

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: 122 (1942)

Rubrik: Discours d'introduction du Président annuel et Conférences principales

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: 11.01.2026

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

A.

Partie scientifique

Discours d'introduction du Président annuel
et Conférences principales

Communications faites aux séances de sections

Wissenschaftlicher Teil

Eröffnungsrede des Jahrespräsidenten
und Hauptvorträge

Vorträge, gehalten in den Sektionssitzungen

Partita scientifica

Discorso inaugurale del Presidente annuale
e Conferenze principali

Comunicazioni fatte alle sedute delle sezioni

Discours d'ouverture du Président annuel de la S. H. S. N.

devant la 122^{me} Assemblée annuelle à Sion

La lutte pour l'eau et la lutte contre l'eau en Valais

Par le

D^r h. c. I. MARIÉTAN, Sion

Chers collègues,

Au nom de la Murithienne, société cantonale valaisanne des Sciences Naturelles, au nom de la ville de Sion et du Valais tout entier, je souhaite la plus cordiale bienvenue à vous tous, accourus si nombreux de tous les points de la Suisse malgré les conditions difficiles et angoissantes de notre époque : soyons heureux de pouvoir nous retrouver encore cette année.

Nous ne sommes pas en mesure de vous donner une hospitalité aussi généreuse que celle qui vous a été offerte par la ville de Bâle l'année dernière, cependant nous ferons tout notre possible pour vous recevoir cordialement et pour donner à cette session un caractère bien valaisan; notre grand désir est que vous vous sentiez chez vous en Valais.

Je suis très touché de l'attention si délicate qui vous a fait choisir un montagnard du Valais pour présider cette session. Vous avez voulu consacrer ainsi les efforts que j'ai faits ma vie durant pour l'avancement des sciences de la nature dans le Valais et plus spécialement auprès de la jeunesse. Je considère cet honneur comme le couronnement de ma vie et je vous en exprime avec émotion ma profonde reconnaissance.

La Société Helvétique des Sciences Naturelles se réunit en Valais pour la sixième fois depuis sa fondation en 1815 : la première session eut lieu au Grand-St-Bernard en 1829, sous la présidence du Chanoine Biselx; l'ingénieur Venetz y présenta un

mémoire resté célèbre qui apportait la solution du problème de l'origine des terrains erratiques par la grande extension des glaciers quaternaires. En 1852 à Sion, sous la présidence du Chanoine Rion qui, dans son discours d'ouverture, caractérisa d'une manière remarquable, pour l'époque, les conditions du climat et de la flore du Valais. En 1880, F.-O. Wolff présidait celle de Brigue, en 1895, P.-M. de Riedmatten celle de Zermatt, et en 1923 le Chanoine Besse celle de Zermatt encore.

La ville de Sion est heureuse de vous recevoir aujourd'hui pour la deuxième fois depuis 90 ans. Vous êtes venus au cœur du Valais, dans cet héroïque paysage, parce que ce pays offre un magnifique champ d'étude pour des hommes de science, et aussi pour marquer votre sympathie envers une population montagnarde dont la vie est rude et difficile; elle salue votre présence avec vénération, car elle apprécie le travail de la pensée, parce que, dans l'évolution si rapide de notre époque, elle se trouve en présence de nombreux problèmes de sciences appliquées. Elle compte sur vous pour les résoudre et pour s'adapter aux conditions nouvelles tout en conservant son caractère de simplicité, de traditionalisme, d'esprit religieux et patriotique.

C'est pour correspondre à cette pensée de collaboration fructueuse entre le travail manuel et le travail scientifique de la pensée, que nous avons choisi comme sujet de ce discours d'ouverture, la lutte pour l'eau et la lutte contre l'eau en Valais, et plus spécialement l'exposé de ce long drame qui s'est déroulé à travers les siècles : la lutte entre l'homme et le Rhône. Question géologique intéressante, car le Rhône valaisan est le principal artisan de ce paysage qu'il continue à sculpter, usant les roches, emportant grain par grain la pierre de nos Alpes; question de géographie humaine aussi, car de tous temps le Rhône a exercé une influence déterminante sur la population; question d'une portée économique immense, expression du travail des Valaisans et de la solidarité entre les montagnards et les habitants de la plaine, expression de solidarité confédérale aussi.

La lutte pour l'eau en Valais

Le climat sec qui caractérise la vallée du Rhône à l'amont de Martigny, oblige les Valaisans à lutter pour avoir de l'eau. L'irrigation est assurée par des canaux « les Bisses »; on en compte

environ 300 ayant une longueur d'environ 2000 km. Le plus long, celui de Saxon, a 32 km.

Leur origine est inconnue, on a des données depuis le XII^{me} siècle : ils ont dû prendre naissance peu à peu, à mesure que la population augmentait et que les besoins devenaient plus grands. Les montagnards étaient parfaitement capables de créer eux-mêmes de simples fossés, rendus aussi imperméables que possible, courant à travers les prairies et les forêts. Plus tard, poussés par le besoin, ils ont été amenés peu à peu à franchir des rochers; ils ont alors inventé une foule de systèmes parfaitement adaptés aux conditions si variées de ces roches; ces créations sont nées de l'observation de la nature, non pas par des hommes de science, mais par de simples montagnards, privés d'instruments. C'est pourquoi les bisses expriment bien l'intelligence, la patience réfléchie, la volonté opiniâtre des montagnards.

Ils ont utilisé la pierre et le bois, deux matières qu'ils avaient en abondance. Tantôt la conduite est formée par des pièces de bois évidées, en forme de chénaux; pour un débit plus grand on a imaginé de réunir des planches épaisses; leur étanchéité est obtenue de différentes manières, souvent par des branchettes de sapin avec leurs aiguilles.

Le soutien de la conduite contre les rochers est assuré par des murs, des aspérités de rochers, des poutres, simples ou doubles, fixées aux rochers dans des creux carrés, taillés au ciseau, de 20 cm. de côté, 15 à 20 cm. de profondeur, serrées par des lames de mélèze sec, qu'on enfonce plus ou moins suivant la contraction du bois. Pour la même raison, toutes les articulations sont formées par des chevilles en bois. Nul souci d'alignement ou de régularité.

La surveillance exige un passage pour le gardien : il est aménagé tantôt sur la conduite, tantôt à côté par une simple planche.

Au moment de la mise en charge, en printemps, les planches sont disloquées; pour assurer un bon colmatage on a imaginé divers procédés : le plus original est celui des Saviésans qui mélangaient des aiguilles de sapins, de la terre de forêt avec de l'eau pour en faire une bouillie épaisse que des hommes retenaient eux-mêmes en se plongeant dans le lit même du bisse.

La plupart des bisses ont conservé leurs caractères pendant quatre ou cinq siècles. Quelques-uns ont été remplacés par des tunnels comme à Visperterminen, Savièse, Ried-Mörel, Montana.

Le fer et le ciment s'introduisent peu à peu dans ces travaux dirigés actuellement par des ingénieurs.

Au point de vue social et ethnographique, les bisses exercent une grosse influence. Ce sont des associations de citoyens intéressés qui les ont construits, sans aucun subside; leur administration, leur usage et leur entretien donnent lieu à des coutumes innombrables.

C'est à ces titres divers que les bisses intéressent les naturalistes.

La lutte contre l'eau en Valais

Etrange ironie ! les Valaisans ont à lutter non pas seulement pour l'eau, mais aussi contre l'eau et cela sur des terrains voisins, quand ce n'est pas sur les mêmes terrains.

La lutte contre l'eau ! Elle se résume, en Valais, dans la lutte contre le Rhône et ses affluents. Drame grandiose et émouvant entre l'homme et le fleuve dont nous voudrions évoquer les phases principales.

Abrégé de l'histoire géologique du Rhône valaisan

(d'après E. GAGNEBIN)

« La vallée du Rhône telle que nous la voyons de nos jours, avec son brusque coude à Martigny, ne s'est pas formée en une fois. Elle est la conséquence d'une longue histoire géologique, certainement fort compliquée, mais encore bien mal connue.

Voici cependant un très bref résumé de ce que les recherches récentes (de LUGEON, ARGAND, PAUL BECK, RUDOLPH STAUB, GAGNEBIN) ont pu établir.

Sitôt après le paroxysme du plissement des Alpes, et à mesure que le faite de la chaîne se soulevait, des cours d'eau ont dû d'abord s'établir sur les deux versants, nord et sud, de ce bombement primitif, donnant lieu à des vallées transversales. Ceci se passait à l'Oligocène, il y a 25 ou 30 millions d'années, et le faite de la chaîne était sur les Alpes pennines. Ainsi les vallées transversales ont précédé les vallées longitudinales du Rhône et du Rhin.

La puissante masse de poudingue du Pélerin sur Vevey, est le delta d'un premier Rhône oligocène, établi entre les deux arcs des Préalpes. Des rivières drainant le massif de la Dent Blanche,

suivant le Val d'Hérens et le Val d'Anniviers, devaient utiliser la dépression du Rawyl et la haute Simme pour déverser leur delta au Guggisberg, au SE de Fribourg. Les conglomérats de Ralligen, près de Thoune, évoquent soit une ancienne Lutschine, soit un ancien Kiental dont le cours remontait jusque dans les vallées actuelles de la Viège et jusqu'au Simplon.

Mais dès le début du Miocène, probablement, les massifs centraux des Alpes : Aar-Gothard, Mont Blanc-Aiguilles Rouges ont commencé à se soulever à leur tour, barrant la route à la plupart de ces rivières transversales, et c'est alors qu'ont pris naissance les vallées longitudinales du Rhône et du Rhin.

RUDOLF STAUB suppose que ce furent d'abord, pour le Rhône longitudinal, de simples affluents latéraux de la rivière qui coulait par le Rawyl, un affluent de droite arrivant de Brigue et Binnental, un affluent de gauche venant de Saxon et du Val Ferret, rejoint par celui de Martigny et du col de Balme qui remontait jusqu'au delà de Chamonix. Mais nous n'en possédons aucune preuve.

Quoi qu'il en soit, c'est évidemment par un phénomène de capture très ancien, datant du Miocène, que le Rhône transversal préalpin recueillit les eaux de ces vallées longitudinales. Le brusque coude de Martigny est le témoignage manifeste de cette capture. Les cours primitifs qui descendaient du faite des penines avaient passé au rang secondaire d'affluents. Et ARGAND a montré dès 1912 que le faite topographique s'était, au cours de cette histoire, lentement déplacé vers le Nord par rapport au faite structural de la chaîne; autrement dit, les cours d'eau du versant sud avaient tous peu à peu gagné du terrain sur les vallées du versant suisse.

Au Miocène encore, notre Rhône valaisan débouchait dans la mer ou dans les grands lacs qui occupaient le Plateau suisse. C'est tout à la fin du Miocène, lors de la naissance de la chaîne du Jura, que le pays fut à sec. Dès lors PAUL BECK suppose, non sans d'excellentes raisons qu'il serait trop long d'exposer ici, que notre Rhône dirigé par le pied du Jura fut, au Pliocène d'abord, tributaire du Danube, puis de la Saône par la dépression de Belfort, puis du Rhin qui s'établît dans le fossé d'Alsace.

En tous cas ce n'est qu'au Quaternaire (peut-être entre la première et la seconde extension des glaciers) qu'un affluent de

l'Arve qui occupait la vallée du Petit Léman, captura ce Rhône tributaire du Rhin et lui donna son cours actuel. »

Le surcreusement des glaciers rissiens et würmiens ainsi que le remplissage morainique à Genève auraient formé le Léman qui devait alors remonter bien plus haut dans la vallée.

Après le retrait des glaciers würmiens, le Rhône construit un immense cône qui commence à Brigue, remplit peu à peu le Léman et repousse sa limite jusqu'au Bouveret. La profondeur de ces terrains de remplissage, alluvions et moraines, serait actuellement de 300 m. environ à Vernayaz, d'après des mesures de résistivité électrique.

Si le Rhône avait été seul, la pente de son cône serait régulière comme celle des cônes simples, mais les affluents construisent aussi leurs cônes en compétition avec celui du fleuve : on en compte 295 dans la vallée. Leur influence sur le Rhône tient à la grosseur et à l'abondance des matériaux amenés : si le bassin d'alimentation de l'affluent est vaste comme celui de la Dranse, le débit est important, la pente de la vallée relativement faible, la pente du cône est faible ($0^{\circ} 35'$), aussi les matériaux arrivent au fleuve avec un volume réduit. Par contre celui du Bois Noir est construit par un cours d'eau à faible débit, à forte pente, le cône aussi a une pente forte ($5^{\circ} 12'$) et les matériaux arrivent au fleuve avec un volume considérable; celui-ci ne pourra pas les emporter. Les trois plus grands cônes de la vallée : Finges, Chamoson, Bois Noir, ont chacun un bassin d'alimentation à surface réduite; leur grande activité tient à leur pente et aussi à la nature et à la disposition des roches dont la désagrégation est intense.

L'influence des cônes sur le fleuve est double : ils le rejettent contre le versant opposé, l'obligeant ainsi à faire des méandres, et les plus grands apportent des matériaux lourds qui surélèvent son niveau. Ainsi celui du Bois Noir élève le niveau de 30 m., celui de Chamoson de 10 m., celui de Finges de 100 m. Le profil en long du fleuve devient ainsi irrégulier et c'est là un fait d'une grosse importance.

L'éboulement préhistorique de Sierre ne modifie guère le profil en long du fleuve, qui s'est creusé un lit entre ces matériaux calcaires relativement tendres et assez fins, les emportant et les usant; la migration latérale seule est quelque peu troublée.

Le régime du Rhône

Le régime du Rhône dépend de facteurs géographiques, climatiques, géologiques, comme aussi de la couverture végétale.

Les facteurs géographiques assurent au régime du Rhône une individualité remarquable. Le relief exerce une influence presque exclusive parce qu'il est très élevé et très accidenté. Le Valais forme une étroite et profonde gouttière d'une surface de 5220 km², taillée en plein dans la partie la plus élevée des Alpes. L'altitude moyenne du bassin du Rhône valaisan est de 2130 m.

Ces chaînes de montagne forment donc un écran élevé de 3000 à 4500 m. contre les vents méditerranéens du Sud et contre les vents océaniques de l'Ouest et du Sud-Ouest. La partie basse et moyenne du Valais aura de ce fait un climat très sec, tandis que les sommets auront des précipitations abondantes, même très abondantes, encore imparfaitement connues. La chaîne des Alpes pennines moins élevée entre le Simplon et la Furka, permet le passage des nuages venant du Sud qui vont se résoudre en précipitations abondantes contre les grands sommets glacés du massif de l'Aar; la lame d'eau déversée sur ces régions atteint plus de 3 m. La chaîne pennine moins élevée dans la région du St-Bernard permet aussi des précipitations assez abondantes dans le bassin des Dranses.

Vu l'altitude, la plus grosse part des précipitations se fait sous forme de neige, dont une partie se transforme en glaciers; ceux-ci recouvrent 932 km², soit le 17,9 % de la surface totale. Ce phénomène est capital dans la vie du Rhône; on compte que le 50, peut-être le 70 % des précipitations sont retenues sous forme solide.

Facteurs géologiques : les terrains sont très variés, soit environ 75 % de granites et de schistes cristallins, 20 % de roches sédimentaires, 5 % de terrains d'alluvions.

Couverture végétale : Par suite de l'altitude, les forêts qui s'opposent à l'activité torrentielle sont tout à fait insuffisantes; elles ne recouvrent que le 17,9 % de la surface totale.

Le régime du Rhône est donc réglé avant tout par le rythme alternatif de la rétention et de la fusion nivales : les basses eaux sont en saison froide et les hautes eaux en saison chaude.

Les affluents du type glaciaire sont caractérisés par leur maximum de débit en juillet et août : ce sont eux qui influencent le Rhône de la façon la plus décisive. Les émissaires du massif de l'Aar, le plus enneigé, la Massa, le Fiescherbach, le Rhône à Gletsch, constituent la plus grande puissance d'alimentation. Les émissaires des Alpes pennines sont relativement moins importants.

Les affluents du type nival déterminent, en juin, au moment de la fusion des neiges, les plus gros débits moyens mensuels. Ils sont moins réguliers et moins excessifs que les affluents glaciaires.

Nombre d'affluents sont du type glaciaire et nival combiné.

Le régime de ses affluents les plus nombreux fait du Rhône valaisan le plus caractéristique des cours d'eau glaciaires de l'Europe. Depuis sa source jusqu'à Gampel, c'est un fleuve de type glaciaire presque pur, de là au Léman l'influence du type nival atténuée quelque peu son caractère.

Les moyennes de débit de janvier, février, mars à la Porte du Scex ne dépassent pas 51 m³/sec.; le minimum absolu observé en 1905 est de 20 m³/sec. Les moyennes des hautes eaux sont de 413 m³/sec. Les crues s'élèvent à 900 ou 1000 m³/sec., maximum 1083 m³/sec. en 1902. Elles sont dues soit à la seule fusion des neiges et des glaces provoquées par une température élevée et prolongée, activée encore par un vent chaud (1935), soit à la fusion et à de violentes pluies d'orages (juillet 1883, 1902), soit encore, en automne, à de fortes pluies méditerranéennes débordant par dessus les Alpes pennines. Les pluies océaniques apportées par les vents d'Ouest n'atteignent que le Bas-Valais.

Il s'est produit parfois des crues exceptionnelles dues à des ruptures de barrages d'affluents formés par des glaciers : la Dranse au Giétroz, la Viège à Mattmark, le lac de Märjelen à l'Aletsch. Celui-ci pouvait déverser jusqu'à 10 millions 700 m³ d'eau en une trentaine d'heures et élever le niveau du Rhône de 2 m. à Brigue, 0,50 à la Porte du Scex (1878). Les glaciers ayant reculé, ces cas ne sont plus à craindre.

Comparativement à d'autres cours d'eau comme l'Arve, la Durance, l'Ain, le Rhône valaisan est d'une réelle modération, ce qui fait dire à PARDE : « A son entrée dans le Léman, le Rhône est si rustique, si montagnard par sa vigoureuse simplicité. »

Transport des matériaux

La question du pouvoir de transport du Rhône est très importante; les substances dissoutes (sulfates, carbonates de chaux) sont évaluées par PARDE à 944,000 tonnes par an, soit 200 t. par km² et par an, à la Porte du Scex. Ces substances ne provoquent pas d'alluvionnement.

Les matières solides en suspension mesurées par UTRECHT d'avril 1904 à mars 1905 et corrigées par COLLET, atteignent 4,446,234 tonnes, soit 853 t. ou 568 m³ par km².

Parmi les affluents, on connaît le pouvoir de transport de la Dranse à Martigny, étudié de 1909 à 1918. Il varie de 296,000 t. (1913) à 2,162,000 t. (1909), soit en moyenne 1270 t. par kilomètre carré et par an. Le transport si élevé de 1909 est dû à deux énormes vagues de sable provoquées par de brusques vagues de chaleur.

La Dixence à l'amont du barrage transporte 972 t. et la Massa à Naters 954 t. par kilomètre carré et par an.

Les transports de matières en suspension par les cours d'eau de montagne sont difficiles à évaluer; ils varient de jour en jour, parfois d'heure en heure, même à débit égal.

On a encore beaucoup moins de précisions sur le roulement des graviers : il n'existe aucun procédé sûr de mesure directe pendant de longues périodes. La quantité de cailloux que le flot peut ébranler varie suivant la pente, le volume et la vitesse de l'eau, la grosseur et la rugosité des matériaux. Ce n'est guère que par l'accroissement des deltas lacustres qu'on peut se faire une idée de la quantité des matières transportées par roulement : la Linth 62,000 m³, l'Arve 146,000 m³ par an.

Cette question intéresse aussi le remplissage des bassins d'accumulation : M. Lugeon l'a étudiée pour l'usine de Chèvres sur le Rhône français. Les chasses opérées pour vider les alluvions ont montré que, pour un débit de 600 m³ en 64 heures, on se débarrasse d'une masse équivalente à deux années d'alluvionnement, 235,500 m³.

Il se forme parfois un vrai pavage du lit, le sable fin s'intercale entre les galets et le tout forme un béton résistant sur lequel le courant a peu d'action.

