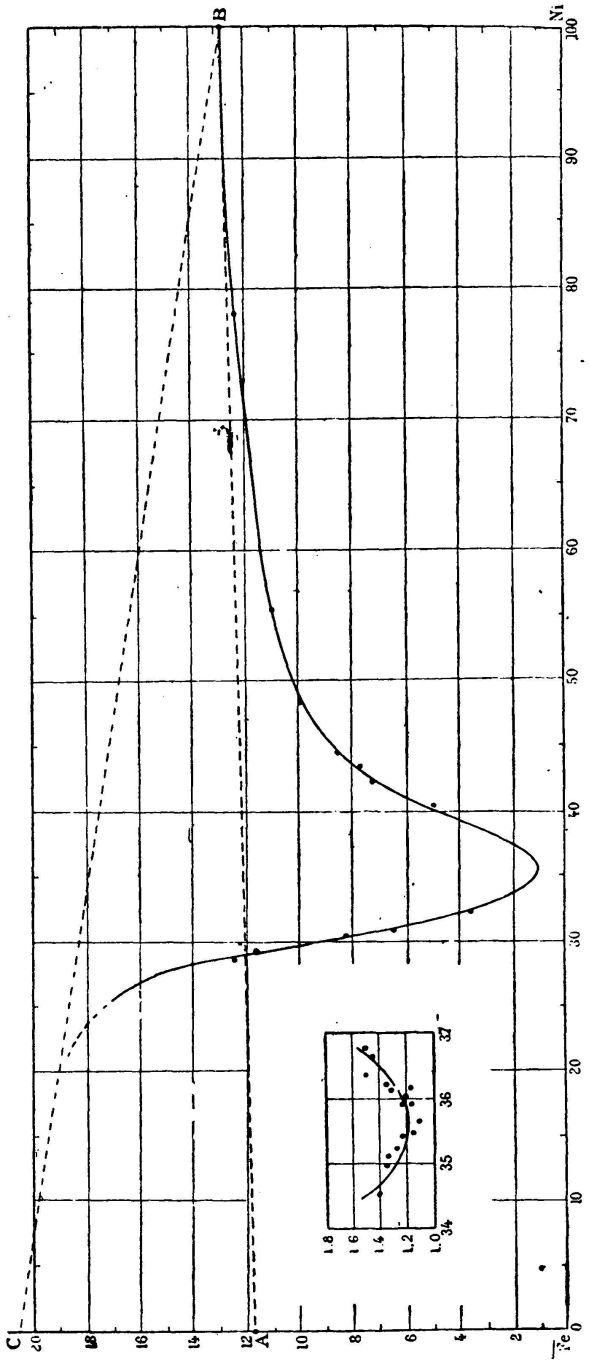


Fig. 2.

Dilatabilités vraies à 20° (α_{20} en millionièmes) des alliages de fer et de nickel, additionnés de 0,4 Mn. et 0,1 C p. 100.

tous les détails d'une technique permettant de jouer, pour ainsi dire, avec les dilatabilités, et d'amener aussi près de zéro qu'on le désire celle d'un échantillon donné d'invar, de composition appropriée.

L'aspect de la courbe se modifie assez rapidement lorsqu'on la trace pour une autre température. En effet, le coefficient

du terme quadratique[1] dans l'équation de dilatation possède des valeurs tout aussi anormales que le coefficient principal, ainsi que le montre la courbe fig. 3. Partant d'une valeur voisine de la

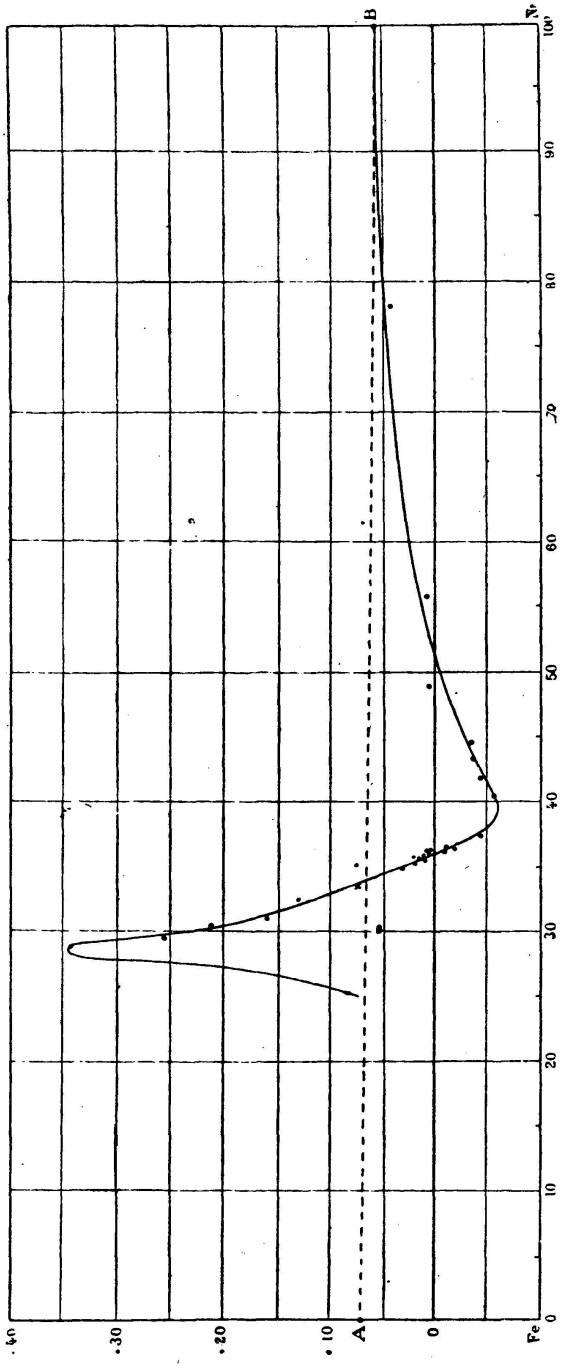


Fig. 3.
Valeur du coefficient $10^3\,\beta$ dans les alliages de fer et de nickel, additionnés de 0,4 Mn. et 0,1 C p. 100.

[1] Rappelons que, dans la plupart des métaux ou alliages possédant des propriétés *normales,* la dilatabilité peut, dans un large intervalle de température, être représentée par une équation de la forme:

$$l_\Theta = l_\Theta\,(1 + \alpha\Theta + \beta\Theta^2)$$

Les coefficients α et β sont respectivement nommés linéaire et quadratique.

normale, ce coefficient monte très rapidement au quadruple, puis, après avoir franchi un maximum très brusque, s'abaisse jusqu'à des valeurs négatives, pour remonter lentement vers la valeur normale.

Mais même les valeurs de ce coefficient ne sont données ici que pour un intervalle étroit de température, car la dilatabilité d'un acier au nickel ne peut, en général, être représentée par une fonction du second degré que dans un intervalle restreint.

Les propriétés élastiques des aciers au nickel ne sont pas moins singulières. Marc Thury a publié le premier ce résultat,

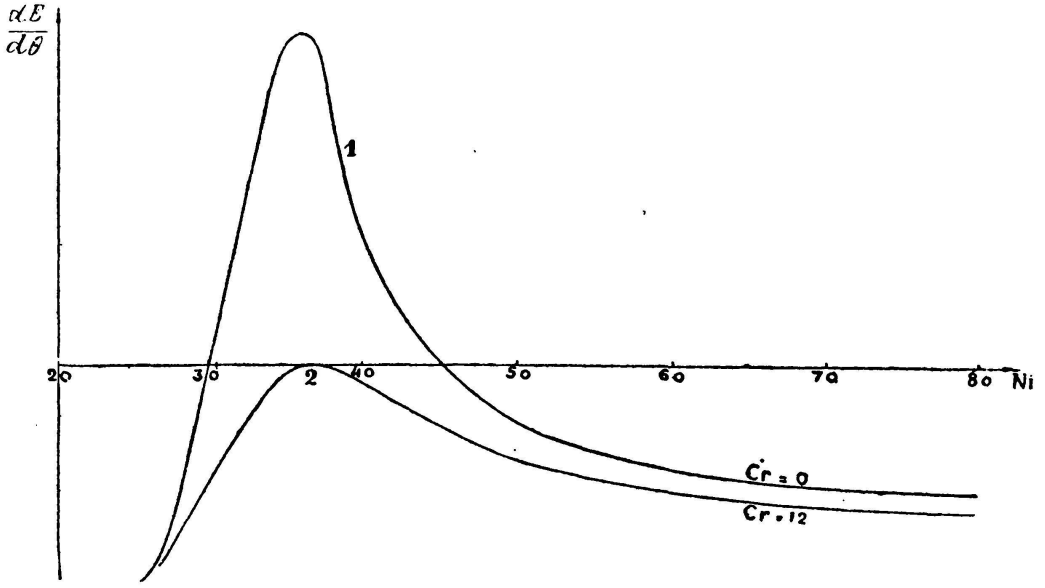


Fig. 4.

Valeurs, à 20°, du coefficient de variation thermique du module d'élasticité dans les aciers au nickel en fonction du nickel (Courbe 1: alliage pur. Courbe 2: alliage contenant une proportion d'addition équivalente à 12 p. 100 de chrome).

qu'une lame d'invar, fléchie par un moment donné, se redresse lorsqu'on la chauffe, marquant ainsi que son coefficient thermo-élastique est positif, contrairement à ce que l'on constate dans tous les autres métaux ou alliages connus.

Dès avant cette publication de Marc Thury, nous avions entrepris, Paul Perret et moi, l'étude détaillée du coefficient thermo-élastique des aciers au nickel, dont l'allure est représentée par

---

Si l'on représente la dilatation par une courbe, α est le coefficient d'inclinaison de la tangente, β le coefficient de courbure.

Dans l'équation ci-dessus, α indique l'inclinaison de la courbe de dilatation à 0°. Il est convenu, en outre, que, si l'on affecte α d'un indice numérique, il représente alors l'inclinaison de la tangente au point correspondant à la température donnée; on lui donne alors l'appellation de *coefficient vrai* à cette température. Ainsi, α_{20} est le coefficient vrai à 20°; c'est celui qui est représenté dans la courbe de la figure 2.

les diagrammes 1, fig. 4 et 5; le premier indique les valeurs vraies du coefficient thermo-élastique à 20°, le second la marche du module, pour un même alliage, dans un large intervalle de température.

L'intime parenté de ces diagrammes avec ceux de la dilatation est immédiatement évidente; si, en effet, au lieu de représenter les modules, ils figuraient les quantités inverses proportionnelles aux déformations élastiques, les deux premiers seraient amenés à une coïncidence très approchée par une simple translation en hauteur; et cette remarque établit, à n'en pas douter, la communauté d'origine des deux anomalies.

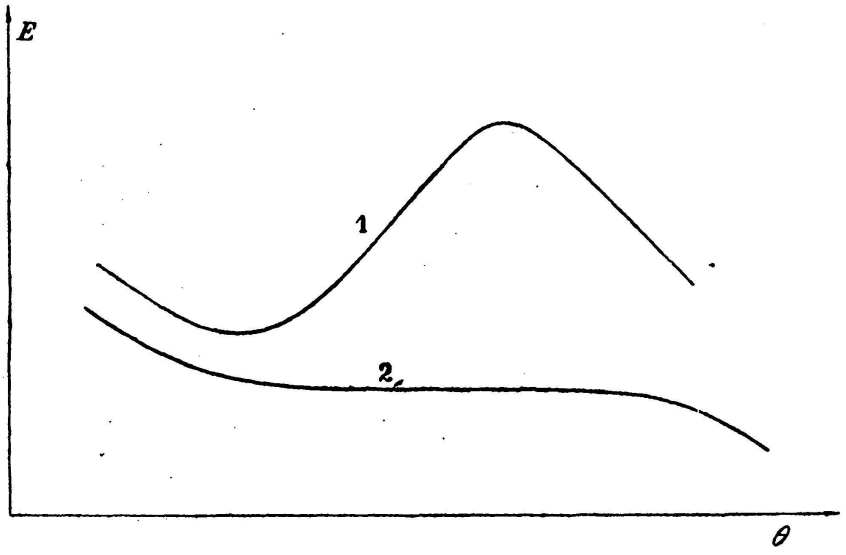


Fig. 5.
Valeur du module d'élasticité dans un même acier au nickel en fonction de la température (Courbes 1 et 2: comme ci-dessus).

Nous avons maintenant tout ce qu'il faut pour comprendre les progrès que les singularités des aciers au nickel ont permis d'apporter aux diverses formes de la compensation.

Le pendule.

Le rapprochement de quelques nombres nous suggérera immédiatement la construction d'un pendule compensé, d'extrême simplicité. La dilatabilité relative du mercure dans le verre est à celle de l'acier dans un rapport du même ordre que la dilatabilité du bronze à celle de l'invar. Remplaçons donc la tige d'acier du pendule par une tige d'invar, nous aurons la possibilité d'établir la compensation simplement par une lentille de bronze. Ou, si on la trouve trop coûteuse, on la fera en fonte, et, l'ayant suffisamment entaillée, on insérera, entre elle et l'écrou de support, un tube de

bronze ou de laiton, qui assurera le mouvement ascentionnel nécessaire de la lentille.

Cette compensation comporte des variantes à l'infini; et l'on choisira la forme la mieux appropriée au genre ou au rang de l'horloge dont il s'agit. On possède, d'ailleurs, une variété étendue de dilatabilités de l'invar, et on peut même, ainsi que nous l'avons vu, réaliser des tiges n'exigeant aucune compensation.

Le pendule à tige d'invar diffère de celui de Graham non seulement par la simplicité et l'économie de sa construction. Le calcul d'une compensation suppose l'uniformité de température aux divers niveaux de la cage qui abrite le pendule, condition qui n'est pas toujours suffisamment réalisée. Or, les erreurs qui en résultent sont proportionnelles aux valeurs individuelles des deux actions que l'on corrige l'une par l'autre. A cet égard, le pendule à tige d'invar est libéré des neuf dixièmes au moins des erreurs qui, de ce chef, atteignent le pendule à compensation mercurielle.

La compensation approximative de la montre.

La seule inspection des deux diagrammes de l'élasticité fait entrevoir deux solutions du problème de la compensation approximative des montres: choisir un acier au nickel dont le module passe, aux températures ordinaires, par un minimum ou un maximum; ou, ce qui revient au même, retenir l'un de ceux pour lesquels la courbe des coefficients thermo-élastiques coupe la ligne zéro, et en constituer un spiral. Le minimum étant plus élargi que le maximum, et, comme conséquence,[1] la deuxième intersection de la courbe avec la ligne zéro étant moins inclinée que la première, c'est cette solution qui semblerait devoir être choisie. Pourtant, la limite élastique des alliages dont, aux températures ordinaires, se produit le maximum du module, les a fait choisir d'abord pour l'établissement des spiraux compensateurs. L'erreur secondaire déterminée sur un intervalle de 30 degrés est notable: 20 secondes ou un peu plus. Mais, si l'on se souvient que, dans le même intervalle, une montre munie d'un spiral d'acier non compensé varie de 5 à 6 minutes par jour, on conviendra que le progrès est très considérable. Il apparaît augmenté de moitié si l'intervalle de compa-

[1] Cette conséquence ressort avec évidence d'une règle approximative des états correspondants, suivant laquelle les propriétés, à la même température, d'une série d'alliages de teneurs croissantes en nickel, se retrouvent, dans le même alliage, à une série de températures successivement descendantes.

raison est de 20 degrés, qui est bien plutôt celui dans lequel se tiennent ordinairement les montres. L'erreur linéaire est, en effet, proportionnelle à l'écart des températures extrêmes, l'erreur secondaire à son carré.

Une difficulté demeure. La montée très rapide de la courbe du coefficient thermo-élastique au voisinage de l'axe zéro fait que les plus petits écarts des teneurs éloignent de la meilleure solution, en déplaçant le maximum le long de l'intervalle de compensation, ou même en le rejetant au dehors. Pourtant, la solution pratique a été reconnue tellement bonne par les horlogers et par le public, que les spiraux compensateurs ont été utilisés par dizaines de millions, et ont permis soit d'abaisser sensiblement le prix des montres que l'on munissait, presque à la limite, d'un balancier compensateur, soit d'assurer des marches à peu près corrigées de la température à des montres auxquelles on n'aurait jamais pu songer autrefois à appliquer la compensation. Il n'est donc pas exagéré de dire que l'avènement du spiral compensateur fut, il y a quelque vingt ans, une révolution dans l'horlogerie courante.

Correction de l'erreur secondaire par le balancier intégral.

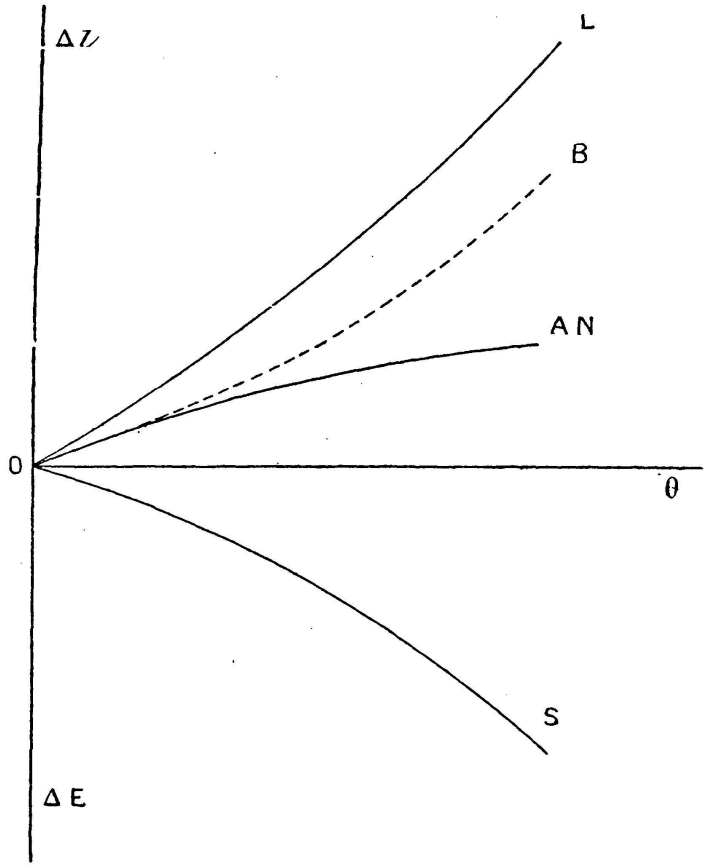
Cette erreur tient, comme nous l'avons vu, à ce que le balancier compensateur agit suivant une fonction sensiblement linéaire, tandis que le spiral d'acier exigerait une correction nettement quadratique. La considération attentive des diagrammes va nous suggérer la solution.

Associons, en effet, au laiton du balancier, un acier au nickel dont la dilatabilité est représentée par une courbe telle que OAN, (fig. 6), correspondant à une équation de dilatation douée d'un coefficient quadratique négatif. L'action compensatrice, représentée par la différence des ordonnées de la courbe OL et OAN sera une fonction progressive, OB, de la température, que l'on pourra rendre symétrique de OS, de telle sorte que la somme soit constamment nulle. L'idée étant conçue, il suffit de rechercher, parmi les alliages dont on dispose, celui qui résout le problème.

Les données de ce problème étaient tellement bien établies qu'un jour du printemps 1899, le calcul complet de l'action d'un balancier compensateur ayant été fait, on put le réaliser et le monter sur un chronomètre achevé, et qui même terminait ses épreuves d'ob-

servatoire. Ce chronomètre s'était montré affecté de l'erreur secondaire habituelle de 2 secondes. La substitution, à son balancier, de celui qui venait d'être construit, en fit disparaître toute trace.

Sera-t-il permis, à un Neuchâtelois, parlant en terre neuchâteloise, de dire que le problème de l'erreur secondaire est positive-



Extrait de l'ouvrage:
Ch.-Ed. Guillaume, Les Aciers au nickel et leurs applications à l'horlogerie (Edit.: E. Magron, Bienne [Suisse]).

Fig. 6.

Correction de l'erreur secondaire des chronomètres (OB fonction perturbatrice du spiral, OB fonction compensatrice du balancier intégral).

ment une sorte de question nationale? Posé dès l'année 1775 par Ferdinand Berthoud, né à Plancemont-sur-Couvet, ce problème a été résolu par le travail conjoint de plusieurs neuchâtelois. M. James Vaucher, à Travers, a construit les premiers balanciers, qui furent, par les soins des chronométriers célèbres, M. Paul-D. Nardin au Locle et M. Paul Ditisheim à la Chaux-de-Fonds, montés sur des chronomètres de marine ou de poche, observés à l'Observatoire de Neuchâtel, où le Dr Hirsch, dont la belle figure est demeurée chère

à nos mémoires, achevait sa brillante carrière d'astronome et d'organisateur. Il avait lui-même étudié l'erreur secondaire des chronomètres, et avait toujours espéré la voir vaincue. Ce fut l'une des joies de ma vie de métrologiste, moi qui lui devais l'impulsion décisive de mes débuts, de lui apporter cet hommage reconnaissant.

Le nouveau balancier, pour lequel j'ai proposé le qualificatif d'*intégral,* et dont la Société des Spiraux a assuré la production, s'est rapidement répandu parmi les chronométriers. Parant, sans aucune complication et sans cause de dérangement, à la dernière erreur systématique du chronomètre, il donnait un intérêt puissant à tout perfectionnement de détail susceptible de faire gagner quoi que ce soit dans la régularité des marches. Aussi a-t-on vu, dans ces dernières années, une véritable course vers l'absolu, marquée par une élévation constante du nombre des „points" gagnés dans les observatoires par les chronomètres qui leur étaient soumis. Ainsi, Paul Ditisheim, après avoir distancé de beaucoup tous les records antérieurs à l'Observatoire de Kew, s'est, par trois fois, battu lui-même, non par des succès de hasard, mais par des séries nombreuses et compactes de montres de précision. A Besançon, à Genève, à Neuchâtel, à Hambourg, à Washington, le balancier intégral apparaît maintenant presque seul. La fidélité bien connue de la nation anglaise à ses vénérables traditions attache encore beaucoup d'horlogers britanniques à l'ancien balancier compensateur; mais aussi, la tête des concours de Kew, aujourd'hui Teddington, leur est le plus souvent ravie.

Je voudrais appuyer encore sur un point particulier de ce qui précède. Le premier balancier intégral construit a donné *exactement* le résultat prévu. On trouverait difficilement une plus heureuse confirmation de la sécurité avec laquelle on se meut maintenant dans les problèmes de la métrologie; car c'est sur la connaissance exacte des *courbures* dans les fonctions de dilatation, et non point sur la dilatabilité moyenne du laiton, de l'acier et de son substitut, l'acier-nickel choisi, que reposait tout le succès du calcul.

L'erreur secondaire éliminée de l'action du spiral.

Pendant plus de dix ans, je pensai que la solution proposée pour l'erreur secondaire était définitive. Ainsi, les montres se ran-

geaient, suivant la perfection de leur compensation, adaptées à des mécanismes appropriés, dans quatre catégories successives. Les montres de la plus basse d'entre elles, pour lesquelles on estime superflu d'engager une dépense de quelques centimes dans le but de ramener au dixième les écarts de leurs marches aux températures, continuent à être munies d'un spiral d'acier et d'un balancier monométallique. Mais, dès qu'on s'élève un peu dans la qualité, on recherche le spiral plus ou moins compensateur, c'est-à-dire issu de coulées plus ou moins approchées, préalablement clas-

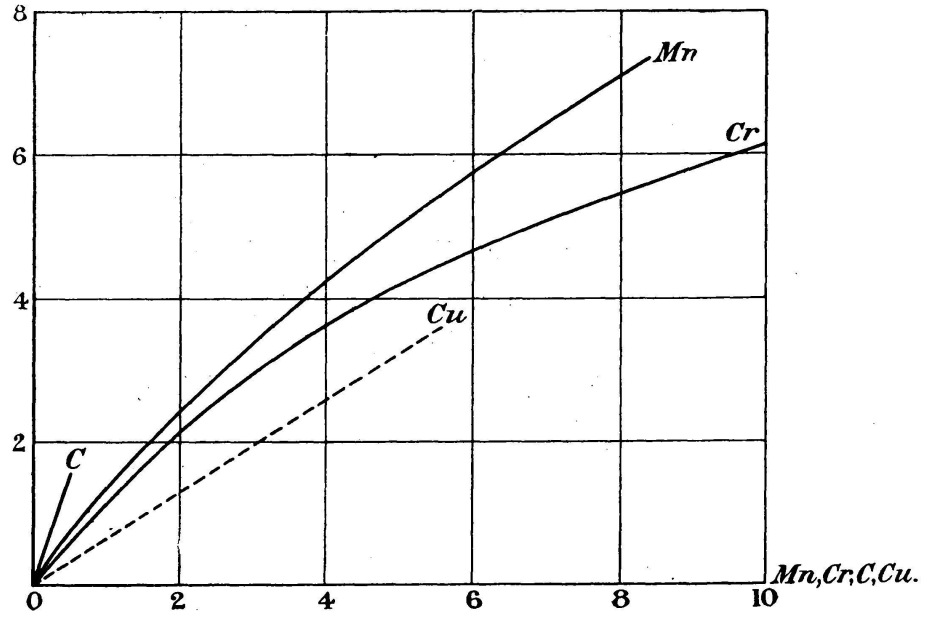


Fig. 7.

Relèvement du minimum de la dilatabilité dans les aciers au nickel contenant un troisième constituant.

sées, et dont la perfection s'élève en même temps que celle des mécanismes auxquels on les adapte. L'erreur secondaire, cependant, reste notable, et, de plus, les qualités d'un spiral étant données, on devra l'accepter sans aucune correction. Des montres meilleures supporteront, par leur prix, et rendront désirable, par leur qualité, une plus grande approximation de la compensation. Elles seront alors munies d'un spiral d'acier et d'un balancier compensateur acier-laiton, susceptible de retouches *a posteriori* au moyen de vis réglantes. Enfin, pour les chronomètres, le balancier intégral permettra d'atteindre aux dernières limites du réglage.

Il y a quelques années, cependant, m'apparut la faible lueur d'une possibilité nouvelle. J'avais demandé à la Société de Com-

mentry-Fourchambault et Decazeville, qui, depuis un quart de siècle, collabore à mes recherches avec l'esprit le plus libéral et la technique la plus subtile, de chercher à incorporer aux aciers au nickel des proportions notables de manganèse. Dans la région de l'invar, on put atteindre environ 8 %, tout en conservant des lingots bien maniables. Les alliages plus riches en manganèse refusaient rapidement le travail de la forge. L'étude des dilatabilités me fit voir que l'anomalie était grandement atténuée, le minimum s'élevant, en fonction des additions centésimales de manganèse, de chrome, de cuivre ou de carbone, ainsi que l'indiquent les courbes de la figure 7.

Ce fut, pour moi, aussitôt, la vision d'une possibilité, lointaine peut-être, mais certaine, vers une solution toute nouvelle du problème de la compensation.

Pour en bien comprendre la raison, comparons à nouveau les diagrammes des dilatabilités et des élasticités. Si les coefficients thermiques se rapportent à la docilité avec laquelle les métaux se prêtent aux déformations, les coefficients relatifs à l'élasticité devront, comme nous l'avons vu, changer de signe.

Les additions faites aux alliages de fer et de nickel doivent donc atténuer graduellement l'anomalie thermoélastique; tout le problème convergeait dès lors vers la possibilité de l'abaisser de telle sorte que la courbe en vînt à placer son maximum sur l'axe des valeurs nulles. Le problème pratique imposait, en plus, cette condition, que l'alliage fût aisément réalisable, et possédât la limite élastique élevée que réclament les régleurs.

La solution fut trouvée dans l'incorporation, à un alliage voisin de l'invar, de quantités élevées de chrome et de carbone, opération dont il fallait trouver la méthode. Mais les Aciéries d'Imphy ne se laissent pas longtemps arrêter par les problèmes ardus; elles purent, dans le courant du printemps 1913, réaliser des alliages à haute teneur en chrome, qui affirmèrent immédiatement la possibilité d'obtenir la nouvelle solution que j'avais entrevue.

L'intérêt d'opérer sur une courbe tangente à l'axe des valeurs nulles est multiple.

Au voisinage du maximum, les variations de la teneur en nickel peuvent être notables, sans que les propriétés thermoélastiques du spiral cessent d'être bonnes; alors que, dans les alliages binaires,

le changement est une fonction tellement rapide de la composition, que le défaut d'homogénéité dans une même coulée fait varier de façon appréciable le résultat de la compensation dans des portions de fil prises à la suite l'une de l'autre. Mais, en plus, la règle des états correspondants enseigne que les coefficients thermo-élastiques des nouveaux alliages ne pourront plus avoir de valeurs positives; la courbe ne connaîtra ni minimum, ni maximum, mais bien un long palier, à forme d'inflexion, entre deux branches descendantes.

L'expérience, faite à la fin de l'année 1913, par les soins de la Société des Fabriques de Spiraux réunies, a brillamment confirmé mes prévisions. Je sus, dès cette époque, qu'aucune difficulté insurmontable ne s'opposerait à la réalisation d'un spiral compensateur libéré de l'erreur secondaire. Il restait seulement à le mettre au point.

La grande guerre, qui a tendu toutes les énergies vers des questions d'un autre ordre de grandeur que les délicates actions se jouant dans l'organe réglant des montres, a, pour un temps, arrêté les recherches, et c'est seulement dans le courant de l'année dernière, que le problème de la compensation par le spiral put être considéré comme entièrement résolu.

Je ne sais si un temps viendra où le balancier compensateur aura passé tout entier du domaine de l'actualité à celui de l'histoire, après sa glorieuse existence, au cours de laquelle il aura assuré la bonne marche de montres se chiffrant par centaines de millions.

L'un des grands avantages du nouveau spiral réside dans le fait que son association avec un balancier donné fournit d'emblée, et sans aucune intervention de la part du régleur, une égalité très approchée des marches aux températures. Mais ce sera là, peut-être, au moins pour un temps, une faiblesse, puisque le propre du balancier compensateur est précisément de permettre les retouches qui amènent progressivement la montre aussi près de la perfection que le veulent la patience et l'habilité du régleur.

Au moins peut-on affirmer que le domaine du balancier compensateur se trouvera, dès maintenant, singulièrement rétréci. En effet, des chronomètres réglés par les nouveaux procédés ont révélé, dans des épreuves d'observatoires, une perfection de marche équi-

valente aux résultats qui, il y a peu d'années, établissaient la limite alors réalisable. Les chronométriers les plus hautement qualifiés [1] voient, dans l'avènement du nouveau spiral, un progrès d'un caractère révolutionnaire; à l'enfant nouveau-né ils attachent les plus beaux espoirs.

Qu'il me soit permis maintenant de jeter un regard en arrière, et de scruter les pensées qui hantaient, voici un peu plus de quarante ans, l'esprit d'un jeune étudiant de l'Académie de Neuchâtel. Un germe y levait, bien fragile, fortifié seulement par l'immense espoir d'apporter un jour un élément de progrès à l'industrie vitale de son pays.

Le cycle, alors timidement ouvert, se clôt aujourd'hui. C'est pour moi la source d'une joie profonde, de l'apporter tout entier, ici même, à mes maîtres d'autrefois, et de l'offrir, comme un hommage de pieuse reconnaissance, à la mémoire de tous les chers disparus qui ont guidé mes premiers pas.

---

[1] M. Paul Ditisheim, M. Henri Rosat.

Die Vegetation des Diluviums in der Schweiz.

Prof. Dr. H. Brockmann-Jerosch.

Es gibt eine ganze Reihe verschiedener Möglichkeiten, sich ein Bild der Flora und der Vegetation der Vergangenheit zu machen. Wir können den *Tierresten* nachforschen und durch sie erfahren, was für Pflanzenformationen sie voraussetzen. Man hat auch in weitgehendem Masse bei der Frage nach der Vergangenheit Erwägungen über die *systematische Stellung* der Arten und über Verbreitungsfragen mitsprechen lassen. Am wichtigsten sollten selbstverständlich immer die *pflanzlichen Fossilien* sein; sie geben den direkten und positiven Aufschluss, wenn man hier überhaupt diesen Ausdruck gebrauchen darf. Bei den andern Grundlagen sind die Deutungen immer schwankend, je nach dem Stande der betreffenden Wissenschaft. So gab es beispielsweise eine Zeit, in der man aus dem isolierten Vorkommen von subalpinen Arten am Rande der Alpen und im schweizerischen Mittellande, die „da wie verlorene, von lauter Ebenenbewohnern umringte Kinder der Alpen erscheinen", auf eine frühere *allgemeine* Verbreitung der Alpenvegetation im schweizerischen Mittellande glaubte schliessen zu dürfen. Dabei war die Ansicht massgebend, die Pflanzen hätten kein Vermögen, sich in *einem* Sprunge auf grössere Distanzen zu verbreiten, sondern sie müssten Schritt auf Schritt sich neue Gegenden erobern in geschlossenem Areal. Isolierte Standorte wären somit die Reste früherer, grösserer Areale und so galten auch die erwähnten Pflanzen ohne weiteres als Ueberbleibsel der allgemeinen Eiszeitvegetation und ihr Vorkommen schien genügend, um eine alpine Vegetation ausserhalb der Alpen während der Eiszeit anzunehmen. Sobald wir aber erkennen müssen, dass die Pflanzenverbreitung derart erfolgt, dass sie auch über grössere Gebiete sprungweise stattfinden kann, so werden die Schlüsse anders lauten. Wir wissen, dass es alpine Pflanzen gibt, die in den Alpen, in der Arktis, in den Rocky Mountains und in Südamerika vorkommen, wir kennen alpine Arten selbst auf der Sierra Nevada. Diese und viele andere Verbreitungs-

tatsachen zeigen, dass wir ohne die Annahme einer sprungweisen Verbreitung nicht auskommen können, und damit fallen die Schlüsse, die wir auf Grund der isolierten Vorkommnisse am Alpenrande und im schweizerischen Mittellande gezogen hatten, dahin.

