

## I. Régime hydrologique du Dalefi.

Par

A. Wallén.

---

Bien que la Suède soit au point de vue de la structure géographique l'une des plus anciennes terres du globe, elle possède cependant un système fluvial jeune dû à la récente période glaciaire. Aussi ses fleuves sont-ils riches en lacs et en chutes, formations qui affectent grandement l'importance anthropogéographique des cours d'eau, les lacs exerçant sur le débit des eaux une action régulatrice, les chutes constituant l'une des sources de force les plus considérables que connaisse la technique moderne. Pendant la période glaciaire le pays a été couvert presque tout entier de sédiments glaciaires qui ont formé un revêtement souvent perméable sur la roche ordinairement imperméable, et exercent eux aussi sur le débit des fleuves une action régulatrice et constituent le terrain végétal des vastes forêts de conifères.

L'action régulatrice des lacs et des revêtements perméables diminue les crues et les débordements dévastateurs qui les accompagnent; peut-être faut-il trouver en ce fait l'une des causes qui ont contribué à faire négliger l'étude du régime hydrologique des fleuves suédois. Dans l'Europe centrale au contraire des phénomènes de ce genre ont provoqué d'abondantes et fructueuses études qui, entamées d'abord en vue de prévenir et de prévoir les crues, en sont arrivées à embrasser des questions de plus en plus nombreuses touchant le régime hydrologique des eaux fluviales. En outre ces études sont en grande partie passées du domaine de la science des ingénieurs dans celui de la science géographique; enfin les pouvoirs publics sont intervenus pour organiser les recherches fondamentales. Les exemples d'utilisation de l'immense réservoir d'énergie que constituent les chutes d'eau mises au service de la civilisation et de l'industrie ont enfin amené en Suède aussi l'Etat et les particuliers à s'intéresser à cet ordre de questions, et l'on peut espérer qu'avant peu les obstacles qui s'opposent encore à une connaissance précise du débit de nos fleuves seront définitivement écartés. L'un des objets du présent tra-

vail est de chercher à signaler dans une certaine mesure les principaux desiderata à cet égard.

Lorsque toutefois nous avons entrepris de traiter, en dépit de l'insuffisance des matériaux, de l'hydrologie d'un bassin fluvial suédois nous n'avons pas eu en vue seulement l'intérêt pratique d'une telle étude, nous avons envisagé aussi et surtout son importance au point de vue de la science géographique. L'étude de la circulation de l'eau dans la nature échoit à la météorologie en ce qui concerne la teneur de l'atmosphère en eau, les déplacements de l'eau dans l'atmosphère et ses changements d'état, mais depuis l'instant où l'eau atteint sous forme solide ou liquide la surface du sol jusqu'à celui où elle est restituée sous une forme quelconque à l'atmosphère elle appartient à la géographie physique. Etant donné l'importance de plus en plus grande que la géographie moderne attribue à l'action de l'eau courante dans le développement et la transformation des formes du relief, cette science doit s'attacher à évaluer avec précision les quantités d'eau auxquelles elle a à faire. Aussi bien A. PENCK<sup>1</sup> et W. ULE<sup>2</sup> ont-ils, dans les articles où ils traitent des objets et des méthodes de l'étude géographique des fleuves, considéré le régime hydrologique comme une branche très importante de cette étude. Celle-ci doit comprendre au total 1. une évaluation des précipitations atmosphériques et du débit des eaux courantes basée sur des mesures, et, tiré de ces données, le calcul du coefficient d'écoulement, c'est-à-dire du rapport entre ces quantités, 2. l'étude des variations de ce coefficient selon les circonstances climatiques et géographiques, 3. un exposé des variations de l'écoulement non seulement au point de vue quantitatif, mais aussi au point de vue de l'origine pendant les diverses parties de l'année et une réponse à la question connexe: que devient pendant le même temps la quantité d'eau qui représente la différence entre les précipitations et l'écoulement? L'extension de ces recherches, limitées jusqu'ici aux bassins fluviaux de l'Europe centrale, à un grand nombre de bassins des diverses parties du monde devient nécessaire si l'on veut connaître la circulation de l'eau et calculer avec précision, comme ont déjà essayé de le faire J. MURRAY<sup>3</sup> et E. BRÜCKNER,<sup>4</sup> les moyennes des précipitations, du débit et de l'évaporation pour de vastes étendues et des zones entières de la surface terrestre. En outre des études de ce genre soulèvent des questions encore controversées notamment les suivantes: les facteurs climatiques et spécialement les précipitations atmosphériques ont-ils sur l'écoulement