Intervention de l'homme

Nous ne savons pas au juste quand les premiers hommes ont pénétré en Valais. De rares stations magdaléniennes ont été trouvées dans la vallée du Rhône, à Veyrier au pied du Salève et à la grotte du Scé près de Villeneuve. Aucune trouvaille paléolithique n'a été faite en Valais. Par contre, les stations néolithiques sont nombreuses : les sépultures de Glis, une pointe de lance au Bettlihorn nous indiquent que le Valais supérieur était habité. Ces Néolithiques étaient sans doute des chasseurs venus par la vallée et par les cols; ils ont trouvé le pays recouvert de forêts, mais ils connaissaient déjà les plantes cultivées, comme le blé; ils avaient quelques animaux domestiques : le chien, la vache, la chèvre, le mouton. Ils ont donc défriché peu à peu les forêts afin de se procurer une nourriture plus assurée, s'installant sur les versants, là où la pente le permettait et où la terre arable favorisait les cultures. Ils n'ont pas manqué d'utiliser de très bonne heure les pâturages situés au-dessus des forêts, parce qu'ils fournissaient à leur bétail une nourriture excellente pendant tout l'été, sans avoir à défricher des forêts, ce qui devait être difficile avec le peu d'instruments qu'ils possédaient.

Dans la plaine, les hommes se sont installés sur les cônes d'alluvions parce que ces terrains, plus élevés, à l'abri des inondations du fleuve et des marécages, étaient plus favorables, et aussi parce qu'ils pouvaient utiliser la force de l'eau et avaient une ouverture sur la vallée. Il n'y a que quelques exceptions comme Massongex, Saillon, Granges, Sierre, Loèche-Ville.

A cette époque, le Rhône était tout à fait libre, étalant ses eaux sur toute la plaine, sans cependant la recouvrir entièrement, sauf pendant les crues. Il se formait un ou plusieurs lits naturels qu'il suivait parfois pendant de longues années, si bien que la végétation pouvait s'établir et prospérer sur de vastes étendues. Le vent local qui remonte la vallée pendant la bonne saison soulevait le sable et formait des dunes ayant jusqu'à une trentaine de mètres de haut, tandis que la fine poussière allait retomber sur les versants pour former le loess. C'est surtout peu après le retrait des glaciers que le loess s'est déposé, alors que les surfaces dénudées étaient plus grandes.

La population augmentant, le désir et le besoin d'utiliser ces terrains étaient bien naturels. On se représente sans peine l'atti-

tude des hommes de cette époque devant le fleuve : ses grandes crues assez fréquentes devaient leur donner l'impression que le Rhône est une force contre laquelle l'homme ne peut rien. Ils ont dû le regarder tout à la fois comme marécageux, inabordable, généreux, fertile, créateur et destructeur. De timides essais d'endiguements locaux, couronnés de succès temporaires, marquent les débuts de la lutte entre l'homme et le fleuve.

Phase de lutte individuelle offensive pour les voisins

Sur cette longue période qui a duré depuis les débuts des installations humaines dans la vallée du Rhône jusqu'en 1863, nous ne savons que peu de choses. Les chroniques relatent, très brièvement, des inondations causant des dommages aux moissons, ce qui prouve que certains terrains de la plaine étaient déjà cultivés. La plus ancienne date de 580 : « Eo anno, mense octobre, ita in Wallensi territorio, Rhodanus exundavit ut copias messium denegaret. » (Chronique de Marius d'Avenches.) On ne sait plus rien pendant de longs siècles; en 1086, la fonte des neiges provoque une inondation de toute la plaine. Nouvelles inondations en 1338, 1459 et surtout 1469. Au XVI^me siècle, c'est 1521, puis les grandes inondations de la Dranse en 1545 et 1595; celles de la Viège de Saas en 1589. En 1546, la Diète se préoccupe de diriger le Rhône « en droiture », elle ordonne à la commune de Martigny d'avoir à conduire la Dranse à l'aval du tournant des Follaterres.

Au XVII^me siècle, on signale les inondations de 1610, 1620 et celle de 1640 qui avait enlevé tous les ponts sauf ceux de Grenchols, de Mörel et de St-Maurice. En 1636, le torrent de la Mare (St-Barthélemy) forme un barrage au Bois Noir, les routes furent rendues impraticables jusqu'à Riddes par suite du refoulement du Rhône. En 1602, la Diète fixe la largeur du lit du Rhône à 80 toises (185 m.).

Au XVIII^me siècle, c'est la Vièze qui cause de graves dégâts à Monthey en 1726 et 1733; on lui avait creusé un nouveau lit, mais insuffisamment solide. Le Rhône déborde en 1713, 1778; le lac de Mattmark se vide plusieurs fois, causant de gros ravages dans la vallée de Saas.

A la conférence d'Aigle en 1756, les Etats riverains décident de faire dresser un plan du Rhône pour mettre fin aux conflits perpétuels occasionnés par le limitage du lit. Le rapport des géo-

mètres donne les premières considérations techniques touchant une exécution plus méthodique des travaux de défense et l'exhaussement des parties basses par le colmatage. Les experts demandent le rétrécissement du lit à 40 toises (32,5 m.) et le redressement du cours.

Le XIX^m siècle est marqué par la grosse inondation de la Dranse, causée par la rupture du barrage du glacier de Giétroz en 1818 et par les inondations du Rhône en 1834, 1839, 1855 et surtout celle de 1860 qui furent désastreuses.

On voit que les inondations jalonnent de dates sinistres l'histoire du fleuve : moments tragiques où le tocsin lançait ses appels alarmants à travers la vallée.

Jusqu'au XIX^m siècle, la lutte contre le Rhône était organisée par les communes, sans aucun plan d'ensemble; on s'efforçait de se préserver en rejetant le fleuve sur le côté opposé. Les digues étaient constituées le plus souvent par des arbres et des fascines chargées de terre et de graviers, parfois avec des épis en fascines aussi. Ces travaux étaient plus importants qu'on ne le croit : à Rarogne, sur 3,5 km., les ouvrages étaient à peu près identiques à ceux de la correction générale. Entre St-Léonard et Sierre, les digues étaient nombreuses mais trop faibles, avec un couronnement trop étroit (1 m. à 1,50 m.), ne pouvant pas servir de chemin pour conduire les matériaux de réparation des brèches. La section entre Ardon et la Dranse était celle où on avait le moins digué; tandis qu'entre Massongex et le Léman, sur 22 km., on comptait le plus d'ouvrages de défense. Leur entretien coûtait environ fr. 250,000 par an, somme énorme pour l'époque. Le manque de plan d'ensemble était la grande lacune : au moment des crues, les eaux débordaient sur un point faible et prenaient les digues à revers.

Dès le début du XIX^m siècle, la lutte contre le fleuve se précise; on sent le besoin de s'unir; les députés des communes de Riddes à Martigny se réunissent devant le Conseil d'Etat; on discute du rétrécissement du lit du fleuve, de sa correction, on constate la difficulté d'entretenir les ponts et les routes, les députés font appel à l'Etat pour supporter les frais d'un endiguement général. Toutes ces discussions aboutirent à la loi de 1832 qui donnait à l'Etat le pouvoir d'imposer aux communes les travaux les plus indispensables, mais les communes devaient en supporter les

frais. Les travaux continuèrent à être exécutés sans corrélation, l'entente était difficile, le Rhône formant limite entre les communes se déplaçait, donnant lieu à des conflits nombreux.

Cependant, depuis le milieu du XIX^{me} siècle, une lente évolution se produit dans les esprits, on comprend le besoin de l'union de tous, sous l'autorité de l'Etat, on se rend compte de la nécessité de rectifier le lit du fleuve, de le rétrécir; vers 1820, on avait coupé la boucle du Rosel, le terrain était préparé pour entreprendre le grand œuvre.

Endiguement général et correction du Rhône

C'est le Rhône lui-même qui va provoquer la décision par ses inondations de 1860; elles furent si graves que la population et les autorités comprirent qu'il fallait prévenir le retour de semblables catastrophes.

Un projet de correction et d'endiguement avait été élaboré par l'ingénieur Ignace Venetz qui mourut en 1859. Les ingénieurs valaisans de Torrenté, Chappex et François Venetz fils, les ingénieurs fédéraux Hartemann et Blotnizky l'acceptèrent, après quelques modifications. Le système adopté consiste à contenir le fleuve entre deux levées parallèles ou arrière-bords (douve), distantes de 70 à 120 m. l'une de l'autre, suivant la section à obtenir, à mesure qu'on se rapproche de l'embouchure. Ces digues sont revêtues de perré sur le talus du côté fleuve et sont consolidées par des éperons ou épis se faisant face et perpendiculaires à l'axe du fleuve, à chaque 30 m. Ces éperons en maçonnerie sèche s'enracinent à la digue longitudinale, ont une pente de 20 %, leur tête est assujettie au sol du lit par des pilotis. La distance laissée libre entre la tête des éperons est de 30 m. à Brigue et s'agrandit jusqu'à 60 m. près du lac. On créait ainsi un lit mineur pour les basses eaux et un lit majeur pour les hautes eaux. On espérait qu'un colmatage se produirait entre les épis, protégeant les arrière-bords.

Ce système d'éperons, que l'on n'a pas adopté pour l'endiguement du Rhin, ni sur la rive vaudoise du Rhône, souleva de sérieuses objections que le rapport de la Commission du Conseil des Etats relève. Il cite l'opinion du professeur E.-R.-F. CULMANN qui en conteste l'utilité, disant qu'on les a adoptés en Valais parce qu'ils étaient déjà en usage. En réalité, CULMANN dit que ce sys-

tème s'est montré excellent sur le domaine d'I. Venetz qui l'avait appliqué, en petit, ainsi qu'en beaucoup d'autres endroits au-dessous de Monthey et à Rarogne. « C'est à peine si nous osons dire, dit-il, que nous ne sommes pas complètement d'accord avec ce système. La raideur et la rigidité de ces ouvrages ne correspondent pas au mode de construction reconnu le meilleur sur les grandes rivières d'Allemagne. » Craignant des affouillements, ce qui nécessiterait des fondations profondes et trop coûteuses, il préconise les fascinages qui ne s'écroulent point comme les murs, mais s'affaissent et comblent les gouffres à mesure qu'ils se produisent. Leur succès a été démontré en Valais, en Suisse et surtout sur le Rhin, le Danube, l'Elbe, le Weser. Il réfute l'objection de leur peu de durée et de leur défaut de liaison en disant que les hautes eaux du Rhône arrivant en été les enlimeraient et les conserveraient. Pour finir, il hésite entre les deux systèmes et conseille pour le Valais les solides constructions qu'on a proposées. CULMANN semble donc redouter surtout les affouillements qui ne se sont guère produits et ne parle pas des atterrissements qui ont été très graves.

Citons encore à ce sujet le témoignage du célèbre géographe JEAN BRUNHES en 1910 : « Les merveilleux travaux d'endiguement du haut Rhône, qui restent l'une des œuvres modèles à l'honneur de la Suisse du XIX^{me} siècle, constituent l'un des témoignages les plus intelligents et les plus éloquents en faveur de cette puissance humaine de domestication et de domination des forces naturelles. »

Nous pensons que l'adoption des épis a été influencée par la grande crainte qu'on avait alors de ne pouvoir tenir les digues; cette crainte a fait passer au second plan le problème non moins important du transport des matériaux. Quoique ce système se soit révélé défectueux et qu'il faille le modifier aujourd'hui, nous voudrions rendre hommage à son principal artisan, I. Venetz, homme remarquable par son esprit scientifique et par ses qualités d'observateur de la nature.

La seconde partie des travaux consistait à corriger le cours du fleuve pour éviter le danger des courbes et donner plus de vitesse au courant. L'opposition tenace de la commune de Saillon empêcha l'importante correction prévue entre Saillon et Saxon, faute très grave dont les conséquences n'ont pas tardé à se faire

sentir. Peu de corrections ont été faites du lac à Loèche. De Loèche à Brigue, une entente étant intervenue pour combiner le chemin de fer en construction et l'endiguement, le cours du fleuve fut corrigé sur tout son parcours.

On se rendait compte de la grande influence des torrents sur l'alluvionnement du Rhône, on entreprit des travaux d'endiguement dans les vallées et on réorganisa l'administration des forêts. Entreprises justifiées; cependant, il semble qu'on ait ignoré que la plus grande partie des matériaux provient des immenses surfaces dénudées, au-dessus de la limite supérieure des forêts, là où la désagrégation des roches est très active et les dépôts morainiques abondants. L'endiguement des torrents diminue l'affouillement, mais augmente le pouvoir de transport en concentrant le courant. CULMANN préconisait de gros barrages pour retenir les alluvions dans les vallées : la quantité retenue ainsi serait insignifiante par rapport à la masse transportée.

Les conséquences de l'endiguement général

On avait espéré que les eaux concentrées entre les têtes d'épis auraient une vitesse suffisante pour entraîner les matériaux jusqu'au lac. On ne tarda pas à constater que des courants complexes se formaient entre les épis, empêchant le colmatage, et que les têtes d'épis restant à découvert réduisaient la force d'entraînement. Les levés montrèrent que le plafond du fleuve s'exhaussait. On ne tenta pas d'abord de diminuer la section trop grande, mais on se borna à draguer les endroits où les atterrissements étaient les plus sensibles et on éleva les digues en 1877, 1883, 1884. Durant la période de 1885—1893, on tenta de rétrécir la section en prolongeant et en exhaussant les épis. On constata de bons effets, mais insuffisants. Le fleuve en était arrivé à couler au-dessus du niveau de la plaine. Une première conséquence de ce fait fut la difficulté de tenir les digues au moment des crues : elles cédèrent en 1866, 1868, 1873, 1883, 1896, 1897, 1920, 1935.

Il y eut d'autres conséquences non moins graves : il fallut élever les digues des affluents, des filtrations se produisirent dans le Rhône, moins importantes à vrai dire qu'on ne l'a prétendu, car il se forme une certaine imperméabilisation du lit; les eaux de source, surgissant à la base des versants ou dans les alluvions de la plaine, et les eaux d'arrosages, jetées sans mesure sur certains

cônes d'alluvions, ne purent plus pénétrer dans le fleuve, et la plaine se transforma de plus en plus en marécages.

Assainissement de la plaine

En 1873 déjà, l'Etat du Valais établit un projet d'assainissement : il s'agissait ou bien d'élever le niveau de la plaine par le colmatage ou bien d'abaisser le niveau de la nappe souterraine.

Colmater les bas-fonds par les eaux du Rhône chargées d'un limon excellent eût été une bonne solution. Elle avait été étudiée avec soin par I. Venetz; en 1851, il décrivait un système d'écluses en cheminée, inventé par lui-même, qu'il avait expérimenté avec succès sur son domaine à l'aval de la Dranse. Ces écluses prenaient l'eau en profondeur, car elle est plus chargée de limon. On fit quelques bonnes expériences, on prit des décisions, on établit des lois, jamais on ne réussit à triompher de la résistance des particuliers qui ne pouvaient se résoudre à sacrifier des avantages immédiats pour une amélioration lointaine. La grande crainte atavique du Rhône a peut-être joué son rôle aussi.

Restait l'abaissement du niveau de la nappe souterraine pour permettre les cultures. On pouvait compter sur la couverture végétale, les peupliers surtout qui évaporent une grande quantité d'eau. Ce n'était toutefois pas suffisant.

On adopta la solution des canaux que l'on creusa parallèlement au Rhône, les faisant passer en tunnel sous les affluents pour aborder au fleuve très loin vers l'aval. En voici les principaux :

Le canal Stockalper, établi de 1651 à 1657, entre Collombey et Vouvry, pour fr. 17,000, dans l'intention de le rendre navigable, fut prolongé jusqu'au lac en 1873, lui donnant une longueur de 14,800 m. La correction actuelle (1931—1942) coûte fr. 1,400,000 pour assainir 1274 ha. Son débit atteint 7,8 m³/sec. Des canaux secondaires et des drainages sont nécessaires, car les terrains argileux et tourbeux de cette région sont beaucoup moins perméables que ceux du Valais central.

Le canal Riddes—Martigny fut creusé en 1874 dans la plaine de Martigny. Entre 1918 et 1922, on augmente sa section, on le prolonge jusqu'à Riddes, ce qui lui donne une longueur de 16,000 m.; avec les canaux secondaires, il atteint 39,770 m. La surface assainie est de 1580 ha., son coût s'est élevé à fr. 5,300,000.

L'assainissement de la plaine sur la rive droite, entre Leytron et Fully, présentait des conditions spéciales. A Saillon surgissent les sources de la Sarvaz donnant, pendant la fusion des neiges en montagne (juin-juillet) environ 5 m³/sec. En 1873, on creusa un canal de 2000 m. sur la commune de Fully; comme il n'aurait pas pu contenir toutes les eaux, on établit une digue à l'aval des sources de la Sarvaz pour retenir ces eaux et les conduire au Rhône. La plaine formait là un vrai lac, la « Grande Gouille ». En 1911—1924, on prolonge le canal par deux tunnels sous l'arête des Follaterres, on augmente sa section, on le continue jusqu'à Saillon, lui donnant une longueur de 12,800 m. pour un coût de 2,000,000 de francs. Le débit est de 9 m³/sec. avec la Sarvaz. La Grande Gouille est ainsi asséchée et devient le domaine actuel de la Sarvaz. Cependant, la section actuelle du canal est à peine suffisante, le projet de conduire les eaux de la Sarvaz au Rhône est de nouveau à l'étude.

Le canal Sion—Riddes fut construit en 1875—1883. Entre 1920 et 1938, on le prolonge à l'aval jusqu'à la Salentze, et à l'amont jusqu'à Sion; il atteint 14,120 m. pour un coût de fr. 1,800,000.

La région d'Uvrier-Bramois est assainie par une série de canaux dont l'un passe en siphon sous le Rhône (1915—1938).

Dans le Haut-Valais, on avait construit deux canaux en 1873—1880; ils circulaient par de nombreux méandres, suivant les parties les plus basses. Parmi les nombreux canaux de notre époque, nous citerons celui de Viège-Rarogne, avec une longueur de 11,700 m. et un coût de fr. 2,900,000.

On peut distinguer deux périodes dans les canaux d'assainissement : celle de 1873—1885, durant laquelle on construisit tous les canaux principaux; effort très remarquable, eu égard aux moyens techniques et financiers dont on disposait. Puis la période de 1911—1942, durant laquelle on agrandit et construisit des canaux pour une somme d'environ 15 millions de francs, ce qui représente aussi un grand effort de la part du peuple valaisan. Les difficultés n'ont pas manqué : les canaux devant assainir une plaine à niveaux variables, les parties les plus hautes et les plus perméables souffrirent de la sécheresse. Après avoir fait des travaux coûteux pour enlever l'eau, il fallut en faire d'autres pour ramener de l'eau, ce qui, on le conçoit, devait être accepté diffici-

lement par les intéressés. La répartition des frais entre les communes et les particuliers, suivant la plus-value variable des surfaces assainies, ne se fit pas sans beaucoup de contestations.

Jusqu'à la fin du XIX^me siècle, les vastes surfaces marécageuses de la plaine du Rhône abritaient une grande abondance d'Anophèles, moustiques porteurs des hématozoaires de la malaria. Les régions les plus atteintes étaient Vouvry-Bouveret et Fully-Saxon. Vers 1890, le paludisme avait disparu du Valais comme de la Suisse. L'endiguement du Rhône et les canaux d'assainissement ont probablement exercé une certaine influence, cependant les surfaces marécageuses restaient très grandes et les Anophèles abondants. Les vraies causes de la disparition de la malaria ne nous paraissent pas établies.

Avant son assèchement et sa mise en culture, la plaine du Valais présentait un grand intérêt scientifique. La faune était très riche, celle des oiseaux aquatiques en particulier. La couleuvre vipérine, la belle couleuvre Zamenis aujourd'hui disparues, voisinaient alors avec de nombreuses couleuvres à collier. Les poissons abondaient. La flore, très hygrophile, était d'une richesse extrême, beaucoup d'espèces ont disparu ou sont en voie de disparition.