Solchen mit dem Stande der Wissenschaft schwankenden Erwägungen stehen die Kenntnisse gegenüber, die wir auf Grund der *pflanzlichen Fossilien* erworben haben, und es lässt sich wohl behaupten, dass wir uns in allererster Linie an sie zu halten haben, bevor wir auf irgendwelche Spekulationen eingehen. Der knapp bemessene Raum verlangt es ja auch, dass ich mich kurz fasse, und so stelle ich mir als Aufgabe, nur über die Schlüsse zu sprechen, die wir *auf Grund der Fossilien* machen können. Leider kann ich mich hier auch nicht über die *Lössfrage* aussprechen.

Die Geschichte der Erforschung des Diluviums zeigt, dass die Wissenschaft recht spät den genannten Weg beschritt und lange bevor die ersten eiszeitlichen Fossilfunde bekannt waren, sprach man auf Grund der heutigen Pflanzenverbreitung schon in positiver Weise über Flora und Vegetation der Eiszeit. Diese Art der Beweisführung, die wir heute als etwas voreilig betrachten müssen, war von grossem Einfluss auf die Anschauungen über die Vegetation, das Klima und damit auch die Ursache der Eiszeit gewesen. Wenn Heer, fussend auf einer Reihe von Vorgängern, sich an dieser Stelle bereits im Jahre 1864 über die Vegetation der Eiszeit äusserte, so hatte er seine ersten Ansichten durch Ueberlegungen gewonnen, die auf der Florenverwandtschaft der Alpen mit der Arktis und auch auf den sogenanten Glazialrelikten aufgebaut waren.

Die Pflanzenfunde mit den Resten einer heutigen Baumvegetation, eingekeilt zwischen glaziale Ablagerungen — unsere Schieferkohlen — stunden mit seiner schon gefassten allgemeinen Anschauung über die Eiszeit derart in Widerspruch, dass Heer sie nicht etwa als eiszeitlich ansah und seine alten Ansichten in Erwägung zog, sondern die gefundene Vegetation vielmehr als mit den eiszeitlichen Verhältnissen unvereinbar erklärte. Heer schuf damit den Begriff der Interglazialflora und der Interglazialzeiten im Alpengebiet, nachdem schon ähnliche Ideen für die nordeuropäische Vergletscherung geäussert worden waren. Nicht nur sollten sich die Gletscher in ihnen bis zu dem Orte der Bildung der interglazialen Schichten von Uznach zurückgezogen haben, sondern weil

die Fossilien Baumreste enthielten, so wurde verlangt, dass ein gemässigtes, dem heutigen ähnliches Klima mit einer ähnlichen Schnee- und Baumgrenze vorhanden gewesen sein müsse. Hätte Heer damals vielmehr die Verhältnisse, wie sie heute in Alaska, Chile und Neuseeland herrschen, gekannt und mit ihnen die eiszeitlichen vergleichen wollen, so wäre er wohl nicht zu Folgerungen gekommen, die so tiefgreifend für die Glazialogie in den deutschsprechenden Ländern geworden sind.

Einige Jahre nach der Entdeckung der sogenannten interglazialen Flora erst wurden Fossilien gefunden, die Reste der Alpenvegetation in der Eiszeit darstellen sollten. Es handelt sich um Pflanzen, die unter dem Namen *Dryasflora* bekannt geworden sind und deren Diskussion eigentlich heute noch nicht abgeschlossen ist. Wir müssen davon absehen, diese Flora in Europa über unsere Landesgrenze hinaus zu verfolgen und wir wollen nur die Hauptpunkte der ganzen Diskussionsfrage berühren.

Im Gebiete des ehemaligen Linthgletschers und anschliessend in einigen Teilen des Rheingletschers und an der Scheide von Reuss- und Linthgletscher wurden im Laufe der Zeit besonders durch Nathorst, Schröter und Neuweiler Fossilien entdeckt, unter denen hauptsächlich ein heute subalpiner und alpiner, niedriger Strauch, Dryas octopetala, die Hauptrolle spielt. Noch eine Reihe von Pflanzen mit ähnlicher Verbreitung lassen sich nachweisen; in der Hauptsache handelt es sich um kleine, niederliegende Sträucher.

Wir kennen demnach aus der Eiszeit zwei Gruppen von Fossilfunden, die sogenannte Interglazialflora und die Dryasflora. Sie sind von einander sehr scharf geschieden und stehen heute, aber nur anscheinend, ohne vermittelnde Floren einander gegenüber. Schon das angenommene Fehlen eines Ueberganges zeigt, dass die Deutung der Fossilfunde wohl kaum richtig sein kann. Wir wollen zuerst uns über die Dryasflora aussprechen und nachher auf Grund eines von mir genauer untersuchten Vorkommens die sogenannte interglaziale Flora näher betrachten. Zum Schlusse mag eine allgemeine, kurze Uebersicht am Platze sein.

Auf den Funden der *Dryasflora* bauen *weitgehende Schlüsse* auf, die im deutschen Sprachgebiet sozusagen allgemeine Anerkennung gefunden haben. Die Vegetation der Eiszeit im engern Sinne wird — weil Baumreste in den Dryastonen bei uns, nicht aber

in Schonen (Südschweden) fehlen, wo Baumpollen z. T. häufig vorkommen — als baumlos betrachtet. Ja, die Ablagerung der grossen Tonmengen soll vor sich gegangen sein, weil das harte Eiszeitklima keine geschlossene Pflanzendecke zugelassen hätte. Wir haben später auf diese Schlussfolgerung noch zurückzukommen. Während die heutigen Gletscher in die Waldgebiete hinabreichen, teilweise im Laubwaldgebiet abschmelzen, sollen damals ganz andere Verhältnisse geherrscht haben.

Wir müssen, um die Rolle der Dryasflora gut zu verstehen, einige wenige Tatsachen herausgreifen. Wir finden die Dryasblätter und ihre Begleiter nur in fluvioglazialen Tonen vor, die enge Beziehungen zu Grund- und Endmoränen haben. Es handelt sich um glaziale Tone, die sich in kleinen, glazialen Becken abgelagert haben. Wir kennen in der Schweiz eine Unmenge von solchen Tonen; von den Geologen werden sie meist unabhängig davon, ob sie geschichtet oder ob sie massig sind, als Grundmoränenlehm bezeichnet und kartiert. In der Regel sind sie völlig fossilfrei, obschon sie eine grosse Mächtigkeit erreichen können. Es handelt sich offenbar um Ablagerungen von Bächen, die direkt vom Gletscher her das Material brachten und keine Gelegenheit hatten, Tier- und Pflanzenreste aufzunehmen oder einzubetten.

Sehr häufig finden sich mit den Dryaspflanzen zusammen Wasserpflanzen vor, ja oft sind die Tone von den Resten von Characeen z. B. vollständig durchsetzt. Die Wasserpflanzen wuchsen in den Tümpeln selbst, während wir über die Standorte der Dryaspflanzen im Unklaren sind. Auf alle Fälle sind sie auf dem Lande gewachsen.

Einen grossen Wert lege ich darauf, dass es bis jetzt nie gelungen ist, ausserhalb der vereisten Gebiete je einen Fossilfund zu machen, der mit der Dryasflora identisch wäre: alle Dryasfunde sind *intramoränisch,* und in der Schweiz stammen sie aus den Rückzugsstadien der Würmeiszeit. Kein Moor oder Ton ausserhalb der Jungmoränen hat ein Dryasblatt oder ein analoges Fossil zu bieten vermögen.

Ich betrachte es als wichtig, zu konstatieren, dass bis jetzt die Dryasflora einzig und allein im *Tone* (bei der nordischen Vergletscherung kommt auch Sand in Frage) gefunden worden ist. Es gilt dies nicht nur für die Schweiz, sondern für alle Dryasfunde auch im Gebiet der nordischen Vergletscherung. Sobald

die Tonablagerung aufhört, ist es auch mit der Dryasflora zu Ende. Aus den Untersuchungen von Neuweiler geht hervor, dass sofort mit dem Abschluss der Tonbildung die heutige Flora einsetzt und zwar sofort mit der grossblättrigen Linde (Tilia platyphyllos), dem Bergahorn (Acer pseudoplatanus) usw. Die neuern geologischen Untersuchungen durch Hug erlauben nun die Fossilfundstellen, wie sie besonders ebenfalls durch Hug (1917) bekannt geworden sind, miteinander zeitlich in Verbindung zu bringen, wie dies bis jetzt wohl auf keinem Punkte der Erde möglich ist. Neben den Ablagerungen aus dem Maximum der letzten Vergletscherung kennen wir solche aus dem Stadium von Bonstetten, von Hedingen, von Zürich und vom Bühlstadium. Die Fossilien der damaligen Zeit umfassen Dryasflora, aber auch zu gleicher Zeit eine Laubwaldvegetation mit einer grössern Zahl von Koniferen und wenn wir diese Funde tabellarisch zusammenstellen, so ergibt sich, dass *die Dryasflora gleichzeitig gelebt hat mit einer Baumvegetation.*

Wie ich schon früher ausgeführt habe (1919, S. 44), folgen dem zurückgehenden Gletscher die Dryasflora-Ablagerungen, daneben finden wir aber auch schon Fichten und die bekannte Laubwaldflora mit den zahlreichen Eichen. Meist sind die Wassertümpel mit Wasserpflanzen dicht durchwachsen und die Dryaspflanzen finden sich nur sehr spärlich vor. Diese können also nicht der Überrest der *allgemeinen* Vegetation aus dieser Zeit gewesen sein. Entweder hat die Dryasflora die Gletscherenden in einem schmalen Saume umgeben — sie mag die frei werdenden Gletscherböden besiedelt haben — vielleicht aber auch wuchs sie auf den Obermoränen oder sie wurde gar durch den Gletscher eingeschmolzen herbeigeführt, wie wir ja heute noch in grosser Zahl die Blätter von im Winter mehr oder weniger schneefrei liegenden Gräten und Bergrücken auf Firnfeldern vorfinden, wobei sich in den Kalkalpen mit Vorliebe Dryas, Salix retusa und S. reticulata durch ihr massenhaftes Vorkommen auszeichnen.

Die zweite Gruppe von Pflanzenfossilien wird als interglazial, teilweise auch als interstadial bezeichnet, was aber im Grunde auf ein und dasselbe herauskommt. Eine der interessantesten Fundstellen scheint mir diejenige von Güntenstall bei Kaltbrunn zu sein, und es sei mir gestattet, auf diese kurz einzutreten (Brockmann-Jerosch 1910).

Beim Bau des Rickentunnels, der das Zürichseetal mit dem Toggenburg verbindet, wurde die Gegend der in der Glazialogie rühmlich bekannten Schieferkohlen von Uznach in sehr interessanter Weise aufgeschlossen. Von Uznach aus führt die Eisenbahn langsam steigend längs des Hanges in die Höhe, um bei Kaltbrunn vom Zürichseetal ins Toggenburg als Rickentunnel geführt zu werden. Lange bevor das Eisenbahntracé in Angriff genommen wurde, war für die Abfuhr des Tunnelmaterials ein Stollen durch den Hang oberhalb Kaltbrunn beim Gehöft Güntenstall getrieben worden. Dort fand C. Schmidt aus Basel am 30. April 1905 eine Reihe von Fossilien unter einer Grundmoräne, die dann in der Folge durch Neuweiler untersucht und publiziert worden sind. Die Erweiterung dieses Stollens zum späteren Eisenbahneinschnitt wurde durch Gelegenheitsarbeiten langsam weitergeführt und so kam es, dass in den Jahren 1907 und 1908 die Böschung von neuem angeschnitten wurde und nun während der nur sehr langsam fortgeführten Arbeit eine viel reichere Ausbeute bot als früher. Hatte Neuweiler 18 Pflanzenarten entdeckt, so stieg durch meine Untersuchungen die Zahl auf 59. Zu gleicher Zeit ist zu bemerken, dass auch die Zahl der Fossilfunde der gleichen Arten in unvergleichlichem Maßstab anwuchs, und wir dürfen die Güntenstaller Fundstelle unter die reichsten in der Schweiz zählen. Bei der geologischen Untersuchung, bei der eine Reihe von Zürcher Geologen mithalf, konnte nun durch den beginnenden Bau des Bahntracés, das sich dem ganzen Hange entlangzieht und Bahneinschnitte, Brückenfundamente, Bachableitungen u. dgl. brauchte, die Lagerung klar gelegt werden. Die Grosszahl der ostschweizerischen Geologen hat die Fundstelle zu einer Zeit besucht, als sehr viele Aufschlüsse vorhanden waren. Es handelt sich um eine Ablagerung eines auf mehr als drei Kilometer sich hinziehenden Gletschersees, der die Terrasse der Uznacher Schieferkohlen begleitet; in ihn hinein mündet ein Bach, der auch heute noch vorhanden ist — es ist der Kaltbrunner Dorfbach — und dieser hat an einer Stelle die reichen Fossilfunde eingeschwemmt. Sie finden sich von der Schlucht des Dorfbaches aus bis zum Bahnhof Kaltbrunn und liessen sich im Eisenbahneinschnitt naturgemäss am besten sammeln. Noch heute fliessen durch diese Deltaschichten kleine Quelladern, an denen entlang der Boden nicht berast ist und hier lassen sich auch heute noch einige Fossilien finden. Die Gründe, warum

wir in dieser Ablagerung eine glaziale[1] sehen müssen, sind kurz folgende (Brockmann-Jerosch 1910):

1. Es handelt sich um eine Stauung eines Sees, für die eine andere Barre als der Gletscher selbst nicht in Frage kommen kann.

2. Das Material der Ablagerung besteht aus feinen, gebänderten Glazialtonen, die nur in nächster Nähe eines Gletschers in dieser Reinheit abgelagert werden können, denn sie sind über 28 m mächtig.

3. In diesen Tonen sind Moränenfetzen, erratische Geschiebe und Blöcke konkordant eingelagert.

4. Der Ton zeigt starke, durch den Gletscher erzeugte Verwerfungen und Stauchungen, bei denen Rutschungen und andere Einwirkungen ausgeschlossen sind.

Diese Glazialbildung ist jünger als die Schieferkohle von Uznach, denn diese kommt erratisch in grösserer Menge in den Tonen, wie auch in der hängenden Moräne vor. Sie war bereits als gepresste Kohle vorhanden.

Im *Güntenstaller* Einschnitt wurden Fossilien gefunden, die eine eingehende Rekonstruktion des diluvialen Waldes erlaubten. Es war ein Laubwald mit der Stieleiche als wichtigstem Baum. Bergahorn, Sommerlinde, Schwarzpappel und Esche waren häufig, daneben gab es Haselnußsträucher, Winterlinden und Spitzahorn. Im Halbschatten wuchsen baumförmige Exemplare der Stechpalme und der Eiben und daneben gab es noch Edeltannen, Fichten und Föhren. Wie in allen diesen Ablagerungen so fehlt auch hier die Buche. Nicht ein einziger Fruchtbecher oder irgend etwas, das man als einen Teil des Fruchtbechers hätte deuten können, kommt vor, während über 500 Haselnüsse s. Z. von mir allein gesammelt wurden.

Alle diese Pflanzen wuchsen also in nächster Nähe des Gletschers: *Die diluvialen Gletscher waren demnach von Eichenwäldern umsäumt.* Wie heute noch die Gletscher in die Wälder hinabreichen, so wird es auch im Diluvium gewesen sein und die Verhältnisse lassen sich am ehesten mit Alaska, Chili und Neuseeland,

[1] Der Ausdruck glazial wird von Geologen und Pflanzengeographen öfters verschieden bewertet. Der Pflanzengeograph verwendet ihn auch in bezug auf Ablagerungen ausserhalb der Gletscher, aber in deren Nähe, also topographisch. Für ihn ist gewissermassen das Klima in der Nähe der Gletscher massgebend. Der Schweizer Geologe verwendet dafür den Ausdruck postglazial, der für uns Pflanzengeographen oft wenig aussagt.. Seine Bezeichnungsweise ist chronologisch.

nicht aber mit dem „hohen Norden“ vergleichen. Daraus ergeben sich Schlüsse von allgemeiner Bedeutung. Demnach ist es nicht die Dryasflora, die uns die allgemeinen Vegetationsverhältnisse anzeigt, sondern die fälschlich nur als interglazial betrachtete Flora der bekannten Laubwälder. Bis jetzt kennen wir nur solche im wesentlichen gleichbleibende Wälder, und zwar aus der letzten Vergletscherung, vermutlich auch aus der Riss-Würmzeit bis zum Ende der paläolithischen Periode. Mit dem Einwandern der Buche geht die Fichte in das Gebirge zurück, Rhododendron ponticum stirbt in Mitteleuropa vollständig, der Buchs auf grössere Strecken aus, und Bergahorn, Eichen und Linden werden seltener.

Neben dem Güntenstaller Eisenbahneinschnitt mit seinen ungemein reichen Fossilien, bot derjenige von *Oberkirch* noch weiteres Interesse. Ausser den erwähnten Schieferkohlenstücken fanden sich in ihm eine Grosszahl von Baumstämmen vor, die alle stark gepresst waren und in solch grosser Menge vorkamen, dass sie von den Arbeitern gesammelt und in ihrer Mittagsküche als beinahe alleiniges Brennmaterial verwendet wurden. Daneben aber waren die Tone so rein von jeder Beimengung, dass es weder mir noch einem andern Forscher gelang, irgend ein anderes Fossil zu finden. Schon Neuweiler und viele andere hatten vergeblich gesucht; ich selbst habe die Tone unter verschiedenen Umständen, auch unter Beisatz von Salpetersäure nach Gefrierenlassen und Auftauen vergeblich geschlemmt. Der Vorwurf von C. A. Weber und Nathorst, nur die Unvollständigkeit der Untersuchung habe keine Fossilien zu Tage fördern lassen, darf also ruhig zurückgewiesen werden.

Selbstverständlich konnte diese Arbeit mit den daraus gezogenen Schlüssen nicht ohne Entgegnung bleiben. C. A. Weber und Penck besonders haben sich eingehend mit dieser Sache befasst. Auch eine Reihe anderer Forscher haben sich gelegentlich gegen die gemachten Schlussfolgerungen ausgesprochen, ohne aber eine andere Deutung zu versuchen, und von einer weiteren Seite sind Einwendungen gemacht worden, die aber leider so sehr auf das Persönliche hinausgehen und zudem grossenteils auf der Weberschen Erwiderung fussen, so dass ich mir wohl erlauben darf, nicht näher darauf einzutreten.

Die Gründe, die ich für ein glaziales Alter der Ablagerung angegeben habe, erscheinen Weber nicht als zwingender Beweis.

Einzig das Material der Bändertone mag seiner Idee nach vom Gletscher stammen. Aber der Gletscher könne auch weit entfernt gewesen sein und hoch oben im Gebirge gestanden haben, wobei Weber ausser Acht lässt, dass die Ebene zwischen Zürich- und Walensee eine alluviale Bildung ist, so dass der Ton anstatt höher am Gehänge, vielmehr unter ihr liegen müsste. Die Moräneneinlagerungen in konkordante Tone möchte Weber als *nachträgliche* Einpressung von Moränenzungen erklären, die im Querschnitt als isolierte Einlagerungen erscheinen. Ein nachträgliches Eindringen ohne Schichtstörung ist aber absolut undenkbar. Nun glaubt Weber, dass auch kein Gletschersee vorhanden gewesen sei, sondern dass es sich um eine tiefe, trogartige Wanne handle, deren „Umrandungsebene zu jener Zeit horizontal war, aber in späterer Zeit, nach der Ausfüllung mit Sedimenten durch eine tektonische Bewegung die gegenwärtige, windschiefe Lage am Bergrand erhalten hat, so dass also der jetzige Südrand zur Zeit der Entstehung der Ablagerung ebenso hoch lag, wie der gegenwärtig 40—50 m höher liegende Nordrand". Dazu ist zu sagen, dass in der Schweiz bisher *keine jungglazialen tektonischen* Bewegungen bekannt geworden sind. Ferner verlaufen die gebänderten Tone, soweit sie nicht vom Gletscher gestaucht worden sind, horizontal. Abgesehen davon, dass eine solche tektonische Bewegung das Herausstechen der Deltaschichten bei Kaltbrunn auch noch nicht erklären würde, so müssten Senkungen von 40—50 m unbedingt zu konstatieren sein, und kein schweizerischer Geologe würde in diesem vielbegangenen Gebiete achtlos an solchen tektonischen Störungen vorbei gegangen sein. Wir müssen also die Einwände von Weber, der selber leider die Fundstelle nicht besichtigen konnte, zurückweisen.

Etwas später hat Penck sich mit den Ablagerungen beschäftigt. Er kennt sie im Gegensatz zu den schweizerischen Geologen nicht persönlich. Penck legt grossen Wert darauf, dass die Glazialtone des Eisenbahneinschnittes von Oberkirch sich nicht durch gute Aufschlüsse bis zum Güntenstaller Einschnitt verfolgen liessen, sondern dass ich stellenweise gezwungen war, mit einem Erdbohrer mir Aufschlüsse zu verschaffen. Damit hat Penck zweifellos den Punkt aufgegriffen, der leider durch den Mangel an guten Aufschlüssen verursacht ist und der am ehesten eine Lücke in der Beweisführung darstellt. Immerhin habe ich meiner früheren Arbeit zuzufügen, dass auch kleinere Aufschlüsse durch den Bau der

Eisenbahnunterführung, wie auch einer späteren Drainage vorlagen und dass, wenn man die Sachen an Ort und Stelle gesehen hat, besonders diesen ganz eigentümlichen, stark blauen, geschichteten Ton mit seinen gelben Einlagerungen, man an der Richtigkeit nicht zweifeln kann.

Abgesehen von der Güntenstaller Fundstelle, bietet aber schon der Oberkircher Einschnitt an und für sich den Beweis, dass Bäume während der Ablagerung der Glazialtone wuchsen. Es handelt sich, wie oben gesagt, um Baumstämme. Nachdem Neuweiler vergeblich versucht hatte, die stark gepressten Hölzer (Stämme von 17 cm Durchmesser sind auf 4 cm Dicke zusammengepresst) zu bestimmen — nur Picea liess sich feststellen, die Laubhölzer waren unbestimmbar — habe ich davon abgesehen, hier nochmals mit dem Mikroskop zu untersuchen. Wenn also die beiden Ablagerungen auch nicht zusammenhängen würden, so wäre an und für sich der Oberkircher Einschnitt der Beweis der Gleichzeitigkeit der Gletscher mit grossen Bäumen. Auf die wesentlichste der Fragen, durch was für eine Barre der See gestaut worden sei, geht Penck nicht ein; und im übrigen versucht er keine Gegenbeweise, sondern findet einfach, zwingende Kraft wohne meinen Beweisen nicht inne.

Es ist sehr schwer, beide Fossillager der Umgebung von Uznach, Güntenstall-Oberkirch einerseits und die Schieferkohlen anderseits, in der Penck-Brückner'schen Chronologie unterzubringen, falls man beide, im Gegensatz zu meinen Beobachtungen und Folgerungen, als interglazial oder auch als interstadial erklärt, und es bemüht sich deshalb Penck, auf die Möglichkeit hinzuweisen, dass sie doch gleich alt gewesen sein können. Ich vermag ihm in seinen Anschauungen nicht zu folgen, sie haben für mich etwas Gezwungenes, doch steht diese Frage mit der heutigen nur in losem Zusammenhang, und ich verweise auf die früher gemachten Bemerkungen.

Die weitgehenden Schlüsse, die ich auf Grund der Güntenstaller Fossilfunde gezogen habe, habe ich erwähnt. Nicht wüstenähnliche, beinahe völlig vegetationsfreie Gebiete waren ausserhalb der Gletschergrenzen gewesen, sondern freudiggrüne Laubwälder umsäumten sie und in ihnen gab es Edeltannen und Fichten und viele immergrüne Gehölze wie Buchs und Stechpalmen.

Es mag erstaunen, dass so weitgehende Schlüsse nur auf Grund einer *einzigen* Fossilfundstelle gefasst werden sollen. Es

kann ja immer Fälle geben, die zu falscher Deutung durch besondere Verhältnisse Anlass geben. Bis jetzt sind ja eigentlich keine Fossilfunde in dieser Weise gedeutet worden, wenn ja auch die Annahme einer grossen Feuchtigkeit während der Eiszeit und als ihre wesentliche Ursache von verschiedener Seite zu verschiedenen Zeiten und auf Grund von vielerlei Erwägungen immer wieder gemacht worden ist. Der Vorwurf, auf diesen Fund *allein* abzustellen, ist ja auch von gegnerischer Seite erhoben worden. Wenn aber etwas von dem einleitungsweise Gesagten allgemeine Anerkennung finden wird, so ist es die Forderung, dass wir bei jedem Fossilfund uns gut zu vergegenwärtigen haben, aus welcher Zeit er stammt. Die alte Bezeichnung glazial, interglazial und postglazial genügt nicht, sondern wir müssen wissen, *welchem Gletscherstande diese Ablagerung der Funde entspricht.* Diejenigen Fossilien, bei denen wir dies bestimmen können, haben eine unvergleichlich viel grössere Wichtigkeit, als diejenigen, bei denen das unmöglich ist. Es wird immer schwer bleiben, in Flachländern genaue Altersbestimmungen vorzunehmen, weil der Zusammenhang mit Flussläufen, Gletscherströmen schwierig und recht unsicher zu erkennen ist. In gebirgigen Gegenden jedoch lassen sich alle diese Dinge viel leichter feststellen und aus der Zeit des Rückzuges der Gletscher sind Ablagerungen zu erwarten, die von den Seitenflüssen herrühren und entstunden, als das Haupttal noch mit Eis gefüllt, das Nebental jedoch schon eisfrei war, ähnlich wie wir das am Kaltbrunner Bach gesehen haben. Wie mancher hochgelegene Schotter, wie manches Delta, wie manche Lehmablagerung an einem Hange wird auf diese Zeit zurückzuführen sein. Es ist also das Alpengebiet wohl am ehesten im Stande, die Fragen der Vegetation, des Klimas und damit der Ursache der Eiszeit zu lösen und daraus geht der Wunsch hervor nach einer genauen Altersbestimmung anscheinend auch unbedeutender Fossillager.

Nun zeigt die Literatur, dass die Funde von Güntenstall *gar nicht allein stehen,* sondern dass das Dogma der Baumlosigkeit der Eiszeit in Mitteleuropa dazu geführt hat, eine grosse Zahl von Funden derart zu deuten, dass sie nicht mit ihm in Widerspruch stehen. Ich möchte mir gestatten, an Hand der Literatur einige wenige Beispiele herauszugreifen, um die Revisionsbedürftigkeit zu zeigen.

Das prächtige Übersichtswerk von Penck und Brückner, „Die Alpen im Eiszeitalter", bietet uns genügend Beispiele. Die beiden Autoren gingen von den deutschen Alpen aus. Dort war es ihnen gelungen, in systematischer Weise die glazialen Ablagerungen zusammenzufassen und in ein System einzuordnen. Eigentlich haben sie in dieser ersten Arbeit in den wesentlichen Punkten ihre Ansicht bereits festgelegt und es handelte sich nun für sie darum, in gleicher Weise in das gleiche System die glazialen Erscheinungen der gesamten Alpen unterzubringen. Es ist zu sagen, dass im grossen und ganzen dies auch gelungen ist. Aber anderseits müssen wir doch bedenken, dass bewusst die Absicht vorlag, zu beweisen, dass die in der ersten Arbeit festgelegten Grundsätze sich auf einem grossen Gebiete beweisen lassen. In der ersten Arbeit stützten sich Penck und Brückner in bezug auf Fauna und Vegetation auf die damals herrschenden Ansichten, wie sie in besonders klarer Weise von Heer und Schröter ausgesprochen waren. Die scharfe Scheidung, die man ziehen zu müssen glaubte zwischen der Vegetation einer vereisten Periode und einer Rückzugsperiode, also einer Interglazialzeit, war für Penck und Brückner gegeben. Es handelte sich *nicht* darum, alle neuen Fossilfunde zu revidieren und in jedem einzelnen Falle neu zu erwägen, ob sie von neuem diese Theorie beweisen, sondern sie wurden eben in das gegebene Schema eingereiht. Dies soll kein Vorwurf gegen die Verfasser der „Alpen im Eiszeitalter" sein. Aber wir müssen doch diesen Punkt berühren, um zu zeigen, wie damit die Gefahr verbunden ist, sich im Kreise zu bewegen, und dass der Vorwurf, der gegen mich gemacht worden ist, ich stütze meine Ansichten nur auf einen Einzelfall, ungerechtfertigt ist.

Ich habe schon in einer früheren Arbeit darauf aufmerksam gemacht, dass die mitten im Schotter liegende, pflanzenführende Ablagerung von *St. Jakob an der Birs* als eine eiszeitliche i. e. S. aufzufassen sei. Der einzige Geologe, der die Ablagerung in moderner Weise untersuchen konnte, erklärt sie als aus der Zeit der Aufwerfung der Niederterrassenschotter stammend und er stützt sich dabei auf ein unbefangenes Urteil von Christ, wonach eine Flora von Corylus avellana, Carpinus betulus, Pinus silvestris, Viburnum lantana und Rhamnus Frangula sich mit einer gleichzeitigen Vergletscherung gut vereinen lasse. Penck und Brückner finden aber: *„Der Charakter der Flora schliesst ein glaziales Alter aus; er spricht für interglaziales Alter."*

Wenn wir nun im Hinblick auf solche Altersbestimmungen das Werk von Penck und Brückner durchgehen, so stossen wir fortwährend auf die gleiche Art der Beweisführung. Ausgehend von der schon gefassten Meinung, jede Baumvegetation schliesse ein glaziales Alter aus, werden alle Funde von Baumresten als interglazial betrachtet, gleichviel welche geologische Lagerung vorliegt. So sehen wir zum Beispiel in den *grauen Tonen des Saônetales* eine Bildung, die von den dortigen Geologen — und Penck und Brückner schliessen sich ihnen an — als gleichaltrig mit den Staubildungen der Niederterrasse betrachtet wird. Nun werden jedoch von den französischen Geologen „auch die Tone bei La Truchère hierzu gerechnet, die so zahlreiche Baumstämme enthalten, dass diese von den Umwohnern ausgebeutet werden". Diese Waldschicht darf nun aber nach Penck und Brückner nicht als gleichaltrig mit den Niederterrassen betrachtet werden, *weil sie eben Baumstämme enthält.* Wir sehen also, wie die paläontologischen Gesichtspunkte als entscheidend herangezogen werden, bevor die geologischen gehört werden; ja sie gelten leider immer als die massgebenden.

In den schweizerischen Südalpen und den anschliessenden italienischen Alpen, also im Gebiete der insubrischen Gletscher, finden sich eine Reihe von Fossilfundstellen, die beinahe immer in Ablagerungen liegen, die im Zusammenhang stehen mit Stauungen durch Gletscher oder durch ihre Moränen. Da schreiben Penck und Brückner über die Ablagerungen im *Centovalli und Vigezzotal,* dass sie „der Eiszeit angehören; denn sie tragen den Charakter von Staubildungen, die entstehen mussten, als das untere Melezzatal noch vom Tessingletscher blockiert war, während das obere schon eisfrei geworden war". Die ungemein reiche und leicht auszubeutende Flora zeigt nach meinen Untersuchungen in erster Linie wiederum ein starkes Vorherrschen der Laubbäume. Grosse, mächtige und zu gleicher Zeit schön erhaltene Blätter der Traubeneiche, Quercus sessiliflora, finden sich in sehr grosser Zahl. Ein grossblättriger Ahorn, Acer pseudoplatanus, Linden, Haselnuss, Schwarzpappel und als immergrünes Beiholz Rhododendron ponticum, sodann Pinus silvestris, Abies pectinata und Picea excelsa kommen hier vor. Wir haben mit andern Worten wiederum die Eichenwaldflora vor uns mit vielleicht nur einem Unterschied, dass Quercus sessiliflora die vorherrschende Art ist und Quercus Robur vertritt.

Über das Alter der Fundschicht im Speziellen möchte ich mich noch nicht aussprechen. Hier nur soviel, dass sie nach Penck und Brückner interglazial sein muss, „denn die Flora hat einen ausgesprochenen südlichen und südöstlichen Einschlag“ und aus ihr wird zudem noch eine etwas höhere Lage der Schneegrenze, als die gegenwärtige es ist, geschlossen.

Für uns näher liegen die Verhältnisse in *Lugano*. Weit verbreitet in seiner Vorstadt Paradiso und am Hange des Salvatore sind horizontal gelagerte Bändertone vorhanden. Die Tone reichen bis 330 m Meereshöhe und Penck macht darauf aufmerksam, dass nach dem Maximum der Würmeiszeit der See nicht so hoch gespannt sein kann. Da wird wohl nicht viel anderes übrig bleiben, als sie als eine glaziale Stauungserscheinung anzusehen. Weil aber nun die Flora nach Penck's Ansicht „durchaus keinen glazialen Charakter“ trägt, wird sie als interglaziale Ablagerung betrachtet. Nur der Ton, der bei dem benachbarten *Noranco* auftritt, gleiche Lagerung hat und mit den andern wohl in Verbindung steht, wird als Bänderton, also als glazial, bezeichnet. Er soll sich nach Penck dadurch unterscheiden, dass er petrographisch verschieden ist. Diese Verschiedenheit besteht in der Fossilfreiheit und im Auftreten von gekritzten Geschieben. Nun hat sich neuerdings dieser Ton als Pflanzenreste enthaltend erwiesen und zwar finden sich nach meiner, noch nicht aufgearbeiteten Ausbeute wiederum Eiche, Haselnuss, Carpinus, Picea (heute im Südtessin fehlend), Abies und Pinus vor. In grösster Zahl ist jedoch diesmal die Erle vertreten. Eine genaue Durchforschung der gewiss reichen Fundstelle fehlt leider noch. Wiederum handelt es sich hier um einen Bach, der in den Glazialton hinaus die Pflanzenreste geschwemmt hat. Wiederum ist der Ton, der von der Ziegelei ausgebeutet wird, fossilfrei. Während mehrerer Jahre habe ich dort vergeblich immer wieder nach Fossilien gesucht, bis dann am Ende der Grube durch G. Geilinger, Winterthur, durch Zufall die fossilführenden Schichten gefunden wurden. Hier sind die Verhältnisse günstiger als in Güntenstall, indem die fossilfreien Bändertone mit den fossilführenden in unmittelbarem Zusammenhang stehen. Es handelt sich hier wiederum um einen Bach, dessen Furche heute noch besteht, der die Fossilien in den Eissee einschwemmte. Es lässt sich vermuten, dass er von Erlen umsäumt war. Er kann nur von ganz geringer Meereshöhe herkommen,

und vielleicht einen halben Kilometer lang gewesen sein. Die Pflanzen wuchsen also hier direkt neben dem Gletscher mit seinem Gletschersee. Damit ist durch die PENCK'sche geologische Altersbestimmung des Tones von Noranco eine Baumvegetation während der Eiszeit nachgewiesen.