<sup>1</sup> A. PENCK: Potamology as a branch of physical Geography. Geogr. Journ. 1897. — Die Flusskunde als ein Zweig geographischer Forschung. Z. Gw. 1898.

<sup>2</sup> W. ULE: Die Gewässerkunde im letzten Jahrzehnt III, Die Flusskunde G. Z. 1900. Die Aufgabe geographischer Forschung an Flüssen. Abh. d. K. K. Geogr. Gesellschaft in Wien 1902.

<sup>3</sup> J. MURRAY: On the total annual rainfall on the land of the globe, and the relation of rainfall to the annual discharge of rivers. The Scott. Geogr. Mag. 1887.

<sup>4</sup> E. BRÜCKNER: Ueber die Herkunft des Regens. G. Z. 1900. — Die Bilanz des Kreislaufs des Wassers auf der Erde. G. Z. 1905.

une influence prédominante? quelle est l'importance de la végétation dans le régime hydrologique des eaux? se produit-il des accumulations considérables sous forme de nappes phréatiques? C'est pourquoi nous avons considéré qu'une contribution à l'étude du régime hydrologique des fleuves tirée d'un domaine aussi différent que le Dalelf au point de vue des caractères géographiques et climatologiques des régions jusqu'ici étudiées pouvait être utile bien que, nous devons le reconnaître, les matériaux dont nous avons pu disposer, surtout en ce qui concerne l'étude des précipitations, ne nous aient pas permis d'atteindre le degré d'exactitude désirable.

Pour des recherches de ce genre la Suède n'offre point un grand nombre de bassins. Il faut que des mesures d'étiage et des mesures d'écoulements correspondantes aient été faites en un point convenable du fleuve pendant un nombre d'années aussi grand que possible pour que l'on puisse calculer des moyennes à peu près sûres. Or depuis très longtemps l'administration de la fonderie d'Avesta a fait procéder à Avesta à des relevés quotidiens de l'étiage du Dalelf, et au cours de ces dernières années des évaluations de l'écoulement ont été faites qui permettent de calculer le débit pour la période postérieure à 1894. De 1876 à 1896 l'Institut météorologique central de Stockholm a aussi fait relever des mesures d'étiage et de vitesse dans le Klarelf, à Bryngfjorden immédiatement au nord de Karlstad, mais ces mesures n'ont point été relevées avec autant de précision qu'à Avesta; elles ne sont complètes pour l'hiver qu'un petit nombre d'années et seulement en ce qui concerne l'étiage; en outre le calcul des moyennes de précipitations dans le bassin du Klarelf est rendu difficile pour ce fait que c'est seulement après 1895 que des stations appropriées ont existé dans la partie norvégienne du bassin, partie d'une superficie considérable et très importante au point de vue des précipitations. C'est pourquoi nous avons choisi de préférence le bassin du Dalelf en amont d'Avesta. La région ainsi délimitée ne correspond pas tout à fait au bassin total du Dalelf, mais la superficie du bassin en aval d'Avesta n'est pas considérable.