Au point de vue de l'esthétique du paysage, ces régions avaient une grande beauté. A perte de vue des bosquets de hautes vermes touffues, de vénérables saules, de vieux bouleaux, des étangs couverts de nénuphars et bordés de roseaux, des gouffres aux eaux limpides, des bras secondaires du Rhône aux eaux grises, et ce vent qui remonte la vallée, courbant tout devant lui au point que les arbres restent inclinés, « dans l'attitude d'une fuite éperdue » (DAUDET).

Rétrécissement de la section du Rhône

Plus l'assainissement de la plaine avançait, plus la question de l'exhaussement du lit du fleuve devenait importante et angoissante. On ne possède aucune mesure précise sur le plafond du lit du Rhône avant 1892, depuis on a fait plusieurs relevés. Voici quelques données :

Profil 10 D, section corrigée en 1928, entre le pont de Doré-naz et l'embouchure de la Dranse : 1892 : 453,10; 1928 : 453,74; 1938 : 453,13; 1939 : 452,97; 1941 : 452,89.

Profil 35, section corrigée, environ 350 m. à l'amont du pont de Branson : 1892 : 456,16; 1928 : 456,42; 1941 : 455,62.

Profil 26 : section corrigée, environ 450 m. aval du pont de Fully : 1894 : 458,05; 1932 : 458,62; 1941 : 457,40.

Profil 19 : entre les sections I et II, environ 1300 m. en amont du pont de Fully : 1894 : 459,60; 1932 : 460,46; 1941 : 460,12.

Profil 8, section II corrigée, environ 950 m. aval du pont de Saillon : 1894 : 462,09; 1932 : 463,02; 1941 : 461,64.

Pont de Saillon, entre II et III : 1894 : 463,64; 1936 : 464,61; 1941 : 464,21.

Pont de Leytron, III, non corrigée : 1893 : 467,91; 1936 : 468,28; 1941 : 467,41.

Profil 16 b. III, non corrigée, environ 1000 m. à l'amont du pont de Riddes : 1892 : 469,99; 1935 : 471,27; 1941 : 470,42.

Profil 7 bis, à la Lizerne, 3,8 km. à l'amont de III, la correction vient d'être mise en chantier : 1892 : 474,84; 1935 : 476,13; 1941 : 475,92.

Profil 2 bis, V, corrigée 150 m. amont de la Morge : 1892 : 477,83; 1935 : 479,45; 1941 : 478,31.

Pont d'Aproz, V, corrigée : 1892 : 478,39; 1935 : 479,19; 1941 : 478,51.

Profil 1, sommet de V, corrigée, 500 m. amont du Pont d'Aproz : 1892 : 479,22; 1936 : 480,39; 1941 : 479,22.

Profil 42, entre V et VI, 1700 m. amont du pont d'Aproz : 1892 : 480,42; 1936 : 481,41; 1941 : 481,32.

Profil 40, VI corrigée, 1250 m. aval du pont de Sion : 1892 : 483,22; 1936 : 484,51; 1941 : 483,32.

Profil 38 bis, entre VI et VII, 500 m. aval du pont de Sion : 1892 : 483,95; 1936 : 485,74; 1941 : 485,20.

Profil 33 entre VI et VII, 100 m. aval de la Borgne : 1891 : 487,97; 1935 : 488,98; 1941 : 488,68.

Profil 28, VII, corrigée, 1100 m. aval du pont de St-Léonard : 1891 : 492,96; 1935 : 494,08; 1941 : 492,48.

Profil 17, VIII, corrigée, 400 m. aval du pont de Granges : 1891 : 502,08; 1938 : 503,78; 1941 : 502,08.

Profil 15, VIII, corrigée, 400 m. amont du pont de Granges : 1891 : 504,00; 1939 : 505,29; 1941 : 503,52.

Profil 10, environ 1 km. amont de VIII : 1891 : 507,09; 1938 : 508,09; 1941 : 507,32.

D'après une moyenne de 20 profils, l'élévation du plafond du Rhône dans le Valais central entre 1892 et 1932 est de 1 m. 04.

Pour le Bas-Valais, entre St-Maurice et le Léman (22 km.), on constate de légers exhaussements entre Massongex et Collombey et vers l'embouchure de la Grande Eau, et de légers approfondissements de Chessel au lac; dans l'ensemble, le plafond du fleuve est à peu près stable. Voici quelques profils :

Profil km. 1 : 1896 : 370,56; 1934 : 370,74; 1942 : 370,20.

Profil km. 6 : Pont de Chessel : 1896 : 375,16; 1934 : 374,95; 1942 : 374,85.

Profil km. 12,400 : Pont d'Illarsaz : 1896 : 381,03; 1934 : 381,36; 1942 : 381,42.

Profil km. 17,600 : Pont de Collombey : 1896 : 386,89; 1934 : 387,46; 1942 : 387,35.

Profil km. 22,000 : Pont de Massongex : 1896 : 394,10; 1934 : 394,21; 1942 : 394,11.

Les moyens de lutte contre cet état de choses furent étudiés spécialement en 1898 dans un rapport de la commission nommée à cet effet, composée de MM. de Stockalper, Zen-Ruffinen, de Rivaz. Le rapport dit qu'une augmentation de la pente du Rhône pourrait être obtenue par la coupure des méandres, l'abaissement du seuil du Bois Noir, le rétrécissement de la section. Mais ces moyens sont résolument écartés comme insuffisants ou irréalisables. Pour l'abaissement du seuil du Bois Noir, préconisé déjà en 1863 par Culmann, la commission dit : « Il serait téméraire de supprimer d'une manière permanente des gradins qui sont le résultat d'un équilibre obtenu par la suite des temps entre le pouvoir d'affouillement du Rhône et le pouvoir atterrissant d'affluents aussi torrentiels que le St-Barthélemy. » Un argument aussi peu scientifique nous étonne.

La commission pense que le rétrécissement du lit est impossible pratiquement, « car », dit-elle, « à tout rétrécissement correspond une augmentation dans la hauteur de la colonne d'eau, et ce moyen irait à l'encontre du résultat cherché qui est au contraire d'abaisser le niveau des hautes eaux ». On semble donc avoir ignoré l'augmentation de la vitesse de l'eau avec la concentration. La régularisation et la diminution des apports des affluents apparaissent comme la question principale dominant tout le débat. Pour rétablir l'équilibre entre le niveau de la plaine et

le plafond du lit du Rhône, on ne voit, en définitive, qu'un moyen: le colmatage.

Les années passent, le plafond du fleuve continue à s'élever, l'idée de rétrécir la section mûrit dans les esprits. On sait que le poids des cailloux que le flot peut ébranler varie en raison de la sixième puissance de la vitesse. Ce qui montre qu'on peut améliorer les conditions d'écoulement des graviers avec une augmentation relativement faible de la vitesse. On sait que la vitesse au fond n'est que la moitié de celle de la surface, qu'une vitesse de 2 m. au fond suffit pour déplacer des galets de 20 cm. de côté.

En 1928, l'Etat du Valais décide d'entreprendre une expérience de rétrécissement à Dorénaz. Puis une seconde à Viège en 1930. Ce projet comportait la construction, sur les deux rives, de forts cordons en gros enrochements en vrac reliant les têtes d'épis, s'élevant à 60 cm. au-dessus des épis à Dorénaz, à 1,20 m. à Viège. On créait ainsi un lit mineur capable de recevoir les hautes eaux moyennes, en les concentrant dans une section de plus grande hauteur et on éliminait les remous causés par les épis. Pour faciliter le colmatage entre les cordons d'enrochement et la digue insubmersible, on établit des traversières en pierre et en fascines; plus tard, on remplissait le vide avec des matériaux dragués.

Les résultats furent réjouissants et montrèrent que l'influence de la section corrigée se faisait sentir à plusieurs kilomètres en amont et que les matériaux emportés de la section corrigée ne se déposaient pas à l'aval dans le lit non modifié.

A la suite de ces expériences, on établit un projet de rétrécissement de 8 sections de 1,5 à 3 km., réparties de la manière suivante :

- I. Du pont de Branson au pont de Fully.
- II. De l'ancien pont de la Solverse jusqu'en amont du domaine de la Sarvaz.
- III. Du pont de Saillon jusqu'à 1 km. en amont du pont de Riddes.
- IV. A l'embouchure de la Lizerne (1 km. en amont, $\frac{1}{2}$ km. à l'aval).
- V. A l'embouchure de la Morge et de la Prinze.
- VI. A Chandoline près de Sion.
- VII. De l'embouchure de la Borgne au pont de St-Léonard.
- VIII. Du pont de Granges (1,5 km. à l'aval, 1 km. à l'amont).

La crête de l'enrochement est fixée à 2 m. au-dessus de l'étiage.

Le 29 juin 1935, des inondations eurent lieu dans la région d'Ardon. La digue de la Morge étant de 50 à 60 cm. plus basse que la digue du Rhône, à l'embouchure, les eaux de l'affluent débordèrent, la digue fut rompue et le Rhône se précipita par le lit de la Morge, faisant brèche en l'agrandissant rapidement vers l'aval. Ce fait contribua à faire accepter le projet de rétrécissement du lit du fleuve. Ces travaux sont actuellement à peu près terminés et on a déjà des résultats intéressants. Les profils établis en 1941 montrent que l'influence du rétrécissement se marque par un abaissement du plafond allant de 1,14 m. à 1,85 m., soit pour une moyenne de 11 profils 1,5 m. En dehors des sections corrigées, l'abaissement ne se prolonge que très peu vers l'aval; par contre il se fait sentir assez loin vers l'amont, par exemple à Aproz sur environ 1 km., au pont de Sion sur plus de 2 km.

Il est certain que le système adopté est excellent, la difficulté réside dans les dimensions à donner à la section suivant la pente, le volume d'eau variable et la grosseur des matériaux que le fleuve transporte. Trouver le juste équilibre entre tous ces facteurs en sorte que tous les matériaux soient transportés jusqu'au Léman, reste un problème très difficile. Nous nous demandons si, au lieu de faire à peu près en même temps tous les travaux des 8 sections, il n'eut pas été plus sage de n'en faire qu'une partie, d'attendre quelques années pour constater les résultats et de reprendre le travail en tenant compte des expériences acquises ?

Les matériaux amenés dans le fleuve par les affluents ont une grosseur variable. L'usure générale des graviers en marche est très grande : les galets de roches sédimentaires ne tardent pas à disparaître; les galets de roches cristallines sont usés plus lentement. On ne possède pas de mesures précises pour le Rhône. On peut penser, d'après de Lapparent, que 5 à 10 km. peuvent suffire pour réduire en sable des galets de 20 cm. Sur la Mur, des observations faites par Hochenburger montrent que 43 km. et sur le Rhin 55 km. d'après Sternberg, sont nécessaires pour user des galets de moitié. Fayol, pour des torrents des environs de Commentry, a constaté qu'un parcours de 10 à 12 km. détruit à peu près des galets de granit micachisteux de 20 cm. Le Suédois Erd-

man a montré par des expériences que le granit s'use à raison de 0,30 à 0,42 % par kilomètre de transport.

Le projet d'abaisser les seuils du Bois Noir et du Bois de Finges, si intéressant parce qu'il consacrerait la victoire définitive de l'homme dans le Valais intérieur, se trouve éliminé actuellement par le fait des barrages pour usines hydro-électriques.

Ajoutons qu'on peut inscrire parmi les bienfaits des eaux du bassin valaisan du Rhône la production électrique annuelle de 1 milliard 592 millions de kilowatts/heure, soit le cinquième de la production suisse.

Les frais pour la correction du Rhône atteignent aujourd'hui environ 23 millions, sans compter les frais d'entretien. Avec les frais d'assainissement, c'est plus de 40 millions que la lutte contre l'eau a coûté dans la plaine du Valais.

Les travaux de rétrécissement et d'élévation des digues ont amené l'abattage général des peupliers. On les avait plantés sur le talus extérieur des digues pour les consolider, pour avoir au besoin des arbres sur place pour fermer une brèche, pour évaporer l'eau de la nappe souterraine et faire baisser son niveau, pour briser le vent local qui remonte la vallée et fait du tort aux cultures, et enfin parce que ces arbres aux fûts élancés étaient beaux et formaient à notre fleuve un cadre magnifique. Que d'artistes, que de touristes et d'amis de la nature ont été attirés en Valais par cette splendide association du Rhône et des peupliers ! « Ces colonnes végétales alignées le long de l'eau donnaient l'impression de parcourir un de ces cloîtres à colonnes géminées où le recueillement s'accompagnait d'une grâce exquise. Elles changeaient de couleur et d'aspect avec les saisons : au printemps, elles sont légères comme des amazones, dans leur parure vert tendre; l'été, elles s'habillent d'un uniforme sombre et ressemblent à des soldats au port d'armes; l'automne, c'est un jaillissement doré comme si du sol s'élançait un jet d'eau formé de paillettes. » (P. Grellet.)

Nous avons demandé les raisons qui ont motivé cet abatage; aucune ne nous a paru vraiment scientifique, vraiment suffisante.

Si nous avons évoqué ce fait d'ordre esthétique, c'est parce que nous avons à cœur de conserver à notre fleuve toute sa beauté. Le Rhône est un organisme puissant et original; par ses relations avec nos montagnes, par sa vie palpitante et drama-

tique, il nous donne une impression de beauté, « maints aspects de son cours tourmenté et du cadre naturel où il se déroule ravissent les regards et font méditer la pensée » (Pardé).

Arrivé au terme de cet exposé destiné à montrer les différentes phases de la lutte entre l'homme et le Rhône, nous voyons que, grâce à de grands efforts des muscles et de la pensée, le fleuve fut peu à peu dompté par l'homme, mais jamais complètement. Qu'en sera-t-il dans l'avenir ? Un géologue célèbre disait vers 1920 que le Rhône serait finalement victorieux et qu'il reprendrait sa liberté à travers la plaine. Nous pensons que, grâce aux travaux actuels qu'il faudra peut-être modifier encore avant de trouver le juste équilibre, l'homme avec beaucoup de travail et beaucoup de sacrifices finira par rester victorieux de ce fleuve dont la fougue des eaux et l'indécision des tracés caractérisent bien l'ardente jeunesse.

Chers collègues,

Durant les journées sombres de cette interminable guerre, nous nous demandons parfois, comme le faisait Termier durant la précédente guerre, si, après de telles destructions et de tels massacres, on trouvera encore comme autrefois des hommes qui observeront et écouteront la nature, se vouant à la recherche désintéressée de la vérité ?

Devant une si belle assemblée d'hommes de science de notre petit pays, nous disons avec une conviction profonde qu'il faut faire confiance à la nature humaine, il y aura toujours des hommes qui s'enflammeront pour les pacifiques conquêtes de l'esprit. Nous pensons avec émotion au rôle magnifique que joue en ce moment notre petite Suisse en maintenant bien vivante la flamme de la recherche scientifique, et à la mission plus importante encore qu'elle est appelée à remplir dans l'avenir en rallumant dans tant de pays dévastés la flamme de la joie de connaître.

Notre tâche est belle, très belle, envisageons-la avec enthousiasme : durant cette session et durant les excursions qui suivront, nous porterons nos regards sur les cimes neigeuses du Valais, chères au cœur de tous les Suisses, un des plus purs emblèmes de notre pays, et nous comprendrons mieux la nécessité d'écouter

sans cesse et attentivement ce que cette nature, qui nous a été faite si belle, murmure continuellement à notre oreille pour qui sait l'entendre.

Le Rhône figure aussi parmi les beautés de notre patrie : par le symbole moral qu'il représente, celui d'une force qui triomphe de tant d'obstacles, puisse-t-il susciter dans nos âmes des pensées vivifiantes !

C'est dans cet esprit, chers collègues, et avec une pensée de reconnaissance envers la Providence que nous déclarons ouverte la 122^{me} Session de la Société Helvétique des Sciences Naturelles.

Bibliographie

- 1851 I. VENETZ : Mémoire sur les digues insubmersibles. Genève.
1862 Corrections du Rhône : Message du Conseil fédéral, du 9 janvier 1863. Trois rapports d'experts, du 6 avril 1861, 20 mai 1862, 26 décembre 1862. Rapports de la commission du Conseil des Etats, 24 juin 1863. Rapport de la commission du Conseil national, 25 juillet 1863. Arrêté fédéral du 28 juillet 1863.
1865 CULMANN : Rapport au Conseil fédéral sur les torrents des Alpes suisses. Traduction H.-F. BESSARD. Lausanne.
1883 SUCHIER : Die Bewegung der Geschiebe des Ober Rheins. Deutsche Bauzeitung.
1886 FRANZ RITTER VON HOCHENBURGER : Über Geschiebsbewegung und Eintiefung fliessender Gewässer. Leipzig.
1892 CHARLES LENTHÉRIC : Le Rhône. Histoire d'un fleuve. Paris.
1893 A. DE LAPPARENT : Traité de Géologie. Paris.
1898 P. DE RIVAZ : Correction du Rhône et des torrents. Lausanne.
1901 M. LUGEON : Les causes de la répartition de la population dans la vallée du Rhône en Valais. Bul. soc. vaud. sc. nat., n° 141.
1902 B. GALLI-VALERIO et M^{me} J. ROCHAT DE JONGH : Etudes relatives à la malaria : La distribution des Anophèles dans le canton du Valais, en relation avec les anciens foyers de malaria. Bul. soc. vaud. sc. nat.
1910 J. BRUNHES : Géographie humaine. Paris.
1910 EUGÈNE PITTARD : Les crânes valaisans de la vallée du Rhône. Genève. Paris.
1911 L. HORWITZ : Cônes de déjection. Bul. soc. vaud. sc. nat. n° 173.
1912 E. ARGAND : Sur le drainage des Alpes Occidentales et les influences tectoniques. Bul. Soc. vaud. sc. nat., vol. 48, Proc. verb., p. XXVIII à XXXII.
1912 E. ARGAND : Le faite structural et le faite topographique des Alpes Occidentales. — Ibid. p. XXXVI—XL.
1912 M. LUGEON : Etude géologique sur le projet de barrage du Haut Rhône français à Génissiat. Mém. Soc. géol. de France, 4^{me} série, tome II, Mém. n° 8.
1914 H. GAMS : La Grande Gouille de la Sarvaz et les environs. Bul. Murith. XXXIX. 1914—1915.
1920 E. JOUKOWSKY : La formation du Petit Lac (Léman). C. R. séances Soc. phys. et hist. nat. Genève, vol. 37, n° 2, p. 39—41.
1921 RAOUL BOISSIER : Etude du colmatage du Val des Dix. Mém. Soc. phys. et hist. nat. Genève, vol. 39, fasc. 5, p. 225—260.
1923 E. JOUKOWSKY : L'âge des dépôts glaciaires du plateau genevois. C. R. séances Soc. phys. et hist. nat. Genève, vol. 40, n° 2, p. 49—52.

- 1925 LÉON-W. COLLET : Les lacs : Leur mode de formation — Leurs eaux — Leur destin. Paris.
- 1925 PH. FARQUET : Les marais et les dunes de la plaine de Martigny. Bul. Murith. fasc. XLVII.
- 1925 MAURICE PARDE : Le régime du Rhône. Etude hydrologique. I. Etude générale, XIV + 883 p. II. La genèse des crues, 440 p. Lyon.
- 1926 O. LÜTSCHG : Über Niederschlag und Abfluss im Hochgebirge. Zürich, 479 S.
- 1929 E. PITTARD : Les hommes préhistoriques dans le bassin du Rhône suisse. Troisième Congrès du Rhône. Genève, p. 125.
- 1929 E. JOUKOWSKY : La formation du Léman. Troisième Congrès du Rhône. Genève.
- 1930 M. LUGEON : Rapport géologique sur le projet, dit projet 5, de construction d'une usine électrique III sur le Rhône en aval de Genève au droit de Russin. Genève.
- 1930 E. DISERENS : Les méthodes scientifiques pour l'étude des nappes souterraines. Congrès de l'eau à Crau. Paris.
- 1934 M. PARDE : Les transports d'alluvions dans le bassin du Rhône. Fêtes et VIII^{me} Congrès du Rhône. Lausanne, p. 267—275.
- 1934 P. BECK : Das Quartär. — Guide géologique suisse. Introd. génér. C. fasc. I, p. 26—41.
- 1934 R. STAUB : Grundzüge und Probleme alpiner Morphologie. Mém. Soc. Helv. sc. nat., vol. 69, mém. I.
- 1934 M. ROD : La correction du Rhône. Fêtes du VIII^{me} Congrès du Rhône. Lausanne.
- 1934 W. HAENNI : Le Rhône valaisan et ses corrections. Congrès du Rhône. Lausanne.
- 1937 E. GAGNEBIN : Les invasions glaciaires dans le bassin du Léman. Bul. labor. géol. Lausanne, n° 58. Bul. soc. vaud. sc. nat., vol. 59, p. 105 à 186.
- 1938 M. LUGEON et N. OULIANOFF : L'alluvion du Rhône valaisan. Essai de détermination de l'épaisseur par méthode électrique. Bul. soc. vaud. sc. nat. n° 247.
- 1939 CH. DE TORRENTÉ : Les travaux actuels de la correction du Rhône en Valais. Bul. Murith. LVI.