Ein grosses Interesse haben von jeher die Pflanzenreste von *Pianico Sellere im Borlezzatal am Iseosee* gehabt. Hatte schon STOPPANI erkannt, dass die pflanzenführende Schicht zwischen zwei Moränen lagert und ihr glaziales Alter zugeschrieben, so wurde sie später als interglazial erklärt. Hier interessiert uns nur die Art und Weise, wie diese Umdeutung zu Stande gekommen ist. Es wird zugegeben, dass wir es mit einem glazialen Stausee zu tun haben. Aber die Reste der Flora und Fauna bei Pianico scheinen PENCK ganz unvereinbar mit einem glazialen Klima und so werden von ihm ganz gezwungene Deutungen herbeigezogen, um die Verhältnisse zu erklären. Sie führen zu der Annahme, der Altmoränengürtel müsse eine sehr beträchtliche Abnahme erfahren haben, ja es wird als denkbar hingestellt, dass infolge der Fortdauer der Hebung der Alpen die Sedimente über den Altmoränengürtel gehoben worden sind. Die einfache Erklärung eines glazialen Stausees, wobei nach dem Zurückgehen der Gletscher die Schichten frei in die Luft hinaus stechen dürfen, wird also durch komplizierte Hilfshypothesen ersetzt.

Diese Betrachtung dieser Fossilstellen soll nicht dazu dienen, neue Tatsachen zu fördern oder alte anders zu deuten, sondern ich möchte damit nur zeigen, dass *bei ihrer Beurteilung paläontologische Momente herbeigezogen worden sind und nicht geologische.* Aus diesem Grunde können sie also auch nicht dazu dienen, den Satz zu beweisen, dass wir eine strenge Scheidung zwischen glazialer und interglazialer Flora machen können oder müssen. Einzig die Tatsache, dass die Schieferkohlenflora mit der von HEER vorgefassten Ansicht, die Eiszeit sei in erster Linie eine Kälteperiode gewesen, die Glazialrelikte seien die Reste der allgemeinen Eiszeitflora, als eiszeitliche Flora nicht in Übereinstimmung gebracht werden konnte, führte zur Aufstellung des Begriffes der Interglazialflora und der Interglazialzeiten. PENCK (1912) betont dies selbst, indem er darauf aufmerksam macht, dass paläontologische Gründe zur Aufstellung der Lehre von den Interglazialzeiten geführt haben. *Es dürfen also umgekehrt, die paläontologischen*

Folgerungen nicht weiter zur Festlegung des Alters der Fossilien dienen, sonst bewegen wir uns im Kreise herum; das möchte ich nun doch einmal mit aller Entschiedenheit hervorheben. Weber ist den geologischen Beweis für seine persönliche Ansicht, die Kaltbrunner Flora sei interglazial, schuldig geblieben, ja er ist mit vielen deutschen Fachkollegen der Meinung, ein solcher sei unnötig und das ist der wesentliche Punkt, worin ich ihm nicht folgen kann.

Damit bin ich zum Schlusse gekommen. Sie mögen ersehen, dass unsere Fossilfundstellen in den Alpen einer Revision bedürfen. Aus ihr wird hervorgehen, dass wir die Vegetation der Eiszeit im schweizerischen Mittellande, wie auch am Südfuss der Alpen als eine *Laubwaldvegetation mit sommergrünen Bäumen* uns vorzustellen haben, wie sie noch heute vorhanden ist. Nur wenige Arten mögen hier ausgestorben sein, wie die pontische Alpenrose, die Fichte im Südtessin und im schweizerischen Mittelland [1] und der Buchs im Mittelland. Andere sind selten geworden, wie der Bergahorn. Ein wichtiger Punkt besteht darin, dass die Mischungsverhältnisse damals andere waren als heute und dass *die Buche fehlte.* Häufig hat man zwar geglaubt, sie zu finden auf Grund von Holzstücken und Blattfragmenten. Allein nie ist ein Fruchtbecher oder eine Frucht gefunden worden, die sich doch ungemein leicht erkennen lassen. [2] *Die geschilderte Flora hat wohl alle Stadien während der Riss-Würmzeit und der Würmeiszeit überdauert* und ist im wesentlichen sich gleich geblieben. Von den frühern Eiszeiten haben wir keine Kunde.

Die Vegetation erlaubt uns Rückschlüsse auf *das Klima.* Eine solche Laubwaldvegetation finden wir heute nur in feuchten Gebieten. Nur im feuchten äussersten Westen Europas wie auch im kontinentalen Osten fehlt die Buche, im mittleren Klima kommt sie überall vor. Im Osten fehlen aber die andern genannten Laubbäume. Wir müssen demnach das Klima als ein feuchtes und im Grunde genommen recht gleichmässiges betrachten. Feuchte, kühle Sommer haben wohl mit feuchten, milden Wintern gewechselt, so dass die *mittlere Jahrestemperatur von der heutigen sich nicht wesentlich unterschied.* Das feuchte Klima zieht eine starke

[1] Hier erscheint sie erst wieder zur Römerzeit unter dem Einfluss des Menschen.

[2] Die Heer'schen Angaben über Funde von Pinus montana und Lärche müssen nach den Untersuchungen von Neuweiler fallen gelassen werden.

Nebel- und Wolkenbildung nach sich und dadurch wird die Abschmelzung stark verhindert. Die Niederschlagsmenge muss also verhältnismässig gar nicht so gross gewesen sein, wie man sie auf Grund der heutigen Gletscherverhältnisse ausrechnet.[1] *Die Ursache der Eiszeit würde demnach im ozeanischen Klima mit starken Niederschlägen zu suchen sein.*

Diese Schlussfolgerungen verlangen eine erneute Prüfung der *Schneegrenze* der Eiszeiten, besonders soweit sie auf paläontologischem Wege festgelegt wurde. Die interglazialen Schieferkohlen und Breccien am Alpenrande erlauben zudem nicht, zu bestimmen, *wie weit während ihrer Bildung sich die Gletscher zurückgezogen hatten.* Wenn die Schieferkohlen wirklich aus einer Interglazialzeit stammen, — sie können aber auch von einem Vorstoss oder von einer Schwankung herrühren, wir wissen positiv weder das eine noch das andere, — so wissen wir eben nur, dass Gletscher im Zürichsee-Linthal etwa bis Ziegelbrück, im Aaretal bis Interlaken zurückgegangen waren. Es ist also die *Möglichkeit* eines engeren Zusammenhanges der Riss- und Würmeiszeit und damit einer grösseren *Einheitlichkeit* der beiden Eiszeiten gegeben.

Angeführte Literatur.

1910. *Brockmann-Jerosch, H.,* Die fossilen Pflanzenreste des glazialen Deltas bei Kaltbrunn und deren Bedeutung für die Auffassung des Wesens der Eiszeit. Jahrb. d. St. Gallischen naturw. Ges. f. d. Jahr 1909, und einzeln, Leipzig 1912.

1919. *Brockmann-Jerosch, H.,* Weitere Gesichtspunkte zur Beurteilung der Dryasflora. Heim-Festschrift. Vierteljahrsschrift d. naturf. Ges. in Zürich, 64. Jahrg.

1864. *Heer, O.,* Eröffnungsrede bei der 48. Jahresvers. Verh. d. schweiz. naturf. Ges.

1917. *Hug, J.,* Die letzte Eiszeit in der Umgebung von Zürich. Festschrift d. naturf. Ges. in Zürich. Vierteljahrsschrift d. naturf. Ges. in Zürich, 62. Jahrg.

1909. *Penck und Brückner,* Die Alpen im Eiszeitalter. Leipzig.

1912. *Penck, A.,* Richard Lepsius über die Einheit und Ursachen der diluvialen Eiszeit in den Alpen. Zeitschr. f. Gletscherkunde, Bd. VI, S. 161.

1911. *C. A. Weber,* Sind die pflanzenführenden diluvialen Schichten von Kaltbrunn bei Uznach als glazial zu betrachten? Englers bot. Jahrb. 45. Bd. S. 411.

---

[1] Den Berechnungen von Brückner, die mir entgegengehalten wurden, kann ich nicht folgen. Sie gehen von der Ansicht aus, bei Aenderungen des Klimas werde es möglich sein, dass sich ein *einzelner* Faktor allein ändert, während sich doch mit ihm stets *der ganze Komplex* verändern muss.

Über das Kropfproblem.

Professor Dr. Ernst Hedinger (Basel).

Wenn ich heute als medizinischer Vertreter das Thema des Kropfproblems zu einem Vortrage in der allgemeinen Sitzung der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft gewählt habe, so war es namentlich deswegen, weil die wissenschaftliche Arbeit der letzten Jahre uns gerade in diesem Gebiete eine Reihe neuer Tatsachen brachte und weil sie besonders auch das Fundament schuf, auf dem eine ausgedehnte prophylaktische Bekämpfung des endemischen Kropfes möglich wird. Ich bespreche nicht das Kropfproblem, sondern rede über das Kropfproblem und möchte mir mit dieser Fassung des Titels a priori das Recht wahren, nur einige Fragen der Schilddrüsenpathologie zu diskutieren, ohne den geringsten Anspruch auf Vollständigkeit zu machen.

Unter Kropf oder Struma im weitern Sinne des Wortes verstehen wir eine Anschwellung des Halses, die durch eine bald diffuse, bald knotenförmige Vergrösserung der Schilddrüse oder eine Kombination von beiden zu Stande kommt. Seit alters her unterscheidet man den sporadischen, epidemischen und endemischen Kropf. Was zunächst den endemischen Kropf betrifft, so ist es eine seit Jahrhunderten bekannte Tatsache, dass derselbe besonders in den gebirgigen Gegenden vorkommt. Man findet ihn in den Zentralalpen von Europa ebenso verbreitet, wie in den Dörfern des Himalaya und in den Anden und den Cordilleren. Der endemische Kropf findet sich namentlich in mässig temperierten und subtropischen Zonen. Er wird aber ebenso gut in Gebieten mit grosser Kälte, wie in Teilen von Sibirien, Finnland, in Regionen der Hudson-Bay, als in tropischen Gebieten von Südamerika, in Borneo, Sumatra, Java, Indien und Ceylon gefunden. Im allgemeinen hat man in allen Ländern vielfach den Eindruck, dass heutzutage der Kropf und auch der mit ihm zusammenhängende endemische Kretinismus weniger stark ausgesprochen ist als früher. Der Zusammenhang von endemischem Kropf mit gebirgigen Teilen

der Erde ist zu auffallend, als dass nicht gerade in dieser Beziehung ein ätiologisches Band existieren muss. Nur ist der Kropf einerseits nicht auf die Berge beschränkt und anderseits sind auch gebirgige Zonen bekannt, die keinen endemischen Kropf aufweisen. So ist endemischer Kropf in der lombardischen Ebene, im Piemont, in der Ebene des Elsass, in den Ebenen von Lena und Obi in Russland, in Kanada, am Ganges und dem Brahmaputra, am Chenab und Sutley in Indien ebenso sehr nachzuweisen, wie in den Zentralalpen Europas, während z. B. einige Gebiete von Norwegen und des Hochlandes von Schottland so gut wie kropffrei sind. Die hügelige Natur eines Gebietes ist also, wie besonders Mc Carrison scharf hervorhebt, nicht eine absolute Prämisse für das Vorkommen des Kropfes, sondern für die Vorliebe des Kropfvorkommens in gebirgigen Gegenden ist namentlich die erhöhte funktionelle Inanspruchnahme der Schilddrüse, die mit dem Leben in Gebirgsgegenden zusammenhängt, in Berücksichtigung zu ziehen.

Mc Carrison weist in dieser Beziehung namentlich auf die ungeschützten Wasserleitungen in diesen Gebieten und auf die Beschaffenheit des Bodens hin, die eine Verunreinigung des Wassers leichter ermöglicht. Auffallend ist oft das Vorkommen von endemischem Kropf in der Nähe von Flüssen, Kanälen oder in sumpfigen Gegenden. Für diese eigentümliche Lokalisation sprechen namentlich Befunde in Indien. Oft sind auch die im obern Lauf eines Flusses gelegenen Ortschaften mit Kropf behaftet, während die Dörfer im untern Lauf mehr oder weniger kropffrei sind. Oft aber findet sich der Kropf im Gebiet eines Flusses gerade an denjenigen Stellen, in denen der Fluss mehr oder weniger in Sümpfen sich auflöst. In manchen Gegenden konnte die Abhängigkeit des Kropfvorkommens von der Jahreszeit nachgewiesen werden. Die experimentellen Untersuchungen an Ratten sprechen ebenfalls für solche Abhängigkeit. Mc Carrison weist auf besonders interessante Befunde im Himalayagebiet hin. In einigen Gebieten des Himalaya in Indien, die nicht vom Monsoon erreicht werden, treten neue Kropffälle und das Wachstum der alten Kröpfe im Frühjahr und etwas weniger regelmässig im Herbst auf. In andern Gebieten des Himalaya, die vom Monsoon erreicht werden, ist es namentlich die Regenperiode, welche für Kropfbildung in Frage kommt. In den Gebirgsgegenden Europas sind es der Frühling

und der Vorsommer, d. h. die Monate März bis Juni, welche für die Kropfbildung besonders günstig sind. Man spricht an manchen Orten deswegen auch direkt von akutem Kropf oder von Sommerkropf.

Wenn man in einem Zentrum eines endemischen Kropfgebietes ist, so fällt immer wieder auf, dass auch hier die verschiedenen Orte recht verschieden befallen sind. Vielfach ist die Beschäftigung der Einwohner bedeutungsvoll, da landwirtschaftliche Distrikte entschieden stärker erkrankt sind. Denselben Unterschied im Vorkommen und in der Ausbreitung des Kropfes kann man in ein- und demselben Dorf konstatieren. Manche Häuser oder Häusergruppen sind stark befallen, während andere, benachbarte Gebiete nur wenig Kropffälle aufweisen, sehr oft bei der gleichen Wasserversorgung.

Die ätiologische Forschung des endemischen Kropfes und des mit ihm so häufig kombinierten Kretinismus reicht schon ausserordentlich weit zurück. Der Kropf ist auch für den Laien mit seiner Entstellung so in die Augen springend, dass die Frage nach der Ursache dieses Übels sich jedem aufdrängen muss, der in einer Kropfgegend wohnt. Wie Ewald in seiner Bearbeitung des Kropfes mit Recht hervorhebt, gibt es kaum *eine* Erklärungsmöglichkeit, die nicht herangezogen worden wäre, von den tellurischen zu den klimatischen, von den mechanischen resp. physikalischen zu den chemischen, von den orographischen zu den hydrographischen Ursachen. Manche Autoren betonen die Abhängigkeit des Kropfes von der Witterung, von Licht und Luft, von der Jahreszeit, von der Temperatur, von den äusseren Konfigurationen der befallenen Örtlichkeit, von mechanischen Insulten, andauernden Zerrungen, Nahrungsverhältnissen, von der Art der Beschäftigung, von der Art der Darmflora. Im Laufe der Jahre hat sich dann unter dem Einflusse von Virchow, Kocher, Bircher und manch anderer Autoren besonders die tellurische und die hydrotellurische Theorie der Kropfätiologie entwickelt. Es hat namentlich H. Bircher die ätiologische Fragestellung scharf dahin präzisiert, dass Kropf und Kretinismus auf ganz bestimmte geologische Formationen beschränkt sind. Nach ihm findet sich der Kropf in der Schweiz nur auf Trias, Eocän und der Meeresmolasse, also in sekundären und tertiären Ablagerungen. Bei der Trias kommt namentlich der Muschelkalk in Betracht, der ja hauptsächlich mit Buntsandsteinen und Keuper

die Trias ausmacht. Die Orte, die auf diesen Formationen liegen, sind nach H. Bircher mit Kropf behaftet, während Dörfer, die auf der untern und obern Süsswassermolasse und auf der Juraformation liegen, kropffrei sind. Nach Bircher sind auch das kristallinische Urgebirge, die Kreide und die vulkanische Bildung kropffrei.

Wenn in diesen Gebieten Kropf vorkommt, so ist dies dadurch zu erklären, dass die zu Tage tretende Schicht nur eine geringe Dicke hat und von den Bildungen der Meeresmolasse, der Trias, des Eocäns unterlagert wird, so dass die Quellen bis auf diese hinabreichen, oder dass die Kropfherde auf eingesprengten Inseln derjenigen Gesteine liegen, auf denen an andern Stellen der Erde, wo sie in grösserem Masse auftreten, endemischer Kropf nachgewiesen werden kann.

Diese Ansicht von H. Bircher konnte in einer grossen Sammelforschung, die Theodor Kocher und seine Schüler in den achtziger Jahren vornahmen, in manchen Punkten nicht bestätigt werden. Die Untersuchungen Kochers betrafen Schulkinder im Alter von 7—15 Jahren, was den grossen Vorteil hat, dass dabei auch das besonders affizierte weibliche Geschlecht mituntersucht wird, während die Sammelforschungen, die sich auf Rekruten beziehen, gerade dieses Moment vernachlässigen müssen. Kocher konnte im Gegensatz zu Bircher auch im Jura Kropf nachweisen, ebenso auch in den Juraformationen im Berner Oberland. Nach Kocher ist es nicht die mineralogische Beschaffenheit, nicht die grobchemische Beschaffenheit der Gesteine, welche den Ausschlag gibt, sondern es sind Beimengungen, Verunreinigungen des Gesteines, die die Hauptbedeutung haben. Die geologischen Ansichten von H. Bircher, die z. T. noch von seinem Sohn E. Bircher ausgebaut wurden, stiessen auch sonst auf Opposition. So konnten z. B. Schlittenhelm und Weichardt bei ihren Untersuchungen nachweisen, dass auch über kristallinischen und eruptiven Gesteinen oft sehr starke kropfige Bezirke vorkommen. Sie zeigten ferner, dass die gleiche Formation einmal kropffrei ist, unweit davon aber wieder Kropf aufweist. So konnten sie z. B. den Nachweis leisten, dass für die Frankenhöhe bei Rothenburg der Nordabhang mit Kröpfen behaftet ist, während die Südseite kropffrei ist, obschon auf beiden Seiten Keuper vorkommt. In der Schweiz hat sich neuerdings der um die Kropfforschung sehr verdiente Arzt Dr. H. Hunziker in Adliswyl mit dem Vorkommen des Kropfes beschäftigt. Er stützt

seine Befunde auf die Resultate der schweizerischen Rekrutenaushebung. Er fand zunächst in kritischer Berücksichtigung der möglichen Fehlerquellen, dass die Kropfzahlen in ein und demselben Bezirke ausserordentlich stark schwanken. Bei der weitern Ausarbeitung konnte nun Hunziker den Nachweis leisten, dass die Zone der grössten Häufigkeit des Kropfes in der Schweiz einem Bande entspricht, das die mittlere Höhe über Meer von 600 bis 1000 Meter hat.

Wenn man, nach dem Vorgehen von Niethammer, eine Karte macht, die diejenige Form der Erdoberfläche wiedergibt, wenn an Stelle der wirklichen Terrainhöhen die durchschnittliche Höhe (Berg und Tal ausgeglichen gedacht) genommen wird, so erhält man für die mittlere Höhe von 600 bis 1000 Metern ein Band, das schmal bei Vevey beginnt, dann sich über den Grossteil des Kantons Freiburg mit dessen waadtländischen Enklaven erstreckend sich bei Bern nach Thun zurücktretend verschmälert, um jenseits der Aare wieder breit bis gegen Aarwangen-Zofingen auszugreifen. Das Band streckt eine doppeltverzweigte Zunge bis in die Bezirke Kulm und Muri mit schmälerer Basis im Bezirk Sursee, um sich dann rasch alpenwärts über Luzern bis ans obere Ende des Vierwaldstättersees zu erstrecken, den Kanton Zug zu durchqueren und in schmälerer Bahn gegen den Walensee zu verlaufen. Dort biegt das Band eher wieder nach Norden entlang der Hörnlikette um, wendet sich über das Toggenburg nach Osten, gewinnt in schmaler Zone und scharf nach Süden biegend den Ausgang des Rheintales in den Bodensee, um endlich im Bezirk Sargans und in Unterlandquart nördlich zurückschwenkend die Schweiz zu verlassen. Genau dieser Zone folgt nun der Streifen der maximalen Kropfprozente mit der *einen* grösseren Abweichung, dass die Bezirke Lenzburg, Bremgarten, Baden und Zurzach nördlich in einer zum Rhein weisenden Zunge über die Höhenquote 600 hinaustreten.

Diese Befunde von Hunziker weisen ebenfalls darauf hin, was ich schon vorher betont habe, dass die Höhe an und für sich nicht den Kropf verursacht. Es ist ohne weiteres klar, dass die Befunde von Hunziker sich nicht mit der geologischen Theorie von Bircher decken.

Diese Unstimmigkeiten mit der geologischen Theorie werden teilweise dadurch aus der Welt geschafft, dass man erstens als bequemste Methode an der Richtigkeit der geologischen Untersuchung

zweifelt, oder dann dadurch, dass man zum Teil weitgehende Unter- und Überlagerungen annimmt und endlich besonders dadurch, dass man als hauptsächlichen ätiologischen Faktor das Wasser heranzieht, das ja gar nicht aus dem geologischen Gebiet zu kommen braucht, auf dem gerade die kropfig durchsetzte Bevölkerung lebt. Dies führt mich zur Besprechung des Wassers als ätiologischen Faktor bei der Kropfbildung. Dass das Trinkwasser den Kropfkeim führt, wurde wohl fast so lange behauptet, als der Kropf als pathologisches Gebilde dem Menschen auffiel. Seit alters her existieren Kropfbrunnen. Seit langem wird behauptet, dass Individuen, die in kropfigen Gebieten keine Kröpfe haben, es dem Moment verdanken, dass sie kein oder wenig Wasser trinken. So weist auch Theodor Kocher in seiner Statistik über Kröpfe bei Schulkindern darauf hin, dass Wirtskinder, die statt Wasser besonders Wein trinken, keinen Kropf haben. Es waren namentlich Baillarger und Krishaber, die in Frankreich auf die Bedeutung des Wassers für die Kropfbildung hinwiesen, während in der Schweiz Bircher und Theodor Kocher als die Hauptvertreter der Wassertheorie zu bezeichnen sind. Die Wirkung des Wassers stellen sich die einzelnen Autoren in verschiedener Weise vor. Eine Gruppe sieht namentlich die Ursache in dem abnormen Salzgehalt des Kropfwassers, wobei bald ein Manko, bald ein Überschuss eines Salzes festgestellt wird. In besonderer Weise wurde der Mangel von Jodsalzen für die strumigene Fähigkeit eines Wassers verantwortlich gemacht. Chatin hat schon früher ein Fehlen von Jod im Wasser und in der atmosphärischen Luft in kropfiger Gegend feststellen wollen. Man hat darauf hingewiesen, dass mit zunehmender Höhe der Jodgehalt abnimmt und damit auch die Kropfhäufigkeit steigt. Wenn man aber lokale Verhältnisse berücksichtigt, so stimmt diese Korrelation nicht. So ist es eine bekannte Tatsache, dass gerade schwerer Kropf und Kretinismus im Tal vorkommt, während die höher gelegenen Gebiete bedeutend weniger Kropf aufweisen. Ich verweise in dieser Beziehung zum Beispiel auf die Verhältnisse in Cazis und auf dem Heinzenberg, dann auf manche analoge Befunde im Wallis und besonders auch im Val de la Maurienne. In manchen Bergtälern Frankreichs soll es Brauch sein, dass schwangere Frauen im Moment der Geburt gerade die Höhen aufsuchen, um ihr neugeborenes Kind vor der Gefahr einer kropfigen Infektion zu bewahren.

Dann endlich ist zum Beispiel die Poebene ziemlich stark kropfig durchsetzt, obschon sowohl in der Luft als im Wasser ein starker Jodgehalt gefunden wurde. In der Schweiz haben namentlich Bayard und Hunziker in Adliswil das Kropfproblem auf einen auf bestimmte Gebiete besonders lokalisierten Jodmangel zurückführen wollen. Nach Hunziker stellt der Kropf eine Arbeitshypertrophie der Thyreoidea zur Deckung des Jodbedarfs des Körpers bei knapper Jodzufuhr in der Nahrung vor. Bayard vergleicht den Kropf direkt mit Erkrankungen, die bekanntermassen durch irgend einen Defekt in der Nahrung bedingt werden und führt dazu die Verhältnisse bei der Beri-beri an. Andere Untersucher machen namentlich den stärkeren Gehalt des Kropfwassers an Magnesium, Kalk, Silikaten, Eisensalzen usw. verantwortlich. Eine grosse Anhängerschaft hat die hydro-tellurische Theorie der Kropfgenese. Es sind, wie ich bereits vorhin kurz angeführt habe, besonders bestimmte geologische Formationen, die kropferzeugendes Wasser liefern sollen. Wenn man die spez. Literatur verfolgt, so sind die Theorien aber ausserordentlich variabel, indem bald die eine, bald die andere geologische Formation verantwortlich gemacht wird. Es hat denn namentlich Répin darauf hingewiesen, dass die Kropfwasser nichts anderes seien als Mineralquellen. Die Kropfwasser zeigen die gleichen Radioaktivität wie die Mineralwasser. Die Mineralquellen führen Wasser aus grosser Tiefe, das Kropfwasser hat wie das Mineralwasser Einfluss auf den allgemeinen Metabolismus. Nach andern Forschern wird das Wasser aus bestimmten geologischen Formationen dadurch kropferregend, dass es colloidale organische Substanzen, die auch radioaktiv sein können (E. Bircher) mit sich führt. Eine besondere Stütze erhielt die hydro-tellurische Theorie der Kropfgenese stets dadurch, dass von verschiedenen Seiten Beobachtungen publiziert wurden, nach denen der Kropf aus einem Dorfe verschwand, wenn das Trinkwasser geändert wurde. Am meisten bekannt ist das Beispiel mit der Gemeinde Bozel in der Tarantaise und dann das von H. Bircher erforschte Verhalten der Gemeinden Rupperswil und Asp. Als in Rupperswil, einem früher stark mit Kropf behafteten Ort, die Sodbrunnen abgeschafft wurden und das Trinkwasser durch Leitung von jenseits der Aare, aus kropffreiem Terrain, geholt wurde, ging der Kropf ganz zurück. So konnte H. Bircher im Jahre 1885 (1 Jahr nach Einführung der neuen Quelle) bei der Schuljugend nur noch

in 59 %
1886 „ 44 %
1889 „ 25 %
1895 „ 10 %
1907 „ 2,5 %

Kropf nachweisen. Im Jahre 1911 konnte E. Bircher das vollkommene Verschwinden der Kropfendemie in Rupperswil mitteilen. Dieses Rupperswilerexperiment war lange Zeit eine der Hauptstützen der hydro-tellurischen Kropftheorie, die für die ätiologische Kropfforschung von ausschlaggebender Bedeutung war. Es ist für die weitere Erforschung des Kropfproblems von ausserordentlicher Bedeutung, dass dieses Fundament durch die schönen Untersuchungen von Dieterle, Hirschfeld und Klinger im Jahre 1913/14 erschüttert wurde. Sie konnten erstens nachweisen, dass Rupperswil nicht kropffrei ist, sondern, dass 31 % der jungen Generation zwischen 5—30 Jahren Kropf aufweisen und dass entgegen der Bircherschen Theorie der Kropf nicht nur im Gebiet der kropferzeugenden Trias und der marinen Molasse, sondern auch im reinen Jura und auf Süsswassermolasse vorkommt. Damit erhielt das ganze Gebäude der hydro-tellurischen Theorie, das ja in seiner Einseitigkeit a priori recht unwahrscheinlich war, einen empfindlichen Stoss.

Eine beliebte Theorie für die ätiologische Bedeutung des Wassers war und ist jetzt noch die Infektionstheorie. Man nimmt entweder eine recht hypothetische Beimengung eines vor Jahrtausenden gebildeten Kontagiums an, das an bestimmte tellurische Gestaltungen gebunden ist, oder eine durch Menschen oder Tiere bedingte Verunreinigung des Wassers. Es ist, um nur einen Autor zu nennen, namentlich Mc Carrison, der in konsequenter Weise den Standpunkt verficht, dass ein lebender Organismus die wahre Ursache der Kropfbildung darstellt, während die bis jetzt genannten Momente inklusive hydro-tellurische Verhältnisse als auxiiläre Krankheitsursachen angesehen werden können. Für diese Auffassung sprechen nach Mc Carrison besonders folgende Tatsachen: In Dörfern, die an einer nicht besonders geschützten Wasserversorgung, wie zum Beispiel an einem Bergbach liegen, zeigen die unten liegenden Dörfer mit zunehmender Verunreinigung des Wassers mehr und mehr Kropf. Man kann auch beim Menschen dadurch Kropf hervorrufen, dass man ihm den Rückstand eines Berkefeldfilters zuführt. Wird der Rückstand gekocht, entsteht

kein Kropf. Zufuhr von Darmantiseptica, namentlich β-Naphthol und Thymol, ist im Stande, bei jungen Individuen beginnende Kropfbildung in kurzer Zeit zu heilen. Bei verstopften Individuen, die an Kropf leiden, kann durch irgend einen die Obstipation hebenden Einfluss ein Rückgang in der Grösse des Kropfes bedingt werden. Wenn Fische in nacheinander liegenden, geschlossenen Behältern aufbewahrt werden, so zeigen dieselben mit zunehmender Verunreinigung, das heisst, von oben nach unten eine stärkere Durchsetzung mit immer grösser werdenden Kröpfen. Ein Zusatz von reinem Wasser, oder von Jod, Sublimat oder Arsen, verlangsamt oder verhindert die Kropfbildung und bringt bestehende Kröpfe wieder zum Verschwinden. Man kann auch andere Tiere ausser Fischen dadurch kropfig machen, dass man Material von der Innenwand eines Fischkastens, in welchem die Krankheit herrscht, abkratzt und ihnen zu fressen gibt. Ferner kann man weisse Ratten und Ziegen zum Beispiel dadurch kropfig machen, dass man ihnen Fäkalien von kropfigen und nicht kropfigen Individuen zu fressen gibt. Man kann auch endlich bei Tieren dadurch Kropf hervorrufen, dass man ihnen aërob oder anaërob gezüchtete Bakterien, die aus den Fäces von kropfigen und nichtkropfigen Leuten gezüchtet wurden, füttert. Die anaërob wachsenden Kulturen sind im allgemeinen wirksamer. Füttert man ein weibliches Versuchstier während der Gravidität weiter, so zeigen die Jungen vielfach angeborenen Kropf und zum Teil auch Kretinismus. Eine aus diesen Darmbakterien hergestellte Vaccine ist befähigt, beginnende Kropfbildung wieder zum Verschwinden zu bringen.

So beweisend die Versuche Mc Carrisons auch zu sein scheinen, so können sie gerade mit unsern Verhältnissen in der Schweiz vielfach widerlegt werden. Es ist unbedingt zuzugeben, dass auf diese Weise Kropf entstehen kann, aber dass an andern Orten doch wieder andere Momente für die Kropfbildung massgebend sind. Die Theorie von Mc Carrison führt uns zur Besprechung derjenigen Theorien, die den Kropf durch eine Infektion von Individuum zu Individuum entstehen lassen wollen. In gleicher Weise soll besonders nach Kutschera auch der Kretinismus übertragen werden. Auch für diese Theorie können Versuche und Befunde beigebracht werden, doch ist sie nicht dazu angetan, eine befriedigende Erklärung für den endemischen Kropf zu geben.

Als Stütze der parasitären, infektiösen Theorie wird oft die Möglichkeit eines epidemischen Kropfes angeführt.

Epidemische Kropfbildungen sind ebenfalls schon seit Jahrzehnten bekannt. Besonders erwähnt wird stets die Epidemie, die in der Kaserne von Nancy im Jahre 1783 vorkam. Anfangs 1783 kam ein aus 4 Bataillonen bestehendes Infanterieregiment, das 5 Jahre lang in Caen gestanden hatte, und in welchem sich nur wenige, infolge eines früheren Aufenthaltes in Besançon mit Kropf behaftete Individuen befanden, nach Nancy, wo der Kropf niemals epidemisch geherrscht haben soll und auch sporadisch selten ist. Schon im Winter des gleichen Jahres, das durch eine sehr ungünstige Witterung und besonders durch starken Temperaturwechsel charakterisiert war, zeigte sich bei mehreren dieser frisch angekommenen Soldaten Kropf. In den folgenden 4 Jahren steigerte sich die Zahl der kropfigen Soldaten stark, im Jahre 1785 betrug die Zahl der Kropfigen 205, 1786 425, 1787 257, 1788 182, 1789 43, so dass im Jahre 1789 1006 Soldaten des Regiments an Kropf erkrankt waren. Ausserordentlich interessant ist, dass andere Truppen, die in dieser Zeit in Nancy stationiert waren, kaum an Kropf erkrankt waren. Ganz besonders wertvoll für die ätiologische Forschung ist die Tatsache, dass in diesem Regiment nur die Soldaten erkrankten, während Offiziere, Sergeanten und Korporale, welche die gleiche Kaserne bewohnten und das gleiche Wasser tranken, keinen Kropf bekamen. Dieser Beobachtung von Nancy folgten noch eine Reihe ähnlicher Feststellungen, die sich meistens auf Soldaten bezogen. Sehr interessant ist die Beobachtung, dass sich die kropfige Erkrankung in manchen Kasernen nicht auf das ganze Haus erstreckte, sondern dass z. B. nur ein Flügel eines Pavillons oder ein Teil eines Stockwerkes kropfige Soldaten aufweisen. In der Schweiz sind ebenso eine ganze Reihe ähnlicher Beobachtungen im Laufe der Jahre bekannt geworden. Während des Krieges ist im Ausland über mehrere Epidemien berichtet worden.