Die Waldungen des Kantons Wallis

Von

Dr. EMIL HESS, eidgenössischer Forstinspektor, Bern

Das eigenartige Klima des Wallis, das eine durch hohe Bergketten eingeschlossene Lage besitzt, zeigt sich nicht nur im Auftreten gewisser Pflanzen, die in der Nordschweiz fehlen, sondern auch in den *Waldgesellschaften*, die von denjenigen nördlich der Alpen erhebliche Abweichungen zeigen.

Jedem Besucher des Wallis fällt beim Eintritt in den Kanton, wo er auch stattfindet, die grosse Verbreitung der *Lärche* auf, einer Holzart, die nördlich der Alpen nur wenige natürliche Standorte aufweist.

Das natürliche Verbreitungsgebiet der Lärche beschränkt sich auf die Kantone Wallis, Graubünden und Tessin. Im Wallis erlangt sie das Optimum ihrer Entwicklung in den Vispertälern und am Simplon, wo sie im Durchschnitt 70 % des Holzvorrates einnimmt. Das Maximum treffen wir in den Gemeinden Randa und Täsch mit 90 und 95 %. Ein ähnliches Lärchenoptimum wird sonst nirgends in den Alpen erreicht, nur einige Gegenden des Engadins zeigen etwelche Ähnlichkeit mit den Vispertälern.

Entfernen wir uns von diesem Optimum gegen Westen, so sehen wir, dass der Anteil der Lärche an der Bewaldung rasch abnimmt. Im Val d'Anniviers treffen wir noch 30 %, im Val d'Hérens 37 % und im Entremont nur noch 25—30 % Lärchen. Noch mehr geht sie zurück unterhalb Martigny, und in der Gemeinde Massongex macht sie nur noch 16 % des Holzvorrates aus.

Die Kette der Dent du Midi—Valerette—Giettes bildet die Westgrenze des natürlichen Verbreitungsgebietes der Lärche. Im Val d'Illiez und in den Waadtländer Alpen finden wir die Lärche nur noch vereinzelt.

Bewegen wir uns vom Simplon gegen Osten, so zeigt sich auch da eine Abnahme der Lärche, das untere Goms und das Binntal besitzen nur 10—20 %, das obere Goms 30 % von dieser Holzart.

Das rechte Ufer der Rhone zeigt im Lötschental, dem zwischen Berner Alpen und Bietschhornmassiv tief eingeschnittenen Tal, ein Maximum, indem die Lärche 39 % des Holzvorrates ausmacht. Am ganzen südexponierten Abfall der Berner Alpen ist die Lärche nur mit 4—10 % vertreten. Überschreiten wir die Berner Alpen, so treffen wir die Lärche nur noch in einzelnen Gruppen z. B. am Pillon, Sanetsch, Iffigen-Lenk und im Aaretal.

Wenn wir die optimalen Wuchsgebiete der Lärche mit der Regenkarte der Schweiz vergleichen, so sehen wir, dass dieselben mit den Gebieten der geringsten Niederschläge zusammenfallen. Man hat denn auch lange die Verbreitung der Lärche mit den geringen Niederschlägen in Einklang bringen wollen. Nähere Untersuchungen, besonders im Tessin, wo, wie bekannt, grosse Niederschläge herrschen und die Lärche dennoch gute Entwicklung aufweist, haben aber gezeigt, dass sie nicht an diesen Klimafaktor gebunden ist und bei Niederschlägen von 600—2000 mm gutes Wachstum zeigt. Auch wenn wir die Monatsmittel betrachten, finden wir keinen Zusammenhang zwischen Niederschlag und Entwicklung der Lärche. Sie gedeiht ebensogut in Gegenden, die im Mittel der Sommermonate Juni bis August nur 200 mm aufweisen, wie in solchen, die 600 mm haben.

Von ausschlaggebender Bedeutung für das Gedeihen der Lärche scheint die relative Feuchtigkeit der Luft zu sein. Vergleichen wir die Lärchengebiete mit der Nordschweiz, so zeigt sich, dass nördlich der Alpen und im Jura die mittlere relative Feuchtigkeit 80—85 % beträgt, während sie im Wallis, im Tessin und in Graubünden 70—75 % nicht übersteigt. Betrachten wir auch da wieder die einzelnen Monate, so zeigt sich, dass im Wallis April, Mai, Juni, Juli nur 64—66 % zeigen, während nordwärts der Alpen die Feuchtigkeit der Luft während diesen Monaten 72 bis 80 % beträgt.

Auch in der Anzahl der Nebeltage und der klaren Tage zeigen sich grosse Unterschiede zwischen den Lärchengegenden und den Gebieten nördlich der Alpen. Letztere haben nur 50—70 klare Tage und 50—70 Nebeltage. Im Wallis, Engadin und Tessin treffen wir dagegen über 100 klare Tage und nur 10—20 Nebeltage. Die nördliche Grenze des Lärchenvorkommens stimmt überein mit der Grenze der 20 Nebeltage.

Wir finden die Lärche im Wallis auf allen geologischen Unterlagen. Sie siedelt sich mit Vorliebe auf Moränen und Schuttböden, d. h. auf jungen Böden an. So treffen wir sie beispielsweise auf den jungen Moränen schon 5—10 Jahre nach der Besiedelung durch Weiden und Alpenerlen. Mit der Podsolbildung geht die Lärche allmählich zurück und tritt ihren Platz an Fichte und Arve ab.

Neben der Lärche spielt im Wallis die Fichte die Hauptrolle, und zwar bilden die gemischten Bestände von Fichte und Lärche die Regel. Die Waldgesellschaft Fichte-Lärche ist die verbreitetste. Wir finden aber heute auf Hunderten von Hektaren an Stelle dieser Mischwälder reine Lärchenwaldungen. Sie sind durch Eingriffe des Menschen entstanden und befinden sich in der Nähe der Siedelungen oder auf den Alpen. Durch Entfernen der Fichten aus den Lärchen-Fichten-Mischbeständen in der Nähe der Dörfer wurden lichte Lärchenweidewaldungen geschaffen. Das gleiche geschah in den Wäldern an der obern Waldgrenze, wo die Fichte zur Vergrösserung der Alpweiden weichen musste. Im Goms, wo diese Verhältnisse besonders am rechten Talhang deutlich in Erscheinung treten, beobachten wir unten in der Nähe der Dörfer reine Lärchenbestände, dann folgen Mischwälder von Lärche-Fichte (30—50 % Fichte und 50—70 % Lärche), und oben tritt wieder ein Gürtel reiner Lärche auf.

Dieses Fehlen der Fichte an der obern Grenze hat die irrige Auffassung aufkommen lassen, dass diese Holzart nur eine Meereshöhe von 2000 m erreiche und darüber ein Gürtel von Lärchen bis an die Waldgrenze hinaufsteige. Es steht heute fest, dass die Waldgesellschaft Lärche-Fichte früher fast überall im Wallis die Waldgrenze bildete. Nur in den Vispertälern, im Val d'Anniviers und im Val d'Hérens tritt, besonders im Talhintergrund, die Arve an die Stelle der Fichte.

Eine weitere charakteristische Holzart, besonders des Mittelwallis mit seiner ausgesprochenen Trockenheit, ist die F ö h r e (*Pinus silvestris*). Die grösste Ausdehnung erlangt sie zwischen Martigny und Brig, wo sie sämtliche Schuttkegel in Anspruch nimmt und auch die südexponierten Hänge bis 1100 m Meereshöhe besiedelt. Von Brig gegen das Goms nimmt ihre Verbreitung ab, und von Fiesch aufwärts gegen Oberwald fehlen Föhrenbestände.

Unter dem Einfluss des trockenen Klimas hat sich im Steppegebiet des Wallis eine Standortsrasse der Föhre ausgebildet, die von der uns bekannten ziemliche Abweichungen zeigt. Sie übersteigt selten 15 m Baumhöhe und 30 cm Brusthöhendurchmesser. Die Rinde ist oft am ganzen Stamm grau und rauh oder nur zuoberst in der Krone rotgelblich, daher der Name g r a u e F ö h r e. Die Länge der Nadeln der ausgewachsenen Bäume beträgt nur 1—3,5 cm. Ein weiteres Merkmal besteht in der Ausbildung eines fast kernlosen Holzes.

Neben dieser grauen Föhre treffen wir im Wallis eine andere, die rote, plattige Rinde besitzt und daher r o t e F ö h r e genannt wird. Es ist eine Rasse mit gut ausgebildetem rotem Kern und wenig Splintholz. Das Holz ist von bester Qualität und als Nutzholz sehr geschätzt, während die graue Föhre nur Brennholz liefert. Die rote Rasse ist eine Gebirgsföhre, die auf allen Böden zwischen 1000—2000 m Meereshöhe gedeiht.

Die graue Föhre macht bei St-Maurice, wo das Steppenklima aufhört, halt, und talabwärts finden wir sie nicht mehr. Dagegen lässt sich die rote Föhre einzeln und in Gruppen am rechten Seeufer bis nach Genf und dem Jura entlang bis Olten verfolgen.

Eine weitere Holzart des Wallis ist die A r v e, die besonders in den südlichen Seitentälern gut vertreten ist. Überall, wo sie vorkommt, tritt die Fichte zurück. So treffen wir beispielsweise im Saastal nur 1 % Fichte, dagegen 19 % Arve, 8 % Bergföhre und 72 % Lärche. Im Nikolaital ist das Verhältnis: 10 % Fichte, 14 % Arve, 1 % Bergföhre und 75 % Lärche. Im Val d'Anniviers haben wir noch 13 % des Holzvorrates in Arve, sonst ist sie im übrigen Wallis nur mit wenigen Prozents vertreten. Auf dem rechten Ufer der Rhone tritt sie hauptsächlich im Aletschwald und im Lötschental bestandbildend auf, von Leuk bis St-Maurice fehlt sie fast ganz, und auch im Goms hat sie nur wenige Standorte.

Es bleibt uns noch ein Wort zu sagen über die aufrechte *Bergföhre*, welche in Graubünden ausgedehnte Flächen besetzt. Im Wallis dagegen tritt sie in grössern Beständen nur im Saastal auf, wo sie zwischen Feegletscher und Almagel ungefähr 100 ha besiedelt. Wir finden sie auch in Grächen, Chandolin (Anniviers), am Catogne usw., aber überall nur vereinzelt oder in Gruppen an felsigen Standorten.

Die *Legföhre* nimmt nirgends grössere Flächen in Anspruch; wir finden sie gruppenweise in Lawinenzügen und in heruntergekommenen Wäldern.

Im Mittelwallis tritt nun ebenfalls eine Holzart auf, die man dort nicht vermuten würde, nämlich die *Weisstanne*. Ihre Lebensbedingungen sind derart verschieden von denjenigen der Lärche oder der Föhre, dass sie im Wallis eigentlich nicht zu Hause ist. Sie wurde immer als Holzart der feuchten Klimate angesehen, welche als Minimum eine jährliche mittlere Regenmenge von 800 mm beansprucht. Am linken Rhoneufer bildet die Tanne zwischen Visp und Siders an den Hängen zwischen 900 und 1500 m mit Fichte und Lärche ertragreiche Bestände, trotzdem die Niederschläge dort sicher nicht über 700 mm betragen. In der Gegend von Miège, am rechten Rhoneufer, finden wir in einer Meereshöhe von 900—1000 m Bestände grauer Föhre mit nur 20—40 m³ Holzvorrat per Hektar. Es ist eine magere Waldsteppe, die schon an der Grenze zur Grassteppe liegt. Am Nordhang, auf Ochsenboden, wachsen in gleicher Meereshöhe schöne gemischte Bestände von Weisstanne-Fichte-Lärche mit 250 bis 550 m³ Holzvorrat per Hektar, Wälder, die ebensogut in der Nordschweiz stehen könnten. Die beiden Hänge liegen nur 5 km auseinander. Süd- und Nordhang sind also grundverschiedene klimatische Gebiete.

Die Weisstanne hat dann im weitem eine grosse Verbreitung in den Seitentälern rechts der Rhone, wo sie beispielsweise in den Vallées de la Lienne, de la Morge, de la Lizerne in einer Üppigkeit auftritt, wie man sie sonst nur in den nördlichen Alpentälern im Optimum ihres Verbreitungskreises trifft. Sie fehlt dagegen im Goms, wo man sie eigentlich erwarten würde. Auch in den Seitentälern links der Rhone ist sie nicht zu finden.

Nachdem wir die hauptsächlichsten Nadelhölzer kurz behandelt haben, gehen wir über zu den bestandesbildenden Laubhölzern.

Die K a s t a n i e fehlt in der Trockenzone des Mittelwallis, und ihre Verbreitung beschränkt sich auf das Unter- und Oberwallis. Sie findet sich hauptsächlich in den Laubholzbeständen zwischen Bouveret und St-Maurice, dann in einzelnen schönen Exemplaren bei Bovernier und Sembrancher und am rechten Rhoneufer noch in grössern Gruppen bei Fully. Ein weiteres Kastanienzentrum zeigt sich in der Gegend von Visp—Brig mit Ausstrahlungen bis gegen Mörel, wo an der Kantonsstrasse noch ein prächtiger, jedes Jahr reichlich blühender Kastanienbaum von grossen Dimensionen steht. Forstlich hat die Kastanie im Wallis keine grosse Bedeutung.

Auch die B u c h e verträgt das Steppenklima des Wallis nicht, und ihr Hauptvorkommen ist auf das Unterwallis beschränkt. Sie bekleidet in reinen Beständen die Hänge von Bouveret bis St-Maurice bis 1000 m Meereshöhe; von St-Maurice bis Martigny tritt sie in Mischung mit Nadelhölzern, namentlich mit Lärche, noch reichlich auf, dann wird sie seltener und hört bei Saxon-Saillon auf, um im Haupttal talaufwärts nirgends wieder zu erscheinen. Dagegen tritt sie reichlich und in grossen Beständen im Tal der Lizerne auf, einem Seitental, das von den Diablerets gegen Ardon hinabsteigt. Ein weiteres interessantes Auftreten der Buche haben wir im Tale von Zwischbergen, südlich des Simplons. Auch dort finden wir sie nicht nur vereinzelt, sondern in grossen Beständen, die bis 1500 m hinaufreichen. Das Zwischbergental gehört pflanzengeographisch schon zu Oberitalien und muss bedeutend mehr Niederschläge aufweisen als die Nordseite des Simplons.

In den Buchenbeständen fehlt von St-Maurice talaufwärts die H a g e b u c h e (*Carpinus betulus*), während sie von Monthey bis Bouveret massenhaft auftritt, stellenweise sogar die Oberhand gewinnt.

Als weitere Laubhölzer, die im Wallis grosse Verbreitung zeigen, sind die E i c h e n zu erwähnen. Hauptvertreter ist die Flaumeiche (*Quercus pubescens*), viel weniger häufig sind *Quercus sessiliflora* und *Quercus robur*. Die Flaumeichen bilden mit den Föhren zusammen die Steppenwälder des Mittelwallis. Es hat wohl keine andere Holzart im Wallis ein ähnliches Zurückdrängen erfahren wie die Eichen. Sie wurden beim Bau der Bahn für Schwellen ausgebeutet, und viele der entblössten Hänge haben

sich seither nicht mehr bewaldet und sind in Grassteppen übergegangen.

Auf vernässten Flächen der Rhoneebene siedelten sich auf den Alluvionen Auenwälder an, bestehend aus Weiden, Birken, Weisserlen und Schwarzpappeln. Auf steinigem Untergrund treffen wir den Sanddorn und die Föhre. Durch die Eindämmung der Rhone und Erstellung von Kanälen wurden grosse Gebiete trockengelegt und als Kulturland umgebrochen. Die frühern Auenwaldungen der Rhoneebene verschwinden langsam, um Obstbäumen und Gemüsekulturen Platz zu machen.

Die Birke ist nicht nur in den Auenwäldern, sondern auch an den Hängen häufig und steigt bis über 2000 m Meereshöhe. Besonders nach Waldbränden, nach Lawinen und Steinschlägen besiedelt sie die zerstörten Gebiete und bildet oft grosse Bestände, in welchen sich Lärche und andere Nadelhölzer ansiedeln. Birkenwälder sind nur vorübergehende Stadien, die sich nicht erhalten können.

Nachdem wir die hauptsächlichsten waldbildenden Holzarten kennen, wollen wir übergehen zur Betrachtung der oberen Waldgrenzen.

Systematische Aufnahmen in allen Tälern ergaben folgendes Bild :

Die Waldgrenzen des Wallis liegen zwischen 2000 bis 2350 m, und zwar am tiefsten im Val Trient (2030 m), das an den Bezirk Monthey angrenzt, am höchsten im Nikolaital mit 2350 m. Dort zeigt sich die sonst eher seltene Erscheinung, dass die Waldgrenze gegen den Talhintergrund ansteigt. Während sie über Grächen bei 2350 m liegt, erreicht sie am Grünsee die Höhe von 2400 m und am Gugel 2370 m. Am Gugel stehen bei 2520 m noch zwei Arven von 4 m Höhe und Bruthöhendurchmessern von 30 und 24 cm. Als Krüppel von 1 m Höhe fanden wir die Lärche am Unter-Rothorn noch bei 2550 m, am Gugel erreichen Arvenkrüppel sogar 2570 m. Im Gebiet der Monte-Rosa-Mischabel liegt somit die höchste Waldgrenze der Schweiz. Von da sinkt sie sowohl nach Osten wie nach Westen. Schon im Saastal liegt sie nur noch bei 2250 m, um gegen Simplon und Binntal auf 2160 m und im Goms auf 2100 m zu sinken. Auch gegen Westen beobachten wir ein Absinken der Waldgrenze, und zwar um 100 m im Turtmantal (2250 m) und

im Anniviers, um 200 m im Bagnes und Entremont (2150 m) und um 300 m im Val Ferret und Trient (2050 m).

Auch am rechten Rhoneufer treffen wir im Aletsch-Bietschhorn-Gebiet ein Maximum mit 2250 m. Von hier aus beobachten wir eine Abnahme um 100 m sowohl nach Osten wie nach Westen.

Die hohen Grenzen im Nikolaital werden gewöhnlich in Zusammenhang gebracht mit den Massenerhebungen. Wir vertreten die Ansicht, dass die eingeschlossene und gegen Wind geschützte Lage des Zermattertales dem Gedeihen des Waldes besonders günstig ist. Die Windwirkung dürfte beim Aufhalten des Waldes im Gebirge eine Hauptrolle spielen. Wenn wirklich nur die Massenerhebung massgebend wäre, so müssten wir gegen das Mont-Blanc-Massiv hin eine Zunahme der obern Waldgrenzen beobachten. Aber gerade die diesem Massiv am nächsten gelegenen Täler Ferret, Trient und Chamonix haben Waldgrenzen von nur 2050 bis 2100 m.

Betrachten wir die schädlichen Eingriffe des Menschen in den Wald, so ist neben die grossen Holzschläge der Weidgang zu stellen. Bis gegen die Mitte des vorigen Jahrhunderts war die Weide im Kanton Wallis die Hauptnutzung des Waldes. Sie wurde nicht auf Grund einer Servitut ausgeübt, sondern das Waldgebiet war als öffentlicher Grund und Boden allgemein dem Vieheintrieb offen; es bestand die freie Atzung. Im allgemeinen wird zugegeben, dass die Ziegen durch Abfressen der Triebe grossen Schaden anrichten. Es ist aber noch zu wenig bekannt, daß auch das Großvieh dem Walde schädlich ist und ihn schliesslich zum Verschwinden bringt. Eine ebenso wichtige Rolle wie das Abfressen spielt nämlich der Tritt des Viehes, der die Struktur des Bodens zerstört.

Der Waldboden zeichnet sich aus durch ein besonders lockeres Gefüge, das sich in der guten Wasserdurchlässigkeit zeigt. Durch den Tritt des Viehes treten an der Oberfläche Bodenverhärtungen auf, die eine Verschlechterung des Wachstums der Bäume zur Folge haben und besonders die Entwicklung der Verjüngung beeinträchtigen. Die Samen können auf dem verhärteten Boden nicht normal keimen, und intensiv beweidete Bestände zeigen daher immer wenig oder keine Jungwüchse. Die Bodenverhärtungen können durch Sickerversuche experimentell nachgewiesen werden.

Als weiteren schädigenden Eingriff des Menschen in die Wäldungen des Wallis erwähnen wir die *Streuenutzung*. Da die Produktion an Stroh gering ist, holt die Bevölkerung die nötige Streue im Wald. Die schädigende Wirkung der Streuenutzung macht sich auf zwei Arten bemerkbar. Durch die Wegnahme der Nadeln und Blätter wird dem Boden die natürliche Düngung entzogen, die allerdings nicht hoch einzuschätzen ist. Viel wichtiger ist der schädigende Einfluss auf die physikalische Beschaffenheit des Bodens. Mit der Streue werden auch die Humusschichten entfernt, die dem Waldboden seine Lockerheit verleihen. Dazu kommt noch die schädigende mechanische Wirkung der Eisenrechen. Die Keimlinge werden ausgerissen und vertrocknen, und zudem sind auch die Wurzeln der alten Bäume den Verletzungen ausgesetzt. Es treten Pilzinfektionen auf, und die Bäume gehen zugrunde. Weidgang und Streuenutzung verhindern das Aufkommen jeder Verjüngung.

Eine weitere dem Walliser Wald schädliche Nebennutzung ist das *Beerensammeln* mit dem sogenannten « Beeristrähl ». Wie der Name schon kennzeichnet, werden die Sträucher ausgekämmt, indem sie zu Büscheln zusammengedrückt und von unten nach oben mit dem « Beeristrähl » durchfahren werden. Befinden sich Forstpflanzen, wie Arven- oder Fichtenjungwüchse, in den Sträuchern versteckt, so werden sie von den Nägeln ausgerissen oder verletzt. Da sich die Arve mit Vorliebe in den Rohhumuspölkern der Heidelbeere entwickelt und in den ersten 10 Jahren ihres Lebens des Schutzes der Kleinsträucher bedarf, ist sie den Verletzungen durch den « Beeristrähl » ganz besonders ausgesetzt.

Diese während Jahrhunderten ständig wirkenden schädlichen Einflüsse des Menschen auf den Wald verhindern seine natürliche Verjüngung. Während nach Holzschlägen eine momentane grosse Schädigung eintritt, die durch die Natur aber rasch behoben wird, kann sich der Wald bei den ständig andauernden Eingriffen nie erholen. Er altert, die ältesten Bäume sterben ab, Ersatz ist keiner vorhanden, und so verschwindet der Wald langsam im Laufe der Jahrhunderte, und die Waldgrenze sinkt stetig tiefer.

Als Beispiel solcher langsam absterbender Wälder erwähnen wir den Aletschwald und die Gebiete von Riffelalp. Sie stellen Wälder dar, in welchen die Klasse des kleinen Holzes von

16—26 cm Brusthöhendurchmesser nur mit 1—5 % vertreten ist, während die Klasse der Starkhölzer, von 40 cm aufwärts, im Alter von 700—1000 Jahren, 80—90 % ausmacht. Ein richtig im Gleichgewicht stehender Wald sollte ungefähr das Verhältnis von 20, 30 und 50 % aufweisen.

Als forstliche Massnahme, die zur Erhaltung und Wiederherstellung des Waldes ergriffen werden muss, steht an erster Stelle die Aufstellung der Wirtschaftspläne, durch welche man die Grenzen der Waldungen und eine Einteilung in Abteilungen erhält. Dann kommt die Einschränkung der Streuenutzung und des Weidganges, indem einige Abteilungen freigegeben, andere dagegen in Bann gelegt werden. Mit der Abschliessung gegen Weidgang und Streuenutzung ist die Hauptaufgabe gelöst, denn sobald der Wald ruhig bleibt, verjüngt er sich wieder.

Wir wollen am Beispiel des Aletschwaldes betrachten, wie ein Wald an der obern Waldgrenze auf die ihm zuteil gewordene Schonung reagiert.

Im April 1943 werden es 10 Jahre sein, dass der Schweizerische Bund für Naturschutz den Aletschwald zum Reservat erklärt hat, und es ist von Interesse, festzustellen, wie sich die Bannlegung ausgewirkt hat.

Der Aletschwald war vor 1933 ein beweideter Wald der Gemeinde Ried-Mörel, in welchem der Weidgang eine grössere Rolle spielte als die Holznutzungen. Im Jahre 1922 wurden im Aletschwald zur Aufstellung des Wirtschaftsplanes sämtliche Bäume gemessen. Im Sommer 1942 fand eine Neuaufnahme statt, und der Vergleich der beiden Inventare unter Berücksichtigung der Holznutzungen von 1923—1933 zeigte nur ganz geringfügige Unterschiede, und vor allem ist in der Klasse des schwachen Holzes von 16—26 cm Brusthöhendurchmesser keine Zunahme wahrzunehmen. Der Wald hat also in den letzten 20 Jahren wenig geändert.

Am augenfälligsten hat die Bannlegung auf die Entwicklung der Heidelbeersträucher gewirkt. Schon nach einigen Jahren Ruhe haben sie sich mit einer nie geahnten Üppigkeit entwickelt und tragen reichlich Früchte. Im weiteren muss jedem aufmerksamen Beobachter die kräftige Entwicklung des Vogelbeerbaumes (*Sorbus aucuparia*) und der Alpenerle (*Alnus viridis*) auffallen. Auch

diese Sträucher wurden durch das Vieh seinerzeit ständig abgefressen und zeigten kümmerlichen Wuchs. Die erfreulichste Beobachtung ist aber die, dass überall aus den Heidelbeersträuchern junge Arven herausgucken und dass noch viel mehr unter den Sträuchern versteckt sind.

Von Interesse ist nun zu erfahren, wie lange diese Jungwüchse brauchen, bis sie die Dimension von 16 cm Durchmesser in 1,30 m über dem Boden erreicht haben werden, um die schlecht vertretene erste Stärkeklasse aufzufüllen. Wir haben einige Exemplare solcher Arven näher untersucht und gefunden, dass sie bei einer Länge von 50—60 cm einen Durchmesser über dem Boden von 2—3 cm erreichen und das Alter von 20—30 Jahren aufweisen. Diese jungen Arven waren also bei der ersten Inventaraufnahme des Waldes im Jahre 1922 Keimlinge, die sich während 20 Jahren im Versteck entwickelt haben und nun heraustreten. Erst im Alter von 60—80 Jahren werden diese Jungwüchse ungefähr eine Höhe von 6—8 m bei einem Bruthöhendurchmesser von 16 cm erlangen. Wir werden also auch bei der nächsten Aufnahme des Holzvorrates im Jahre 1962 noch wenig Nachwuchs in die Klasse von 16—26 cm Durchmesser erhalten. Erst bei den Revisionen von 1982 und 2002 wird in der ersten Klasse reichlich Nachwuchs erscheinen, der gestattet, den Aletschwald als verjüngt zu betrachten.

Dieses Beispiel zeigt deutlich, wie ausserordentlich langsam die Natur im Gebirge arbeitet und wie wenig in 100 Jahren erreicht werden kann. Was die Natur dem Forstmann in den tiegelegenen Waldungen in verschwenderischer Fülle darbietet und ihm gestattet, einen Wald in 10—20 Jahren zu verjüngen, braucht im Gebirge 50 und mehr Jahre. Nur in langen Zeiträumen vollziehen sich alle Wandlungen im Boden und im Bestand. Schärfer prägen sich im Gebirge alle Verschiedenheiten des Standortes aus; auf kurze Entfernung wechseln Hangneigung, Untergrund, Höhenlage und Exposition. Bestandesbildende Laubhölzer sind nur wenige vorhanden, und gerade die Buche, mit ihrer äusserst günstigen Wirkung auf den Boden, fehlt im Wallis. Die Bodenwärme wird in schattigen Nordlagen zu dem das Eintreten der Verjüngung beherrschenden Faktor. Auf geringe Distanz, am gegenüberliegenden trockenen Südhang, wird die Feuchtigkeit, deren Überfluss wir eben noch verwünschten, zum Minimumfaktor.

Noch auf unabsehbare Zeit beherrscht im Gebirgswald des Wallis das Verjüngungsproblem alle waldbaulichen Massnahmen. Auch die Erhaltung der obern Waldgrenze ist ein Verjüngungsproblem, das wegen überall herrschendem Mangel an Weidegebieten auf besondere Schwierigkeiten stösst. In den meisten Fällen kann auch heute die Bevölkerung im Wallis nicht auf die Waldweide verzichten, denn es steht ihr nicht genügend freie Weide zur Verfügung. Die Gebirgsbewohner sind auf den Wald angewiesen, der ihre Wohnstätten beschützt, dann zur Deckung der Bedürfnisse an Bau- und Brennholz und zudem zur unentbehrlichen Ergänzung des Futterertrages herangezogen werden muss.

Les idées actuelles sur la formation des Alpes

Par

ELIE GAGNEBIN, prof., Lausanne

L'origine des chaînes de montagnes, dont l'énigme a hanté tant de grands esprits — Goethe, Descartes, Léonard, Dante, pour ne citer qu'eux — reste au centre des préoccupations des géologues, et le progrès des idées à ce sujet marque les principales étapes de leur science.

1° Il y a cent ans régnait presque sans conteste la théorie des *cratères de soulèvement*, élaborée en Allemagne par LÉOPOLD DE BUCH, développée par ELIE DE BEAUMONT en France. Le plus important des géologues suisses, BERNARD STUDER, de Berne, l'appuyait aussi de son autorité. Les montagnes étaient dues, selon cette doctrine, à des montées volcaniques de laves profondes qui auraient soulevé les terrains sédimentaires de l'écorce terrestre. Dans le Jura, ces laves, montant en bourrelets arqués à peu près parallèles, n'avaient pas atteint la surface du sol. Dans les Alpes au contraire, les « massifs centraux » formés de roches cristallines d'origine éruptive (massifs du Mont Blanc, de l'Aar, etc.) avaient réussi à percer la couverture des terrains sédimentaires et, dans leur ascension, avaient rejeté de part et d'autre les couches de calcaires, de grès, de schistes, qui en glissant s'étaient plissées et bouleversées.

Jusqu'à sa mort, en 1887, STUDER soutint cette théorie que semblaient confirmer ses nombreuses et remarquables observations. Mais dès 1870 deux intrépides géologues, ARMIN BALTZER de Berne et ALBERT HEIM de Zurich, l'un par l'étude de la Jungfrau, l'autre par l'étude de la Windgälle, démontrent que loin d'être les moteurs du plissement des couches sédimentaires, les roches cristallines des « massifs centraux » ont été entraînées, engagées de

façon passive dans ces plissements, qu'elles les ont subis tout comme les terrains sédimentaires et avec eux.

En 1875 paraissait un petit livre qui fait date en géologie; il s'intitule « Die Entstehung der Alpen »; il était l'œuvre d'un Viennois, d'un homme de génie, EDOUARD SUESS. De façon lumineuse il prouvait que les plissements des Alpes sont l'effet non pas de poussées verticales de bas en haut, mais de gigantesques poussées horizontales, tangentielles, d'un *refoulement latéral* de toutes les roches, aussi bien d'origine éruptive que sédimentaires, qui constituent la chaîne. En Suisse, cette poussée latérale s'est produite du SE au NW et son action se fait sentir dans tout le pays.

SUESS reprenait du reste une idée ancienne : un siècle avant lui, dès 1771, c'est HORACE-BÉNÉDICT DE SAUSSURE qui le premier avait reconnu dans les plissements des Alpes l'effet d'un refoulement horizontal. Ses conclusions avaient été oubliées, effacées plutôt par le triomphe de la théorie des cratères de soulèvement.

2° Comment concevoir le *mécanisme* d'un refoulement latéral créateur des Alpes, quel peut être le *moteur* d'une poussée tangentielle de cette envergure ?

En 1859, le grand géologue américain JAMES HALL, par ses observations dans les Appalaches, montrait que les terrains plissés de cette chaîne sont d'une épaisseur beaucoup plus grande que les mêmes terrains des régions voisines qui sont restés horizontaux. Or ces terrains plissés, d'une puissance atteignant 12.000 à 15.000 m., sont des sédiments de mer peu profonde. Il faut donc que le fond de cette mer se soit affaissé, enfoncé, au fur et à mesure que les dépôts de sédiments s'y accumulaient.

L'idée fut reprise environ 25 ans plus tard, en 1873, par un autre géologue illustre des Etats-Unis, JAMES DANA. Vérifiant les données de JAMES HALL, DANA insiste sur leurs conséquences : les chaînes de montagnes naissent du plissement de zones faibles de l'écorce terrestre; de zones sur lesquelles, auparavant, le fond de la mer s'affaissait, tandis que sur les espaces voisins la terre restait beaucoup plus stable. Ces zones faibles, déprimées, DANA les appelait des *géosynclinaux*. Le rapprochement de deux régions stables et plus rigides comprime entre elles, comme dans les mâchoires d'un étau, les terrains de la zone faible et plastique, et réalise leur plissement par refoulement latéral.

Ainsi se confirmait la vue prophétique de LÉONARD DE VINCI : « ce qui était le fond de la mer est devenu le sommet des montagnes ».

Quant au moteur, on pensait depuis 1830, depuis un célèbre mémoire d'ELIE DE BEAUMONT, que c'était la *contraction du noyau de la terre*. Le noyau terrestre se refroidit, se contracte; l'écorce solide doit s'y adapter; elle le fait en écrasant les zones de moindre résistance, les géosynclinaux instables, entre les serres des masses plus rigides, des *aires continentales*.

Jusque vers 1910, tout le monde a cru saisir, dans la contraction du noyau terrestre, la cause des chaînes de montagnes.

3° L'importance des poussées tangentielles, des refoulements latéraux s'est fort amplifiée par la découverte des grandes *nappes de recouvrement*.

Soupçonnées dans les Alpes suisses dès 1884 par MARCEL BERTRAND, leur réalité fut établie moins de dix ans plus tard, en 1893, par HANS SCHARDT. Il prouvait que l'ensemble des Préalpes romandes, qui s'étend de l'Arve au lac de Thoune sur près de 120 km. de longueur, avec une largeur de 20 à 30 km., n'est pas à sa place originelle. Constitué par des roches sédimentaires datant de l'ère secondaire en majeure partie, cet ensemble repose entièrement sur des terrains plus jeunes, tertiaires, les terrains molassiques qui forment le Plateau suisse entre les Alpes et le Jura. Les Préalpes ont été charriées du SE au NW, par-dessus les « massifs centraux » de roches cristallines, par-dessus les Hautes Alpes calcaires de Morcles, des Diablerets, du Wildhorn.

Mais SCHARDT, lorsqu'il lança son idée en 1893, et en 1898, lorsqu'il la défendit dans un mémoire admirable, croyait encore que les Préalpes sont une exception dans la chaîne alpine, que seules en Suisse elles ont été charriées sur des terrains restés à peu près en place et dits « autochtones » par rapport aux nappes de recouvrement.

C'est MAURICE LUGEON, en février 1902, qui démontra que l'ensemble des Alpes suisses était formé de grandes nappes, sauf les « massifs centraux » et les terrains qui les enveloppent. Les Hautes Alpes calcaires, de la Dent du Midi au Sæntis, sont comme les Préalpes charriées par-dessus ces « massifs centraux » autochtones, et plus en arrière les gneiss du Simplon, ceux des Alpes pennines,

sont aussi constitués en grands plis couchés, en nappes empilées les unes sur les autres.

En 1903, PIERRE TERMIER étendait cette conclusion aux Alpes autrichiennes jusqu'à Vienne, et déjà HAUG, KILIAN, TERMIER, l'avaient étendue aux Alpes françaises et italiennes, jusqu'à la Méditerranée.

C'est alors qu'intervint EMILE ARGAND. En précisant les formes, les structures, les volumes des unités qui composent les Alpes, il fit voir dès 1911 que le phénomène principal, le fait essentiel dans la formation de la chaîne, est le plissement des *nappes penniques*, dont l'épaisseur totale dépasse 25 km. Elles se sont accumulées en énormes plis couchés entre les socles rigides représentés d'un côté par la zone insubrienne des Dinarides, de l'autre par les « massifs centraux » autochtones. Et tout ce qui a passé par-dessus les massifs centraux, c'est-à-dire les nappes des Hautes Alpes calcaires (dites « nappes helvétiques ») et celles des Préalpes, ne sont malgré leur importance qu'un surplus de matière ayant débordé le cadre de l'auge originelle dont la compression a provoqué le plissement des nappes penniques.

Quant aux nappes les plus hautes, dont le matériel rigide et cassant constitue presque toutes les Alpes orientales, TERMIER avait déjà reconnu qu'elles sont des parties du socle insubrien, poussées en « traîneau écraseur » par-dessus les volumineux plis couchés des Pennines.

En 1916, ARGAND analysait les phases successives du phénomène. Il découvrait que le plissement se prépare depuis la fin de l'ère primaire dans le géosynclinal alpin complexe où les principales nappes penniques apparaissent déjà sous forme de bombements, de *plis embryonnaires*, dont la nature des sédiments nous révèle la disposition et la mobilité.

4° Entre temps, la théorie de la contraction du noyau terrestre comme cause initiale des refoulements latéraux créateurs des chaînes de montagnes, s'était effritée peu à peu grâce aux progrès de la géophysique.

ALFRED WEGENER y avait substitué l'hypothèse de la *dérive des continents*, du déplacement des socles continentaux rigides flottant sur une masse plus dense et plus plastique de lave à l'état vitreux, dont la croûte forme le fond des océans. La résistance

opposée par cette croûte à la dérive de l'Amérique vers l'ouest était, pour WEGENER, la cause du plissement de la chaîne andine.

ARGAND reprend cette idée. Dans sa magistrale conférence au Congrès géologique international de 1922, à Bruxelles, il montre que le mouvement des masses continentales est en effet le phénomène capital et initial dans la naissance des chaînes de montagnes. La déformation des socles continentaux en « plis de fond » détermine en Europe, par exemple, le relief du Massif central français, des Vosges et de la Forêt-Noire, de l'Ardenne, de la Bohême, etc. Il montre la création des géosynclinaux s'opérant par un amincissement, un étirement, une distension du socle continental qui se divise en deux, puis la compression des géosynclinaux par le rapprochement graduel de ces deux blocs plus rigides.

Lorsqu'on pousse un train de wagons contre un autre, la pression est suivie d'un recul; de même dans l'affrontement des socles continentaux. Après que toute l'Afrique soit venue buter contre l'Europe, au milieu de l'ère tertiaire, écrasant les terrains déposés dans l'ancienne Méditerranée équatoriale des temps secondaires et plissant la chaîne des Alpes, il n'y eut plus de Méditerranée. Mais l'affrontement continental fut suivi d'une réaction : l'ensemble de l'Europe fut lancé vers le nord plus vite que la masse africaine et une nouvelle Méditerranée, l'actuelle, s'ouvrit par distension entre les deux. C'est ainsi que le climat de l'Europe passa des chaleurs tropicales aux rigueurs des périodes glaciaires.

5° Mais le *moteur des dérives continentales* ? C'est dans l'énergie radioactive des profondeurs terrestres qu'on le cherche aujourd'hui.