Eine altbekannte Tatsache ist auch der epidemische Kropf in Pensionen. Wie es ausserordentlich häufig beobachtet werden kann, dass der schweizerische Student, der mit einem Kropf oder dicken Hals behaftet nach einem oder zwei Semestern, die er im Ausland zugebracht hat, nicht nur mit leerem Portemonnaie, sondern auch mit zu weitem Kragen zurückkehrt, so kann man umgekehrt gar nicht zu selten finden, dass z. B. Mädchen, die 1 Jahr in einem mit Kropf behafteten Ort ihre Pensionszeit verbracht haben,

mit einem ganz erheblichen Kropf zurückkehren, weil das ganze Pensionat kropfig erkrankte. In diesen Fällen eine Infektion anzunehmen, ist nicht nötig. Es sind vielmehr in den meisten Fällen der bei den ungefähr im gleichen Alter stehenden Mädchen einsetzende stärkere Einfluss des weiblichen Genitalapparates auf die Schilddrüse, und dann eventuell die gleichen hygienischen und Ernährungsverhältnisse, die eine weit ungezwungenere Erklärung geben.

Der Vollständigkeit halber erwähne ich, dass ich die parasitäre Thyreoiditis von Chagas, die durch das Trypanosoma Cruzi hervorgerufen wird, nicht mit unserm endemischen Kropf indentifizieren kann.

Neben dem epidemischen Kropf ist nun schon seit manchen Jahrhunderten die sporadische Struma bekannt. Es ist das Verdienst der Forschung der letzten Jahre, den Nachweis gebracht zu haben, dass der sporadische Kropf viel verbreiteter ist, als man noch vor kurzem annahm. Während es früher fast als Dogma galt, dass manche Gebiete in Deutschland, besonders Norddeutschland, kropffrei sind, weisen jetzt die meisten pathologischen Anatomen auf die relative Häufigkeit einer Struma auch in diesen Gebieten hin. Es handelt sich vielfach allerdings um kleine Kröpfe, die erst die Autopsie aufdeckte. Ich kann diese Befunde an einem andern Material ebenfalls bestätigen. Als ich vor mehreren Jahren aus einem kropffreien Bezirke von Spanien sog. normale Schilddrüsen bezog, zeigten fast alle ein oder mehrere, meist allerdings kaum $^1/_2$ cm messende colloide Knoten, obschon sie nach Angabe des Spenders von völlig kropffreien Individuen stammten. Wir werden später auf diese Feststellung, die namentlich auch für die Beurteilung experimentell gewonnener Resultate von grosser Bedeutung ist, noch einmal zurückkommen müssen.

Wenn wir die ätiologische Forschung der letzten Jahre übersehen, so ist der Gesamteindruck eher bemühend. Wir kennen eine Anzahl von Momenten, die gehäuft vielleicht auch direkt endemisch Kropf bedingen können; sobald wir aber versuchen, diese Momente zu einer allgemeinen Ursache für den endemischen Kropf auszuarbeiten, so wird die Theorie, wenn sie auch noch so ruhig und objektiv, was leider gerade in der Kropfforschung oft nicht geschieht, aufgestellt wird, falsch.

Eine besondere Aufklärung versprach man sich vom Tierexperiment. Es ist ja eine bekannte Tatsache, dass in Kropfgebieten

manche Tiere, besonders Maultiere, Kühe, Pferde, Hunde, Katzen, Schafe, weisse Ratten und Mäuse, Hühner, Tauben usw. Kröpfe aufweisen können und dann haben namentlich auch neuere Untersuchungen gezeigt, dass künstlich gehaltene Fische, besonders Forellen sehr oft Kröpfe, ja sogar krebsige zeigen können. Im allgemeinen gilt der Satz, dass, je enger ein Tier mit Menschen in Kontakt kommt, also domestiziert wird, um so eher ein Kropf bei ihm entstehen kann. In den letzten Jahren ist namentlich das experimentelle Arbeiten mit Ratten aufgekommen, nachdem schon vorher besonders Versuche mit Hunden vorgenommen worden waren.

Es war zunächst Wilms, der über positive Befunde an weissen Ratten berichtete. Nach Wilms soll sich in den Rattenstrumen vorherrschend die Neigung zu knotiger Hypertrophie zeigen; in keiner seiner Strumen zeigte sich eine reine kolloide oder parenchymatöse Wucherung. Nach Wilms hängt dies damit zusammen, dass schon normaler Weise kleine Adenomanlagen in der Rattenschilddrüse vorhanden sind, die dann leicht zu knotiger Hyperplasie Anlass geben. Ich werde später im Anschluss an die Untersuchungen von Langhans und Wegelin hervorheben, dass diese Ansicht von Wilms nicht zu Recht besteht und dass infolgedessen Wilms gar nicht normale Ratten zur Untersuchung verwertete. Nach Wilms sollen sich nicht nur aus diesen Adenomanlagen Knoten papillärer und proliferierender Form entwickeln, sondern auch aus normalen Follikeln, die sich erweitern, verlängern, zu Schläuchen mit Papillombildung und Abschnürungen werden.

E. Bircher baute seine Versuche auf der These auf, dass es heute als wissenschaftliche Tatsache gelten müsse, dass die Entstehung des Kropfes an das Wasser gebunden sei. Er stellte sich die Aufgabe, ob es experimentell gelingt bei Tieren Kropf oder Vergrösserung der Schilddrüse zu erzeugen und am besten bei welchen Tieren und zu untersuchen, welches das kropferzeugende Agens in den betreffenden Kropfwässern ist.

Dem Postulat Ewald, das dahin lautet, dass man für Kropfversuche nur kropffreie Tiere in kropffreien Gegenden mit Kropfwasser füttere, und dass man nur Tiere als Versuchsobjekte benützt, die nicht aus Kropfgegenden stammen, glaubt Bircher teilweise damit zu genügen, dass er neben Versuchen in Aarau solche auch in Basel ausführte. Nun erklärt Bircher Basel als teilweise kropfimmun und stützt sich dabei auf die Karte von H. Bircher, der

bei den Rekruten Basels im Jahre 1883 nur in 7 % Kropf fand. In dem Jahre, als dies berechnet wurde, hatte Basel nach Eugen Bircher noch seine alte Quellenversorgung, welche das Wasser teilweise der rechtsrheinischen Trias, teilweise durch das Riehenpumpwerk dem intensiv kropfführenden Muschelkalk der Schwarzwäldertrias entnahm. Die neue Grellingerquelle, welche Grossbasel versorgt, entstammt aus reinem Jura und ist nicht kropfführend. Man kann nach Bircher infolgedessen annehmen, dass die linksrheinische Seite von Grossbasel als kropffreies Gebiet zu gelten hat. Ich weiss nicht recht, wie Bircher zu dieser kühnen Behauptung kommt, die mit allem, was man selbst sieht und von praktizierenden Ärzten hört, im direkten Widerspruch steht. Ich habe in meiner 13jährigen Tätigkeit in Basel wohl über 10,000 Sektionen gesehen. Wenn man selten einmal auf eine völlig normale Schilddrüse stösst, so kann man ganz sicher sein, dass es sich nicht um einen Basler handelt, weder um einen Gross- noch um einen Kleinbasler, sondern um einen Ausländer, sei es nun ein Deutscher oder namentlich ein Italiener aus kropffreier Gegend. Die weissen Ratten, mit denen Bircher experimentiert, stammen aus den Tierkäfigen der Basler chirurgischen Klinik, „deren Ascendenz — wie Bircher sich ausdrückt — aus Norddeutschland bezogen in vielen Generationen, meistens mit Milch, niemals mit Kropfwasser, auf dem immunen Boden von Grossbasel aufgewachsen sind". Das Ausgangsmaterial, das Bircher zu seinen Untersuchungen benützte, ist also bereits in keiner Weise als einwandfrei zu bezeichnen. Bircher gab nun den Tieren Aarauer oder Rupperswiler Wasser in roher, gekochter oder filtrierter Form.

Bircher machte Untersuchungen an Affen, Hunden, weissen Ratten und Meerschweinchen. Ich will hier nur auf die Befunde bei Ratten eingehen. Es gelang Bircher bei mehreren Ratten teils durch Tränkung, teils durch Verfütterung des Filterrückstandes von sog. Kropfwasser eine Struma zu erzeugen, die betreffend Histogenese vielfach Bilder im Sinne von Hitzig und Michaud aufwies. In späteren Publikationen weist Bircher darauf hin, dass nicht alle Versuche gleichmässig positiv verliefen. Er fand, dass das Wasser an kropferzeugender Kraft nachlässt, wenn es mehrere Tage, oder gar Wochen gestanden ist, wenn es vor dem Gebrauch stark geschüttelt wurde, oder einen langen Eisenbahntransport durchmachen musste, wenn es mit geringen chemischen Agentien versetzt wurde

und dass seine Wirksamkeit in den Sommermonaten bedeutend grösser ist als im Winter. Nach Bircher muss es sich beim Kropfagens um einen in einem colloidalen Zustand sich befindlichen Stoff handeln, der eventuell radioaktiv ist.

Positive Befunde an Rattten erhielten auch Blauel und Reich in einer grösseren kritisch durchgeführten Arbeit in Tübingen. Sie weisen darauf hin, dass ganz ähnlich wie beim Menschen die normale Rattenschilddrüse durch ziemliche Grösse und starken Colloidgehalt der Follikel charakterisiert ist, dass aber bei den sogenannten normalen Kontrolltieren (es sind Berlinerratten) nur 37 % der Tiere ganz frei von Epitheldegeneration sind und nur 62 % einen normalen Colloidgehalt haben.

Interessant ist, um nur *einen* Befund der positiven Tränkungsversuche der Autoren hervorzuheben, dass bei Tränkung mit gekochtem Kropfwasser unter 7 Fällen 3 Tiere einen Kropf aufwiesen und zwar gerade den hochgradigsten ihrer sämtlichen recht zahlreichen Versuchstiere.

Für uns haben die schönen Untersuchungen von Hartmann, Hirschfeld und Klinger ein ganz besonderes Interesse. Sie machten zunächst an verschiedenen mit Kropf behafteten Stellen, die über verschiedenen geologischen Terrains lagen, Tränkungsversuche und zwar mit frischem und gekochtem Wasser; dann wurden auch ausgedehnte Versuche im hygienischen Institut Zürich und namentlich in Bözen im Fricktal ausgeführt, das die Autoren nach früheren von mir schon genannten Untersuchungen als kropffrei festgestellt hatten. Aus der grossen Zahl interessanter Einzelbefunde möchte ich nur einige wenige hervorheben: an Orten mit typischer Kropfendemie zeigten die Versuchsratten (auch wenn sie vom experimentellen Standpunkte aus völlig einwandfrei waren) regelmässig Kropfbildung, ganz gleichgültig, aus welchen geologischen Schichten das Wasser kam und über welchen geologischen Gebieten die Ortschaften gelegen waren. Im kropffreien Fricktal entstanden mit dem dortigen Wasser keine Kröpfe und als besonders interessanter Befund sei betont, dass auch dort Tränkungsversuche mit typischen strumigenem Trinkwasser negativ verliefen. Auf der andern Seite trat auch Kropf in einer typischen Kropfgegend dann auf, wenn die Versuchstiere nur destilliertes Wasser bekamen und zwar nicht in geringerem Grade, als wenn die Tiere mit dem ortseigenen kropferzeugenden Wasser behandelt wurden. Aus ihren

Versuchen schliessen die Verfasser, dass die Ursache des Kropfes unmöglich in einem belebten oder leblosen Agens gesucht werden kann, welches ausschliesslich im Wasser der betreffenden Gegend vorkommt, da Kropf auch unabhängig vom Wasser zustande kommt. Speziell könne die chemische Beschaffenheit des Wassers, soweit sie durch den geologischen Charakter des Quellgebietes bedingt ist, an sich nicht als Grund der Kropfbildung angesehen werden. Vom hygienisch praktischen Standpunkte aus kommen auch in Kropfgegenden für die Wahl einer Quelle als Trinkwasser nur solche Momente in Betracht, welche die chemische und bakteriologische Reinheit des Wassers garantieren. Interessant ist, dass lange Zeit Versuche, die mit Zürcherwasser, das dem See entstammt, im hygienischen Institut in Zürich ausgeführt wurden, negativ waren, bis dann endemisch in gewissen Kisten immer wieder sehr rasch sich Kropf entwickelte. Die Autoren verschafften sich durch den Versuch ähnliche Verhältnisse, wie sie immer wieder in kropfigen Gebieten bei Menschen festgestellt werden können, in denen man häufig eigentliche Kropfhäuser und Kropfwohnungen nachweisen kann. Es liegt natürlich gerade bei solchen Beobachtungen sehr nahe, eventuell an eine ganz bestimmte Bakterienflora zu denken, die zum Kropf führen kann. Die Verfasser haben auch in dieser Beziehung eine Reihe von Versuchen angestellt, die sie zu den Schlussfolgerungen führten, dass Kontakt mit Kropfratten die Entstehung von Kropf bei Ratten nicht beschleunigt, dass Verabreichung von Darminhalt von Kropfratten ebenfalls nicht zu Strumabildung führt, und dass die kropfigen Ratten in evident kropffreier Gegend rasch ihre Drüsenschwellungen verlieren, ohne, wie gesagt, andere Tiere zu infizieren. Alle diese Befunde sprechen dafür, dass es sehr unwahrscheinlich ist, dass ein im Darm sich vermehrender kropferzeugender Mikroorganismus, der direkt auf andere Individuen übertragbar ist, in Betracht kommt.

Klinger ist in einer spätern Arbeit auf die Bedeutung der Kropfkisten zurückgekommen und hat namentlich — aber mit ganz negativem Resultat — versucht, mittelst Kropfkisten unter bestimmten experimentellen Vorbedingungen die Endemie durch das Milieu in eine kropffreie Gegend zu übertragen. Dann konnte er auch mit sehr instruktiven Versuchen demonstrieren, dass es möglich ist, unter sonst gleichen Versuchsbedingungen nur durch Auswahl des Raumes in einem Institut die Tiere bald rascher,

bald langsamer kropfig zu machen. Die Idee eines belebten Erregers drängt sich hier unwillkürlich auf; allerdings müssten einem solchen Erreger ganz spezielle biologische Eigenschaften zukommen.

Die Versuche von Hirschfeld und Klinger werden in manchen Punkten durch ähnliche Versuche an Hunden, die Grassi und Munaron schon früher anstellten, bestätigt. Ich möchte mich heute aber auf die Rattenversuche beschränken. Über ähnliche Resultate haben bereits im Jahre 1914 auch Landsteiner, Schlagenhaufer und Wagner von Jauregg berichtet. Ihre Versuche an Hunden, besonders aber an Ratten, brachten sie auch zur Überzeugung, dass das Trinkwasser nicht die einzige Quelle der den Kropf erzeugenden Schädlichkeit sein kann, da es an kropfverseuchten Orten gelingt, Kropf zu erzeugen bei vollständigem Ausschluss einer im Trinkwasser zugeführten Schädlichkeit, und zwar ebenso rasch und intensiv wie beim Genuss des ungekochten Trinkwassers des verseuchten Ortes.

Eine wertvolle Ergänzung der experimentellen Befunde stellen die histologischen Untersuchungen von Langhans und Wegelin über die experimentelle Rattenstruma dar. Diese Untersuchungen sind um so wertvoller als sie von Leuten angestellt wurden, die durch jahrelange histologische Arbeit die Kompliziertheit der humanen Schilddrüsenpathologie kennen gelernt haben. Die Verfasser stellten zunächst den Typus der normalen Rattenschilddrüse fest und gaben dann ein genaues Bild der Rattenstruma, die besonders als Struma parenchymatosa diffusa, seltener als nodosa auftritt. Als wichtiges Resultat geht aus diesen Untersuchungen hervor, dass mit Ausnahme einiger Punkte die Histologie und Histogenese der Rattenstruma weitgehende Analogie aufweisen mit den Verhältnissen der menschlichen Schilddrüse. Die Untersuchungen von Langhans und Wegelin zeigen mit aller Evidenz, dass Wilms bei seinen ersten Versuchen bereits ziemlich stark kropfige Tiere als Ausgangs- und Kontrollmaterial hatte, wie ich mich seiner Zeit selbst an histologischen Präparaten überzeugen konnte, die mir Wilms vorwies.

Was lehren nun die experimentellen Untersuchungen? Sie geben uns im grossen und ganzen dieselbe Antwort wie die Befunde an Menschen. Sie erlauben scharf die einseitige hydrotellurische Theorie zurückzuweisen; sie geben aber auch keinen

bestimmten Anhaltspunkt für irgend eine andere Theorie, wenn auch manche Punkte für ein infektiöses Agens sprechen oder vielleicht für einen Einfluss einer ganz bestimmten Darmflora, die mit einer Reihe von Eigentümlichkeiten eines Ortes mit Kropfendemie zusammenhängen kann, die mit andern Faktoren zusammen eine pathologische Veränderung des Stoffwechsels bedingen. Es wird bei der Kompliziertheit der physiologischen Bedeutung der Schilddrüse für den Körper und bei der grossen Möglichkeit die Schilddrüsenfunktion von verschiedenen Stellen des Körpers und durch mannigfache physiologische und pathologische Einwirkungen zum Teil gleichsinnig zu beeinflussen ausserordentlich schwer fallen, einen einheitlichen Grund für den endemischen Kropf zu finden, da selbst bei der Annahme einer einheitlichen Ätiologie bei den einzelnen Individuen immer wieder andere auxiliäre Ursachen massgebend werden können, damit ein grösserer oder kleinerer Kropf entsteht.

Als weiteres wichtiges Resultat der experimentellen Kropfforschung ist der Befund festzuhalten, dass es eigentlich regelmässig gelingt, den experimentellen Kropf durch eine Reihe von Substanzen wie Thymol, Arsen, Sublimat, β-Naphthol und besonders durch Jod in seinen verschiedenen Verbindungen zu verhindern.

Für die ganze Frage der Kropfgenese ist die Kenntnis der Veränderungen notwendig, welche die normale, wie die kropfig veränderte Schilddrüse bei jedem Individuum im Verlaufe des Lebens durchmacht. Ein erfahrener Histologe kann im allgemeinen ziemlich leicht das Alter des Individuums bei der mikroskopischen Untersuchung einer normalen wie auch pathologischen Schilddrüse feststellen. Die Schilddrüse des neugeborenen Kindes ist besonders durch den starken Blutgehalt und den geringen Gehalt an Colloid charakterisiert. Die Schilddrüse des Neugeborenen und ihre Funktion ist ganz wesentlich von der Beschaffenheit und der Funktionstüchtigkeit der Schilddrüse der Mutter abhängig. Manche Beobachtungen sprechen dafür, dass die ganze weitere Entwicklung der Schilddrüse des Kindes von der Art und Weise abhängt, mit der die Mutter während der Gravidität für die Schilddrüsenfunktion des Kindes sorgen konnte. So sind wohl auch die eigentümlichen Bilder zu erklären, die man bei familiärem Kropf erheben kann, auf die mich Kollege Hotz in Basel aufmerksam machte. Wenn

in einer kinderreichen Familie eine Reihe von Kindern an einem Kropf erkranken, so sieht man nicht allzuselten, dass die ersten Kinder mit Ausnahme des Kropfes ein normales, intelligentes Wesen hie und da mit Basedowandeutung zeigen, während die späteren Kinder oft einen mehr hypothyreoiden, kretinoiden Typus aufweisen. Es liegt hier die Annahme sehr nahe, dass sich bei den wiederholten Graviditäten die mütterliche Schilddrüse allmählich erschöpft hat.

In der Kindheit ist die Schilddrüse besonders stark in Anspruch genommen. Es überwiegt jetzt der kleinfollikuläre Typus mit dem hohen Epithel und wenig und dünnflüssigem Colloid. Im Moment der stärkeren Wachstumsperioden oder dann besonders bei der Pubertät tritt leicht eine Vergrösserung der Schilddrüse auf, und zwar fast stets in Form des kleinfollikulären, colloidarmen Typus. Denselben Typus zeigen im allgemeinen auch Kropfknoten in dieser Periode. Wenn das dritte Dezennium erreicht wird, so tritt nun mehr und mehr der kleinfollikuläre Typus zurück, um grösseren Follikeln mit niedrigem Epithel und reichlicherem und auch kompakter gebautem Colloid Platz zu machen. Dies hält im allgemeinen an, bis dann im Senium die Altersatrophie mit Epithelverkleinerung, Colloidschwund und Stromaverbreiterung eintritt. Einen ganz wesentlichen Einfluss auf die Schilddrüse hat besonders beim weiblichen Geschlecht auch in kropffreien Gebieten der Genitalapparat. Es ist eine bekannte Tatsache, dass bei den Menses und dann bei der Gravidität besonders gern Schilddrüsenvergrösserungen auftreten, die eventuell zu einem bleibenden Kropf Anlass geben können. Es handelt sich meistens um einen stärkeren funktionellen Reiz, der teils direkt, teils indirekt auf dem Umweg anderer Organe vom Genitalapparat ausgelöst wird. Dieser funktionelle Reiz ermöglicht dann auch, dass eventuell in stark kropfig veränderten Schilddrüsen selbst noch kleinere Reste von lappigem, funktionellem Schilddrüsengewebe während der Sexualperiode des Weibes zur Aufrechterhaltung der Schilddrüsenfunktion genügen. Ausfallserscheinungen kommen dann erst nach dem Klimakterium zur Ausbildung. Auf diese Weise ist wohl ein Frauentypus zu erklären, der bei uns in der Schweiz nicht allzu selten ist: die ziemlich hässliche Frau der Fünfzigerjahre mit Kropf und dem mehr oder weniger kretinoiden Gesichtsausdruck.

Die Untersuchung der Schilddrüse lässt also im Prinzip zwei Typen unterscheiden, die selbstverständlich manche Übergänge auf-

weisen: den kleinfollikulären Typus mit dem hohen Epithel und wenig Colloid in den jüngeren Jahren und den Typus mit den grossen Follikeln mit niedrigem Epithel und mehr und dichterem Colloid. Der kleinfollikuläre Typus entspricht der Zeit besonders intensiver Funktion, während der grossfollikuläre Typus mit mehr Colloid der Ausdruck der ruhenden Schilddrüse ist. Es ist nun für die ganze Frage des Kropfes sehr wichtig, dass die vergleichend-histologische Untersuchung, wie sie namentlich die Langhanssche Schule in Bern durchführte, ergab, dass die Tiefland-Schilddrüse, die sonst den gleichen Entwicklungsgang im Leben zeigt, auch schon in früheren Lebensperioden durch grössere Follikel mit niedrigerem Epithel und reichlicherem Colloid charakterisiert ist, während die Gebirgs-Schilddrüse, oder besser gesagt die Schilddrüse in Kropfgebieten durch den kleinfollikulären Typus mit hohem Epithel und wenig Colloid gekennzeichnet ist. Es handelt sich also bei der Gebirgs-Schilddrüse um eine funktionell stärker in Anspruch genommene Drüse. Ausserordentlich interessant ist, dass die Schilddrüse der Tiere, z. B. der Ratte, die gleichen Unterschiede zeigt. Daraus ergibt sich ohne weiteres die Möglichkeit einer erfolgreichen Kropfprophylaxe. Wenn wir Mittel kennen, die die Schilddrüsenfunktion unterstützen können und die eventuell die mit der Hyperfunktion einhergehenden degenerativen Veränderungen der Follikelepithelien und deren Wucherung hindern, so kann in einem Kropfzentrum eine Schilddrüse während der Periode der stärksten Inanspruchnahme vor kropfiger Entartung bewahrt werden.

Neben den Beeinflussungen der Schilddrüse durch Prozesse, die mit der Entwicklung des ganzen Körpers im Zusammenhang stehen, und die ich im Detail hier nicht schildern will, kommen nun noch viele andere Faktoren, wie Jahreszeit, Wohnsitz, Nahrungsweise und manch anderes hinzu. Wir haben schon früher hervorgehoben, dass in den ersten Monaten des Jahres, im Frühjahr und Vorsommer die Schilddrüsenfunktion besonders intensiv ist. Die Abhängigkeit der Schilddrüse von der Nahrung ist für Tier und Mensch eine lange bekannte Tatsache und muss stets bei experimentellen Arbeiten in Berücksichtigung gezogen werden. Für den Menschen ist auch vom Standpunkt der Schilddrüse aus eine gemischte Kost mit reichlich Gemüse die geeignetste Ernährung. Nicht zu unterschätzen ist bei der Schilddrüse die Beeinflussbarkeit durch psychische Momente.

Spielen schon eine Reihe physiologischer Momente eine grosse Rolle bei dem funktionellen Verhalten der Schilddrüse, so sind natürlich auch die mannigfachsten pathologischen Einflüsse denkbar, die die Schilddrüse direkt treffen oder sie auf dem Umwege anderer Organe beeinflussen können, um bald Steigerung oder Hemmung der Schilddrüsenfunktion oder selbst Kropfbildung zu bewirken. Nach Mc Carrison kommen als Ursachen namentlich drei Faktoren in Betracht: nutritive, infektiöse und psychische Momente, zu denen zu zählen sind:

1. mangelhafte oder fehlerhafte Ernährung;
2. Aufenthalt in Gebieten, die für die Schilddrüse ungesund sind (beim Tiere zum Teil Domestikation);
3. bakterielle und andere Toxine;
4. infektiöse Krankheiten, namentlich im Sinne der Thyreoiditis, wie sie de Quervain und seine Schule beschrieben;
5. Obstipation: intestinale Stase und Toxämie;
6. psychische Einflüsse, wie Schrecken, Kummer, depressive Zustände;
7. Consanguinität und Heredität.

Mit einigen Worten will ich die Histogenese des Kropfes, besonders des Knotenkropfes, erwähnen. Die Untersuchungen der letzten Jahre haben gezeigt, dass mit wenigen Ausnahmen der diffuse, wie namentlich der knotige Kropf aus einer primären Follikelepithelwucherung hervorgeht. Wir wissen jetzt, dass die Tendenz zur Knotenbildung nicht nur auf endemische Kropfgebiete beschränkt ist, sondern auch in sog. kropffreien Gegenden vorkommt. Im allgemeinen ist aber die Zahl und die Grösse der Knoten in Kropfgebieten grösser. Die Tendenz zur Knotenbildung zeigt sich natürlich in der Periode der maximalen Leistung der Schilddrüse, also in der Pubertät, besonders stark, kann aber in jeder Lebensperiode beobachtet werden. Klöppel hat die Knotenbildung namentlich auf eine geschwulstartige Wucherung missbildeter Gewebskeime zurückführen wollen. Ich kann mich ihm, obschon ich als ehemaliger Schüler von Eugen Albrecht der Idee des Hamarto- und Choristoblastoms besonders sympathisch gegenüberstehe, nur partiell anschliessen. Man sieht doch allzuoft gerade in solchen Schilddrüsen alle Bilder der beginnenden Follikelwucherung bis zur Knotenbildung, in denen besonders intensive degenerative Epithelveränderungen in den Schilddrüsenfollikeln nachzu-

weisen sind, wo also die Knoten als zirkumskripte kompensatorische Hypertrophie mit allerdings recht geringgradiger physiologischer Bedeutung für die Lieferung eines wirksamen Schilddrüsensekretes aufzufassen sind. Ferner kann man mit der Klöppelschen Theorie nur schwer erklären, dass im allgemeinen die Tendenz zur Knotenanlage bei Individuen aus Kropfgegenden bedeutend stärker ist als bei solchen eines endemiefreien Gebietes. Dass der Kropf namentlich im 3. und 4. Dezennium zur klinischen Geltung kommt, ist dadurch bedingt, dass in dieser Periode mehr und mehr der colloide Typus sowohl im lappigen wie im knotigen Gewebe sich entwickelt. Je stärker früher die Epithelwucherung und die Neubildung von Follikeln war, um so grösser kann und muss dann ein Kropf werden. Dies erklärt auch ohne weiteres, dass man bei Frauen häufiger und grössere Kröpfe findet als bei Männern.

Ich komme nun zur Besprechung der *Prophylaxe*. Wenn auch die ätiologische Forschung weder in der Humanpathologie, noch im Experiment eine präzise Antwort im Sinne einer einheitlichen, spezifischen Ursache des endemischen Kropfes gegeben hat, so eröffnet doch die bisherige Forschung die Möglichkeit einer prophylaktischen Bekämpfung des endemischen Kropfes. Es ist selbstverständlich, dass der einzelne Kropffall durch eine Reihe von Faktoren günstig beeinflusst werden kann, man braucht ja nur bald das eine, bald das andere Moment auszuschalten, das als auxiliäre Krankheitsursache in Betracht kommen kann.

Ich möchte bei der Frage der Prophylaxe auf jede Hypothese verzichten und mich nur an Tatsachen halten, die allgemein akzeptiert sind. Ich gehe deshalb hier auch nicht auf die neuern chemischen und biologischen Untersuchungen auf dem Gebiet der Schilddrüse ein und verzichte namentlich auch auf eine Diskussion der Frage, ob das Schilddrüsencolloid jodhaltig ist oder nicht. Als feststehende Tatsachen können wir annehmen, dass die Schilddrüse in Kropfgebieten beim Menschen und bei den daraufhin untersuchten Tieren, namentlich in den frühern Lebensperioden, mehr dem arbeitenden kleinfollikulären Typus entspricht, und dass es bei Tieren gelingt, durch eine Reihe von Substanzen, wie Arsen, Thymol, Sublimat, β Naphthol und Jod eine Kropfbildung zu verhindern. Der Kropf ist mit wenigen Ausnahmen auf eine primäre Alteration und Reaktion der Schilddrüsenfollikel zurückzuführen. Eine prophylaktische Bekämpfung eines endemischen Kropfes muss

sich also die Aufgabe stellen, diese Follikelschädigung unmöglich zu machen und die Schilddrüse auf eine Form zu bringen, die derjenigen im Tiefland entspricht. Rein morphologisch müssen also, etwas schematisch ausgedrückt, die Bestrebungen dahingehen, aus einem vorwiegend kleinfollikulären Typus mit reichlich Follikeln und hohem Epithel und wenig Colloid, vorwiegend einen etwas grösser follikulären Typus mit weniger Follikeln und reichlicherem und auch kompakterem Colloid zu schaffen. Ich habe früher auseinandergesetzt, dass dieser Typus mehr der ruhenden, aber auch normalen Schilddrüse entspricht. Wir können dies auch experimentell leicht beweisen. Wenn bei einer diffusen Colloidstruma genügend operativ reseziert wird, so ändert sich der restierende Teil der Schilddrüse, der jetzt plötzlich mehr Arbeit leisten muss, in dem Sinne, dass jetzt das Colloid aus den Follikeln mehr und mehr schwindet, das Epithel höher wird und die Schilddrüse den klein-follikulären Typus annimmt. Umgekehrt kann jede Entlastung einer stark arbeitenden Schilddrüse zu einer Colloidansammlung in den Follikeln führen. Wir können dies experimentell durch Zufuhr von Schilddrüsensubstanz und dann durch Darreichung von Jod bewirken. Diese Beeinflussungsmöglichkeit durch Jod ist nun für eine ausgedehnte prophylaktische Bekämpfung des Kropfes von ganz besonderer Bedeutung, um so mehr als schon sehr kleine, für den Organismus nicht schädliche Dosen, genügen, eine solche Umstimmung der Schilddrüse herbeizuführen. Ich verzichte hier ausdrücklich auf eine genaue Erklärung und auf eine Wiedergabe der verschiedenen Hypothesen der Jodwirkung und verzichte besonders auch darauf, selbst eine Hypothese in die Welt zu setzen. Ich registriere nur die Tatsache, dass wir im Stande sind, mit Jodverbindungen die Schilddrüsenarbeit so zu beeinflussen, dass mehr der ruhende Typus der Schilddrüse resultiert, den wir nach vergleichend histologischen Untersuchungen als den Normaltypus bezeichnen müssen. Damit erreichen wir auch, dass Degenerationen, die mit stärkerer Inanspruchnahme der Schilddrüse besonders gern auftreten, seltener werden. Es ist ja mehr als wahrscheinlich — diese Hypothese sei mir doch erlaubt — dass das sichtbare Colloid eine Art Reserveanlage der Schilddrüse darstellt, das bei stärkerer und namentlich pathologischer Inanspruchnahme der Schilddrüse zunächst schützend eingreifen kann.

Es ist nun nach dem Gesagten selbstverständlich, dass die Jodprophylaxe in dem Moment eintreten muss, in welchem die Schilddrüse am meisten funktionell belastet ist, das heisst während der Kindheit und beim weiblichen Geschlecht immer dann besonders, wenn durch den weiblichen Sexualapparat eine stärkere Inanspruchnahme der Schilddrüse entsteht. Diese Forderung involviert ohne weiteres die Notwendigkeit, die Schilddrüsenbehandlung, die in den letzten Jahrzehnten fast ausschliesslich von Chirurgen geübt wurde, dem Internen, resp. dem Haus- und Schularzt zurückzugeben, der auch die Verantwortung für eine richtige Jodprophylaxe übernimmt, die, wenn sie auch im Grossen durchgeführt wird, doch mit der individuellen Reaktionsmöglichkeit des einzelnen Menschen rechnen muss. Es ist ja selbstverständlich, dass mit einer solchen Prophylaxe auf breiter Basis nicht alle Kropffälle aus der Welt geschafft werden, und dass nach wie vor eine Reihe von Fällen chirurgische Intervention bedingen, weil man in der Schilddrüse wie in jedem andern Organ auch tumorförmiges Wachstum finden wird, ganz unabhängig von den Ursachen des endemischen Kropfes.

Dass eine Kropfprophylaxe mit Jod, die in der Schule unter ärztlicher Kontrolle durchgeführt wird, möglich ist, hat die amerikanische Medizin bereits bewiesen. Es ist eine eigentümliche Beobachtung, dass bei uns in der Schweiz eine Kropfbekämpfung auf grösserer Basis fehlt. Dies hängt, abgesehen von der Eigentümlichkeit des Schweizercharakters, nicht am wenigsten damit zusammen, dass der Kropf fast ausschliesslich den Chirurgen gehörte, die mit Recht darauf hinweisen konnten, dass durch eine unkritische und nicht zeitgemässe Jodbehandlung Schaden angerichtet werden kann und dass die Operationsmöglichkeit dadurch erschwert wird. In der letzten Zeit sind allerdings auch in der Schweiz von mehreren Seiten prophylaktische Jodversuche unternommen worden. Einer Mitteilung von Kollegen Klinger aus Zürich verdanke ich zum Beispiel die Kenntnis von ausgezeichneten Resultaten in den Schulen einiger Zürchergemeinden mit innerlicher Darreichung von 10 mg Jod pro Woche in Form von Tabletten aus Cacao und Zucker. Es fehlt uns aber noch eine schweizerische, grosszügig orientierte, prophylaktische Kropfbekämpfung.