Les mesures, très délicates, qui ont permis d'évaluer la durée des temps géologiques — par comparaison du poids des produits de désintégration avec celui des éléments radioactifs, dans les minéraux qui les contiennent — ont révélé que les grandes chaînes de montagnes qui se sont succédées au cours de l'histoire de la terre, se sont formées périodiquement, en gros tous les 200 millions d'années.

D'autre part, on a mesuré que la quantité de chaleur produite par la désintégration des corps radioactifs disséminés dans la terre, est beaucoup plus grande (16 fois plus grande environ) que la chaleur dégagée par la surface de la terre, qui est à peu près

d'une petite calorie par m² chaque minute. On a donc pu croire, il y a une quinzaine d'années, que la terre se réchauffait constamment, au lieu de se refroidir. Mais ARTHUR HOLMES estime plutôt que la chaleur engendrée dans les zones profondes, au-dessous de l'écorce terrestre proprement dite, s'accumule inégalement, surtout à la base des socles continentaux qui sont de mauvais conducteurs caloriques, et provoque dans les magmas sous-jacents des *courants de convection*, comme la chaleur solaire en fait naître dans l'atmosphère. Ces courants, qui atteindraient tous les 200 millions d'années une énergie suffisante, entraîneraient les grandes dérives continentales qui compriment les géosynclinaux, plissent par refoulement latéral les chaînes de montagnes, et rouvrent bientôt après de nouveaux géosynclinaux par distension du socle continental.

6° Ainsi les Alpes, dont nous pouvons suivre le développement embryonnaire depuis la fin de l'ère primaire, ont mis quelque 200 millions d'années à se former. Avec une lenteur extrême d'abord, puis dès avant la fin des temps secondaires avec des mouvements de plus en plus intenses jusque vers le milieu de l'ère tertiaire où s'accomplit le grand « paroxysme » du plissement, créateur de la chaîne dans l'essentiel de son architecture. Dès lors des mouvements tardifs ont continué à se faire sentir, de moins en moins puissants, et il est probable qu'à une échelle fort réduite ils persistent encore aujourd'hui.

Esquissée très brièvement, réduite à ses grands traits et sans tenir compte d'une foule de théories éphémères ou accessoires, telle était l'idée que se faisaient la plupart des géologues sur la formation des Alpes, il y a seulement 4 ou 5 ans. La « *Geologie der Schweiz* » d'ALBERT HEIM, achevée en 1922; le « *Bau der Alpen* » de RUDOLF STAUB, en 1924; le « *Guide géologique de la Suisse* » publié en 1934 pour le cinquantenaire de notre Société géologique, sont les principaux ouvrages d'ensemble où s'exprime cet état des connaissances. Le refoulement latéral, par compression d'une zone relativement plastique de l'écorce terrestre, semblait le seul mécanisme, la seule force à invoquer comme cause directe de l'architecture si complexe de la chaîne.

Mais ces derniers temps on s'est avisé, on s'est souvenu plutôt qu'un autre mécanisme, une autre forme d'énergie avait joué

un rôle considérable dans l'édification d'une partie des Alpes — et cette énergie est tout simplement celle de la *pesanteur*. Or le rappel de cette notion pourtant bien commune ouvre actuellement des horizons nouveaux, un champ presque inexploré dans l'histoire des nappes de recouvrement.

Et c'est à ces recherches toutes récentes, à peine amorcées aujourd'hui, que je voudrais consacrer la fin de cette conférence.

7° Certaines idées sont dans l'air, à telle ou telle époque. Celle du rôle de la pesanteur, c'est-à-dire du glissement des terrains par gravité dans le mouvement des nappes de charriage, était dans l'air depuis quelques années. En France, en Allemagne, en Autriche, en Pologne, en Roumanie, au Maroc, des géologues la formulaient plus ou moins explicitement. Mais un seul en a saisi l'importance, a compris le premier quelles méthodes d'investigations insoupçonnées cette idée si banale permettait d'introduire et d'utiliser. C'est mon cher vieux maître, M. MAURICE LUGÉON. Dès lors il en a fait le fil directeur de ses réflexions, auxquelles je me suis trouvé tout naturellement associé. Ensemble nous avons cherché des preuves, des précisions, des exemples, et fait lever un vrai vol d'hypothèses, qui maintenant exigent d'innombrables vérifications et suscitent partout des observations nouvelles.

ARGAND avait montré, nous l'avons dit, que le phénomène principal, dans la formation des Alpes, est le plissement des nappes penniques, par écrasement du géosynclinal alpin entre les socles continentaux de l'Afrique et de l'Europe. Le bord du socle européen est marqué par les « massifs centraux » des Alpes, Mont Blanc et Aiguilles Rouges, Aar et Gothard; et tout ce qui les a dépassés, les nappes helvétiques et les Préalpes, n'est qu'un surplus de matière, débordant de l'auge comprimée entre les deux serres de l'étau.

Ces conclusions restent acquises, du moins pour le moment. Mais comment se sont mises en place les nappes qui ont débordé par-dessus les massifs centraux ?

Conséquence du refoulement latéral, pensait-on. C'est en découvrant les plis des nappes helvétiques dans la région de Grindelwald que DE SAUSSURE avait été conduit à l'idée de ce refoulement. Et ARGAND avait dessiné, en 1916, la façon dont il se

représentait les différentes phases du mouvement, en ne faisant intervenir que des poussées tangentielles.

Mais certaines de ces nappes (les nappes inférieures de nos Préalpes, l'une de leurs nappes supérieures également) sont presque entièrement constituées de terrains mous, d'une alternance de grès et de schistes que BERNARD STUDER a nommée le « Flysch », du verbe allemand « fließen », couler. On conçoit mal, de terrains si plastiques, qu'ils puissent transmettre des poussées. C'est d'abord la considération de nappes analogues, dans certaines régions des Alpes françaises, des Carpathes, du Maroc, qui a récemment fait penser qu'elles pourraient s'être mises en place comme d'immenses glissements de terrains, s'écoulant sous l'effet de la pesanteur, suivant une pente plus ou moins forte.

8° C'était une idée; il s'agissait d'en faire la preuve. Nous l'avons apportée, MAURICE LUGEON et moi, en 1941.

Dans le Pays d'En Haut vaudois, la principale nappe des Préalpes romandes (dite nappe des Préalpes médianes) présente une structure très remarquable dont la planche ci-jointe montre une coupe. Les chaînons du Rubli (Rocher Plat) et de la Gummfluh sont formés de grandes dalles calcaires, plantées obliquement dans le Flysch des nappes inférieures, et tout à fait isolées, sans liaison aucune avec les calcaires semblables des chaînons voisins.

Ces dalles ont donc été disloquées, arrachées l'une à l'autre; et les masses calcaires qui se trouvent en avant, au nord de la Sarine, ont été arrachées de ces dalles restées en arrière. Donc des mouvements de *traction* sont intervenus, qui ne peuvent pas être l'effet de poussées tangentielles. Il n'y a que la pesanteur qui ait pu faire s'écouler plus vite la partie antérieure d'une nappe et l'arracher à une partie plus interne, au mouvement plus lent.

Ces disjonctions par traction, révélatrices de glissements par gravité, abondent dans les Préalpes. Sitôt que nous avons eu l'attention fixée sur ce phénomène par l'exemple si frappant du Rubli et de la Gummfluh, nous en avons trouvé de nombreux autres, des exemples que nous avons côtoyés et observés bien souvent sans jamais en remarquer l'importante signification.

9° Ces grands glissements de nappes, dans quelles conditions se sont-ils produits ?

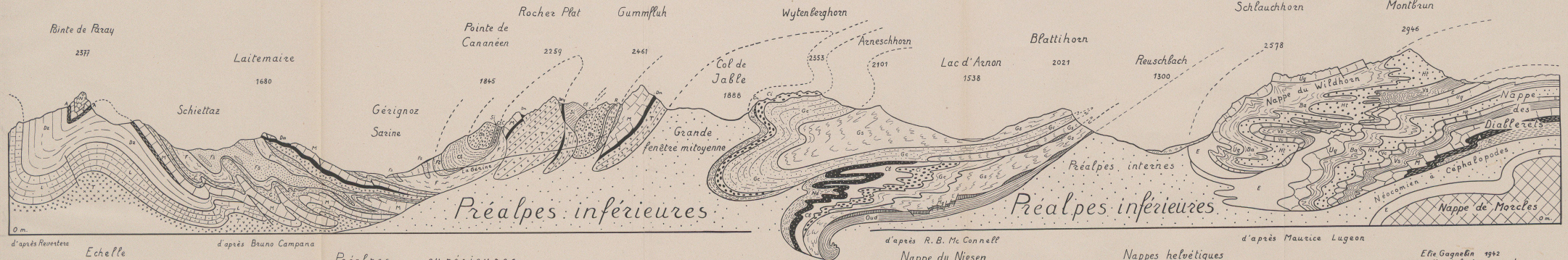
Préalpes supérieures

Nappe du Niesen

Nappes helvétiques

NW

SE



d'après Reuvenst
Echelle
0 250 m 1000 m 1500 m 2000 m

d'après Bruno Campana

Préalpes supérieures
Nappe de la Simme
F₃ Flysch éocène avec Poudingue de la Mocausa

Préalpes supérieures
Nappe de la Brèche
M Flysch
C Crétacé supérieur
N Néocomien
M Malm
A Argovien
D₁ Dogger à Mytilus
L Lias
T Trias

Nappe des Préalpes médianes
F Flysch tertiaire
C Crétacé supérieur
N Néocomien
M Malm
A Argovien
D₁ Dogger à Mytilus
L Lias
T Trias

Préalpes inférieures
Zone d'Oudoux

d'après R. B. Mc Connell

Nappe du Niesen
Flysch maestrichtien
M Couches à Nodosaires
C Conglomérat moyen
C Flysch à calcaires blancs
C Conglomérat intermédiaire
G Flysch grès-calcaire
G Flysch grès-schisteux
Soulèvement
M₁ Zones du Wallegg et de Murgaz
Oud Zone d'Oudoux

Nappes helvétiques
E Eocène
U₁ Ugonien
B₁ Barémien inférieur
H Hauteriviien
V₁ Valanginien calcaire
V₂ Valanginien schisteux
M Malm
A Argovien
D Dogger

d'après Maurice Lugeon

Nappe de Morcles
Quaternaire

Elie Gagnon 1942
d'après les travaux de
B. Campana (inédit)
R. Dudan (inédit)
F. Jaccard
M. Lugeon
R. McConnell (inédit)
P. Mercier (inédit)
C. Reverdin
H. Scharat.

On imaginait toujours, de façon plus ou moins explicite, que la mise en place des nappes de charriage avait dû s'effectuer sous de puissantes épaisseurs de terrains, pour avoir plissé comme de l'étoffe des masses de calcaires rigides. Et certainement il en est ainsi pour beaucoup de nappes alpines. Mais les glissements de roches sont en général des phénomènes de surface. Peut-on savoir de quelle façon s'est déplacée telle ou telle nappe ?

Il a presque suffi de poser le problème pour en trouver la solution, toujours dans nos Préalpes. Si l'on observe, à la surface d'une nappe, des effets d'*érosion* subaérienne qui soient sûrement antérieurs à sa mise en place actuelle, c'est que l'avancée de cette nappe s'est effectuée à l'air libre. Et bientôt divers exemples nous sont venus à l'esprit, des faits que nous connaissions depuis longtemps sans avoir soupçonné ce qu'ils révèlent.

Sur la nappe des Préalpes médianes s'étend la « nappe de la Brèche », qui est localisée en deux grands lobes distincts, le plus important au Chablais, l'autre dans les bassins de la Sarine et du Simmental.

Or on constate, en Chablais, que partout où la nappe de la Brèche repose sur celles des Médiannes, les épaisses couches calcaires de celle-ci n'existent plus, ou sont réduites à de maigres lentilles. C'est qu'elles ont été écrasées, pensait-on jusqu'ici. Mais non, car si elles avaient été laminées par l'avancée de la nappe de la Brèche, on les retrouverait reportées plus en avant. Et devant le front de la nappe de la Brèche n'existent que des fragments tout à fait isolés, sporadiques, de ces calcaires, nullement écrasés. Le rapport de cause à effet est donc l'inverse de ce qu'on avait cru : la nappe de la Brèche s'est écoulée, par glissement, là où elle a trouvé passage, c'est-à-dire là où les épais remparts calcaires des Préalpes médianes avaient été enlevés par l'érosion. C'est dans les creux qu'une masse de terrain s'écoule : c'est parce que l'érosion avait taillé deux vastes dépressions à la surface des Préalpes médianes que la nappe de la Brèche s'est épanchée sur elle en deux grands lobes; entre ces deux lobes, entre la frontière française et la vallée de la Torneresse, la nappe de la Brèche n'a pas pu s'écouler.

Et l'on est sûr que ces érosions se sont produites avant la mise en place des nappes, car là où nous les voyons aujourd'hui, il est manifeste que les Préalpes médianes et la Brèche ont été

plissées ensemble, après le chevauchement de la Brèche sur les Médiannes.

10° Examinons encore la coupe des Préalpes du Pays d'En Haut, telle qu'on peut l'établir dans l'état présent de nos recherches. Elle est bien révélatrice, à l'analyse, et nous sommes certes loin d'en avoir épuisé les aveux.

Toutes les nappes préalpines y sont représentées. On saisit au premier coup d'œil que les trois supérieures — nappes de la Brèche, de la Simme, des Médiannes — ont été plissées ensemble, comme nous le remarquons tout à l'heure.

La nappe de la Simme, qui est actuellement réduite à d'assez petits lambeaux dispersés, est faite en majeure partie de Flysch datant de l'ère secondaire (c'est une jolie découverte de nos collègues TSCHACHTLI et CAMPANA) et repose presque partout sur le Flysch tertiaire des Médiannes. Il est probable que son glissement sur le dos des Médiannes s'est produit très anciennement, peut-être avant que les terrains des Médiannes ne soient chassés de leur bassin sédimentaire par la compression du géosynclinal.

Le chevauchement de la nappe de la Brèche sur les Médiannes est à coup sûr beaucoup plus tardif; nous venons de voir qu'une période d'érosion, sans doute fort longue, est intervenue entre la mise en marche de la nappe des Médiannes et son recouvrement par la Brèche. Ici cette érosion n'a pas supprimé les remparts calcaires des Médiannes, puisqu'il en subsiste les grandes dalles du Rubli (Rocher Plat) et de la Gummfluh; c'est que nous sommes au bord occidental du lobe oriental de la nappe de la Brèche, c'est-à-dire de la dépression où ce lobe a pu s'écouler. Plus à l'est, entre la Gummfluh et les Spillgerten, ces masses calcaires sont fort entamées.

Nous avons déjà parlé des effets de traction disjonctive qui ont isolé, arraché l'une à l'autre les dalles du Rubli et de la Gummfluh. Cette disjonction a précédé le chevauchement de la nappe de la Brèche, puisque ses plis plongeants sont ici pincés entre les dalles isolées; il est même probable que cette disjonction a précédé la période d'érosion antérieure à ce charriage.

En tout cas ces dalles de l'arrière des Médiannes ne sont pas tombées du ciel pour se planter dans le Flysch tertiaire des nappes inférieures. Elles ont dû glisser comme des radeaux, avec

une faible inclinaison; et leur redressement en lames de jalousies suivant la forte pente que nous leur voyons aujourd'hui est certainement l'effet d'une poussée postérieure. Or cette poussée ne peut être que l'action de la nappe du Niesen, qui elle aussi est venue s'enfoncer, épaisse masse plastique, dans la pâte des Préalpes inférieures. La mise en place de cette volumineuse nappe du Niesen est donc plus tardive que celle du paquet Médianes-Simme-Brèche. Et c'est probablement plus tard encore que les nappes helvétiques sont arrivées, d'abord celle de Morcles, puis d'un même mouvement celles des Diablerets et du Wildhorn.

Ces trois grands ensembles, dont l'individualité ressort si bien de notre coupe (Préalpes supérieures, nappe du Niesen, nappes helvétiques) flottent sur le complexe des Préalpes inférieures, dans lequel elles sont engagées. C'est donc que ces Préalpes inférieures se sont étendues sur l'autochtone en tout premier lieu, avant l'arrivée des masses glissantes qui successivement sont venues s'échouer sur elles. Voilà quelques-unes des constatations que l'on peut inférer de l'étude d'une telle coupe.

11° Ces exemples suffiront pour faire entrevoir les problèmes nouveaux qui se posent en foule dans nos Préalpes et dans les Alpes helvétiques. On se rend compte maintenant qu'entre la mise en marche de ces nappes et leur mise en place, un temps extrêmement long, et des phénomènes très divers sont intervenus. Pendant qu'elles glissaient, d'une façon presque insensible et probablement intermittente, des cours d'eau ont pu s'établir à leur surface, tailler tout un réseau de vallées et de dépressions, pendant des millénaires et des millénaires. C'est sur de telles topographies déjà usées que les nappes supérieures sont venues à leur tour s'écouler, l'ensemble continuant ensuite sa lente reptation vers les creux de l'avant-pays. C'est tout une histoire, très compliquée, qu'il est passionnant de chercher à reconstituer, en analysant les effets qui nous en restent visibles.

12° Il n'y a rien de nouveau sous le soleil. Cette idée du glissement des terrains sur le versant des « massifs centraux » qui se soulèvent, elle rejoint en somme la vieille théorie des cratères de soulèvement, considérablement modifiée.

Surtout, c'est la première idée qu'avait eue HANS SCHARDT, lorsqu'en 1893 il avait établi que les Préalpes sont des nappes

charriées. Et il avait tout pressenti : traction disjonctive, érosion des nappes pendant leur écoulement. D'où vient que cette notion, si simple, ait presque disparu pendant près de trente ans, reniée par SCHARDT lui-même ?

C'est que SCHARDT, nous l'avons dit, croyait d'abord que les Préalpes seules étaient charriées dans les Alpes suisses. Lorsque les travaux de LUGEON, de TERMIER, d'ARGAND ont fait considérer l'ensemble de la chaîne, l'ampleur des nappes penniques, il apparut clairement que l'hypothèse d'un glissement de terrains sous l'effet de la pesanteur leur était inapplicable.¹ Alors SCHARDT a renoncé, comme tout le monde, à son idée première. Il fallait invoquer une cause unique, un mécanisme qui rendît compte à la fois de toutes les parties des Alpes. Le besoin d'unité de l'esprit, qui a fait accomplir tant de progrès en science, induit souvent aussi en erreur.

Aujourd'hui, nous envisageons plusieurs mécanismes différents, complémentaires. Pour les grandes nappes penniques, pour leur partie du moins restée entre les deux serres de l'étau continental, la compression du géosynclinal par poussée latérale, par dérive du socle africain. Pour le surplus de matière qui a débordé le cadre du géosynclinal, écoulement lent sous l'effet de la pesanteur. Il faudrait ajouter encore l'action des mouvements isostatiques provoqués par les surcharges que représente l'accumulation des nappes, laquelle doit se faire sentir jusque dans le magma profond. Mais c'est un domaine où les vérifications sont encore trop difficiles pour que les hypothèses aient actuellement grande valeur.

Ainsi nos conceptions se compliquent, mais se précisent; une synthèse s'édifie peu à peu, où trouvent leur place des éléments de toutes les théories anciennes. Un nouveau champ de recherches s'ouvre devant nous : nous en avons pour des années à reviser nos observations, à serrer nos déterminations, à critiquer nos interprétations. Les hypothèses qui surgissent de ces vues nouvelles sont vraiment des hypothèses « de travail » et vont nous donner, comme on dit, bien du fil à retordre. Mais qu'y a-t-il de plus beau que retordre du fil ? C'est l'incorruptible joie de l'homme de science.

¹ La tentative d'un HAARMANN, par exemple, pour l'y appliquer semble désespérée.