Es ist jetzt wirklich Zeit, wie dies auch Professor Roux in seinem Vortrag am schweizerischen Aerztetag in Bern betonte,

dass in der ganzen Schweiz, soweit sie endemischen Kropf aufweist, eine staatlich organisierte, natürlich ärztlich streng kontrollierte, prophylaktische Kropfbekämpfung eingeführt wird. Ich bin fest überzeugt, dass eine spätere Zeit die beliebten Statistiken von Hunderten oder Tausenden mit Erfolg operierter Kröpfe in erster Linie nicht als ein Zeichen eines besonderen Hochstandes der schweizerischen Chirurgie, sondern als den Ausdruck eines eigentümlichen Versagens der jetztzeitigen, öffentlichen Hygiene der Schweiz in der Kropfbekämpfung betrachten wird.

Wenn ich Sie von der Notwendigkeit einer schweizerischen prophylaktischen Bekämpfung des Kropfes und von der Möglichkeit eines Erfolges einer solchen Behandlung überzeugt habe, so habe ich das Hauptziel meines heutigen Vortrages erreicht. —

Les Fouilles de la Grotte de Cotencher.

Aug. Dubois (Neuchâtel).

Le Val de Travers débouche du Jura par un portique de grande allure compris entre la Montagne de Boudry, au sud, et la Tourne, au nord. Nos Confédérés qui, du Plateau suisse, le voient se profiler sur l'horizon, lui ont de temps immémorial donné le nom de „Burgunderloch", la Trouée de Bourgogne.

Sur le seuil de cette belle coupure, dans les Gorges de l'Areuse, s'ouvrent quatre cavernes que les promeneurs visitent assidûment, car toutes situées sur la rive gauche de l'Areuse dans un rayon de moins d'un kilomètre, elles sont faciles à explorer en une demi-journée. L'une d'elles est la grotte de Cotencher à 659 m d'altitude. Elle s'ouvre sur le sentier qui relie la gare de Chambrelien à celle du Champ du Moulin à un kilomètre de la première, et domine l'Areuse de 130 m.

Elle est creusée dans l'imposant massif rocheux dominé par les ruines du château de Rochefort, massif où se succèdent une série de gradins formés par les gros bancs du Kiméridgien et du Portlandien alternant avec des talus d'éboulis à forte inclinaison, plus ou moins boisés et buissonneux. Quand on examine cette région de la rive opposée de l'Areuse, elle paraît difficilement praticable. Cependant les talus qui séparent les bancs rocheux sont de moins en moins abrupts à mesure qu'on s'élève.

De la porte que nous avons fait construire, au fond de la caverne, en suivant l'axe, la longueur est de 18 m. Si l'on y ajoute celle de l'abri sous roche, elle atteint 25 m. La largeur maximum qui apparaît à deux mètres au nord de la porte, s'élève à 11 mètres; la hauteur que nos fouilles ont profondément modifiée par endroits atteint au maximum 8 m; au début de nos travaux elle s'élevait à 3 m.

La surface totale de la caverne proprement dite, c'est-à-dire de la cavité comprise en dedans de la porte, dépasse 150 mètres carrés. Le cube du remplissage s'élevait au début de nos fouilles à environ 600 mètres cubes. La moitié en a été exploitée.

Le sol de l'abri sous roche est recouvert d'un cône d'éboulis dû à la chute des matériaux qui se détachent de la voûte et surtout à celle de la terre et des cailloux qu'entraînent les fortes pluies et les neiges sur le talus dominant. Ce cône tendait à encombrer l'entrée de la caverne à tel point que l'on n'y pénétrait qu'en rampant. L'ouverture avait à peine 50 cm de hauteur. On ne pouvait se tenir debout qu'après avoir franchi 7 à 8 mètres.

Il est probable que la présence d'ossements dans la grotte ne fut reconnue qu'à l'époque de la construction du chemin de fer Franco-Suisse, soit en 1858.

Le 23 février 1867, M. Henri-Louis Otz, notaire, inspecteur du cadastre du canton de Neuchâtel, collectionneur avisé et tout à fait informé sur le mouvement archéologique de son époque, et M. Charles Knab, ingénieur cantonal, entreprirent les premières fouilles scientifiques de Cotencher.

Dans ses communications à la Société des Sciences naturelles de Neuchâtel, comme dans sa correspondance avec le professeur Rütimeyer de Bâle, dont j'ai eu connaissance en partie par son fils, en partie par M. le Dr H.-G. Stehlin, on discerne que la principale préoccupation de M. Otz fut de rechercher dans la caverne des traces de la présence de l'homme.

Le procès-verbal de la première communication qu'il a faite le 7 mars 1867 à la Société des Sciences naturelles de Neuchâtel s'exprime ainsi: „Il (M. Otz) avait depuis fort longtemps reconnu au fonds de la grotte un dépôt argileux et il comptait y découvrir des objets plus anciens que ce qui a été trouvé jusqu'ici dans notre pays."

Le 3 mai, M. Otz expédiait à Rütimeyer, avec une liste que j'ai eue sous les yeux, 34 fragments de dents et d'ossements qu'il considérait comme portant des traces de travail humain; un peu plus tard, il lui communiquait encore quelques pièces de même nature. Le 18 août, Rütimeyer répond que les dents d'ours ne sont point perforées artificiellement, mais que ce sont de jeunes dents dont la racine n'est pas encore close, plus loin il ajoute: „Mon opinion est qu'aucune de ces dents et aucun de ces os ne sont travaillés de main d'homme. Il paraît aussi, d'après les explorations très exactes que vous avez faites et dont vous me donnez un récit qui m'intéresse vivement, qu'aucune trace de la présence de l'homme ne s'est montrée jusqu'ici dans la caverne."

Dans un lot de 57 ossements, sans doute les meilleurs, que M. Otz avait communiqués à Rütimeyer, celui-ci détermina toutes ces pièces comme ayant appartenu à l'ours des cavernes, sauf une seule qui lui parût provenir d'un ruminant.

Dans sa lettre du 18 août, Rütimeyer écrivait encore: „ Les deux petites dents appartiennent l'une au renard, l'autre à la marmotte. La phalange unguéale appartient bien à une espèce de cerf, mais je crois que c'est le cerf ordinaire (Cervus elaphus) et non pas le renne, cependant je ne puis pas l'affirmer directement n'ayant pas par hasard à ma disposition de phalange de renne.“ (Inédit.)

Aucun instrument de pierre taillée ne fut découvert par M. Otz et l'on peut s'en étonner puisque nous en avons trouvé dans ses propres déblais. Mais le fait s'explique si l'on songe qu'il ne pouvait pas suivre les fouilles d'une façon continue et que le triage s'opérait sans doute en grande partie dans la caverne à la lumière artificielle. Or, même dans les régions très productives, nous n'avons jamais réussi à discerner un seul silex dans ces conditions. Pourtant nous avions parfois six lampes à acétylène en activité, donc un éclairage sans doute plus éclatant que celui dont disposaient les fouilleurs de 1867. La terre et l'argile engluant les silex ne permettaient le plus souvent de les reconnaître qu'après lavage.

Tel est, à peu près, le bilan des connaissances que nous ont valu ces premières fouilles et encore la présence à Cotencher du renard, de la marmotte et du cerf n'a-t-elle pas été signalée.

En résumé, ces premiers résultats enregistraient donc sur la présence de l'homme à Cotencher des conclusions négatives que renforcent encore les lettres inédites de Rütimeyer.

Dès lors, sans qu'elle fit beaucoup parler d'elle, la caverne de Cotencher ne cessa d'être visitée par de nombreux chercheurs et amateurs qui y exécutaient de modestes fouilles, constituant des collections en général restreintes, dont beaucoup sont aujourd'hui perdues.

Parmi ces collectionneurs, il faut citer M. le Dr Beau, médecin à Areuse, et son frère M. le pasteur Beau, à Auvernier, qui réussirent à rassembler une série intéressante d'ossements de l'*Ursus spelaeus* et de quelques autres espèces.

M. le Dr Edmond Lardy, alors médecin à Genève, parent des MM. Beau, en voyant cette collection, fut frappé de ce que la caverne pouvait encore livrer. Séjournant chaque été quelques se-

maines dans les environs de Bevaix, le Dr Lardy entreprit, à Cotencher, en 1915, une fouille un peu plus complète et, réunissant sa récolte à quelques pièces de la collection Beau, il présenta le tout à la section d'anthropologie de la Société helvétique des sciences naturelles, siégeant à Genève du 12 au 15 septembre 1915. Le Dr Lardy insista sur l'importance du gisement affirmant que contrairement à l'opinion courante il était encore en bonne partie intact. Son but, disait-il, était de provoquer une fouille méthodique de cette caverne ou tout au moins d'assurer une protection plus efficace de ce qui y restait de couche fossilifère.

M. le Dr H.-G. Stehlin, de Bâle, présent à Genève, put constater que la faune de Cotencher est bien plus variée que ne l'avaient fait entrevoir les fouilles de 1867.

A la suite d'une visite à la caverne de Cotencher où il fut conduit par le Dr William de Coulon, le Dr Stehlin m'écrivit pour me demander d'organiser ces nouvelles fouilles. Il ajoutait: „Cotencher est à ma connaissance le seul gisement du Jura suisse qui ait donné d'incontestables restes de l'ours des cavernes.“ — „D'après Desor, il semble possible de fixer la position de la couche fossilifère dans l'échelle chronologique glaciaire.“

„Enfin, la récolte de M. Lardy m'apprend que le gisement a un troisième mérite. Tandis que M. Otz n'avait signalé, en dehors de l'ours, que quelques traces indéterminables d'autres mammifères, M. Lardy a recueilli de l'ibex, du renard et quelques petits rongeurs. Il y aurait donc possibilité de retrouver dans cette grotte la faune inconnue qui peuplait notre Jura à l'époque de l'ours des cavernes.“

Je m'étais trop intéressé à tout ce qui touche aux Gorges de l'Areuse pour rester indifférent à cet appel, et c'est ainsi qu'en collaboration avec le Dr Stehlin nous décidâmes d'entreprendre ces nouvelles fouilles.

M. le Dr Lardy n'avait pas cessé de prédire que la caverne livrerait des traces de la présence de l'homme. Forts des résultats de 1867, nous étions au contraire très sceptiques à cet égard. Les événements ont donné raison au Dr Lardy. Nous tenons aussi à reconnaître que c'est donc à lui que revient le mérite d'avoir provoqué ces nouvelles recherches.

* * *

Dans la discussion de la méthode à suivre pour faire donner aux recherches le maximum de rendement, il fut décidé que la totalité du matériel exploité serait extrait de la caverne par petits lots et trié à la main sur une table au grand jour.

Il eut été intéressant d'exploiter tout le talus de l'abri sous roche. Des difficultés insurmontables nous en ont empêchés, entre autres l'impossibilité de se débarasser d'une masse pareille (plus de 1000 mètres cubes) sans frais énormes. Nous nous sommes bornés à creuser dans la tranchée d'accès deux puits d'exploration dont l'un s'enfonce à 8 mètres au-dessous du terre-plein. Ils nous ont fourni sur la structure et le contenu de cet amas des renseignements suffisants.

Je l'ai dit, nous pensions ne pas trouver d'instruments de pierre taillée par l'homme. Nos recherches visaient un but essentiellement paléontologique. Dans ces conditions, une fouille restreinte paraissait devoir suffire et nous l'abordâmes avec des crédits très modérés.

Huit jours après le début de la première campagne, soit le 11 juillet 1916, nous trouvions le premier outil de pierre taillée, le 30 juillet, nous en possédions déjà 60. Le Dr Baechler de St-Gall, l'auteur des fouilles du Wildkirchli, MM. Paul et Fritz Sarasin de Bâle vinrent à Cotencher, le 3 août, et confirmèrent sans aucun doute, l'attribution de ces outils à l'époque moustérienne. Baechler notamment reconnut leur similitude avec ceux du Wildkirchli.

Dès cet instant nos fouilles prenaient une envergure nouvelle, notre programme s'élargissait. Si nous parvenions à déterminer l'âge glaciaire du dépôt, nous aurions en même temps celui du Moustérien encore si discuté. Il devenait évident que nous ne pouvions plus nous contenter d'une fouille sommaire et d'un budget aussi restreint. Nous cloturâmes donc cette première campagne le 16 août.

Nous résolûmes d'aviser le public de ce que nous venions d'entrevoir, de lancer un appel pour obtenir les fonds indispensables et d'organiser avec plus d'ampleur les fouilles de 1917. Je dois dire ici toute la gratitude que j'éprouve pour le magnifique appui que nous avons trouvé dans le public et qui nous a permis de faire face à toutes les difficultés et de mener à bien ces trois saisons de fouilles dont la durée totale a atteint 35 semaines.

Il s'agit maintenant d'en décrire les résultats et d'en tirer les conclusions.

Examinons tout d'abord comment se présente la composition du remplissage de la Caverne. La description que nous en donnerons s'appliquera à la région où nos fouilles ont été le plus étendues.

De haut en bas les terrains rencontrés ont été les suivants:

Anciens déblais	0,90	mètres
Couche d'humus noire	0,20	„
Argile blanche, jaunâtre dans le tiers inférieur . .	0,90	„
Couche à galets, contenant les ossements dans toute son épaisseur et le 86 % des silex	1,65	„
Couche de terreau brun phosphaté riche en os avec le 10 % des silex	1,35	„
Total	5,00	mètres

Donnons quelques détails sur la composition de ces divers terrains.

1. *Déblais anciens.* C'est un matériel assez hétérogène renfermant des débris de l'ancienne couche stalagmitique dont nous n'avons plus trouvé de portions intactes. Ces déblais nous ont fourni une quantité notable d'ossements ainsi qu'une vingtaine de silex. Leur épaisseur variait beaucoup.

2. *La couche d'humus à racines.* Son origine est facile à expliquer. De l'abri sous roche la surface du sol est inclinée vers la caverne. Les pluies entraînent sur le talus dominant la grotte, de la terre et des graviers qui s'accumulent sur la plateforme de l'abri. Dans les périodes très humides le ruissellement entraîne cette terre jusqu'au fond de la caverne. Les hêtres de l'abri y étalent leurs racines.

A mesure qu'on s'approche de la porte cette couche d'humus se complique et s'épaissit. Elle devient plus caillouteuse, ses matériaux restant anguleux. Dans ceux-ci nous avons trouvé plus de 400 tessons de poterie ainsi qu'un mobilier néolithique très restreint et comprenant essentiellement deux haches de pierre polie, des pointes de flèche et un ou deux débris de bronze. Ces vestiges attestent que la caverne a été habitée au moins d'une façon sporadique à une époque encore beaucoup plus récente que l'époque moustérienne.

3. *La couche d'argile blanche.* Cette couche stérile nous paraît due au limon de dissolution que n'ont pas cessé d'introduire dans la caverne les filets d'eau qui y coulent encore par deux

cheminées et par d'autres fissures et qui en périodes humides peuvent débiter 6 à 10 Lm. Dans ces périodes, cette eau paraît troublée par un limon blanchâtre parfaitement capable de nourrir encore l'enduit stalagmitique ainsi que la couche argileuse. La stratification très fine de certaines parties de cette couche démontre qu'elle se déposait dans une flaque peut-être temporaire.

4. *La couche à galets.* C'est celle qui recèle le problème fondamental de Cotencher. Elle apparaît dans toute son épaisseur avec une composition homogène. Cette assise est essentiellement formée d'une masse de cailloux englués dans un faible dépôt argileux. Ils varient de la grosseur d'une noisette à celle des deux poings, les formats moyens prédominants.

Tous les galets sont arrondis, sphériques lorsqu'ils sont formés de roches très tendres, oblongs lorsqu'ils appartiennent à des roches plus compactes et, enfin, plus ou moins polyèdriques, lorsqu'ils sont composés de roches dures, mais alors leurs arêtes sont usées et mousses.

Il n'y a dans l'ensemble du dépôt aucun triage, aucune alternance de lits sableux et de galets en stratification oblique et entrecroisée qui puisse faire songer à un dépôt fluvioglaciaire.

Bref par tous ses caractères la couche à galets nous est apparue comme un dépôt morainique incontestable.

J'ai reconnu dans les roches qui forment les galets de cette masse tous les sédiments du Val de Travers de la Molasse aquitanienne au Crétacé et au Malm, même au Bathonien et au Bajocien. Toutes ces roches existent en affleurements puissants dans les Gorges de l'Areuse en amont de Cotencher. J'ajoute que parmi les assez nombreux fossiles contenus dans cette couche, il s'en trouve plusieurs appartenant à des étages plus anciens que le Virgulien dans lequel est creusé la caverne.

Donc sans vouloir ici allonger davantage, je dirai que la couche à galets de Cotencher appartient certainement à un lambeau d'une moraine jurassienne descendue du Val de Travers, donc à une moraine d'un glacier de l'Areuse. Il restera à rechercher quel peut être ce glacier. Pour l'instant je poursuis la description du remplissage de la caverne.

5. *La couche de terreau brun phosphatée.* Cette masse homogène se compose essentiellement d'une terre légère, parfois un peu argileuse fortement teintée en brun foncé, rougeâtre, allant

jusqu'au noir presque pur. Elle contraste avec la précédente par sa pauvreté en galets. Elle renferme de temps à autre un bloc plus ou moins volumineux détaché évidemment de la voûte et quelques galets alpins très rares et très petits.

Dans la collection des ossements que nous avons formée, ceux qui proviennent de ce niveau frappent par leur belle patine brune, tandis que ceux de la couche à galets sont de couleur jaune claire.

Le caractère le plus singulier que présente cette couche, c'est sa teneur en phosphate de calcium. Le fait avait été déjà signalé lors des fouilles de M. Otz. Nous nous sommes beaucoup occupés de cette particularité. Des échantillons furent prélevés et soumis à l'analyse chimique. Nous avons même pu tirer parti de cette couche comme engrais chimique et nous en avons vendu environ 25000 kg aux cultures de Planeyse.

D'après une analyse de M. Duserre, directeur de l'Etablissement fédéral de chimie agricole de Lausanne, la couche contenait 24 % de phosphate tricalcique.

Quant à l'origine de cette couche brune, nous admettons qu'elle s'est formée lentement, à peu près comme la couche d'argile blanche située plus haut, par l'apport des eaux d'infiltrations qui parvenaient à la caverne. Elle renferme une proportion assez notable de grains de quartz qui me fait penser qu'à un certain moment ces eaux d'infiltrations y parvenaient en charriant des sables sidérolithiques provenant d'une poche ou résultant d'une lévigation des sables de l'Albien moyen qui a existé dans la contrée.

Quant à sa teneur en phosphate de calcium, il est évident qu'il faut y voir un produit de la dissolution des ossements de l'*Ursus spelaeus* qui y gisaient en si grand nombre. Les tissus des cadavres ont aussi contribué à cet apport.

6. *La couche d'argile jaune.* Enfin au-dessous de cette couche phosphatée se rencontre une couche argileuse entièrement stérile et dans laquelle nous nous sommes bornés à pratiquer quelques sondages, pour juger de son épaisseur. Cette couche colorée en jaune d'or par l'hydroxide de fer n'est autre chose que le résidu insoluble des eaux qui ont formé la caverne par dissolution du calcaire. Elle ne manque dans aucune caverne.

* * *

Et maintenant qu'avons-nous trouvé dans la caverne de Cotencher? Je commence par parler des traces de l'homme.

Les premières, mais les moins certaines, consistent en une quantité d'ossements usés et polis que beaucoup de préhistoriens envisagent comme ayant été façonnés par l'homme. Nous les avons trouvés exclusivement dans la couche à galets. Quant à nous, nous restons très sceptiques à leur égard. Comme Desor et Rütimeyer, nous pensons que ces ossements portent plutôt les traces indéniables de l'usure par les eaux courantes.

Une seconde série d'objets nous paraît déjà plus sérieuse. Ce sont des éclats de canines d'ours aplanis et polis qui frappent par la curieuse manière dont ils sont façonnés. On a décrit récemment en Hongrie des instruments tout à fait identiques.

Je citerai ensuite deux spécimens de fragments osseux qui présentent des entailles certainement pratiquées par l'homme avec un instrument tranchant. On confond quelquefois avec ces marques les traces de „rongeurs", mais ici la méprise n'est pas possible.

Il faut remarquer encore que tout au fond de la couche brune, nous avons découvert en deux endroits des traces de foyers ainsi que des os calcinés, notamment deux fragments de crâne de l'ours des cavernes.

Mais les documents les plus importants sont, cela va sans dire, les instruments de pierre taillée que nous avons trouvés au nombre de 420. Il est facile de se convaincre qu'ils ne peuvent être rapportés qu'à l'époque moustérienne qui se distingue par la technique spéciale de son outillage. Les éclats de silex sont retouchés seulement sur une face l'autre restant aplanie ou plus ou moins gauchie par ce que G. de Mortillet a nommé le conchoïde ou le bulbe de percussion. Mais il est manifeste qu'à Cotencher ce matériel est plus étriqué, si j'ose dire, que celui qu'on rencontre dans tant de stations françaises. Cela tient à la qualité de la matière première dont disposaient les hommes de Cotencher. Le Jura n'est pas riche en galets siliceux et il leur a fallu tirer parti de tout ce qu'ils réussirent à trouver: quartzites des moraines, ölquartzites autrement dit lydites ou phtanites de même provenance, mais la plus grande partie de l'outillage de Cotencher provient du Hauterivien supérieur. Léopold de Buch avait déjà fait cette remarque que cet étage est le plus siliceux qu'on puisse rencontrer chez nous. Il renferme par endroits des veines de silice assez développées pour que les habitants de Cotencher ait pu en tirer parti. Le 80 % des silex sont formés de cette roche dans laquelle on voit encore les oolithes

du calcaire et même des fossiles complètement silicifiés par épigénie.

Dans cet outillage, on distingue toutes les formes d'outils classiques: les pointes à main, les racloirs simples ou à coches, les grattoirs, des nuclei et des percuteurs. Il y a pourtant dans l'ensemble un petit nombre d'outils formés de très belles roches qui paraissent étrangères à notre pays et qui pourraient bien avoir été importés.

J'ai soumis des photographies de ces silex aux deux principaux spécialistes de ces questions, je veux dire à M. Hugo Obermaier et à M. Henri Breuil, pour leur demander leur avis sur l'âge relatif du Moustérien de Cotencher. Obermaier m'écrit: „Les photographies que vous m'avez remises reflètent un Moustérien indiscutable et certain qui me fait l'impression d'être plutôt ancien, c'est-à-dire d'appartenir à la première moitié du Moustérien classique." Breuil m'écrit qu'il croit que l'industrie de Cotencher est en tout cas fort antérieure au Moustérien très évolué de la Quina.

Mais la principale question qui s'est posée à nous à ce propos est la suivante: Est-il possible à Cotencher de déterminer l'époque glaciaire, à laquelle a correspondu le gisement?

Pour introduire cette question, une petite incursion historique est ici nécessaire.

De 1901 à 1909 parurent les fascicules de l'ouvrage bien connu de Penck et Brückner „*Die Alpen im Eiszeitalter*" dans lequel ils exposent leur grande synthèse selon laquelle quatre glaciations se seraient succédé dans les temps quaternaires, celles de Günz, de Mindel, de Riss et de Würm séparées par des périodes interglaciaires à climat aussi clément, parfois même plus doux que celui d'aujourd'hui.

Si les quatres périodes glaciaires ont été trois fois interrompues par d'autres à climat plus doux, la flore et la faune chaude doivent aussi avoir trois fois alterné avec une flore et une faune froide.

Penck s'est efforcé de rechercher des preuves de ces alternances. Il s'est en outre donné pour tâche de déterminer le sort de l'homme pendant ces périodes.

Constatant que les stations magdaléniennes de Schaffhouse (le Kesslerloch et le Schweizerbild) puis celles de Schüssenried, de Veyrier et des Hotteaux qui sont magdaléniennes se trouvent toutes en dehors du territoire que les derniers glaciers occupaient encore au stade de Bühl, il conclut à la contemporanéité de cette phase glaciaire avec l'âge de ces stations.

Cette situation du Magdalénien dans les temps post-glaciaires est admise aujourd'hui par tous les auteurs.

Pour les périodes archéologiques antérieures les points de repère sont moins sûrs. Penck fait observer que pas une station paléolithique de type antérieur au Magdalénien n'a été observée jusqu'ici dans les limites des moraines de la quatrième glaciation; on n'en a également pas trouvé une seule jusqu'à présent sur les moraines de la troisième glaciation. Elles évitent certainement le domaine des glaciers. „De cette exclusion réciproque du Moustérien et des limites de la plus grande extension du glacier qui appartient à l'époque du Riss je ne puis, dit-il, que conclure que tous deux sont du même âge ou que la glaciation de Riss succéda à l'époque moustérienne." Se basant sur les vestiges trouvés dans la terrasse fluviale de Villefranche sur la Saône en amont de Lyon, Penck admet un Moustérien froid contemporain de la troisième époque glaciaire et un Moustérien chaud postérieur qui appartiendrait à la première moitié de l'époque interglaciaire Riss-Würm. Cette interprétation le conduit à localiser l'Aurignacien et le Solutréen dans la seconde moitié de la même période. Le Chelléen, encore plus ancien, et correspondant à une faune chaude trouve sa place par conséquent dans le deuxième interglaciaire Mindel-Riss.

Pour Marcellin Boule, professeur de paléontologie au Museum de Paris, la faune chaude caractérisée par l'*Hippopotame* et l'*Elephas antiquus* a toujours accompagné le Chelléen et une fois disparue de l'Europe centrale elle n'y est plus jamais réapparue. D'autre part, comme il admet la succession de plusieurs glaciations, il ne lui reste pas d'autre alternative que de placer tout le paléolithique dans le voisinage de la dernière glaciation. Comme la position du Magdalénien est bien établie, il fait donc coïncider le Moustérien avec celle-ci et forcément le Chelléen tombe dans le dernier interglaciaire. Tout le Paléolithique récent, de l'Aurignacien au Tourassien se déroule pendant les phases de recul du dernier glacier. En résumé, tandis que Boule place le Moustérien en coïncidence avec le Würmien, Penck le recule jusqu'au Rissien. Ces deux théories divergentes devaient bientôt aboutir à un conflit. C'est Boule qui ouvrit la discussion par une notice sur une hache acheuléenne trouvée dans le Jura français à Conlièges à 6 km à l'est de Lons-le-Saunier. Cette hache était enfouie dans le lehm

rouge qui recouvre les restes de moraine alpine et qui s'étend de là considérablement plus loin du côté de l'ouest. Penck avait considéré ces moraines comme rissiennes. Mais si une hache acheuléenne se trouve dans une couche plus récente que le Riss, remarque Boule, le Moustérien ne peut appartenir qu'à la glaciation de Würm. Penck put répondre dans le chapitre final de „*Die Alpen im Eiszeitalter*", en 1909, que près de Conliège même, il n'y avait aucune moraine sous le lehm, que les moraines en question pourraient appartenir à la précédente glaciation, soit à celle de Mindel, qu'il avait fait d'expresses réserves quant à leur assignation à la période de Riss et que des trouvailles isolées étaient en général des points de repère peu sûrs, qu'il fallait attacher plutôt de l'importance aux stations. Il cite alors la caverne du Wildkirchli comme preuve de la justesse de sa théorie. Le type des silex y est indubitablement celui du Moustérien. La station sans doute est située dans les limites de Riss, même dans celles de Würm, mais en dehors de leurs atteintes, dans une paroi de rocher qui occupait un niveau supérieur à celui que les glaces ont atteint même à l'époque du paroxysme. Elle ne peut appartenir aux temps glaciaires, car à cette époque la caverne était certainement envahie par les glaces. La faune a le faciès alpin d'une faune chaude. Il faut donc ranger la station dans le dernier interglaciaire où depuis longtemps il avait placé le Moustérien chaud.

Les deux parties conservaient leur manière de voir. D'autres ont pris part à la discussion ; de nouveaux arguments furent avancés surtout par H. Obermaier et H. von Koken qui se rangèrent à l'avis de Boule. Penck ne se laissa pas persuader. Il résulte de toute son argumentation qu'il devrait en quelque sorte se déclarer battu si on pouvait lui montrer une station moustérienne située non seulement à l'intérieur des limites de la glaciation de Riss, comme l'est celle du Wildkirchli, mais en même temps directement dans la voie du glacier. Or, Cotencher remplit précisément cette condition.

Il importe donc de pouvoir situer la station de Cotencher dans les formations glaciaires locales de telle sorte qu'elle soit datée avec plus de précision qu'elle ne l'est par sa situation à l'intérieur des limites glaciaires.

Il s'agit donc d'examiner les circonstances particulières à la région où gît Cotencher.

On connaît aujourd'hui avec une suffisante précision la limite du glacier du Rhône würmien le long du Jura. Chaque fois qu'il est sorti des Alpes il est venu butter en ligne droite contre le Chasseron. Arrêté dans son expansion rectiligne, il s'est alors déversé en deux langues, l'une s'allongeant vers Genève et au-delà (branche rhodanienne), l'autre s'écoulant suivant le cours de l'Aar (branche rhénane). La direction Villeneuve—Chasseron marquait sa ligne de faîte. Le glacier de Würm a déposé ses moraines au Chasseron et à l'Aiguille de Baulmes à 1210 mètres d'altitude. De Ste-Croix à Wangen sur Aar en passant par la Montagne de Boudry, Chaumont, la Montagne de Boujean et Oberdorf on peut suivre une traînée de blocs erratiques qui jalonnent indubitablement sa limite. Sauf quelques fléchissements dans les angles morts cette *grande moraine* comme on la nomme, merveilleusement nette, dessine une ligne d'une rigueur toute géométrique. Du Chasseron, on repère également sa déclivité à mesure qu'on se rapproche du fort de l'Ecluse. Nulle part le glacier ne s'est assez élevé pour franchir le Jura.

Du Pasquier et Rittener ont reconnu qu'il avait pénétré dans le Val de Travers uniquement par la Trouée de Bourgogne et non pas par Ste-Croix ou par le couloir de Provence. De la Trouée de Bourgogne, il aurait dû venir mourir normalement en amont de Noiraigue. Au lieu de cela, il se prolonge en une langue presque horizontale et s'étend à 14 km plus loin, jusqu'au delà de Buttes et de St-Sulpice en jalonnant sa marche sur les deux flancs de la vallée, d'une traînée de blocs. Pour obtenir la clef de cette anomalie, j'ai tenté de supputer, d'après les méthodes actuelles, le niveau qu'atteignait dans la vallée la limite des neiges persistantes à cette époque. J'arrive à ce résultat que cette limite devait être déprimée à tel point qu'elle atteignait environ 1000 mètres. Donc tous les plateaux qui flanquent le Val de Travers étaient occupés par des névés et dans les cirques devaient déjà se former des glaciers locaux qui ont servi de relais au glacier du Rhône.

Cherchons ce qui a pu se passer au commencement de la période de décrue. Quand la langue rhénane ne parvenait plus qu'au lac de Bienne, tout le glacier avait déjà subi un affaissement considérable et les bras latéraux qu'il envoyait dans le Val de Travers et dans le Val de Ruz s'étaient comme effondrés. Ils avaient subi de ce fait une inversion de pente pour se transformer en affluents du glacier du Rhône.

Dans les régions d'où s'écoulaient les glaces du Val de Travers, la diminution des névés n'était pas encore très prononcée, la limite des neiges étant plus basse dans le Jura que dans les Alpes.

Quand le glacier du Rhône, continuant à rétrograder, ne parvient plus qu'à l'extrémité nord du lac de Neuchâtel, il s'est, à partir du Mont Aubert, déjà détaché du flanc du Jura. L'affluent qu'il reçoit du Val de Travers et qui jusqu'ici n'a cessé de lui être soudé s'en sépare alors et s'individualise en un glacier de l'Areuse qui va désormais vivre de sa propre existence. C'est le *glacier de récurrence.*

Le Dr H. Schardt a le premier parlé de cette récurrence des glaciers jurassiens, le 2 août 1898 dans une réunion de notre Société à Berne. Il exposait qu'il avait été surpris de trouver fort loin du Jura des dépôts morainiques renfermant une forte proportion de matériaux jurassiens à la surface de moraines de fond exclusivement alpines. Il y a donc eu une récurrence des glaciers jurassiens qui ont envahi le terrain que les glaces alpines venaient d'abandonner en superposant à leurs dépôts des moraines et des terrasses fluvio-glaciaires formées de matériaux jurassiens parfois mélangés de débris alpins ramenés en arrière.

Cette thèse de Schardt s'applique à l'un des épisodes de la décrue soit en fait à une période éphémère, durant laquelle plusieurs glaciers jurassiens avant de disparaître ont pu reprendre en quelque sorte leur forme d'équilibre normale, celle qu'ils auraient affectée si les glaces alpines n'étaient venues empiéter sur leur domaine.

Cependant cette phase de récurrence a été niée et sa théorie combattue avec une certaine insistance par Baltzer, puis par Aeberhardt. Il semble parfois que les auteurs de ces réfutations ont vu dans les faits exposés par Schardt plus que celui-ci ne l'a voulu.

Ainsi Aeberhardt dans ses conclusions s'exprime ainsi: „Lors du retrait du grand glacier, de petits glaciers sont sortis du Jura sans cependant donner lieu à une phase de récurrence."

Qu'entend-il donc par phase de récurrence? Cette sortie de petits glaciers du Jura est précisément le phénomène auquel Schardt a donné ce nom et rien de plus, semble-t-il!

D'autre part Baltzer admet pour le glacier du Val de Travers une progression manifeste jusque sur la plaine.

Le glacier de récurrence du Val de Travers, maintenant isolé, sera de tous ceux du Jura exposé aux mêmes vicissitudes celui qui restera le plus tenace. Etranglé au passage du Furcil sa surface reste jusqu'à ce dernier point à peu près horizontale. Du Furcil une langue étroite et tortueuse descend les Gorges de l'Areuse dont les auges profondes sont complètement encombrées de moraines de fond et vient s'étaler largement sur le plateau de Trois-Rods. L'ablation lui fait subir tout d'abord une réduction et un retrait assez important, jusqu'au moment où par suite d'une période à climat déprimé, il reprend son avancée et séjourne longtemps dans la région de Trois-Rods, Bôle et Cotendart pour y déposer les masses morainiques dont nous allons parler. En effet, celles-ci sont trop puissantes pour qu'elles n'aient pas correspondu à un stade offensif, non pas au stade de Bühl par exemple où la limite des neiges s'était déjà trop relevée, mais à l'un de ces petits stades antérieurs qui n'ont pas reçu partout de nom spécial, mais qu'on discerne plus ou moins nettement dans les premières phases de la décrue.

La circonvallation occupée par la langue issue du Val de Travers s'étend du pied de la Montagne de Boudry aux abords du village de Cormondrèche. Toute une série de moraines en dessinent la périphérie. A l'intérieur de cette ligne gisent une quantité de moraines mieux conservées, en général, qui forment dans la région de Cotendart et de la Prise Roulet notamment un admirable paysage morainique, le plus remarquable que je connaisse au pied du Jura. Tout y est, à vrai dire, à échelle réduite, mais d'une fraîcheur de forme et d'aspect tel, qu'il semble édifié d'hier. Avec ses „vallums" plantés de pins, ses petits drumlins orientés comme la vallée d'où sont issues les glaces qui les ont formés, ses marécages minuscules restes d'anciennes lagunes, ses balastières en exploitation, il constitue un complexe touffu, révélant un séjour des glaces prolongé, mais dans un état d'équilibre instable, c'est-à-dire soumises à une suite d'acoups et de pulsations trahissant les derniers efforts de l'appareil glaciaire avant son recul irrémédiable.

Il faut maintenant reconnaître que les limites de la circonvallation manquent de netteté et de relief dans une partie de la zone occidentale comprises entre les Métairies de Boudry et Colombier. Les moraines y sont arasées et représentées par un placage détritique presque continu. Ont-elles été léviguées par des cours

d'eau divaguant dans la direction du lac? Cette hypothèse paraît des plus admissibles, car elle est corroborée par les formations de delta si étonnantes par leur altitude inattendue qu'on observe sur le territoire de Cortaillod, le long de la falaise comprise entre Chanélaz et les grandes côtes où s'étale le principal vignoble de cette localité. Le Dr Schardt et moi nous avons à plusieurs reprises examinés ces dépôts singuliers et n'avons pu nous les expliquer que par les apports d'un ou plusieurs bras de l'Areuse déviée de son lit par l'encombrement morainique et venant affluer dans le lac qui occupait d'ailleurs un niveau de 40 mètres plus élevé qu'aujourd'hui, c'est-à-dire dans l'ancien et vaste lac subjurassien s'étendant de Soleure au Mormont et maintenu tout d'abord à la cote de 480 mètres par le barrage morainique de Wangen.

La langue du glacier de récurrence mesurait des abords de Perreux au cimetière de Colombier 3,5 km. Elle s'étendait hors de la vallée sur une surface d'au moins 11 kilomètres carrés.

Le matériel de ces moraines est facile à étudier vu les nombreuses exploitations dont il est l'objet. La plus vaste est la grande balastière ouverte entre la Prise Roulet et Cotendart immédiatement au nord de la voie ferrée du Val de Travers. Le matériel est caractérisé par une prédominance des éléments jurassiens mélangés à une forte proportion de matériel alpin. Il varie quelque peu d'une station à l'autre, les nombreux pourcentages que j'ai effectués m'ont toujours donné 35 à 45 % de roches alpines pour 65 à 55 % de roches jurassiennes.

* * *

Toutes les raisons que nous avons invoquées pour démontrer l'existence d'un glacier de récurrence relativement puissant dans le Val de Travers doivent être rappelées si nous voulons nous rendre compte de ce qui s'est passé dans cette même vallée lorsqu'au début de la glaciation würmienne, l'enneigement avait tellement accru le glacier du Rhône qu'il commençait à déborder du Valais. A cette époque aussi les hauteurs du Jura étaient déjà recouvertes de neiges persistantes. Au Val de Travers les névés commençaient à donner naissance à de petits glaciers de cirque. Ceux-ci gagnant en ampleur envahirent la vallée principale où, finissant par se souder, ils édifiaient un glacier de l'Areuse déjà complètement formé au moment où celui du Rhône vint battre le

pied du Jura. Nous lui donnerons le nom de *glacier précurseur* pour le distinger du glacier de récurrence.

L'idée que lorsque le glacier du Rhône vint butter contre le Jura, celui-ci était déjà occupé par des glaces locales n'est certes pas nouvelle. Elle fut déjà émise par Agassiz lui-même.

* * *

Il a donc été établi que la couche à galets de la caverne est un lambeau morainique appartenant à un glacier de l'Areuse. Ce glacier était-il le glacier précurseur ou le glacier de récurrence, autrement dit, cette couche est-elle préwürmienne ou postwürmienne? L'importance de cette question nous est apparue dès le début des fouilles. Si nous parvenions à lui donner une réponse, c'est l'âge même des silex de Cotencher qui se trouverait déterminé.

Sur quels critères s'appuyer en dehors des alternances stratigraphiques qui dans notre cas n'apparaissent pas, puisque la couche à galets, la seule qui puisse être rapportée à une moraine est isolée dans notre dépôt, pour distinguer une moraine préwürmienne d'une moraine postwürmienne?

Si la moraine est préwürmienne, le matériel alpin qu'elle renferme ne peut être que celui du Riss, tandis que si elle est postwürmienne son matériel doit extrêmement peu différer de celui que nous observons à Cotendart.

Par quelle particularité le matériel rissien peut-il différer de celui du Würm?

Les dépôts rissiens qu'on appelle quelquefois sporadiques sont les seuls qui apparaissent dans la zone externe c'est-à-dire au-delà de la grande moraine.

Le matériel de cette zone se présente avec les caractères suivants:

1° Pénurie extrême.
2° Abondance relative des quartzites.
3° Rareté des gros blocs.
4° Rareté de la protogine du Mont-Blanc.
5° Absence des euphotides de Saas.
6° Rareté extrême des poudingues de Valorcine.
7° Vétusté ou altération de ces débris.

De tous ces caractères le plus important est le premier, c'est-à-dire la pénurie du matériel. Elle tient aux causes suivantes:

La phase d'extension maximale du glacier de Riss a été d'une très courte durée, comme en témoigne le volume extrêmement faible de ses moraines frontales; parce qu'aussi son intumescence plus forte dans les Alpes a réduit d'autant la surface des pointements rocheux et le relief des arêtes capables d'alimenter les moraines.

En outre le glacier du Rhône de l'époque rissienne, donc de l'avant-dernière glaciation, ayant eu une extension beaucoup plus grande que le glacier de Würm, il a donc disséminé son matériel déjà anémié sur une aire si accrue que par unité de surface, il en paraît encore bien plus dispersé.

Enfin une grande partie du matériel rissien est détruite. La cause en est la suivante: Il est généralement admis que la période interglaciaire Riss-Würm fut caractérisée du moins dans sa seconde moitié, par un climat steppique durant lequel s'est déposée sur toutes les surfaces abandonnées par le glacier et au-delà une couche plus ou moins importante de loess. Ce loess qui a dû former dans le Jura un placage à peu près continu pouvait même sur les hauteurs atteindre ou dépasser un mètre. Il a ainsi enfoui la plupart des roches erratiques à une profondeur modérée.

Or, toutes les roches feldspathiques, gneiss ou granits enfouies à quelques décimètres de la surface sont menacées de destruction. L'acide carbonique qu'exsudent les racines des plantes, se dissout dans l'eau de pluie qui devient ainsi capable d'attaquer les feldspath; peu à peu la roche se kaolinise et tombe en arêne. Ce sort est presque fatal dans la forêt de sapin, au contact du chevelu des racines.

Si les roches feldspathiques sont ainsi menacées par une cause générale d'effritement, les quartzites par contre y résistent complètement.

On s'explique donc leur abondance relative dans la zone externe.

Ainsi avertis, nous avons avec un soin extrême dès le début des travaux, extrait du remplissage de la caverne tous les galets alpins qu'il contenait jusqu'à des fragments plus petits qu'un pois. Ceux fournis par chaque tranche ont été conservés séparément.

J'avais admis en principe le postulat suivant: Si la moraine de Cotencher est du glacier de récurrence, elle doit renfermer en vestiges alpins une proportion voisine de celle qu'on enregistre dans les moraines de Cotendart.

Si au contraire, elle est du glacier précurseur, elle doit contenir une proportion considérablement plus faible de matériel alpin et je me disais, à défaut de toute base d'appréciation, qu'il faudrait pour que la démonstration fût nette y trouver quelque chose comme 3 ou 400 fois moins de galets alpins que dans la moraine de récurrence avec une forte proportion de quartzites.

J'ai alors séparé pour chaque tranche les quartzites des autres roches alpines et j'ai pesé chaque lot.

Voici les résultats de cette opération:

Total des galets alpins recueillis dans le remplissage de Cotencher: 141,522 kilogrammes.

Total des quartzites: 82,286 kilogrammes.

Divisant ce chiffre de 141,522 kg par 2,5 densité moyenne et approximative des roches alpines nous obtenons pour la totalité des galets alpins de la caverne le volume de 57 décimètres cubes. Comparé à celui de 140 mètres cubes auquel nous évaluons la couche à galets exploitée, nous arrivons à ce résultat que celle-ci ne renferme que le 0,41 pour 1000 ou le $^4/_{10\,000}$ de son volume en matériel alpin. Or, les moraines de Cotendart en renferment en moyenne 40 %.

Le dépôt morainique de Cotencher est donc 1000 fois plus pauvre en matériel alpin que celui du glacier de récurrence.

C'est là un résultat si net, si démonstratif qu'il ne peut laisser subsister aucun doute: La moraine de Cotencher est incontestablement du glacier précurseur qui n'a charrié dans la caverne que quelques misérables galets alpins semés sur le pays lors de l'avant-dernière glaciation.

Cette conclusion ressort d'une façon si précise que nous en pourrions rester là de cet exposé, cependant j'ajouterai que tous les autres facteurs par lesquels nous avons annoncé que se pouvaient reconnaître les matériaux des deux glaciations la corroborent.

Une objection qui pourrait m'être faite est la suivante: La couche à galets étant bien due à un glacier de l'Areuse et renfermant un matériel qui ne peut être attribué qu'à l'avant-dernière glaciation, pourquoi le considérer comme datant de la phase de début de la glaciation de Würm plutôt que de la phase de décrue du glacier de Riss. Elle peut aussi bien être, semble-t-il, du glacier de récurrence, de l'avant-dernière glaciation que du précurseur de la dernière. — Il y aurait bien des faits à opposer à cette propo-

sition, mais j'ai un argument péremptoire qui me dispense d'une discussion plus longue.

A la fin de l'époque rissienne, comme à la fin de l'époque würmienne, au moment où pouvait s'individualiser un glacier de récurrence, la caverne était pleine de glace et le glacier quelles que soient les masses qu'il pouvait charrier n'a pas pu en introduire une parcelle dans la grotte.

Pour le glacier précurseur il n'en était pas de même. En effet, au début d'une glaciation, le sol est plus chaud que l'air; quand le glacier précurseur de n'importe quelle glaciation se fut assez élevé pour atteindre le niveau de la caverne, celle-ci possédait une température plus élevée que la moyenne à laquelle était tombée celle de la vallée; elle restait donc libre de glace.

* * *

Quel est maintenant le mécanisme de l'introduction dans la caverne de la couche à galets avec ses ossements?

Nous nous sommes demandé si cette couche avait pu s'introduire dans la caverne par les cheminées qui en occupent le fond. Quelques indices nous en suggéraient l'hypothèse. Ainsi la couche stalagmitique paraît s'élever vers les cheminées ce qui fait supposer qu'il y avait là, autrefois, des amas pyramidaux de débris. Malheureusement, ces amas ont été enlevés depuis longtemps. Durant les fouilles, nous avions constaté vers le point de la caverne le plus lointain de la porte une élévation de la couche à galets mais nous découvrîmes bientôt que cette élévation est accidentelle et ne correspond pas à un talus de matériaux qui s'élèverait vers les cheminées. L'inspection minutieuse des cheminées a conduit également à repousser cette hypothèse; celles-ci n'ont certainement jamais eu un diamètre suffisant pour que les gros matériaux de la couche à galets y aient pu passer. Il n'y a pas non plus de grotte supérieure ni aucune autre cavité qui aurait pu servir d'habitat à l'ours des cavernes. La couche à galets s'est certainement introduite par l'entrée de la caverne.

D'autre part les puits que nous avons creusés dans l'abri sous roche nous ont démontré que cette région faisait autrefois partie de la caverne proprement dite. Nous sommes donc obligés de supposer la caverne comme se prolongeant autrefois davantage du côté du sud. Sa forme actuelle résulte de puissants effondrements du fronton qui ont diminué sa profondeur.

La seule théorie qui nous ait paru plausible est la suivante:

Dans la masse du remplissage de l'abri sous roche, donc plus vaste qu'aujourd'hui ou du moins plus avancée vers l'Areuse, se trouvaient déjà des ossements et les silex abandonnés par les hommes qui avaient fait là quelques séjours. Une partie de ces outils ont été certainement façonnés sur place comme en font foi les percuteurs et les nuclei que nous avons recueillis. Ce travail devait de préférence s'opérer dans la partie éclairée de la caverne, et c'est surtout sur le terre-plein de l'abri sous roche que ces outils devaient s'accumuler. Alors est survenue la glaciation würmienne qui a fait fuir ces chasseurs. Peu à peu le glacier précurseur s'est formé dans la vallée. Au moment où celui du Rhône arrivait au pied du Jura, le glacier de l'Areuse avait assez de puissance pour atteindre et même dépasser légèrement le niveau de la caverne. Il charriait déjà une assez forte moraine latérale composée de roches du Val de Travers. Je suppose qu'au cours de quelque été relativement chaud, le glacier s'est détaché du rocher contre lequel il s'appuyait et que sa moraine se sera effondrée en partie sur la plateforme précédant la caverne. En même temps un torrent violent dû à la fonte active coulait dans ce fossé. Je m'imagine alors que ce torrent latéral débordant par instants et de plus, sujet à des remous violents, dus à la barrière rocheuse dont les vestiges forment aujourd'hui le pied droit oriental du fronton de la caverne a parfaitement pu enlever tranche par tranche le terrain occupant la plateforme et l'entraîner dans la grotte. Celle-ci présente assez de fissures pour que l'eau ait pu s'écouler immédiatement, permettant à un nouveau débordement, pour ainsi dire à une nouvelle vague, de poursuivre l'œuvre du comblement. Ainsi se serait peu à peu accumulée dans la grotte la couche à galets telle que nous l'avons trouvée. Il n'est pas nécessaire d'invoquer une période bien longue pour cette action, c'est-à-dire pour que le ruisseau ait pu charrier les quelques 300 mètres cubes que représente la couche à galets. Un seul été peut y avoir suffi.

* * *

Il nous est possible maintenant d'esquisser l'histoire de la grotte. Nous ne savons pas quand elle s'est formée. Probablement à l'époque pléistocène par l'action d'un filet d'eau qui parcourant une fissure du rocher a peu à peu dissout le calcaire jusqu'à for-

mer la caverne. Les produits insolubles donnèrent naissance à cette couche d'argile de fond qui se retrouve dans tout le profil. Comme elle ne renferme pas de restes d'animaux, nous pouvons en conclure que la grotte était fermée et n'avait pas de rapports avec l'extérieur à l'époque de sa formation. Au début de la dernière époque glaciaire elle devint accessible, l'ours des cavernes s'y établit, des chasseurs moustériens vinrent y faire des séjours plus ou moins rapprochés. Au fond de la caverne, se déposa cette couche brune phosphatée par l'apport de matériaux qui descendaient des cheminées. Dans le voisinage de l'entrée s'accumulèrent peu à peu l'amas de débris dont les restes se retrouvent dans la couche à galets. Lorsque le climat empira et que le glacier de l'Areuse se mit en marche, les habitants de la caverne se retirèrent. Le glacier s'élevant jusqu'au niveau de la caverne, le ruisseau coulant sur son flanc gauche pénétra par instants dans celle-ci et y accumula l'amas de décombres qui gisait sur l'abri sous roche. Puis le glacier du Rhône apparût ensevelissant la caverne sous plus de quatre cents mètres de glace. Le recul du glacier du Rhône fut probablement la cause de l'effondrement du fronton de la grotte qui réduisit d'une sensible façon la surface de la caverne. De cette manière s'est produite l'érosion qui fait que la couche à galets est coupée brusquement dans l'abri sous roche. Finalement, après le retrait du glacier du Rhône la grotte se débarrasse de glace et redevient accessible. Alors se forme la couche de limon blanc par les matériaux fins qui descendent des cheminées. Enfin prend naissance sur le tout une couche mince de stalagmites. Cette couche de limon blanc coïncide par conséquent avec l'époque du paléolithique récent. L'homme paraît avoir occupé nos régions avec beaucoup d'hésitation après la période glaciaire. Nous ne connaissons qu'une seule station Magdalénienne au sud du Jura, le Käsloch près de Winznau et une seconde, celle du Scé près de Villeneuve. On n'en connaît point dans le Jura central et nous devons nous diriger bien à l'ouest de Cotencher pour retrouver les plus rapprochées en France. Dans ces conditions l'absence de traces de l'homme de la dernière époque paléolithique dans le profil de la grotte est moins frappante qu'elle ne le serait dans une autre contrée. Il est plus surprenant encore qu'on n'ait pas trouvé de restes d'animaux de cette époque. L'explication en est peut-être donnée par le fait que la grotte est trop humide.

Pendant le néolithique, peut-être un peu plus tard, le cône

de débris commença à s'accumuler sous l'abri; il augmente encore et avait presque obstrué la caverne au début de nos fouilles.

Si nous voulions, avec Penck, fixer les couches paléolithiques dans l'avant-dernière glaciation, cela paraîtrait moins plausible, car la couche stérile de limon blanc représenterait non seulement la phase de recul du glacier de Würm mais aussi celle du maximum, celle de l'avancée et l'époque interglaciaire précédente. Une telle interprétation nous paraît impossible.

Ainsi donc, nous arrivons à cette conclusion que l'outillage de Cotencher s'y est déposé avant que le glacier de Würm fit son apparition, c'est-à-dire au début de la quatrième glaciation et non au milieu de l'interglaciaire précédent parce que la faune recueillie dans la caverne, dont il s'agit de dire maintenant un mot, est une faune froide nettement glaciaire. C'est mon collègue M. le Dr Stehlin qui traitera spécialement de ce sujet dans le mémoire en préparation. Je serai donc très bref. Cette faune depuis le fond jusqu'à et y compris la couche à galets est homogène et ne révèle pas de changement climatérique sensible. Nous sommes obligés d'admettre, puisqu'elle renferme plusieurs espèces refoulées des Alpes par l'aggravation du climat, qu'elle a fréquenté la caverne seulement dans la phase de début du Würm. L'outillage moustérien que nous avons recueilli étant, de l'avis des hommes les plus compétents, du Moustérien ancien, nous ne pouvons que conclure que le Moustérien a débuté à la fin de l'époque interglaciaire Riss-Würm et n'a atteint tout son épanouissement que durant la glaciation de Würm. Cette conclusion n'est ni celle de Penck ni entièrement celle de Boule, mais elle se rapproche davantage de la théorie de celui-ci qui fait cette civilisation entièrement contemporaine de la glaciation de Würm. Nous sommes disposés à admettre que les chasseurs moustériens qui ont abandonné leurs outils à Cotencher n'y venaient que de temps à autre probablement du Jura français, ainsi que paraissent l'indiquer certains outils formés de roches étrangères à notre région.

Quant à la faune elle-même, elle est remarquable par le grand nombre des espèces. Des grottes célèbres, comme celle de Sipka en Moravie, celle de Krapina en Croatie n'ont livré qu'une vingtaine d'espèces. Le Wildkirchli une douzaine. Cotencher en possède déjà plus de cinquante.

Remarquons que cette faune, comme c'est le cas dans nombre

de gisements, est marquée par la prédominence de l'*Ursus spelaeus* dont les ossements forment le 95 % du total. Disons que nous avons trouvé à Cotencher des exemplaires de l'ours de tous les âges depuis le fœtus jusqu'à des individus de la plus extrême vieillesse atteints souvent de rhumatisme déformant. Plusieurs des autres espèces appartiennent certainement à des proies de l'ours, tel ce rhinocéros dont seuls les ossements d'un pied nous sont parvenus.

Parmi les gisements qui tendent à démontrer que le Moustérien tombe bien dans la dernière époque glaciaire je citerai la Sirgensteinhöhle, caverne fouillée par Rudolf Schmidt. Elle est située dans la vallée de l'Ach, près d'Ulm, à environ 30 km des moraines de Riss du glacier du Rhin. Rudolf Schmidt a établi, en 1906, que la caverne contient un profil singulièrement complet qui montre une suite ininterrompue des niveaux moustérien, aurignacien et solutréen jusqu'à la dernière époque magdalénienne. Si la théorie de Penck était juste, on trouverait ici infailliblement, au-dessus du moustérien, une faune chaude provenant du dernier interglaciaire. Mais la faune en se nuançant un peu est glaciaire de bas en haut. Von Koken en a donc conclu avec raison que la période glaciaire qui convient au moustérien ne peut être que la dernière. Le Sirgenstein a donc révélé ce que nous constatons à Cotencher. Mais grâce à la situation de notre station en pleine voie du glacier, la preuve pour Cotencher est encore plus frappante, plus palpable. Le Sirgenstein n'ayant pu engager la partie adverse à déposer les armes, nous espérons que les fouilles de Cotencher prononceront le mot décisif et final sur cette question agitée depuis 15 ans.

Die Gesteinsassoziationen und ihre Entstehung.

P. Niggli.

Die in sich homogenen Bausteine der Erdrinde werden *Mineralien* genannt. Um sie zu studieren, müssen wir uns irgend ein Stück der Erdrinde soweit zerteilt denken, bis die Teile Homogenität besitzen oder zum mindesten ein einheitliches Ganzes mit wohldefinierten Eigenschaften bilden. Dadurch *trennen* wir, was seiner Entstehung nach zusammengehört, was einen *natürlich gewordenen Verband* bildet. Denn nicht nur die Einzelmineralien sind Forschungsobjekt, auch die Mineralgesellschaften müssen in ihrem So- und Nichtanderssein verstanden werden. Warum finden wir beispielsweise die Mineralien der seltenen Erden gerne miteinander vergesellschaftet und auf unter sich ähnlichen Lagerstätten? Weshalb kommen in den Drusen unserer alpinen Gesteine ganz bestimmte und gesetzmässig miteinander assoziierte Kristallarten vor? Warum tritt die Granit genannte Kombination Quarz, Orthoklas, natronreicher Plagioklas, Biotit unter Erfüllung grosser Räume so weitverbreitet auf?

Frühzeitig hat man die durch das letzte Beispiel demonstrierte Sonderstellung gewisser Mineralvergesellschaftungen erkannt und sie, die in wenig variabler Ausbildung auf grosse Erstreckungen hin vorkommen, somit in wesentlichem Masse am Aufbau der Erdrinde beteiligt sind, *Gesteine* genannt. Das Vorkommen einer Mineralassoziation als Gestein ist der Ausdruck dafür, dass es sich bei der betreffenden Mineralentstehung um Prozesse handelt, die im grossen Maßstabe in der Natur vor sich gehen können.

Studieren wir nun aber die gesteinsartigen und akzessorischen Mineralassoziationen eines geologisch (d. h. erdgeschichtlich) zusammengehörigen Gebietes (einer *geologischen Einheit)*, so erkennen wir, dass sie selber wieder alle mit einander *verwandt* sind, dass nicht irgend ein Gestein neben einem andern auftritt, *sondern dass bestimmte Vergesellschaftungen* vorhanden sind. Dessen brauchen wir uns nicht zu verwundern. Wir sind ja gewohnt, in

den Mineralien etwas *Gewordenes* zu sehen, sie als das Produkt aller während der Bildungsepoche wirksamen Faktoren zu betrachten. Die physikalisch-chemischen Verhältnisse der verschiedenen Punkte einer geologischen Einheit müssen nun, das sagt ja schon der Name, in Abhängigkeit voneinander gestanden haben, und das allen Gemeinsame wird sich auch den Mineralbildungen aufgeprägt haben. Gibt uns das Studium der Verbandsverhältnisse in einer Mineralassoziation Aufschluss über die örtlich wirksamen Bedingungen, so versuchen wir anderseits die Beziehungen geologisch zusammengehöriger Mineralvergesellschaftungen zueinander auf physikalisch-chemische Abhängigkeiten zurückzuführen, die im Grossen wirksam waren, also auf das Ineinandergreifen der geologischen Kräfte und Stoffe. Es ordnet sich dem Begriff der Mineralassoziationen ein höherer Begriff, der der *Assoziationsprovinz,* über. Indem wir versuchen, ihm Inhalt zu verleihen, verlassen wir die engen Laboratoriumsräume, die der Mensch sich schafft, und treten in das grosse Laboratorium der Erde ein. Und sind wir im besonderen bestrebt, den Zusammenhang zwischen den Prozessen zu erkennen, die Gesteine erzeugten, so treiben wir im besten Sinne allgemeine Geologie auf mineralogisch-petrographischer Grundlage.

Die Gesteinsbildungsprozesse können wir in drei grosse Klassen sondern, die *magmatischen,* die *sedimentären* und die *metamorphen.* Liegt eine gegebene geologische Einheit unserer Untersuchung vor, so werden wir in erster Linie fragen, in welcher Beziehung die magmatischen Gesteinsbildungsprozesse unter sich stehen, die sedimentären unter sich und die metamorphen unter sich. Manche geologische Einheiten sind auch durch das Vorwalten eines der drei Prozesse gekennzeichnet. Magmatische, sedimentäre und metamorphe petrographische Provinzen lassen sich deshalb zunächst getrennt studieren.

Ich will versuchen, einige der allgemeinen Ergebnisse, zu denen das Studium der petrographischen Provinzen führt, zu formulieren und beginne mit den

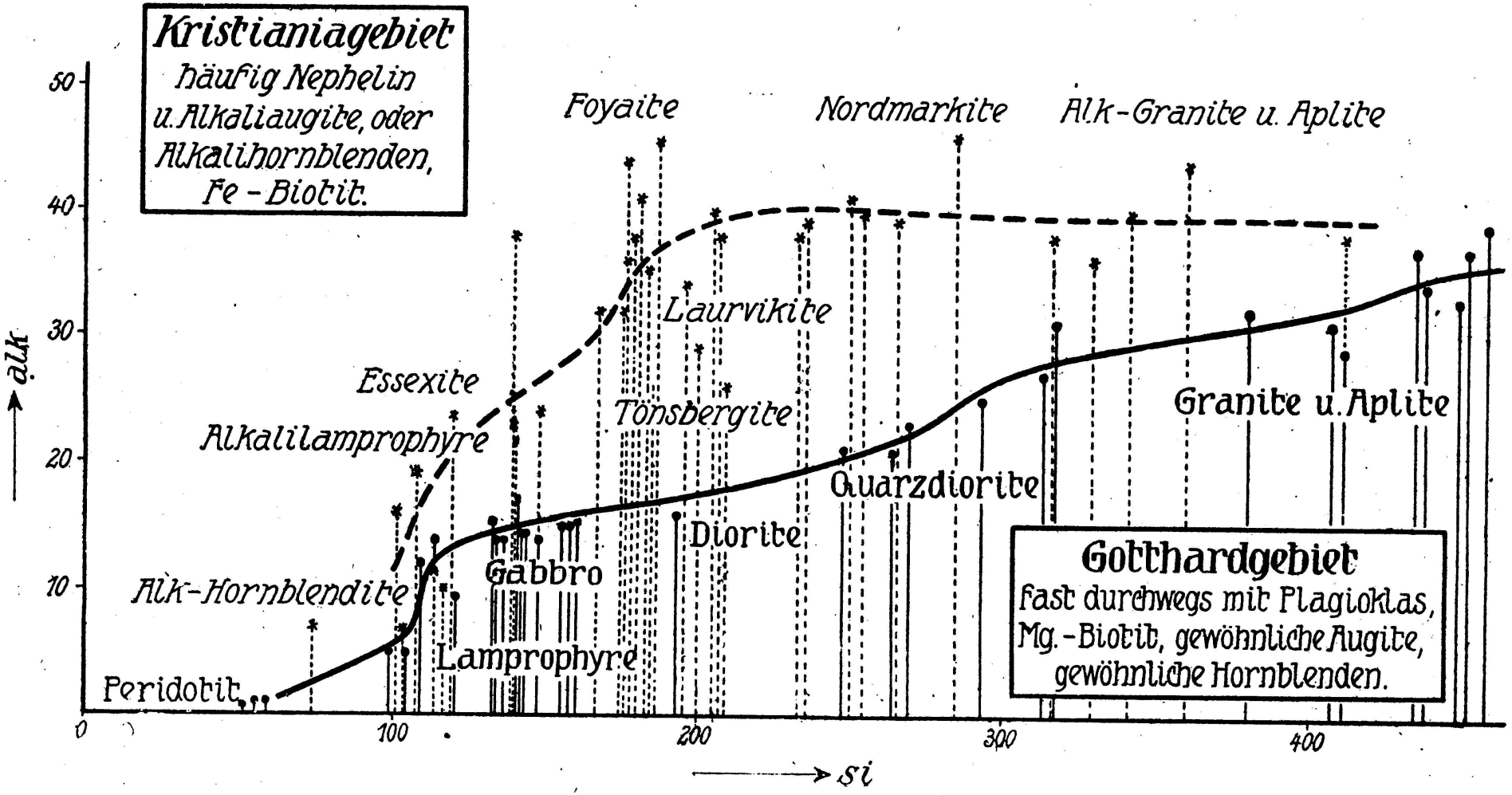
Magmatischen petrographischen Provinzen.

Magmen sind die aus dem Erdinnern stammenden, glutheissen Lösungen. Bei ihrer Erstarrung liefern sie die *magmatischen Gesteine* oder *Eruptivgesteine.* Betrachten wir nun die Eruptivgesteine eines im geologischen, erdgeschichtlichen Sinne zusammen-

gehörigen Gebietes, beispielsweise die prätriasischen Eruptivgesteine des heutigen Alpengebirges, so finden wir trotz des Vorkommens verschiedener Typen etwas allen Gesteinen Gemeinsames, das sie unterscheidet von solchen anderer Gebiete. Es gibt sich vor allem kund im Chemismus und im Mineralbestand.

Betrachten wir beispielsweise Fig. 1. Für die Gesteine des *Gotthardmassives* (Schweiz) und des *Kristianiagebietes* (Norwegen), die im Alter nicht sehr verschieden sind, wurden nach einer vom Vortragenden eingeführten Methode die Verhältniszahlen für SiO_2 und Alkalioxyde (*si* und *alk*) berechnet. Man sieht, wie die beiden Eruptivgesteinsprovinzen sich chemisch voneinander unterscheiden. Bei gleicher *si* Zahl sind die Werte für *alk* im Gotthardmassiv niedriger. Das hat zur Folge, dass an beiden Orten verschiedene Gesteinstypen auftreten, verschiedene Mineralassoziationen. Die wichtigsten sind dem Diagramm beigeschrieben. Beiderorts treten nicht nur einerlei Gesteine auf, sondern eine ganze Serie untereinander verwandter. Der SiO_2- Gehalt ist besonders stark variabel. Je enger die Gesteine geologisch zusammengehören, umso inniger sind im allgemeinen auch die chemisch-mineralogischen, verwandtschaftlichen Beziehungen. Sehr oft können wir wahrnehmen, wie eine Mineralassoziation kontinuierlich in eine solche von anderem Charakter übergeht. Abänderungen dieser Art werden als verschiedene *Facien* bezeichnet. Da wir die Eruptivgesteine als die Kristallisationsprodukte der magmatischen Lösungen ansehen, zeigt sich somit, dass in ein und demselben Magmaherde stoffliche Verschiedenheiten auftreten können. Nun sind alle der Beobachtung zugänglichen, unveränderten, magmatischen Gesteine in einer Zeit der Nachaussenbewegung des Magmas entstanden. Wenn wir auch anzunehmen haben, dass im Erdinnern eine allgemeine Region des glutflüssigen (magmatischen) Zustandes vorhanden ist, so erhalten wir doch über sie direkt keine Auskunft. Erst wenn das Magma in die äussere Erdzone intrudiert oder gar unter Durchbrechung der Erdrinde an deren Oberfläche extrudiert, erzeugt es Gesteine, die unmittelbar oder im Verlauf weiterer geologischer Vorgänge (wie Gebirgsbildung und Erosion) unserem Studium zugänglich werden. Wandert Magma von innen nach aussen, so gelangt es in *kältere Regionen* und muss deshalb der Kristallisation anheimfallen. Wenn wir nun ständig beobachten, dass ein nach aussen wandernder Magmaherd nicht nur einerlei, sondern stofflich ver-

Fig. 1.


Kristianiagebiet
häufig Nephelin u. Alkaliaugite, oder Alkalihornblenden, Fe-Biotit.
Foyaite
Nordmarkite
Alk-Granite u. Aplite
Laurvikite
Essexite
Tönsbergite
Alkalilamprophyre
Granite u. Aplite
Quarzdiorite
Diorite
Gabbro
Alk-Hornblendite
Lamprophyre
Peridotit
Gotthardgebiet
fast durchwegs mit Plagioklas, Mg.-Biotit, gewöhnliche Augite, gewöhnliche Hornblenden.
50
40
30
20
10
alk
0
100
200
300
400
si

schiedene Gesteine liefert, so ergibt sich ein *ursächlicher Zusammenhang* zwischen *Magmenaufwärtsbewegung, Abkühlung, Differentiation* und *Kristallisation*. Diesem Zusammenhang soll zunächst nachgegangen werden.