Über Einheit und Spezialisierung in der tierischen Entwicklung¹

Von

Prof. Dr. FRITZ BALTZER, Bern

KARL ERNST VON BAER hat in dem nach ihm benannten Gesetz dargelegt, dass die verschiedenen Tierformen innerhalb eines « Bauplans » (eines Tierstammes oder einer Tierklasse nach heutiger Ausdrucksweise) als Embryonen einander auffallend ähnlich sind, so verschieden sie auch später im erwachsenen Zustand sein mögen. Die Entwicklung ist « Umbildung einer allgemeinen Grundform in vielfach speziellere Formen ». « Die allgemeinsten Charaktere des Wirbeltieres bilden sich also zuerst » ... « wobei noch die histologische und morphologische Sonderung äusserst gering ist und nur beginnt. » « Indem diese Sonderungen fortschreiten », geht der Embryo aus seiner ersten Grundform, ... « aus dem Charakter einer Tierklasse in den einer Ordnung und einer Familie, später in eine noch beschränktere über usw. » Dieses BAERSche Gesetz ist eine biologische Erkenntnis von höchstem Rang. Es ist nicht verwunderlich, dass es nach verschiedenen Seiten hin theoretisch ausgewertet wurde. Seine grösste und über die weise Mässigung des Autors selbst weit hinausdrängende Deutung, die wir hier jedoch nicht näher zu betrachten haben, hat es in stammesgeschichtlicher Richtung durch HAECKEL erfahren, nach dessen Ansicht die Gleichartigkeit der frühen Entwicklungsstadien auf der Gleichheit der erwachsenen Ahnenformen beruht. Aber auch von der experimentellen Entwicklungsgeschichte her drängt

¹ Wegen des beschränkten Druckraumes musste der Vortrag für die Veröffentlichung auf die Hälfte seines Umfanges gekürzt und es musste auf Abbildungen verzichtet werden. Infolgedessen kann hier nur ein Teil des Vortrags wiedergegeben werden.

sich eine Auseinandersetzung mit dem BAERSchen Gesetz auf. Die Frage lautet dann: In welchem Grade sind nicht nur *morphologisch* bei frühen Embryonen oder embryonalen Organen ähnliche Gestaltungen, sondern in welchem Grade sind auch entwicklungsphysiologische Gemeinsamkeiten vorhanden? In welchem Grade ist also das System der *Entwicklungsbedingungen* gemeinsam, als deren Folge erst die Embryonalformen entstehen?¹

Eine erste Grundlage für die Ähnlichkeit dieser Entwicklungsbedingungen liegt bereits im Anlagenmuster des Eies, das für die Chordaten, auf deren Besprechung wir uns hier beschränken wollen, eingehend untersucht worden ist. Immer sind, wie ausführlich in dem Buche von DALCQ² dargelegt wird, die späteren embryonalen Hauptbereiche (der epidermale, neurale, chordomesodermale Bereich usw.) topographisch in sehr ähnlicher Weise im Plasma des Eies angeordnet. Diese ähnliche Topographie erhält sich auch in der nachfolgenden Forschung bis zum Blastulastadium; aber sie steht in schärfstem Gegensatz zu den späteren erwachsenen Tiertypen. Schlechterdings kann man sich kaum verschiedenere Tierformen denken als die schlauchförmigen « wirbellosen » Tunicata (z. B. die Seescheiden) und die verschiedenen Wirbeltiertypen, und doch sind alle Angehörige des Stammes der Chordatiere.

Das Anlagenmuster erhärtet also das BAERSche Gesetz. Man kann allerdings sagen: es handelt sich auch hier um morphologische Dinge. Immerhin aber dreht es sich gleichzeitig um die Ausgangszustände für die nachfolgenden entwicklungsphysiologischen Vorgänge, der Gastrulation, Neurulation und der Bildung der Organanlagen selbst.

Die Determination der embryonalen Hauptorgane geschieht während der Gastrulation und dem anschliessenden Stadium der Neurula.³ Dann ist die Organisation im wesentlichen skizziert und besonders klar bei der Amphibienentwicklung erforscht: Die Neuralplatte liefert mit ihrem vorderen Teil die Hirnbereiche, ent-

¹ Siehe u. a. F. E. LEHMANN: Die morphologische Rekapitulation des Grundplans bei Wirbeltierembryonen und ihre entwicklungsphysiologische Bedeutung. Vierteljahrsschr. Naturf. Ges. Zürich, LXXXIII, 1938.

² A. DALCQ. L'œuf et son dynamisme organisateur. Albin Michel, Paris, 1941.

³ Für die Neurula siehe vor allem T. YAMADA, Roux' Archiv 137, 1937.

hält gleichzeitig im vordersten Bezirk die Anlagen für die beiden Augenblasen (Retina und Pigmentschicht). Aus der hinteren Hälfte der Neuralplatte entwickelt sich das Rückenmark des Rumpfes, unter ihr liegt in der Mediane der Zellstrang der Chorda, rechts und links flankiert von den Reihen der Mesodermsegmente, aus denen, dem Rückenmark am nächsten benachbart, die Muskelsegmente hervorgehen. Es erübrigt sich hier, auf die zahlreichen anderen Organanlagen einzugehen.

Aber nicht nur die topographisch umschreibbaren Organbereiche selbst, sondern auch die entwicklungsbestimmenden Beziehungen zwischen den einzelnen Bereichen, die Korrelationen, müssen berücksichtigt werden. Eine Reihe von Organanlagen, wie diejenige des Herzens, der Chorda oder der Muskelsegmente, entwickeln sich in hohem Grade unabhängig. Andere aber brauchen nachbarliche Einflüsse. So ist die Anlage der Augenblasen von der richtigen Entwicklung des unterlagernden vordersten Urdarmabschnittes, die Ausbildung der ektodermalen Augenlinsen in vielen Fällen von der Entwicklung der nachbarlichen Augenblasen abhängig, die Anlage der ektodermalen Hörblasen (des späteren inneren Ohrs) vom benachbarten Mesoderm usw.

Unter « Anlage » ist dabei die erste Ausbildung verstanden. Aber auch die normale *weitere* Differenzierung hängt vielfach von Nachbarorganen ab. So ist für die typische *histologische* Verteilung von Nervenzellen und Nervenfasern im Rückenmark eine normale Entwicklung der unterlagernden Chorda und der flankierenden Muskelsegmente notwendig.

Alles dies, die topographischen Anlagen selbst wie die geschilderten Entwicklungsabhängigkeiten können wir in ihrer Gesamtheit als Organisationsplan bezeichnen. Sie machen kraft der vielen Querbeziehungen ein Ganzes, die embryonale Einheit aus.

Kehren wir nun zur Ausgangsfrage zurück: Wieweit ist die frühembryonale Entwicklung nicht nur morphologisch, sondern auch in diesem Organisationsplan bei den verschiedenen Wirbeltierklassen oder, in engerem Rahmen, bei morphologisch verschiedenen *grösseren Untergruppen* einer Klasse gemeinsam?

Wie unsere Kenntnis von Organisationsplänen fast ganz auf Experimenten beruht, so kann eine Antwort auf die eben bezeichnete Frage auch nur experimentell erlangt werden. Das entscheidende Wort haben dabei die Experimente der xenoplastischen

Transplantation, bei der Anteile stark verschiedener Tierarten zu Chimären verbunden werden. Sie sind für unsere Frage von grösstem Wert, allerdings nicht für Gemeinsamkeiten zwischen verschiedenen Klassen, immerhin aber für solche zwischen den zwei grossen Gruppen innerhalb der einen Klasse, der Amphibien, zwischen Anuren und Urodelen. Diese Experimente gehen auf H. SPEMANN¹ zurück. Wenn ein Stück eines jungen Froschkeimes in frühem Stadium, während der Gastrulation oder Neurulation einem ungefähr gleich alten Molchkeim an den entsprechenden Ort verpflanzt wird, so muss es sich im fremden Körpermilieu entwickeln, und diese weitere Entwicklung kann Aufschlüsse über Gemeinsamkeiten und Differenzen im Organisationsplan der beiden kombinierten Tierformen geben.

SPEMANN und SCHOTTE (1932) und vor allem HOLTFRETER (1935, 1936, Roux' Archiv, Bd. 133 und 134) haben festgestellt, dass die in solchen Chimären entstehenden ordnungsfremden Organe ihrem *Typus* nach ortgemässen Charakter haben, dass sich aber *die Art* der Ausbildung herkunftsgemäss vollzieht, also wie beim Spender verläuft. In den klassischen Experimenten der genannten Autoren wurde vor allem zukünftiges Ektoderm beliebiger Herkunft aus einer Froschgastrula in die Kopfregion einer Molchgastrula oder auch umgekehrt aus einer Molchgastrula in einen Froschkeim übergepflanzt. Das Implantat entwickelt sich und liefert, wenn es in den Kopfbereich gekommen war, Froschhornkiefer und Hornzähnen, Froschhaftdrüsen oder auch erstaunlich gut eingepasste Hirnanteile oder Teile des Viszeralskeletts. Umgekehrt bildet der junge Froschkeim mit einem Implantat von Molchektoderm in der Mundregion später am richtigen Ort einen Molchhaftfaden (HOLTFRETER 1935, ROTMANN 1935).

Die Versuchstiere wurden von den genannten Autoren in jüngerem Alter (von etwa 2 Wochen) fixiert. Sie waren selten ganz normal. Eigene Versuche zeigten, dass die Entwicklungsfähigkeit wesentlich weiter reicht. Damit trat die Frage in den Vordergrund, der dieser Aufsatz gewidmet ist, in welchem Grade und bei welchen Organen die Entwicklungspläne der beiden Amphibienordnungen, der Anuren und der Urodelen, in den *Larven* noch übereinstimmen oder aber auseinandergehen. Dabei lassen sich

¹ Zusammenfassung bei SPEMANN, Experimentelle Beiträge zu einer Theorie der Entwicklung. Springer, Berlin, 1936.

zwei extrem verschiedene Möglichkeiten denken : 1. Es kann der Gegensatz zwischen der Ausbildungsart des Implantats und der entsprechenden Wirtsregion sehr gross sein. Das ordnungsfremde Organ oder Gewebe macht die weiteren larvalen Entwicklungsschritte nicht mit. Ein solches negatives Resultat weist für die betreffenden Stadien und Organe auf verschiedene Entwicklungspläne der beiden Tiertypen hin. Das xenoplastische Organ findet dann offenbar im ordnungsfremden Wirt keine oder sehr wenig spezifische Entwicklungshilfe. Die Richtigkeit der Deutung wird sich vor allem durch den Vergleich der Leistungen solcher Organe nachprüfen lassen, von denen man weiss, dass sie auch in der normalen Entwicklung in verschiedenem Grade der Hilfe benachbarter Organe bedürfen. 2. Es könnte sich andererseits das Implantat in der ordnungsfremden Larve normal weiterentwickeln und dabei in typischer Weise an der Wirtsorganisation teilnehmen. Damit zeigt sich an, dass der Entwicklungsplan der beiden Ordnungen für dieses Organ gleich oder wenigstens sehr ähnlich ist. Dieser Schluss gilt natürlich nur dann, wenn das Organ an und für sich auch bei normaler Entwicklung Umgebungshilfe braucht, was z. B. für das Zentralnervensystem zutrifft.

In vielen Fällen ist natürlich neben der entwicklungsphysiologischen auch die betriebsphysiologische Leistung des Implantats von Interesse, so gerade beim Nervensystem, ebenso auch bei verschiedenen Sinnesorganen.

Unter dieser Fragestellung wurde eine Anzahl von Experimenten ausgeführt. Einige Ergebnisse sollen im folgenden kurz dargestellt werden :

1. *Ordnungsfremde Pigmentzellen.* Eine reichliche ordnungsfremde Pigmentzellenbesiedelung wird erhalten, wenn Stücke der Neuralwülste ausgetauscht werden. Diese Besiedelung bleibt bis in die spätesten Larvenstadien erhalten (BALTZER 1941, LEUENBERGER 1942, beide in *Revue suisse de Zoologie*, Bd. 48, 49). Ihre Verteilung passt sich zum Teil in das Muster des Wirts ein. So ordnen sich die schwarzbraunen Laubfrosch- oder Unkenmelanophoren in die charakteristischen dunklen Längsstreifen der jungen Molchlarve ein, die bei den Spenderarten nicht gebildet werden. Die musterbedingenden Faktoren können sich bei den beiden Ordnungen zum Teil vertreten.

2. Ein Stück Neuralrohr, aus dem jungen Molchembryo in den Froschembryo, dessen entsprechendes Stück entfernt worden war, eingepflanzt, bildet eine normal gebaute, gut eingeordnete Rückenmarkstrecke mit Ganglienmasse, Nervenfasern und Spinalganglien. Die Neural-Chimäre schwamm normal herum und wurde 3 Wochen nach der Operation fixiert. Das Implantat ist auf Grund der grösseren Zellkerne mit grosser Klarheit feststellbar. Um die Bedeutung dieser xenoplastischen Entwicklungsleistung zu bewerten, muss man sich vergegenwärtigen, dass ein normales Rückenmark mit richtig verteilter Nervenzellmasse und Fasersubstanz nur unter Mithilfe der umgebenden Organe (der Chorda und der sich entwickelnden Myotome) zustande kommt. Diese somatischen Umgebungsfaktoren wurden dem Molchimplantat hier durch den ordnungsfremden Laubfroschkeim geboten. Er konnte in dieser Hinsicht das Körpermilieu des neuralen Spenders ersetzen. Für die Frage, in welchem Grade die fremde Rückenmarkstrecke auch funktioniert, braucht es ein grösseres Material.

3. Im präsumtiven Vorderhirnbereich einer jungen Molchneurula wurde die eine Hälfte durch den entsprechenden neuralen Sektor einer gleich alten Unkenneurula ersetzt. Es entwickelte sich ein Molchauge mit einem Unkenanteil. Das Tier wurde als 4 Wochen alte Larve fixiert. Der Unkensektor des Auges ist völlig normal eingeordnet mit typischer Retina, Sehelementen, Ganglienzellschichten, Tapetum. Der Implantatbereich ist an den kleineren Zellkernen leicht festzustellen. Auch hier vermag sich also das xenoplastische Material in den fremden Organisationsplan einzuordnen. Liess der sehr ähnliche Bau der Augen und des Rückenmarks bei Frosch- und Unkenlarven eine weitgehende Übereinstimmung auch in entwicklungsphysiologischer Beziehung erwarten, so wird diese Erwartung durch die Experimente bestätigt. Die Versuche werden weitergeführt.

4. Xenoplastische Transplantate in Körperbereichen mit stark divergenten morphologischen Charakteren zeigen ein anderes, jedoch noch nicht entwirrbares Bild. Auch hier ist die Entwicklungsfähigkeit an und für sich, soweit sie lediglich die Erhaltung des Implantats in älteren Larvenstadien anbetrifft, bemerkenswert gross. Die harmonische Einordnung in die Organisation des Wirts aber ist gering.

Hierher gehören Verpflanzungen von Kopfektoderm aus Molchneurulen in Unkenneurulen. Diese Implantate sind auch in alten Larven (bis 7 Wochen nach der Operation aufgezogen) noch erhalten und nehmen u. a. am Mundbereich teil, ohne aber zu besonderen Leistungen zu kommen.

Xenoplastische Molchhautbezirke im Rumpfbereich dagegen ordnen sich gut in die Unkenlarve ein. Sie machen die Entwicklung normal mit und werden wie die Unkenepidermis selbst in der für diese Larven charakteristischen Weise von der unterliegenden Kutis abgehoben.

Zusammenfassend lässt sich folgendes sagen :

1. Während der Gastrulation und Neurulation können sich die Organisationspläne auch bei später stark auseinandergehenden Tiergruppen wie den beiden Amphibienordnungen, noch vertreten. (SPEMANN, SCHOTTE, HOLTRETER). Das morphologische BAERSche Gesetz hat hier eine entwicklungsphysiologische Parallele.

2. Auch in den späteren, auseinandergehenden Larvenstadien der beiden Amphibiengruppen gibt es noch Organe mit bemerkenswerter entwicklungsphysiologischer Übereinstimmung: das Neuralrohr und das Auge (eigene Versuche). Beide Organe sind zwar in sich hoch spezialisiert, haben aber doch offenbar ein ähnliches Entwicklungsschema, das über die Grenzen der beiden Amphibienordnungen hinweg eine gegenseitige Vertretung erlaubt. Ähnliches gilt auch für die Hörblase (HOLTRETER). Es sind Organe, die auch morphologisch in den beiden Ordnungen weitgehend ähnlich sind.

3. Endlich gibt es Organe mit früh divergenter Entwicklung. Sie erscheinen schon morphologisch als die eigentlichen Träger der grossen systematischen Trennung und sind es nach den bisher gemachten Beobachtungen auch entwicklungsphysiologisch. Hierher gehören nach den bisherigen Versuchen Organe der Mundregion, ferner bestimmte Hautbereiche des Kopfes. Entwicklungsphysiologische Divergenzen und Fähigkeiten der Einordnung gehen hier durcheinander und sind in ihren Grenzen noch unklar.

* * *

Mit diesen Ergebnissen berühren wir stammesgeschichtliche Fragen. Offenbar gibt es, auch wenn stammesgeschichtlich ein neuer, stark abweichender Typus entsteht (wie der Froschtypus

gegenüber dem ursprünglicheren Molchtypus), Organe, deren Entwicklung gewissermassen als Klischee ohne grosse Änderungen übernommen wird. Andere Organe aber erfahren, um einen BÖKERschen Ausdruck zu gebrauchen, eine grundlegende anatomische Umkonstruktion.¹

Eine Reihe neuerer Autoren betonen gerade auch unter dem Eindruck der entwicklungsphysiologischen Forschung die Ganzheit der Organisation. (BÖKER 1935, KÄLIN 1941, u. A.) « Biologisch-anatomisches Denken ist Ganzheitsdenken » (BÖKER 1935). BÖKER umschreibt von diesem Standpunkt aus auch die Artumwandlung. Sie ist Umkonstruktion, dies will sagen : sie ist *nicht* Änderung an anatomischen Einzelheiten, sondern Änderung « an Komplexen, deren harmonisches Zusammenspiel notwendig ist » (l. c. S. 77). Er hält, da Mutationen nur Einzeländerungen seien, eine Erklärung der Artumwandlung durch Mutationen für unmöglich.

Die genauere Untersuchung der Entwicklung xenoplastischer Organe wird uns Einsichten in den Aufbau der Ordnungsunterschiede zwischen den beiden Amphibiengruppen verschaffen und als Analyse grösserer Systemunterschiede wertvoll sein. Sie wird vielleicht auch zeigen können, ob « Umkonstruktionen » in Einzelunterschiede auflösbar sind und dann vielleicht auch leichter in die Mutationslehre eingebaut werden können.

¹ Vgl. A. MEYER-ABICH, Konstruktion und Umkonstruktion. Anatom. Anz. 92, 1941.

Mécanisme de la respiration cellulaire

Par le

Prof. Dr A. VANNOTTI, Policlinique Universitaire, Lausanne

Le problème de la respiration cellulaire passionne depuis des années les biologistes et les chimistes. Ce problème s'est posé lorsqu'on a reconnu que sans la présence d'oxygène dans l'air la vie animale n'était pratiquement pas possible.

Le rôle de l'oxygène dans le mécanisme de la vie animale se rattache au fait suivant : l'énergie contenue dans les substances constitutives de l'organisme animal, énergie qui est en dernière analyse l'expression et la condition essentielle de la vie, ne peut se développer entièrement qu'à travers une combustion déclenchée par l'oxygène.

Les organismes vivants produisent en effet l'énergie nécessaire à leur fonction par la dégradation par oxydation des matériaux organiques tels que les hydrates de carbone, les albumines et les graisses. Cette dégradation peut se faire suivant deux mécanismes différents : avec le concours de l'oxygène de l'air, dégradation en aérobiose : *respiration*, ou par une série d'oxydations biologiques sans participation de l'oxygène de l'air : l'anaérobiose.

C'est surtout aux mécanismes complexes de la respiration cellulaire, étudiés dernièrement en particulier par BIGWOOD, KEILIN, SZENT-GYORGYI, THEORELL, WARBURG, WIELAND et d'autres, que nous vouerons notre intérêt particulier aujourd'hui.