Das Magma stellt eine Lösung von eigenartiger Konstitution dar. Seine Hauptmolekelarten sind Silikate, also Bestandteile von relativ hohem Schmelzpunkt (meist um und über 1000°) und an sich geringem Dampfdruck. Es sind schwerflüchtige bis refraktäre Substanzen. Aber jedes Magma enthält auch physikalisch-chemisch sich ganz anders verhaltende Substanzen. Fliesst wie bei den vulkanischen Eruptionen Magma an der Erdoberfläche aus, so gibt es Gase und Dämpfe ab, die sogenannten Exhalationen, die ja die Eruption zur Explosion machen können. Es sind also im Magma leichtflüchtige Stoffe gelöst, die ihm einen hohen Dampfdruck verleihen, und die viskositätsvermindernd wirken. Ausserdem bilden diese „Mineralisatoren" genannten Stoffe häufig mit den übrigen Molekeln leichtbewegliche, komplexe Jonen.

Chemisch dürfen oder müssen wir sogar annehmen, dass zu Beginn alle intrusionsfähigen Magmen einander sehr ähnlich sind, wenn vielleicht auch bereits hier ein Unterschied nach der Tiefe vorhanden ist. Es gibt eine Reihe von Beobachtungstatsachen, die es wahrscheinlich machen, dass die Magmen in einem Stadium beginnender Aktivität eine ungefähr gabbroide (bis alkaligabbroide) Zusammensetzung besitzen. Erst im Verlauf des Gestaltungsprozesses, der mit der Gesteinsbildung einen ersten Abschluss bekommt, entstehen aus diesen mehr oder weniger einheitlichen Schmelzlösungen differente Gesteine. *Das ist die sogenannte magmatische Differentiation.* Wie kann nun aus einer mehr oder weniger homogenen, flüssigen Masse Verschiedenartiges entstehen, beispielsweise aus dem gotthardmassivischen Magmaherd: Granit, Diorit, Peridotit. Die physikalische Chemie kennt einen Fall, wo solches möglich ist, ohne dass an Inhomogenität des äusseren Feldes gedacht werden muss. Es ist das die *Entmischung* einer Flüssigkeit in zwei oder mehr Flüssigkeiten verschiedener Zusammensetzung. Sowohl die experimentellen Untersuchungen als auch die Beobachtungen des Zusammenvorkommens und des Ineinanderübergehens der verschiedenen Gesteinsarten zeigen uns, dass derartigen Phänomenen für die magmatische Differentiation nur eine sehr untergeordnete Bedeutung zukommen kann. *Vogt* hat gezeigt, dass die Schwermetallsulfide, insbesondere

FeS, im flüssigen Zustande sich von Silikatschmelzen trennen können. Das wird der einzige, hierhergehörige, wesentliche Fall sein. Die Entmischung ist ein Vorgang, der bei bestimmten Temperaturen und Drucken beginnen kann, wobei im Ganzen alle Teile den gleichen Bedingungen unterworfen sind. Es ist der einzige Fall, der dadurch ausgezeichnet ist, dass unter homogenen Verhältnissen aus einer homogenen Flüssigkeit verschiedenartig zusammengesetzte Flüssigkeiten entstehen. Wie sollen wir uns die

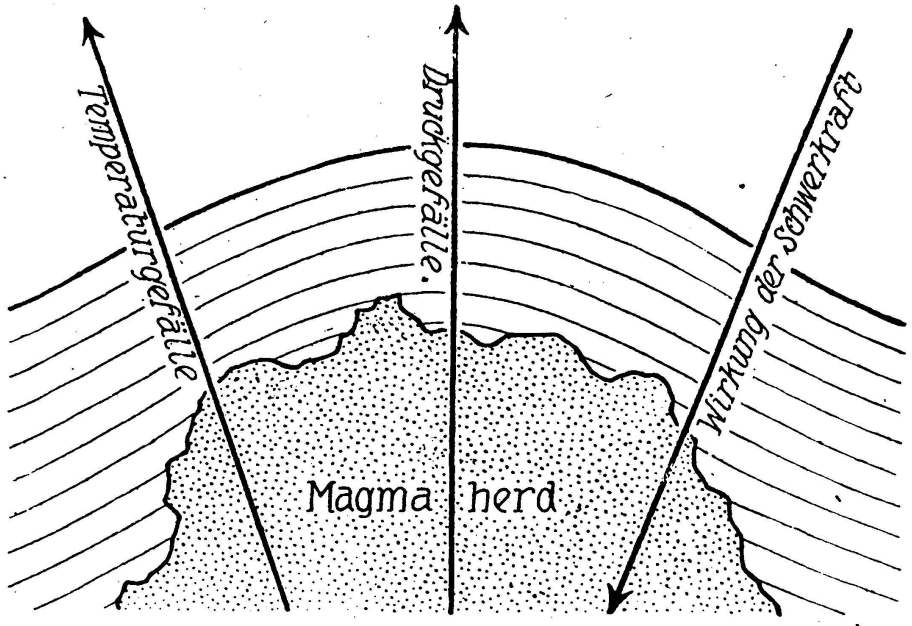


Fig. 2.

magmatische Differentiation vorstellen, wenn er bei der Deutung nicht in Frage kommt? Ist etwa die Grundvoraussetzung der einheitlich gleichen Bedingungen für den ganzen Magmaherd nicht richtig?

In der Tat, es lässt sich leicht einsehen, dass die einzelnen Teile eines grossen Magmaherdes niemals den gleichen Bedingungen unterworfen sein können, das *äussere Feld,* das *Feld der physikalischen Bedingungen,* ist inhomogen. Im Verlauf der Aktivitätsperiode ändern sich die Bedingungen in einer bestimmten Richtung als Ganzes, sie ändern sich aber auch relativ zueinander von Ort zu Ort. Drei Faktoren sind es vor allem, die gerichtet sein müssen, *Temperatur, Druckgefälle* und *Gravitation.* In ihrer nie zu trennenden Kombination werden sie notwendig eine Differentiation auslösen. Normalerweise werden sie in einem Magmaherd ungefähr einander parallel gerichtet sein. Temperatur und Druckgefälle gehen nach aussen, die Schwerkraft wirkt gleichfalls

in radialer Richtung (Fig. 2). Das wird zur Folge haben, dass, allgemein gesprochen, gegen aussen hin andere physikalische Bedingungen vorhanden sind als gegen innen. Nun müssen wir uns das Magma, wie jede Lösung, als ein homogenes Gemisch verschiedener Molekelarten vorstellen, die unter gegebenen Bedingungen ein dynamisches Gleichgewicht bilden, so dass dann die Konzentration an jeder Molekelart bestimmt ist.

Polymerisationen, SiO_2-Anlagerungen und Doppelsalzbildungen sind neben elektrolytischer Dissoziation besonders wichtige im Magma sich abspielende Prozesse. Betrachten wir etwa $[SiO_4]\,Mg_2$, so können daraus unter Berücksichtigung der von *Jakob* auf die Silikatchemie angewandten Koordinationslehre durch Polymerisation entstehen:

$[SiO_6 \cdot SiO_2]\,Mg_4$; $[Mg\,(SiO_4)_3]\,Mg_5$; $[Mg\,(SiO_6 \cdot SiO_2)_3]\,Mg_{11}$

dimer trimer hexamer

Anderseits vermögen $[SiO_4]\,Al\,K$ und SiO_2 miteinander Anlagerungsverbindungen zu bilden, wie etwa $[SiO_4 \cdot SiO_2]\,Al\,K$ und $[SiO_2 \cdot SiO_4 \cdot SiO_2]\,Al\,K$. Und was für die einfachen Molekeltypen gilt, ist auch für ihre Polymeren möglich.

Schliesslich sind Doppelsalze von Silikaten + Silikaten oder Silikaten und Nichtsilikaten möglich. So reagieren etwa Nephelinmolekül + Steinsalzmolekül unter Bildung von Sodalithmolekül.

$$\left[Al(SiO_4)_3\right]\begin{matrix}Al_2\\Na_3\end{matrix} + Na\,Cl \rightleftarrows \left[Al(SiO_4)_3\right]\begin{matrix}Al_2\\Na_3\end{matrix} \cdot Cl\,Na$$

Nephelinmolekül — Steinsalzmolekül — Sodalithmolekül

Sehen wir von der Polymerisation ab, so zeigen uns Reaktionen, wie etwa die folgenden:

$$\left[SiO_4 \cdot SiO_2\right]Mg_2 \rightleftarrows \left[SiO_4\right]Mg_2 + SiO_2$$

Prototyp des Enstatitmolekül — Olivinmolekül — Quarzmolekül

$$\left[SiO_2 \cdot SiO_4 \cdot SiO_2\right]\begin{matrix}Al\\Na\end{matrix} \rightleftarrows \left[SiO_4\right]\begin{matrix}Al\\Na\end{matrix} + 2\,SiO_2$$

Prototyp des Albitmolekül — Nephelinmolekül — Quarzmolekül

$$\left[SiO_2 \cdot SiO_4 \cdot SiO_2\right]\begin{matrix}Al\\K\end{matrix} \rightleftarrows \left[SiO_4 \cdot SiO_2\right]\begin{matrix}Al\\K\end{matrix} + SiO_2$$

Prototyp des Orthoklasmolekül — Leucitmolekül + Quarzmolekül

$$\left[SiO_4\right]\begin{matrix}Al\\(K,H)\end{matrix} + \left[SiO_4\right]Mg_2 \rightleftarrows \left[SiO_4\right]_2\begin{matrix}Al\\(K,H)\end{matrix} \cdot Mg_2$$

Prototyp des Muskovitmolekül + Olivinmolekül — Biotitmolekül

wie bei gleichem Bauschalchemismus die molekulare Verteilung eine andere sein kann. Linke und rechte Seite einer Reaktionsgleichung besitzen ja gleichen Chemismus und die Aufspaltung oder Doppelsalzbildung kann nach rechts hin zu ganz verschiedenen Prozentsätzen erfolgt sein.

Bei gleicher chemischer Bauschalzusammensetzung ist die molekulare Verteilung, das heisst der Grad der Assoziationen und Dissoziationen, eine Funktion der äusseren Bedingungen.

In den andere physikalische Bedingungen besitzenden Teilen herrschen daher notwendigerweise auch andere Zustände in bezug auf die molekulare Verteilung. Einer bestimmten Komponente kommt eine andere thermodynamische Potentialgrösse (ein anderer osmotischer Druck) zu, wenn die drei physikalischen Faktoren andere sind. Es stehen jedoch innerhalb eines Magmaherdes alle Teile miteinander in Verbindung, die Potentialgefälle suchen sich auszugleichen. Das ist nur möglich durch selektive Diffusionswanderungen, die eine chemische Differenzierung zur Folge haben und zu einem sogenannten stationären Gleichgewicht tendieren. Ist beispielsweise das Molekül $[SiO_4 \cdot SiO_2 \cdot SiO_2]\ {}^{Al}_{Alk}$ an einer Stelle zu 50 % in $[SiO_4 \cdot SiO_2]\ {}^{Al}_{Alk} + SiO_2$ gespalten, an einer anderen Stelle nur zu 5 %, so wird SiO_2 nach dieser letzteren Stelle hinwandern können, wodurch natürlich eine Verschiebung des Bauschalchemismus beider Teile entsteht.

Was jedoch das Quantitative derartiger durch Temperatur-, Druck- oder Gravitationsgefälle erzeugter Konzentrationsänderungen in einer flüssigen Phase betrifft, so haben Untersuchungen an Schmelzen und wässerigen Lösungen gezeigt, dass es im allgemeinen geringfügiger Art ist. In direkter Übertragung auf magmatische Vorgänge würde es niemals die grossen Verschiedenheiten zusammengehöriger magmatischer Gesteine erklären können. Hier müssen zwei Dinge in Berücksichtigung gezogen werden, die beide letzten Endes auf eine Phasentrennung hinauslaufen, auf eine Umbildung des homogenen in ein heterogenes System. Es sind die Wanderungstendenz der leichtflüchtigen Bestandteile *(Destillationstendenz)* und die *Kristallisation.* Beides sind ebenfalls Folgen der allgemeinen Bedingungsänderungen beim Nachaussenwandern der Magmen. Die leichtflüchtigen Bestandteile werden nach den

Stellen geringsten Druckes strömen, wo sie, wenn möglich abdestillieren. Sie werden eine gewisse Art von Konvektionsströmung in Gang halten. Sie und ihre Verbindungen sind leichter beweglich und Bedingungsänderungen gegenüber empfindlicher als die anderen Molekelarten; von ihrer Konzentration ist aber die einer jeden Molekelart abhängig.

Noch bedeutender ist wohl der Einfluss, den das *Gravitationsfeld* erlangt, sobald das Magma im Verlaufe des allgemeinen Abkühlungsprozesses ins *Kristallisationsstadium* eintritt. Während der grossen geologischen Zeitabschnitte (für eine erhebliche Differentiation sind immer lange Zeiten erforderlich), wird eine Sonderung nach dem spezifischen Gewicht der nach und nach sich ausscheidenden Kristalle möglich sein. Die Richtung der dadurch ausgelösten Differentiation wird naturgemäss in wesentlichem Masse durch die Ausscheidungsfolge der Mineralien bestimmt. In einem, allgemein gesprochen, gabbroiden Magma sind femische Mineralien und basische Plagioklase wohl meistens Erstausscheidlinge. Indem sie der Schmelze entzogen werden, zu Boden sinken, ändert diese sich in der Richtung zum granitischen Pol hin, sie wird relativ reicher an SiO_2 und Alkalien. Sie kann nun in verschiedenen Stadien der Saigerung nach aussen abwandern. Wir dürfen uns den Differentiationsprozess jedoch nicht einfach als gravitative Kristallsonderung vorstellen etwa in der Weise, dass gewisse Gesteine ständig Restschmelzerstarrungen, andere Kristallagglomerate darstellen. Dafür sprechen weder Beobachtung noch gründliche Überlegung.

Sinkende Kriställchen, und die genannten Erstausscheidungen werden im allgemeinen sinken müssen, wandern dem Temperaturgefälle entgegen, werden also sicherlich zum Teil wieder resorbiert, das heisst aufgelöst. Die inneren Partien haben ja die zugehörige Ausscheidungstemperatur noch nicht erlangt. Jedoch wenn sie auch wieder verflüssigt sind, können die entstandenen Molekelarten nicht mehr zum Ausgleich nach oben wandern, denn täten sie das, so würden sie dort wieder ausgeschieden, sie müssten wieder fallen. Auch hier ist nur möglich, dass Ausgleichswanderungen, die zu einem stationären Zustand führen wollen, in *anderem Sinne* stattfinden. Wir dürfen uns im Grenzfall den Vorgang ganz in der flüssigen Phase sich abspielend denken, und wiederum sind es die inneren chemischen Gleichgewichte, die

letzten Endes die resultierende Verteilung bedingen. Die Kristalle sind in gewissem Sinne nur die Vehikel, die den Sonderungsprozess einleiten und ständig in Fluss halten. Sehen wir so im Grossen die Bedingtheit der magmatischen Differentiation und die Notwendigkeit ihrer Verknüpfung mit der Intrusion, Abkühlung und Kristallisation ein, so sind wir auch überzeugt, dass im Einzelnen eine grosse Mannigfaltigkeit, entsprechend der Mannigfaltigkeit der physikalischen Bedingungen resultieren muss. In der Tat, es gibt nicht zwei magmatische petrographische Provinzen,. die in allen Einzelheiten miteinander übereinstimmen. Dennoch heben sich, wenn man die petrographischen Provinzen vom chemischen und mineralogischen Gesichtspunkte aus studiert, gewisse ähnliche Tendenzen und ähnliche Vergesellschaftungen analoger Gesteinstypen heraus. Das meist Gemeinsame entspricht:

1. Dem einseitig Gerichteten eines magmatischen Gestaltungsprozesses. (Intrusion → Abkühlung → Kristallisation.)

2. Einem Vorherrschen gewisser Gleichgewichtsverhältnisse unter ungefähr gleichen Bedingungen.

Das erste hat zur Folge, dass wir zumeist zu einem Stamm-Magma gehörige Gesteine von leukokratem bis melanokratem Charakter vorfinden. Das Zweite ermöglicht uns, gewisse Hauptvergesellschaftungen als Hauptreihentypen herauszugreifen und eine mehr oder weniger natürliche Klassifikation der magmatischen Gesteine aufzubauen.

Will man die erste Sonderung nicht zu weit treiben, so ist eine Zusammenfassung in drei Reihen möglich, die öfters ziemlich reine und selbständige Provinzen bilden.

Es sind 1. die *Kalkalkalireihe* oder die *granitisch-dioritische Reihe.* 2. die *Natronreihe* oder *foyaitisch-theralithische Reihe.* 3. die *Kalireihe* oder *monzonitisch-shonkinitische Reihe.* Die Unterschiede zwischen diesen drei Reihen werden uns verständlich auf Grund verschiedener Gleichgewichtsverhältnisse, entsprechend verschiedenen physikalischen Bedingungen, wobei vorläufig dahingestellt bleiben möge, ob nicht kleinere stoffliche Unterschiede von Anbeginn an der Differentiation eine bestimmte Richtung aufprägen können. Provinzen von vorwiegendem oder alleinigem Typus der Kalk-Alkalireihe sind am verbreitesten und ausgedehntesten. Gabbroide-dioritische und gewöhnlich granitische Gesteine sind in Erguss- oder Tiefengesteinsfacies die wichtigsten charakterisierenden

Minerallagerstätten. Die Einheitlichkeit gibt sich auch im Mineralbestand kund. Feldspate, gewöhnliche Augite, Orthaugite, gewöhnliche Hornblenden, Biotit, ± Quarz oder ± Olivin sind die Hauptgemengteile. Der Feldspat kann in kieselsäurereichen Gesteinen zu einem grossen Teil Kalifeldspat sein, im übrigen herrscht Plagioklas vor, der mit abnehmendem bauschalem Kieselsäuregehalt anorthitreicher wird. Nephelin, Leucit, Analcim, Sodalith, Hauyn, Melilith, Alkaliaugite und Alkalihornblenden fehlen. Die Molekeltypen der ersteren dieser fehlenden Mineralien sind in gewissem Sinne Entsilizierungsprodukte der Feldspatmolekeln, beispielsweise gemäss der Gleichung

$$[SiO_4 \cdot SiO_2 \cdot SiO_2]\ AlNa = [SiO_4]\ AlNa + 2\ SiO_2$$

Albit (Natronfeldspatmolekel) Nephelin Quarz

Kristallisieren diese Feldspatvertreter genannten Mineralien nie aus, so bedeutet das, dass während des ganzen Verlaufes des Differentiationsprozesses derartige Gleichgewichte nach links verschoben waren, so dass durch SiO_2-Abgabe entstehende freie Alkalialumosilikat-Molekeln in zu geringer Konzentration vorkamen. Es muss also häufig realisierbare Bedingungen geben, bei denen dies der Fall ist. Im übrigen erklärt die Kristallisationsdifferentiation, worauf besonders *Bowen* hingewiesen hat, den Hauptdifferentiationsverlauf gut. Denken wir uns ein gabbroides Magma nach aussen wandernd und der Kristallisation anheimfallend. Durch Abwanderung von erstausscheidendem Olivin wird es relativ kieselsäurereicher und, da Olivin *Fe-Mg*-Silikat ist, relativ *Ca*-reicher. Der zunächst sich ausscheidende Plagioklas muss, das geht aus physikalisch-chemischen Experimenten hervor, anorthitreicher sein als alle später folgenden, so dass schliesslich sich auch Alkalien im Reste anreichern. In Kombination mit Gegenwanderung von SiO_2 und eventuell KAl-Silikat können so dioritische, quarzdioritische bis granitische Oberschichten zurückbleiben. Je grösser ein Magmaherd ist, umso langsamer verläuft die Abkühlung, umso vollständiger die Differentiation, die letzten Endes zum Granit führt. Deshalb sind die sichtbar gewordenen Teile der grossen Massive und Stöcke in der Hauptsache von granitischer Zusammensetzung. Das mehr oder weniger ursprüngliche Magma konnte nur in kleineren Vorkommnissen ohne Differentiation zu Gabbro erstarren. Derartige Kleinintrusionen oder Extrusionen sind dann auch meist älter als die des erst später entstandenen granitischen

Schaumes. Die Veränderung des vorwiegend gabbroid-basaltischen Magmas in eine mächtige Aussenschicht von granitischer Zusammensetzung ist also der normale Verlauf einer Periode magmatischer Aktivität. Mit der Erstarrung des granitischen Magmas und den begleitenden pneumatolytisch-hydrothermalen Prozessen schliesst im Grossen ein derartiger magmatischer Zyklus ab. So finden wir beispielsweise die ersten Anfänge der hercynischen Faltung der Alpen und der nachtriasischen tertiären Faltung begleitet von gabbroiden Intrusionen bis Extrusionen. Der Hauptabschluss beider Faltungsperioden ist durch die Erstarrung und Intrusion granitischer Magmen gekennzeichnet. Eine letzte Restlauge, reich an leichtflüchtigen Bestandteilen, lieferte aplitgranitisch-pegmatitische Gesteine, währenddem die durch Kristallisationsdifferentiation und Wiederverflüssigung entstandenen basischen Unterschichten die lamprophyrischen Gangnachschübe erzeugten. Manchmal in vulkanischen Provinzen können zum Schluss tiefstgelegene primäre (oder regenerierte) basaltische Magmen nachdringen. Mehr oder weniger monomineralische Gesteine wie Anorthosit, Peridotit, Pyroxenit sind teils lokale Schlierenbildungen, teils nur partiell resorbierte Kristallagglomeratbildungen. Randfacien sind durch die örtlich abweichenden Verhältnisse bedingt, wobei oft die Kombination einer Anzahl Faktoren dem gravitativen Sonderungsbestreben entgegenarbeiten kann. Kleinere Unterschiede in der ursprünglichen Zusammensetzung, oder Veränderung dieser ursprünglichen Zusammensetzung durch Aufschmelzung, sowie verschiedener Verlauf des Intrusions- und Abkühlungszyklus, dann aber auch verschiedener Gehalt an leichtflüchtigen Bestandteilen, sind für die Variabilität innerhalb des Sammeltypus der Kalk-Alkalireihe verantwortlich zu machen. Sie bedingen den provinzialen Eigencharakter jeder derartigen geologischen Einheit. Allgemein nennt man Provinzen von vorwiegenden Kalk-Alkaligesteinen *pazifische* Provinzen.

Nicht immer spielen die Entsilizierungsgleichgewichte der Alkalialumosilikate eine so untergeordnete Rolle wie in dieser Reihe. Unter anderen physikalisch-chemischen Bedingungen können die S. 129 erwähnten Gleichgewichte stark nach rechts verschoben sein. Trifft dies im besondern für die *Na*-Alumosilikate zu, so entstehen die Vergesellschaftungen der *Natronreihe.* Jetzt werden die Konzentrationen an Nephelin-, Analcim-, Cancrinit-, Sodalith-, Hauyn-, Nosean-, Melilith-Molekülen so gross werden können, dass derartige

Mineralien auskristallisieren und durch Differentiationswanderungen an ihnen reiche Gesteine entstehen. Niedriger bauschaler SiO_2-Gehalt braucht nun nicht mehr mit einem Anwachsen des Plagioklases und der sogenannten femischen Gemengteile (Augit, Hornblende, Biotit, Olivin) in ursächlicher Beziehung zu stehen. Auch Gesteine mit Feldspatvertretern statt Feldspat sind relativ arm an SiO_2. Eine allgemein kleinere Differenz Al_2O_3-Alkalien ist in den Differentiationsprodukten erkennbar. Da sich nun auch in merklichen Mengen *Na*-Ferrisilikate (z. B. Aegirin) bilden, kann molekular die Summe der Alkalien sogar grösser sein als die Tonerde. Alkaliaugite und Alkalihornblenden sind typische Mineralien geworden.

Theralithe, Essexite, Nephelin-(Elaeolith)-syenite (Foyaite), Alkaligranite sind die hauptsächlichsten Tiefengesteine derartiger Vergesellschaftungen. Währenddem beispielsweise im Faltungsrayon der Alpen zur Tertiärzeit quarzdioritische-granitische Magmen der Kalk-Alkalireihe empordrangen, wurden die im nördlichen Vorlande (Hegau, Rheintalgraben) gebildeten Vulkane von Magmen der Natronreihe gespeist. Diese Ergussgesteine gehören einer sogenannten *atlantischen Provinz* an.

Eine dritte häufige Vergesellschaftung magmatischer Gesteine ist durch allgemein grösseren Kalireichtum unter den Alkalien gekennzeichnet. Es bilden sich dann auch Kalialumosilikate mit niedrigerem SiO_2-Gehalt, als ihn Orthoklas hat, beispielsweise Leucit. Aber eines dieser Dissoziationsprodukte vermag bei Anwesenheit von H_2O mit Molekeln von olivinartiger Zusammensetzung ein Doppelsalz, nämlich den Biotit, zu geben, der fast unter allen Bedingungen, insbesondere auch unter den Bedingungen, die für die Kalk-Alkalireihe charakteristisch sind, auftritt. Die Vergesellschaftung ist deshalb nicht so scharf von der zuerstgenannten zu trennen, steht mit ihr auch oft in genetischem Zusammenhang. Übrigens ist selbstverständlich, dass alle drei Reihen wie einzelne Glieder aller drei Reihen ineinander übergehen können, wenn temporal oder lateral während einer Periode magmatischer Aktivität die äusseren Bedingungen diesbezüglichen Wechseln unterworfen waren. Die Hervorhebung der drei Assoziationen soll lediglich drei Haupttendenzen magmatischer Differentiation auseinanderhalten. Die syenitischen-monzonitischen-shonkinitischen Magmen sind Hauptderivate der dritten Reihe. Eine ausgesprochene Provinz von diesem

Charakter ist die jungvulkanische, mittelitalienische mit dem Vesuv als heute noch tätigem Vulkan. Provinzen dieser Art nennt man daher zweckmässig *mediterran.*

Nach unseren Erläuterungen ist also ausschlaggebend für die Entwicklung der einen oder anderen magmatischen Provinz der Verlauf der innermagmatischen Gleichgewichte. Dieser ist aber eine Folge der physikalisch-geologischen Bedingungen. Und es erhebt sich die Frage, ob wir zur Zeit bereits einen engeren Zusammenhang feststellen können.

Die Magmabewegung ist nur eine der allgemeinen tektonischen Erscheinungen. Die Frage wird daher zu der, ob mit gewissen geotektonischen Erscheinungsbildern gewisse Differentiationsverläufe Hand in Hand gehen. Ohne das ganze erst jetzt in statistischer Bearbeitung befindliche Material erwähnen zu können, ist eine Antwort daraufhin nicht zu geben. Immerhin mag daran erinnert werden, dass Beziehungen dieser Art vorhanden sind. Es zeigt sich das schon darin, dass der einfache Differentiationsverlauf der Kalk - Alkalireihe häufig mit einer langandauernden Faltenbewegung in einer typischen Geosynklinalregion zusammenfällt, wobei Tendenzen, die zur 3. Reihe führen, besonders gegen das Ende hin auftreten. Anderseits sind viele atlantische Provinzen in Gebieten mehr oder weniger reiner Schollenbewegungen heimisch, also hauptsächlich in den Vorländern der aktiven Geosynklinalregionen. Eine grosse Rolle wird ausser der Stetigkeit der tektonischen Bewegungen die Tiefe spielen, in der sich die Magmaherde während der Abkühlung und Kristallisation befinden. Nicht ausser Acht darf gelassen werden, dass auch Assimilationsprozesse richtunggebend sein können. Das Magma wird insbesondere anfänglich im Stande sein, Nebengesteine, mit denen es in Berührung kommt, teilweise aufzuschmelzen. Es kann, wie besonders *Daly* betont, sein hangendes Dach zerstückeln und sich so einen Weg nach oben bahnen. Die losgesprengten Gesteinsstücke werden aber grösstenteils in die Tiefe sinken und hier Material an die flüssige Masse abgeben. Sicherlich ist die Differentiation eines aktiven Magmas nicht an Assimilation gebunden, die Differentiation ist eine notwendige Begleiterscheinung empordringenden, in zentrifugalem Bewegungszustand befindlichen Magmas, aber das bedeutet nun wieder nicht, dass Assimilationen nicht mitbestimmend und richtunggebend sein können. Fassen wir zusammen: Die magmatische

Differentiation, somit auch die Art und Entstehung magmatischer Gesteinsassoziationen, sind durch die physikalisch-chemischen Umstände bedingt, denen jedes geotektonisch aktivierte Magma unterworfen ist. Der Wechsel der Bedingungen in absolutem und relativem Sinne schafft aus einem ursprünglich mehr oder weniger einheitlichen Stamm-Magma eine Serie miteinander verwandter Gesteine.

Die Verwandtschaft der Gesteine einer magmatischen Provinz ist also eine Blutsverwandtschaft, die Differentiation eine durch äussere Umstände bedingte Sonderung.

Die magmatischen Provinzen sind jedoch nicht nur *Gesteins*-provinzen im engeren Sinne. Die Anwesenheit der leichtflüchtigen Stoffe bedingt auch *nicht*-gesteinsartige, akzessorische Mineral-lagerstätten, besonders *Erzlagerstätten*. Sie entstehen zu einem grossen Teil durch die sogenannten pneumatolytisch-hydrothermalen Begleiterscheinungen, die zu jeder Periode magmatischer Aktivität gehören, und besitzen ebenfalls provinziale Kennzeichen.

Sedimentäre petrographische Provinzen.

Das Phänomen der provinzialen Verwandtschaft von Gesteinen beschränkt sich fernerhin nicht auf Eruptivgesteine. Eher noch offensichtlicher tritt es bei den *Sedimenten* zu Tage. Hier sind ja die Begriffe der Facien, der Gesteinsübergänge aufgestellt worden. Wenn ich das Wort schweizerische „Molasse" ausspreche, so wird allen unter uns, die im schweizerischen Mittelland je auf den Felsuntergrund geachtet haben, eine ganze Anzahl verschiedener Gesteinstypen (bunte Mergel, mergelige Sandsteine, Sandsteine, Kalksandsteine, Muschelsandsteine, Süsswasserkalke, Arkosen, Nagelfluh) in Erinnerung gerufen, und doch bleibt uns die Vorstellung einer Einheit, und doch besitzt der Begriff Molasse eine nur ihm eigene Färbung. In der Tat, diese zwischen Jura und Alpen liegenden Molasseablagerungen bilden eine typische petrographische Provinz, alle Gesteine dieser Provinz sind untereinander nahe verwandt. Allen kommen gewisse Merkmale zu, die in dieser Art nur ihnen zukommen. Wir müssen daher ganz allgemein auch bei sedimentären Provinzen zwischen Merkmalen von *provinzialem* und *serialem* Charakter unterscheiden. Wir nennen sie *provinzial*, wenn sie allen sedimentären Ablagerungen der geologischen Einheit, welch letztere in engerem oder weiterem Sinne gewählt werden

kann, eigentümlich sind, so dass sie diese Ablagerungen von anderen unterscheiden. *Serial* sind diejenigen, die von Ort zu Ort innerhalb der Provinz wechseln, so dass Gesteinsserien entstehen. Eine Eigenschaft von grossem provinzialem Geltungsbereich für triasische Ablagerungen ist beispielsweise, dass diese Ablagerungen auf der Grenze zwischen mechanisch sedimentär und chemisch präcipitativ stehen, so dass Anhydrit bzw. Gipsgesteine oder gar Kalisalzparagenesen häufig sind. Damit steht wiederum im Zusammenhang, dass unter den Karbonatgesteinen Dolomit eine grosse Rolle spielt. Eine Ablagerung wie Gault der Kreide ist weit herum in

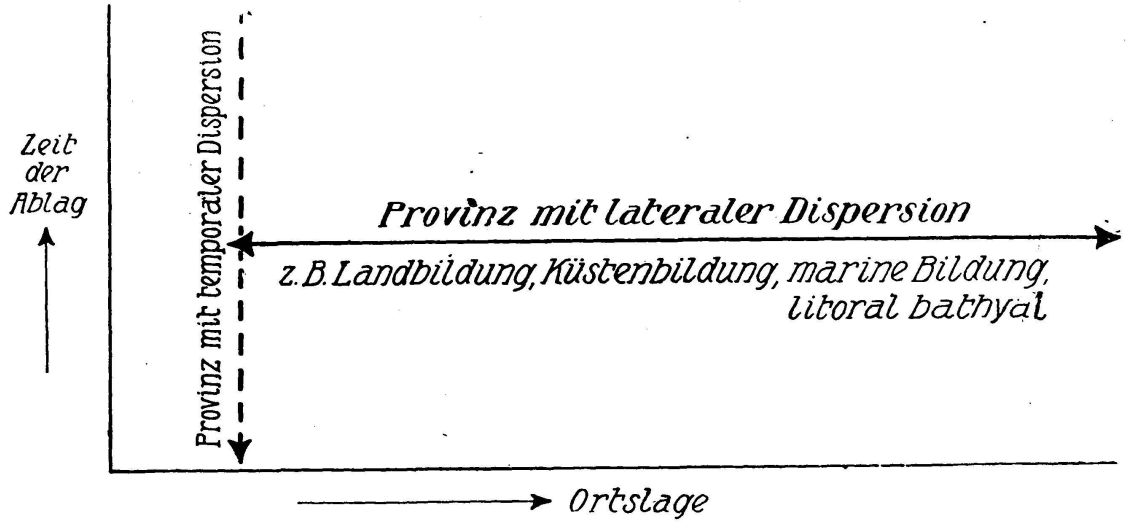


Fig. 3.

Europa reich an Glaukonit- usw. Es ist offensichtlich, dass wir derartige Eigentümlichkeiten zurückführen müssen auf allgemeine Bedingungen, die, geologisch gesprochen, der Zeit der betreffenden Ablagerungen den Charakter gegeben haben. Sie sind eine Folge des jeweilen gerade erreichten Entwicklungsstadiums der Erde, sehr oft auch eine Folge bestimmter Klimate.