Les organismes animaux dont la vie est basée sur le principe d'une oxydation rapide et énergique par l'intermédiaire d'un système respiratoire, sont dotés d'une série de mécanismes régulateurs de l'oxydation cellulaire auxquels participent nécessairement de multiples catalyseurs. L'hypothèse de l'oxygène porté à l'hémoglobine par la fonction pulmonaire et circulant dans le corps entier pour pénétrer dans chaque cellule et y déclencher les

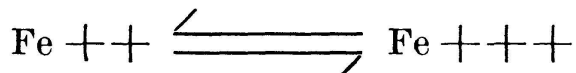
oxydations nécessaires, ne survit que dans les grandes lignes. La pénétration de l'oxygène du sang dans la cellule n'est en effet pas un processus simple, mais l'expression d'une innombrable série de réactions chimiques indispensables à la régulation de la respiration cellulaire.

Pour mieux comprendre toute l'importance des phénomènes biochimiques qui sont liés à la respiration cellulaire, il nous semble utile de rappeler ici quelques notions générales sur les phénomènes d'oxydation en chimie.

La chimie nous apprend que l'oxydation d'une substance peut se faire de différentes façons :

- 1° par une perte d'électrons, donc par changement de valence,
- 2° par un gain d'oxygène, action directe de l'oxygène : oxydation directe,
- 3° par perte d'hydrogène, donc par déhydrogénation.

Le premier cas d'oxydation par perte d'électrons se rencontre surtout en chimie minérale. L'ion ferreux (fer réduit) bivalent, perd un électron en s'oxydant en ion ferrique (fer oxydé) trivalent.



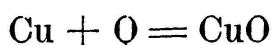
et inversement l'ion ferrique (oxydé), en se réduisant, s'enrichit d'un électron et devient bivalent.

Le changement de valence, la modification du nombre d'électrons, se fait donc avec la collaboration d'un autre corps qui cède ou qui accepte les électrons.

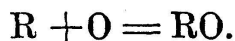
L'oxydation d'un corps ne peut donc avoir lieu qu'à la faveur d'une réduction parallèle d'un autre corps. Cette réaction étant réversible, ainsi s'explique le mécanisme de l'*oxydo-réduction* qui joue un rôle si important dans la biochimie de la respiration cellulaire.

Une oxydation est caractérisée enfin par les deux autres formes suivantes :

par oxydation directe, la substance recevant directement de l'oxygène. C'est le cas typique des métaux qui se transforment en leurs oxydes



et c'est le cas de certaines substances organiques



Finalement, une substance peut encore s'oxyder par perte d'hydrogène :



Dans la chimie biologique nous avons trois mécanismes correspondant à ce principe :

- I. L'oxygène moléculaire de l'air sert d'accepteur de l'hydrogène mobilisé (oxydation aérobie — respiration)

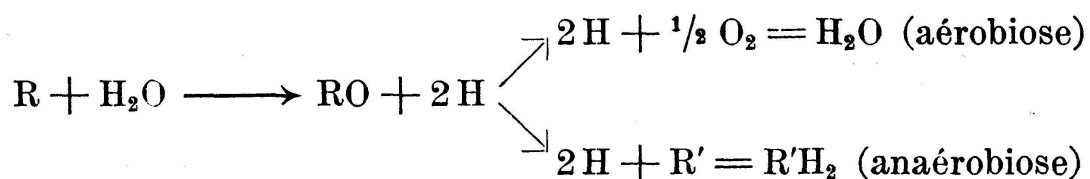


- II. L'oxydation se fait par l'intermédiaire d'un accepteur fixe d'hydrogène R' qui capte l'hydrogène de la substance qui s'en libère (R).



Ce mécanisme caractérise l'oxydation de la *fermentation*.

- III. Enfin, l'oxydation peut se faire par l'oxygène provenant d'une molécule d'eau qui se lie préalablement au substrat.



La troisième forme d'oxydation, par soustraction d'hydrogène, est extrêmement fréquente en biochimie et doit attirer tout particulièrement notre attention.

La perte d'hydrogène du substrat ne se fait que par activation de l'hydrogène, c'est-à-dire à travers l'action de ferments : *les déhydrases*.

Les déhydrases sont donc des corps indispensables pour mobiliser l'hydrogène du substrat. Mais la seule présence d'une déhydrase ne suffit pas pour déclencher l'oxydation. A côté des déhydrases activant l'hydrogène, il faut encore un accepteur intermédiaire d'hydrogène, appelé *transporteur d'hydrogène*, qui par une action momentanée de co-ferment peut transporter l'hydrogène à l'accepteur définitif, soit à l'oxygène moléculaire de l'air dans la respiration, soit un accepteur fixe d'hydrogène dans la fermentation.

Ces transporteurs d'hydrogène sont donc les constituants cellulaires qui s'intercalent entre la déshydrase qui active l'hydrogène et l'accepteur définitif d'hydrogène.

C'est surtout à WIELAND que nous devons les notions fondamentales de l'activation et du transport de l'hydrogène. La théorie des déshydrases de WIELAND nous permet d'expliquer toute une série d'oxydations et de dégradations de substances énergétiques en biologie et de saisir l'importance d'une série de substances dans le métabolisme cellulaire.

En effet, parmi ces transporteurs d'hydrogène, nous retrouvons certains systèmes réversibles décrits par SZENT-GYORGYI.

Le *glutathion* (HOPKINS).

L'*adrénaline* qui, selon GREEN, pourrait aussi servir de transporteur d'hydrogène.

L'*aneurine* (vitamine B₁) qui est le co-ferment de la carboxylase. Dans sa forme phosphorylée, et avec un porteur protéique, l'aneurine participe activement à la dégradation des hydrates de carbone. En effet, si le glutathion provoque la transformation de l'acide pyruvique en acide lactique, l'aneurine contenue dans la carboxylase transforme l'acide pyruvique en aldéhyde acétique.

L'*acide ascorbique* (vitamine C) peut, en théorie, aussi jouer le rôle de transporteur d'hydrogène. En effet, l'acide déhydro-ascorbique est un accepteur d'hydrogène. Nous ne connaissons pas aujourd'hui d'exemples de l'action de la vitamine C comme transporteur d'hydrogène en biologie, mais les récentes études sur la fonction et la résorption du fer paraissent révéler une action protectrice de l'acide ascorbique sur le fer réduit.

Le *ferment jaune respiratoire de Warburg* se compose de lactoflavine phosphorylée avec un porteur protéique. La vitamine B₂ est donc un co-ferment important dans la série des transporteurs d'hydrogène. Le ferment jaune est, en effet, un transporteur d'hydrogène très important vis-à-vis d'une grande variété de substrats; il sert d'intermédiaire entre le substrat et le cytochrome comme nous le verrons plus loin. Il est auto-oxydable à l'air.

Enfin les *co-ferments nicotiniques*, intimement liés à la vitamine PP (acide nicotinique), se placent dans leur fonction de transporteurs intermédiaires d'hydrogène entre le substrat et le ferment jaune de WARBURG.

* * *

Mais la théorie de WIELAND, qui a mis en évidence toute une série de substances d'importance primordiale dans la régulation cellulaire, telles certaines vitamines, le glutathion et certaines hormones, ne suffit pas à nous donner l'explication complète d'une série d'autres faits et d'observations relatifs à la respiration cellulaire.

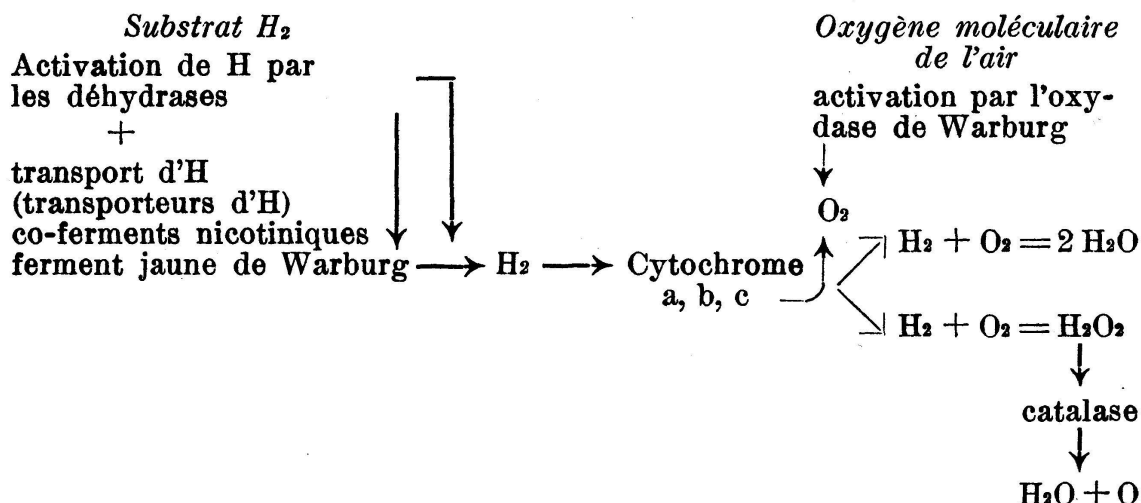
Avec le transport d'hydrogène vers l'accepteur définitif, le cycle de la régulation respiratoire ne serait pas achevé.

De même que le départ de l'hydrogène du substrat, donc l'activation de l'hydrogène, ne se fait que par l'action des déshydrases, de même l'oxygène moléculaire doit être mobilisé, donc *activé*, pour pouvoir servir rapidement d'accepteur définitif d'hydrogène.

C'est à WARBURG que nous devons les magnifiques études sur l'activation de l'oxygène moléculaire par l'intermédiaire d'un ferment, l'*oxydase*, qui se compose d'un noyau porphyrique porteur de fer; ce dernier joue ici, grâce à sa faculté d'oxydoréduction par changement de valence, le rôle de catalyseur biologique.

Le ferment activateur de l'oxygène, l'oxydase, se trouve en étroite collaboration avec un transporteur que KEILIN a décrit sous le nom de *cytochrome*. Il ne s'agit pas ici d'un ferment, mais seulement d'un pigment appartenant par sa constitution chimique aux hémies cellulaires. Le cytochrome C est en effet constitué par un noyau porphyrique porteur de fer, semblable à l'oxydase et aux hémies des pigments sanguins et cellulaires. Ce pigment se trouve en quantité appréciable dans les cellules capables de consommer rapidement l'oxygène de l'air et il se trouve en quantité d'autant plus grande que la capacité respiratoire de la cellule est plus prononcée (muscle). Les cellules vivant en anaérobiose ou en aérobiose facultative en sont dépourvues. Le cytochrome est réduit par les déshydrases, il est oxydé par l'oxygène. Mais l'oxydation à l'air est très lente; elle est par contre activée par l'oxydase de WARBURG, qu'on peut ainsi appeler *cytochrome-oxydase*.

On arrive donc ainsi à expliquer le mécanisme de régulation de la respiration cellulaire par la théorie de la double activation de KEILIN, théorie qu'on peut représenter de façon rudimentaire dans le schéma suivant :



La formation du peroxyde d'hydrogène peut être une des possibilités de l'oxydation cellulaire. Contre la formation de cette substance toxique l'organisme possède un ferment, la catalase, qui elle aussi appartient au groupe des hémimes cellulaires et qui provoque la scission du peroxyde d'hydrogène en eau et oxygène.

Ce schéma très incomplet donne une vision d'ensemble rudimentaire des principaux mécanismes de la respiration cellulaire. La réaction primaire, et essentielle dans la respiration de cellules en aérobiose, est toujours une oxydation par l'oxygène moléculaire du fer bivalent du ferment respiratoire en fer trivalent. Cette réaction due à la présence d'hémimes cellulaires n'est pas spécifique, c'est-à-dire ne permet pas de différencier l'oxydation de différentes substances aptes à être dégradées. La faculté d'oxyder seulement certaines substances énergétiques de la cellule est liée à la présence du système des déshydrases et des transporteurs d'hydrogène qui, directement ou en passant par le ferment jaune, réagissent avec le fer du système des hémimes cellulaires.

L'explication de la présence d'un système si long et compliqué de catalyseurs et de substances intermédiaires pour la respiration est donnée en partie par la nécessité de régler qualitativement l'oxydation de certaines substances énergétiques de la cellule, en partie aussi selon LEHNARTZ, par celle d'économiser la production d'énergie dans la cellule. En effet, l'oxydation d'une molécule d'hydrogène par une demi-molécule d'oxygène libère une quantité d'énergie de 68,000 cal. La longue chaîne de réactions de l'oxydation cellulaire prolonge le temps de réaction et subdivise la production d'énergie en un grand nombre de réactions, de manière que l'énergie qui se dégage puisse être utilisée

par la cellule; une partie seulement est perdue sous forme de chaleur.

La présence enfin de cette chaîne de réactions trouve sa raison d'être dans la forte différence du potentiel d'oxydo-réduction nécessaire pour développer l'union de l'hydrogène avec l'oxygène. Le déplacement de l'hydrogène vers l'oxygène se fait en effet par l'intermédiaire d'une série de systèmes réversibles d'oxydo-réduction qui permettent de combler progressivement l'énorme différence de potentiel qui existe entre H_2 et O_2 , en en libérant peu à peu l'énergie. On peut ainsi construire, comme l'a fait JUNG, en calculant les modifications constantes du potentiel d'oxydo-réduction à travers la chaîne des catalyseurs du système respiratoire, une échelle qui monte en zigzag et qui va de l'électrode-hydrogène à l'électrode-oxygène.

* * *

De ce que nous venons d'exposer, on peut tirer quelques *conclusions d'ordre biologique* :

L'oxygène moléculaire de l'air respiré, porté aux tissus par l'hémoglobine du sang qui le lie sous forme facilement dissociable, est capté par la cellule au moyen d'un ferment qui l'active: l'oxydase. Or, cette action d'activation est un processus de surface; il est intimement lié à la structure de la cellule et à ses éléments constitutifs. La respiration est donc, comme l'a dit WARBURG, une catalyse de surface. L'oxygène, comme toute molécule organique, peut réagir avec le substrat cellulaire seulement après avoir été fixé à la surface des structures solides de la cellule, et après avoir été ensuite rendu mobile et libre par un processus d'activation.

Dans toutes les cellules capables de consommer rapidement l'oxygène moléculaire de l'air, nous trouvons la présence de cytochrome, pigment qui se rattache étroitement par sa structure à l'hémine du sang.

Ces deux pigments sont caractérisés par une porphyrine qui contient au centre de son noyau du fer, le fer qui joue, comme nous l'avons vu, le rôle de catalyseur.

Or, à côté de ces deux pigments nous retrouvons dans le système des régulateurs de la respiration deux ferments qui ont aussi une structure chimique analogue; ce sont l'oxydase et la catalase. Nous sommes ici en présence d'une série d'hémines d'une importance fonctionnelle considérable. L'hémine du sang et les hémines

qui se trouvent liées à la structure des cellules : les hémines cellulaires. Leur métabolisme est, d'après les constatations que nous avons pu faire jusqu'à maintenant, très voisin du métabolisme du pigment sanguin. Leur fer présente dans le cadre du métabolisme général du fer des affinités marquées avec le fer de l'hémoglobine (VANNOTTI et DELACHAUX); les hèmes tissulaires et sanguins restant donc très voisins, nous pensons que c'est surtout leur support protéique qui change et qui donne de ce fait à ces pigments des caractéristiques biologiques différentes. Ainsi s'expliqueraient les affinités dans les réactions des hémochromogènes de l'hémoglobine, de la myoglobine et du cytochrome signalées chez nous par GONELLA tout dernièrement. Nous sommes portés à croire que tous ces hèmes se forment à partir des porphyrines et du fer, suivant un même mécanisme, le noyau cellulaire riche en fer étant le siège de cette synthèse, synthèse de l'hémoglobine dans l'érythroblaste de la moelle osseuse, synthèse des hémines cellulaires dans les différentes cellules qui en ont besoin. Il ne serait même pas exclu qu'en cas de nécessité l'organisme pût, par échange des porteurs protéiques, former certaines hémines cellulaires à partir de l'hémine d'autres pigments analogues.

A côté donc du métabolisme de l'hémoglobine du sang, il est indispensable aujourd'hui de jeter les bases d'une physio-pathologie des hémines cellulaires; ces dernières, par leur rôle dans la régulation de la respiration cellulaire, doivent revêtir une importance au moins parallèle à celle du pigment sanguin.

C'est pour cette raison qu'à côté de l'étude de l'anémie dans le sang circulant (anémie circulatoire) il faut admettre la possibilité d'un trouble de métabolisme des hémines cellulaires (anémie tissulaire).

Dans le vaste domaine de l'activation et du transport de l'hydrogène nous trouvons de nouveau des substances qui, depuis un certain temps, ont attiré l'attention des physiologistes et des médecins. Sous forme de co-ferments, participent en effet à la régulation du chimisme cellulaire, comme nous l'avons vu, toute une série de vitamines et d'hormones, substances qui occupent déjà une grande place dans le domaine thérapeutique. Ainsi s'explique en partie l'importance vitale des vitamines du groupe B (B₁, B₂, PP), de l'adrénaline, et nous aimerions ajouter de l'hormone thyroïdienne comme stimulateur des oxydations cellulaires.

Ainsi nous croyons expliquer les étroites relations existant en physiologie et en pathologie humaine entre le métabolisme du fer, des porphyrines, des vitamines et des hormones. Nous comprenons enfin les processus d'entraînement du muscle à un effort accru, qui accompagnent l'hypertrophie et qui sont caractérisés, comme nous avons pu le déterminer dernièrement (MERZ, GONELLA) par un enrichissement des fibres musculaires en fer biologiquement actif, en vitamines du groupe B, en cytochrome, en oxydase et en myoglobine.

L'organisme s'efforce d'éviter un appauvrissement de ces substances de valeur vitale pour son métabolisme cellulaire. Ce n'est donc pas par hasard qu'il mobilise en cas de détresse toutes ses réserves, ses dépôts de fer, de pigments, de vitamines, pour maintenir un taux normal de ces substances dans les tissus. Nous le voyons en particulier dans les cas d'anémie où l'hémine circulante du pigment sanguin et le fer peuvent diminuer considérablement sans que la concentration des hémines et du fer cellulaire subissent un appauvrissement. Enfin, nous retrouvons dans la pathologie l'expression clinique de l'importance de ces substances du fait que, comme nous avons pu le constater, les manifestations cliniques déclenchées par un trouble du métabolisme du fer et des porphyrines, ou par une carence en vitamines B₂ et PP, c'est-à-dire par la carence de catalyseurs et pigments participant à la régulation cellulaire, sont souvent analogues. L'organisme entier ressent alors des troubles profonds, provenant d'une respiration cellulaire altérée.

Ainsi on commence à comprendre toute une série de manifestations pathologiques qui ont leur point de départ dans un trouble de la régulation complexe de la respiration cellulaire.

Nous sommes encore très loin d'une explication définitive de ces mécanismes en partie toujours obscurs, mais je crois que l'on commence actuellement à entrevoir une série de problèmes inhérents à ces nouvelles acquisitions. Il n'est pas exclu qu'il faille bientôt reviser ces notions, mais le problème général subsiste comme hypothèse de travail. Un fait reste cependant acquis: c'est la merveilleuse coopération fonctionnelle entre les nombreux ferments, co-ferments et pigments, entre les hémines, les vitamines, les hormones qui, coordonnés dans un jeu harmonieux de régulations, dans une chaîne de réactions biochimiques, participent activement à la réalisation d'un processus commun: la respiration cellulaire.

Bibliographie

- BIGWOOD E. J. Exposés annuels de biochimie médicale. 1^{re} série Masson, 1939.
- GONELLA A. Myoglobine et cytochrome. Thèse de doctorat, Lausanne 1942.
- et VANNOTTI A. Zeitschrift f. exper. Med., sous presse.
- KEILIN D. Proc. roy. Soc. London B 98, 312 (1925), 100, 129 (1926), 106, 418 (1930).
- MERZ W. Chimisme cellulaire du muscle à l'entraînement et à l'effort. Thèse de doctorat, Lausanne 1942.
- SZENT-GYORGYI. Exposés annuels de biochimie. 2^{me} série Masson, 1940.
- THEORELL H. Biochem. Zeitschrift 285, 207, 1936.
- VANNOTTI A. et DELACHAUX A. Der Eisenstoffwechsel und seine klinische Bedeutung. Benno Schwabe, 1942.
- WARBURG O. et collaborateurs. Biochem. Zeitschrift, Vol. 189, 190, 193, 202, 214 (1927—1929) et 266 (1933).
- WIELAND. Ergebnisse der Physiologie 20, 1922.