Die serialen Eigenschaften zerfallen, wie übrigens auch bei den magmatischen Provinzen, in solche von *lateraler* und *temporaler Richtung* (Fig. 3). Wir können die Veränderung des Gesteinscharakters, die Facienübergänge und Facienfolgen zur gleichen Zeit in ihrer Abhängigkeit von der Ortslage verfolgen, wir können aber auch untersuchen, wie sich der Gesteinscharakter an einem Orte im Laufe der Zeiten verändert hat. Die erstgenannte Veränderung ist die Folge örtlich verschiedener physikalisch-chemischer Bedingungen, die zweite des Wechsels dieser physika-

lisch-chemischen Bedingungen mit der Zeit. Die räumliche oder zeitliche Ausdehnung einer Provinz wird als ihre laterale oder temporale Streuung, beziehungsweise *Dispersion,* bezeichnet.

Wie die Untersuchung der magmatischen Provinzen führt uns auch die Untersuchung der sedimentären Provinzen auf die Grundprobleme der Geologie. Das Studium der magmatischen Provinzen wird uns letzten Endes gestatten, die Tiefenvorgänge geologischen Geschehens schärfer zu fassen, das Studium der sedimentären Provinzen die Oberflächenvorgänge. Und weil die sedimentären Gesteine Erdoberflächengesteine sind, müssen zwei neue Wissenschaften in Betracht gezogen werden, nämlich die *Geographie* bzw. *Palaeogeographie,* die sich mit der Morphologie der Erdoberfläche befasst, und die *Biologie,* die von den unter gewissen Bedingungen darauf vorkommenden Lebensgemeinschaften handelt.

Was die Gestalt der Erdoberfläche betrifft, so ist selbstverständlich, dass von ihr Art und Charakter einer Ablagerung in weitgehendem Masse abhängig sind, es braucht ja nur daran erinnert zu werden, dass man zwischen fluviatilen, lacustren, marinen Sedimenten, zwischen küstennahen (litoralen-neritischen) und küstenfernen (bathyalen oder hemi-bis eupelagischen) Ablagerungen unterscheidet. Es ist jedoch nicht nur die Gestalt der Erdoberfläche an der Ablagerungsstelle, die eine Rolle spielt, sondern die Morphologie des ganzen Einzugsgebietes, das für die Materiallieferung in Betracht kommt. Die Biologie spielt eine Doppelrolle. Einmal gibt es viele Gesteine mit wesentlich organogenem Einschlag. Es sei an die Kreide, an Tripel, an Echinodermenbreccien, an Kohle erinnert. Zum andern kann uns auch das Studium eines akzessorischen Fossilgehaltes Auskunft über die während der Ablagerung herrschenden Bedingungen geben, weil eben gewisse Lebensgemeinschaften an gewisse Bedingungen geknüpft sind. Die Palaeobiologie (nicht die Palaeontologie) ist eine wichtige Hilfswissenschaft für den Sedimentpetrographen.

Aber auch diese morphologischen und klimatischen Erscheinungen sind nur das nach aussen gewendete Antlitz des Erdkörpers, das widerspiegelt, was in seinem Innern vorgeht. Sie sind die Folgen von Prozessen der Veränderung, die im weiten Sinne des Wortes immer geotektonischer Art sind. Und es ist, wenn wir etwa die marinen Ablagerungen betrachten, selbstverständlich, dass das geotektonisch bedingte Verhältnis von Land zu Meer, von Meeresboden-

morphologie zur Landoberfläche in erster Linie den Provinzialcharakter bestimmt. Also wie bei den magmatischen Provinzen, werden auch hier gewisse physikalische Bedingungen an das eine oder andere geotektonische Erscheinungsbild gebunden sein, und es erhebt sich lediglich die Frage, ob die heutige Klassifikation der tektonischen Phänomene genügt, um charakteristischen sedimentpetrographischen Provinzen einzelne Typen zuzuordnen. Man nennt seit *Gilbert* die mit Faltengebirgsbildung verknüpften Bewegungen, die für die labilen Zonen der Erdkruste, die Geosynklinalen, besonders charakteristisch sind, *orogenetisch*, während die einfachen meist an Brüche gebundenen Auf- und Abwärtsbewegungen *epirogenetisch* genannt werden. In einem Geosynklinalgebiet werden, worauf ja *Bertrand* besonders hingewiesen hat, die Sedimentationsverhältnisse andere sein müssen als in einem nur unter Epirogenese stehenden Epikontinentalmeer.

Das klastische Material stammt dann vom werdenden Gebirge. Die ständige Faltung des Einzugsgebietes, die ständige Bewegung des Meeresbodens lässt in den Ablagerungen keine deutliche, vertikale, zyklische Gliederung aufkommen. Mächtige Sedimente von mehr oder weniger einheitlichem Gepräge werden gebildet. Das klastische Material der *epirogenen Sedimentation* stammt von einem wenigstens zunächst relativ starren Kontinentalblock, der weniger kontinuierlichen als diskontinuierlichen Bewegungen (Hebungen und Senkungen) ausgesetzt ist. Deshalb sind diese Sedimente meist in vertikaler Richtung (d. h. temporal) zyklisch gegliedert.

Auf eine *Transgressionsphase* (Aufarbeitung des Untergrundes, Ablagerung mehr toniger Sedimente) folgt eine *Inundationsphase* (mit Ablagerung von Sedimenten, die für tiefern Meeresgrund typisch sind, d. h. Mergeln und Kalken). In vielen Fällen löst eine *Regressionsphase,* gekennzeichnet durch Zurückweichen des Meeres, die Inundationsphase wieder ab. Weicht das Meer so weit zurück, dass die Schichten blossgelegt werden oder der Wirkung der Brandungswellen anheimfallen, so entsteht eine sogenannte *Emersion.* Ein neuer Zyklus ist dann von den ersten durch eine Diskontinuitätsgrenze getrennt.

Man ist soweit gegangen, dass man die Sedimente in epirogenetische und orogenetische einzuteilen versucht hat. Mir scheint, dass die Sedimentpetrographie gut tun wird, den bei der Eruptivgesteinspetrographie eingeschlagenen Grundsätzen zu folgen. Die

erste Einteilung muss, wofür ja schon Ansätze vorhanden sind, eine beschreibend lithologische sein, wobei allerdings der Wert der einzelnen unterscheidenden Merkmale bereits auf Grund der Assoziationsverhältnisse eingeschätzt werden kann. Dann wird zu versuchen sein, ob es gewisse Reihenentwicklungen von Gesteinen gibt, die gerne im assoziativen Verband auftreten. Man wird so vielleicht für marine Ablagerungen in erster Haupteinteilung eine vorwiegend an epirogenetische Regionen gebundene Reihe unterscheiden können. Auch dabei wird es sich nur um zwei ungleiche Tendenzen handeln, die nicht notwendigerweise in allen Gliedern gesondert sein müssen. Die von *Arbenz* „thalattogen" genannten Sedimente rein chemisch bis chemisch-organogenen Ursprungs können ebenso wie etwa die granitischen und gabbroid-peridotitischen Endglieder der Eruptivgesteinsreihen beiderorts einander sehr ähnlich werden.

Wiederum liefern die Alpen ausgezeichnete Beispiele für die Variabilität und das Gesetzmässige derartiger petrographischer Provinzen. Die Molassebildung kann beispielsweise als typisch spätorogene Provinz ausgesprochen werden, das Molassebecken ist die letzte Vortiefe des bereits zum Gebirge werdenden Alpenbogens. Wildflysch und Flysch sind die Ablagerungen mittelorogener, Bündnerschiefer solche frühorogener Provinzen. Und in ähnlichem Verhältnis stehen im hercynischen Alpenrayon Verucano zu Casannaschiefer. Dem zyklisch in Transgression-, Inundations- und Regressionsphasen gegliederten Jura des helvetischen Beckens fehlt hingegen der Charakter der Orogenese, er ist eine Epikontinentalmeerbildung. Wie fruchtbar die stratigraphisch-lithologische Untersuchung für geologische Erforschung eines Gebietes ist, zeigen die Arbeiten unserer hervorragenden Alpengeologen. Ich kann mir versagen, auf Einzelheiten der Probleme der Sedimentation und ihrer Beziehungen zur Gebirgsbildung einzugehen, da erst neuerdings von *Arbenz*, *Argand*, *Heim* und *Staub* darüber Grundsätzliches gesagt wurde. Halten wir fest, auch der Charakter der Sedimentgesteinsassoziationen ist bedingt durch die physikalischen und physikalisch-chemischen Verhältnisse, welche in der zugehörigen geologischen Einheit zur Bildungszeit herrschten.

Zu den Sedimentgesteinen in weiterem Sinne gehören die Böden, die Verwitterungsrückstände einer geologischen Epoche. Die verschiedenen Bodenarten finden sich ebenfalls nicht regellos miteinander vergesellschaftet, die allgemeinen *klimatischen* Verhält-

nisse in einem klimatologisch zusammengehörigen Gebiet prägen sich ihnen auf. Örtliche Unterschiede im Substrat oder den für die Verwitterung und den Transport massgebenden Faktoren bestimmen den Einzelcharakter innerhalb einer Bodenprovinz. Hier bei der Bodenbildung handelt es sich bereits um die Anpassung von Gesteinen verschiedener Art und Herkunft an neue Bedingungen, im gegebenen Falle an die auf der Erdoberfläche herrschenden Verhältnisse. Das führt uns über zu den

Metamorphen Gesteinsprovinzen.

Wer mit offenem Auge in den Alpen umhergewandelt ist, der wird bemerkt haben, dass trotz der Fülle vorhandener Gesteinsarten allen Gesteinen etwas Gemeinsames zukommt.

Und wer daraufhin vergleichend Aarmassiv, Gotthardmassiv und Berninagebiet betrachtet hat, wird gefunden haben, dass diese drei Einzelgebiete jedes für sich wieder eine gewisse Selbständigkeit besitzen. Es sind Unterfälle der höheren Einheit. Es ist die Metamorphose, welche, wie ich sagen möchte, nivellierend gewirkt hat, die alle Gesteine in einer bestimmten Richtung hin veränderte. Unter Gesteinsmetamorphose verstehen wir die Anpassung eines Gesteines an seine physikalischen Bedingungen. Der Mineralbestand der Eruptivgesteine ist beispielsweise nur für die hohen Temperaturen charakteristisch, bei denen er gebildet wurde. Für sie kann die Mineralassoziation als Ganzes oder doch in einzelnen Teilen einen Gleichgewichtszustand darstellen. Wird nun das Gestein abgekühlt, so ändern sich die Koexistenzverhältnisse für einzelne Phasen. Was früher im Gleichgewicht war, ist es nicht mehr. Wo immer aber für die Einleitung von Reaktionen günstige Umstände zusammentreffen, will sich der den neuen Bedingungen angepasste Zustand einstellen. Der Mineralbestand wandelt sich in einen neuen um. Und wiederum werden die durch Metamorphose entstandenen Neuprodukte einander verwandt sein, da zu einer gewissen Zeit innerhalb einer geologischen Einheit die physikalischen Bedingungen ähnlich waren oder doch von Punkt zu Punkt miteinander in Beziehung standen.

Stellen wir uns ein feinkörniges Gestein von bestimmtem Bauschalchemismus vor, dem dieser Chemismus bereits in kleinen Bruchstücken zukommt, und denken wir uns nun dieses chemische System, wie wir es nennen wollen, verschiedenen physikalischen Umständen

unterworfen, hohen, mittleren und niedrigen Temperaturen, jede einzelne kombiniert mit hohem, mittlerem oder niedrigem Druck. Wir werden dann finden, dass es für jedes Wertepaar von Temperatur und Druck einen, und nur einen (stabilen) Zustand gibt, der die vollkommenste Anpassung des Chemismus an die äusseren Bedingungen darstellt. Meistens wird dieser Zustand mehrphasig sein, das heisst, eine Assoziation von mehreren Mineralarten darstellen. Wir werden auch finden, dass gewisse dieser Mineral-

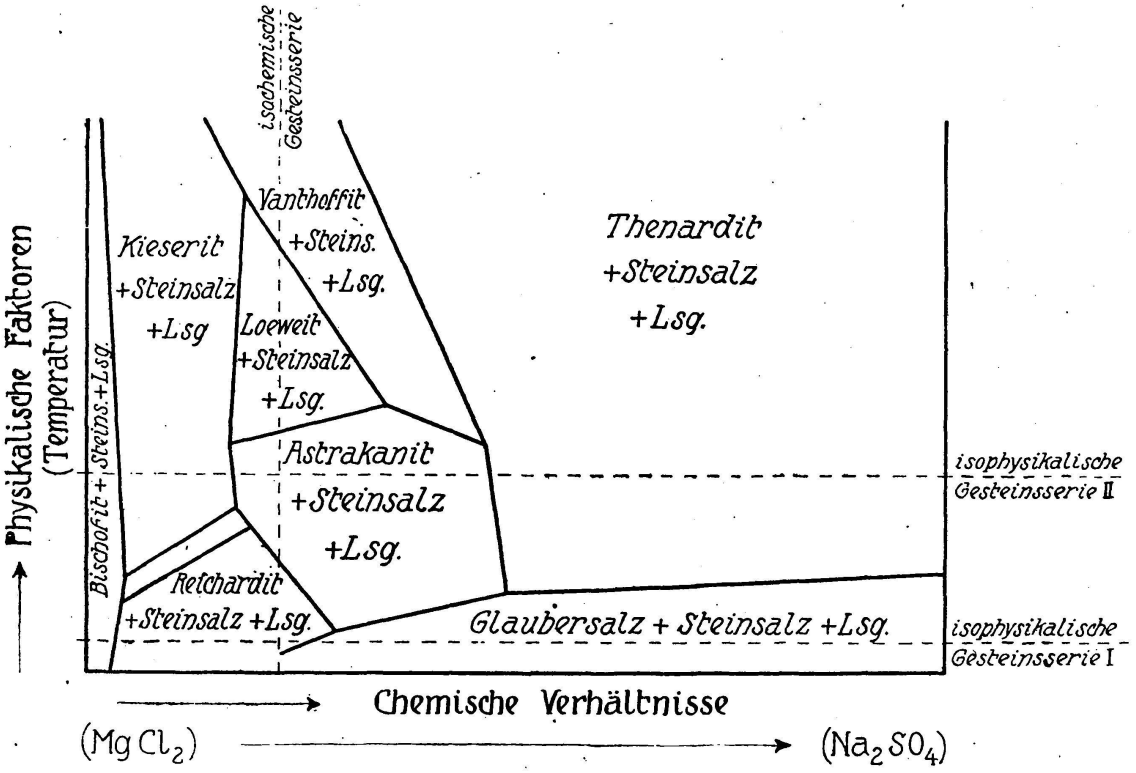


Fig. 4.

assoziationen, besonders die von relativ kleiner Phasenzahl, über ein ganzes Temperatur- und Druckintervall beständig bleiben, dass aber ihr Beständigkeitsfeld irgendwo an das einer anderen Assoziation grenzt, die sich von ihr durch das Auftreten neuer und das Verschwundensein anderer Mineralien unterscheidet. Verändern wir nun in beliebiger Richtung den Chemismus, so nehmen wir ganz ähnliches wahr. Trotz der Veränderungen kann bei bestimmten äusseren Bedingungen der Charakter der Mineralassoziation, was die Art und Zahl der Kristalle betrifft, gleich bleiben. Nur die quantitativen Verhältnisse oder die Mischungsverhältnisse innerhalb der Mineralien verschieben sich. Jedoch auch hier werden von bestimmten Momenten ab Neubildungen auftreten und andere

Mineralien verschwinden. Betrachten wir trotz ihrer Mannigfaltigkeit physikalische und chemische Faktoren als je eine Variable, so würde etwa ein Schema resultieren, wie es Figur 4 für an Steinsalz gesättigte Lösungen von $MgCl_2$—Na_2SO_4 zeigt.

Gewisse Mineralbestände besitzen in bezug auf Temperatur, Druck und Chemismus bestimmte, wohlbegrenzte *Geltungsbereiche.* Wenn nun im Verlaufe der geologischen Geschichte eines zusamgehörigen Erdrindenteiles irgendwelche in sich wenig variable physikalische Bedingungen herrschend werden und günstige Umstände die Anpassung der Gesteine an diese Bedingungen ermöglichen, werden Neuprodukte gebildet, die im schematischen Diagramm ungefähr auf einer Horizontalen liegen. Der neue Mineralbestand ist der für die betreffenden Temperaturen und Drucke charakteristische. Gesteine ähnlichen Chemismus, die verschiedener Entstehung halber (etwa Eruptivgesteine und mergeliges Sediment) ursprünglich ganz verschiedene Mineralbestände besassen, erhalten einen gleichen Neubestand, *Konvergenz*erscheinungen treten auf. Aber auch chemisch verschiedene Gesteine werden sich ähnlicher, nicht nur in der durch die Umstände bedingten Struktur oder Textur, sondern auch im Mineralbestand, da es unter gleichen physikalischen Bedingungen immer Mineralien gibt, die als Durchläufer über ein grosses chemisches Intervall beständig sind. Metamorphe Gesteinsserien einer geologischen Einheit mit physikalischen Bedingungen als ungefähr Konstantes und Chemismus als Variables, sollen *isophysikalisch* genannt werden. In einer anderen metamorphen Provinz wird unter anderen physikalischen Bedingungen eine andere isophysikalische Gesteinsreihe entstehen. Etwa entsprechend der Horizontallinie II, der Figur 4. Die im Chemismus einander entsprechenden Glieder beider Reihen heissen dann *korrelat.*

Schliesslich ist auch denkbar, dass wir unserer Untersuchung eine so ausgedehnte geologische Einheit zu Grunde legen, dass die physikalischen Bedingungen von einem Ende bis zum andern stark wechseln, während unter Umständen das chemische Substrat das gleiche ist. Dann wird es von Interesse sein, den Wechsel im Mineralbestand in Abhängigkeit von den physikalischen Faktoren zu studieren, das heisst *isochemische* metamorphe Gesteinsserien aufzusuchen.

Allein zu einer durchgreifenden Metamorphose braucht es für die Anpassungsreaktionen besonders günstige Umstände. Diese finden sich z. B. dann zusammen, wenn das Erdrindenstück geotektonisch aktiv wird. Dabei sind es besonders orogenetische Bewegungen, welche infolge der auftretenden Stresse umwandlungsfördernd wirken. Magmatische Intrusionen erzeugen in gewissem Umkreis (dem *Kontakthof)* abnorm hohe Temperaturen, sie können auch an die Nebengesteine durch sogenannte Pneumatolyse leichtflüchtige Bestandteile abgeben, wodurch ein durchdringendes Medium geschaffen wird, indem sich Reaktionen leichter abspielen. Fehlen derartige Intrusionen, so spricht man von gewöhnlich *orogenen-geotektonischen Provinzen* (dislokationsmetamorphe Provinzen), im anderen Falle von *kontaktmetamorphen Provinzen.* Rein epirogenetische Bewegungen, Schichtüberlagerungen und Erosion aufsteigender Schollen verändern den Standort der Gesteine in bezug auf die normale Folge von aussen nach innen. Das Fehlen besonderer günstiger Umstände wird oft die Neuanpassung des Mineralbestandes verhindern, doch gibt es sehr empfindliche Gesteine, wie etwa die ozeanischen Salzablagerungen, die schon auf derartige, mehr regional gleichförmige Bedingungsänderungen reagieren *(regionalmetamorphe Provinzen).*

Die Alpen sind das typische Beispiel einer orogenmetamorphen Provinz. Da die letzte orogenetische Epoche von der Trias bis ins Tertiär angedauert hat, sind der grossen temporalen Dispersion entsprechend zeitlich verschiedene Stadien auseinanderzuhalten. Für grosse Gebiete ergiebt sich jedoch ein Mineralbestand, der nach der Zoneneinteilung von *Grubenmann,* dem Pionier der Lehre von der Gesteinsmetamorphose, in die oberste und mittlere Zone fällt. Die physikalischen Bedingungen waren natürlich nicht überall genau die gleichen, zwei Arten der Metamorphose lassen sich besonders auseinanderhalten. Eine erste, rein epizonale mit Sericit, Chlorit, Chloritoid, Epidot, Zoisit, Granat, Serpentin, Albit, Quarz als Leitmineralien, eine zweite mesozonale mit Muskowit, Biotit, Oligoklas, Staurolith, Disthen, Granat, Hornblende, Quarz als charakterisierenden Neubildungen. Phyllite, Chloritoidschiefer, Epidotchloritschiefer, Prasinite, Chloritschiefer, Serpentine, Granat- oder Zoisit- führende Kalke sind assoziativ verbundene Gesteine der ersten Entwicklung, Zweiglimmerschiefer, Hornblendegarbenschiefer, Granatglimmerschiefer und Granatglimmergneise, Staurolith-

schiefer und Staurolithgneise, Staurolithfelse, Disthenschiefer, Grammatitfelse usw. solche der zweiten Entwicklung.

Die alpin-metamorphe Provinz ist zugleich noch durch nicht gesteinsbildende, gleichzeitig entstandene Mineralassoziationen ausgezeichnet, die Kluftmineralien des sogenannten alpinen Typus. Während der orogenetischen Bewegungen bildeten sich Zerrklüfte, in welche die in den Gesteinen zirkulierenden wässerigen Lösungen drangen, charakteristische Mineralabsätze erzeugend. Die wundervollen Kristallstufen unserer Sammlungen mit Adular, Albit, Bergkristall, mit Sphen, Rutil, Brookit, Anatas, Hämatit, mit Zeolithen, Calcit und Chlorit sind derartige provinzial zugehörige, akzessorische Mineralassoziationen. Sie vervollständigen und erweitern das Bild, das wir auf Grund mineralogisch-petrographischer Studien von den Bedingungen erhalten, denen das Alpengebirge zur Tertiärzeit unterworfen war.

Also auch die metamorphen Gesteinsverbände, die metamorphen Assoziationen sind in ihrer Erscheinungsweise bedingt durch die physikalischen und chemischen Umstände, die in der zugehörigen geologischen Einheit zur Zeit der Neubildungsprozesse herrschten.

So gibt uns, wie wir sehen, das Studium der Mineral- und Gesteinsassoziationen ganz allgemein Auskunft über Art und Charakter des physikalisch-chemischen Bedingungskomplexes der einem Erdrindenteil mit gemeinsamem geologischen Geschehen zukam. Die Verwandtschaft der Assoziationen ist eine Folge des Gemeinsamen in der geologischen Geschichte; die Variabilität ein Ausdruck für die Mannigfaltigkeit in der Einheit.

In den *magmatischen* Provinzen führt dies vor allem zu einer stofflichen Verschiedenheit in einer durch den Totalcharakter vorbestimmten Richtung. Den *metamorphen* Provinzen ist das chemische Substrat in der Hauptsache gegeben, die physikalischen Umstände bedingen die neuen Mineralbestände. Die *sedimentären* Provinzen nehmen eine Mittelstellung ein. Bereits die getrennte Betrachtung magmatischer, sedimentärer und metamorpher Provinzen hat uns gezeigt, dass mit gleichen geologischen Vorgängen in allen drei Klassen gewisse Provinztypen verbunden sind. In der Tat es ist kein Zufall, sondern innere Gesetzmässigkeit, dass die spät orogene Molasseprovinz, die orogen-metamorphe alpine Provinz, die mesozoisch-tertiäre magmatische Kalkalkaliprovinz (mit den mesozoischen, ophiolithisch-gabbroiden Bildungen und den

tertiären quarzdioritischen Gesteinen von Melirolo und Albigena) zusammengehören, dass im Gebiet der atlantischen Hegauvulkane die Molasse als Juranagelfluh mehr epirogenen Charakter annimmt und die Metamorphose zurücktritt. Die Riginagelfluh, der Muschelsandstein, der Flysch, die Bündnerschiefer, die helvetischen Seewerkalke, der Chloritoidschiefer der Garvera, der Staurolithschiefer von Piora, die Quarzdruse von Tiefengletsch, der Malencoserpentin und der Quarzdiorit von Melirolo bilden genetisch ein Ganzes.

Wir verstehen, dass Gesteine nicht bloss in Handstücken studiert werden dürfen, dass wir ihr So- und Nichtanderssein nur verstehen werden, wenn die Verbandsverhältnisse in Betracht gezogen werden, dass unser Eindringen ein viel tieferes ist, wenn wir den Blick nicht ständig ins Mikroskop richten, sondern in die weite Natur hinaus.

Hier liegt uns die grosse Aufgabe ob, eine moderne regionale Petrographie und Mineralogie zu schaffen, in welcher der Fundort wieder zu seinem Recht gelangt, aber nicht mehr als blosse Ortsbezeichnung, sondern als Ausdruck der relativen Lage zu anderen Mineralien oder Gesteinen einer geologischen Einheit. Und wie die vergleichende Anatomie des tierischen Körpers, so wird die vergleichende Anatomie des Erdkörpers neue Gesetzmässigkeiten enthüllen und die tiefsten Probleme der Geologie einer Lösung entgegenführen.

Jean-Jacques Rousseau botaniste à l'île Saint-Pierre.

Allocution adressée le 30 août 1920 à la Société helvétique des Sciences naturelles à l'île Saint-Pierre,

par M. John Briquet.

Il ne saurait s'agir d'apporter ici quelque document inédit à l'histoire constamment fouillée du citoyen de Genève: tout a été dit sur le séjour de J. J. Rousseau à l'île Saint-Pierre et d'abondants commentaires ont été faits à mainte reprise sur les notes renfermées à ce sujet au livre XII des *Confessions* et dans les *Rêveries du promeneur solitaire,* cinquième promenade. A défaut de nouveauté de nature à piquer la curiosité des érudits, il nous a semblé qu'il manquerait quelque chose au pélerinage de la Société helvétique des Sciences naturelles à l'île Saint-Pierre, si le souvenir de Rousseau botaniste n'y était rappelé en quelques mots. Aussi bien ce côté de l'activité si prodigieuse et si universelle du grand écrivain est-il moins connu du grand public: les „Rousseauistes" ici présents me pardonneront de revenir sur un épisode qui leur est parfaitement connu, les simples naturalistes mêleront peut-être à leur indulgence une pointe d'intérêt.

Le goût de J. J. Rousseau pour la botanique s'est essentiellement développé pendant son séjour à Môtiers dans le val de Travers. Des circonstances diverses, qui ont été souvent exposées, y contribuèrent. Mais ces circonstances n'auraient sans doute pas été suffisantes pour transformer un simple passe-temps en une véritable passion, si des dispositions innées, un tour d'esprit observateur, une sensibilité exceptionnelle en face des beautés de la nature ne l'y avaient poussé. Il faut aussi tenir compte de l'influence exercée sur Rousseau par plusieurs naturalistes suisses, au nombre desquels il convient de citer Garcin et J.-A. d'Ivernois, puis Abraham Gagnebin de la Ferrière, enfin Dupeyrou et Neuhaus. Nous venons d'employer le mot de passion. Cette expression n'est pas exagérée, et les botanistes qui se rappellent l'enthousiasme brûlant de leurs jeunes années, alors que, néophytes, ils pénétraient pour la première fois dans les avenues du jardin de Flore, le comprendront

facilement. „Je raffole de la botanique“ — écrivait Jean-Jacques à d'Ivernois le 1er août 1765 — „cela ne fait qu'empirer tous les jours; je n'ai plus que du foin dans la tête; je vais devenir plante moi-même un de ces matins, et je prends déjà racine à Môtiers, en dépit de l'archiprêtre qui continue d'ameuter la canaille pour m'en chasser!“

Les prévisions de Rousseau — „prendre racine à Môtiers“ — devaient être démenties par les événements, car, peu de temps après, le philosophe-botaniste se voyait contraint par l'hostilité de la population de transporter ailleurs ses pénates. L'idée de se retirer dans l'île Saint-Pierre lui fut sans doute suggérée par ses amis, qui lui représentaient l'île comme un charmant asile. Mais il avait eu l'occasion de se faire lui-même une opinion à cet égard. En effet, au cours de son séjour à Môtiers, Jean-Jacques fit en juin 1765 une excursion à l'île Saint-Pierre. Avec Thérèse Levasseur et d'Ivernois, il descendit par les gorges de l'Areuse à Neuchâtel, se rendit à pied à Cressier et au pont de la Thielle, puis s'embarqua en canot pour gagner l'île. La nouvelle de sa présence s'était répandue dans toutes les localités voisines des bords du lac de Bienne. De nombreuses embarcations sillonnaient les flots: chacun voulait voir le célèbre écrivain. Il réussit pourtant à échapper à cette curiosité et passa dix jours dans une heureuse solitude, occupé alternativement à l'étude de la botanique et à la rédaction de ses *Confessions*. Telle fut l'impression produite par ce premier voyage que, lorsque l'existence au val de Travers devint impossible, et que, lapidé dans sa maison de Môtiers, il dût prendre la fuite, c'est vers l'île Saint-Pierre qu'il dirigea ses pas.

Le 11 septembre 1765, Rousseau s'installait dans quelques chambres du vieux cloître, à l'étage supérieur. On se représente sans peine son état d'âme: l'amertume des déboires passés, l'incertitude du lendemain exerçaient sur lui leur action déprimante. Cependant, un avis de Berne lui laissa entrevoir que le séjour lui serait accordé par le gouvernement; des Bernois influents agissaient en sa faveur; il reçut même la visite de quelques-uns d'entre eux, tels que Tscharner, Kirchberger et Falkenberg. Et puis, le milieu ne pouvait manquer d'exercer bientôt son effet calmant. Par les petites fenêtres ogivales, le regard de Rousseau pouvait errer sur le lac de Bienne, les sommets neigeux des Alpes bernoises, la ligne mélancolique et douce du Jura. L'automne de 1765 était de toute

beauté, analogue à celui dont nous jouissons en ce moment. Les dimanches et jours de fête, les riverains naviguaient à l'île Saint-Pierre, chantaient, dansaient dans les bois. Rousseau s'associait à ces réjouissances et aussi aux travaux de la saison: Kirchberger le trouva sur un pommier muni d'un sac pour la récolte des fruits!

En arrivant, Jean-Jacques avait en poche le *Systema Naturae* de Linné. Dupeyrou lui envoya le *Florae Parisiensis Prodromus* de Dalibard. Julie de Bondeli, une de ses admiratrices qui était une amie du botaniste zurichois Usteri, lui envoya un petit herbier suisse pour l'aider dans ses déterminations. C'est avec cette modeste bibliothèque et ces maigres matériaux qu'il se mit au travail. Toutefois, il ne s'en tenait pas à la détermination: armé d'une loupe et d'un scalpel, il cherchait à s'initier à la morphologie des plantes et à pénétrer les secrets de ce que nous appellerions aujourd'hui la biologie végétale. „La fourchure des deux longues étamines de la brunelle, dit-il, le ressort de celles de l'ortie et de la pariétaire, l'explosion du fruit de la balsamine et de la capsule du buis, mille petits jeux de la fructification que j'observois pour la première fois me combloient de joie, et j'allois demandant si l'on avoit vu les cornes de la brunelle, comme Lafontaine demandoit si l'on avoit lu Habacuc." Emerveillé par ses observations et ses recherches, Rousseau voyait déjà ces travaux aboutir à une grande monographie botanique de l'île Saint-Pierre. „Je n'y voulois, dit-il, pas laisser un poil d'herbe sans analyse, et je m'arrangeois déjà pour faire, avec un recueil immense d'observations curieuses, la *Flora Petrinsularis.*" Et ailleurs: „J'entrepris de faire la *Flora Petrinsularis* et de décrire toutes les plantes de l'île, sans en omettre une seule, avec un détail suffisant pour m'occuper le reste de mes jours. On dit qu'un Allemand a fait un livre sur le zeste du citron; j'en aurois voulu faire un sur chaque gramen des prés, sur chaque mousse du bois, sur chaque lichen qui tapisse les rochers; enfin, je ne voulois pas laisser un poil d'herbe, pas un atome végétal qui ne fut amplement décrit."

Ce beau projet n'eut pas de suite, car les influences amies qui s'exerçaient en faveur de Rousseau ne furent pas assez puissantes pour empêcher leurs Excellences de Berne de prendre contre lui un arrêté d'expulsion. Le 25 août déjà, Jean-Jacques quittait l'île Saint-Pierre et le canton de Berne pour se rendre par Bienne et Bâle à Strasbourg.

Si la *Flora Petrinsularis* est restée à l'état de projet, les observations morphologiques et biologiques, la connaissance des plantes acquise dans l'asile de l'île Saint-Pierre ne furent pas perdues. Réunies aux données qu'il eut l'occasion de recueillir en Angleterre, dans le nord-ouest de la France, puis à Lyon, à Grenoble, à Bourgoin, et dans tant d'autres endroits qu'il visita successivement au cours de sa vie errante, Rousseau les utilisa plus tard dans ces admirables *Lettres élémentaires sur la botanique,* écrites à la demande de Madame Madeleine Delessert, née Boy de la Tour, pour sa fille Marguerite-Madeleine, „la petite", comme la désigne Jean-Jacques dans sa première lettre. Or, l'influence des *Lettres élémentaires sur la botanique* a été considérable. A une époque où la science n'était encore exposée que dans de doctes ouvrages écrits en latin, c'était le premier traité élémentaire écrit en français, dans une langue claire et élégante, avec le constant souci d'éveiller et de maintenir l'intérêt de l'élève, avec tout le sens pédagogique que devait posséder l'auteur de l'*Emile.* Traduites en plusieurs langues, les *Lettres élémentaires* ont été l'avant-coureur de la vaste littérature didactique que le XIXe siècle a vu éclore dans le domaine des sciences.

Mais il y a plus. En même temps qu'il donnait à Marguerite-Madeleine Delessert le goût de la botanique par ses *Lettres*, Rousseau contribuait à en inspirer la passion aux deux frères de la „petite", à Etienne et à Benjamin Delessert. On sait quelles ont été les conséquences de cette passion. Benjamin Delessert employa une partie de sa fortune à créer un des plus vastes herbiers du monde, herbier qui, après sa mort, a été donné par ses sœurs à la Ville de Genève et qui, constamment augmenté depuis 1869, constitue un admirable instrument de travail et une source de documents scientifiques de premier ordre. Nous voilà, en apparence, bien loin de l'île Saint-Pierre. Et cependant un fil ténu relie le point de départ et le point d'arrivée. En matière d'histoire, tout se tient: le pélerinage de la Société helvétique des sciences naturelles nous fournit l'occasion de le constater une fois de plus.