Mes recherches ont été faites presque toutes pendant le temps où j'ai été attaché à l'Institut météorologique de l'Université d'Upsal; je remplis un cher devoir en exprimant ici au directeur de cet Institut, M. le professeur H. H. Hildebrandsson, ma respectueuse gratitude pour le bienveillant intérêt qu'il n'a cessé de me témoigner au cours de mes travaux; j'adresse le même témoignage à mon maître en géographie, M. le professeur K. Ahlenius, et à M. le professeur Hj. Sjögren, à la bienveillance de qui je dois l'insertion de mon étude dans la présente publication.

Je viens enfin à remercier l'administration et le directeur, M. A. Sjögren, de la fonderie d'Avesta qui ont gracieusement mis à ma disposition les séries de mesures sur lesquelles mon travail est basé.

## 1. Aperçu géographique.

Le bassin du Dalelf est situé dans la Suède centrale; des parties les plus méridionales du faite scandinave son domaine s'étend vers le sud-est jusqu'à la région des lacs et des plaines de la Suède centrale, dont il n'atteint toutefois que la limite dans la plaine de l'Upland, autrefois séparée par les montagnes du Bergslag. Il draine une superficie de 29,000 kilomètres carrés,<sup>1</sup> atteint au nord  $62^{\circ} 17'$  de latitude nord et vers le sud à peu près  $60^{\circ}$ . À l'ouest il s'étend à peu près jusqu'à  $11^{\circ} 56'$  de long. est, à l'est il ne dépasse pas  $17^{\circ} 30'$ . Il appartient presque tout entier à la Suède, et en Suède à la province de Dalécarlie; 1,000 kil. carr. seulement appartiennent à la Norvège. La partie moyenne du bassin à une largeur assez considérable qui atteint de l'est à l'ouest un maximum d'environ 163 kil.

À l'ouest et au sud le bassin du Dalelf est borné presque exclusivement par les bassins du Klarelf et du lac Mälar, au nord et à l'est par ceux de la Ljusna et de la rivière de Gefle. On peut dire d'une façon générale qu'il est nettement séparé des bassins avoisinants. La ligne de partage des eaux franchit, il est vrai, assez fréquemment des marécages et des dépressions entre les montagnes et, dans le bassin inférieur, une plaine récente traversée d'âsar, c'est-à-dire de traînées de sable et de cailloux d'origine fluvio-glaciaire, sans autre relief déterminé, et où le drai-

<sup>1</sup> La superficie du bassin a été évaluée par le méthode planimétrique à l'aide des matériaux cartographiques existants après que les limites en eurent été tracées avec autant de précision que possible; les chiffres obtenus concordent avec ceux donnés par O. Appelberg dans le travail intitulé "Contributions à la connaissance de la quantité des eaux courantes des cours d'eau suédois" (Ingenjörföreningens förhandlingar 1887; en suéd.). Nous évaluons à 26,400 kil. carr. la superficie du bassin en amont d'Avesta; A. PALM dans son "Rapport sur les recherches hydrographiques exécutées en 1899—1903 dans le gouvernement de Kopparberg" (Kopparbergs läns hushållningssällskaps handlingar 1903—04; en suéd.) donne 26,300 kil. carr. La différence est insignifiante et si nous avions connu cette évaluation avant de faire nos propres recherches nous l'aurions sans hésitation adopté pour ne pas introduire de disparates inutiles.

Nous donnons ici un tableau d'ensemble des matériaux cartographiques qui nous ont servi.

Generalkarta öfver Sverige i skalan 1:1,000,000 utgifven af Generalstaben år 1902.

N. SELANDER: Karta öfver Sverige i skalan 1:500,000 1881—83.

Karta öfver Kopparbergs län i skalan 1:500,000 utgifven af Generalstabens Litografiska Anstalt, 1905.

Svenska Generalstabens kartor öfver Sverige i skalan 1:100 000. Blad: Falun, Hedemora, Gysinge, Sala, Gefle, Löfsta, Östhammar.

Karta öfver Kopparbergs län i sex blad, utarbetad af Generalstabens topografiska afdelning, 1879.

P. H. WIDMARK: Karta öfver provinsen Helsingland uti Gefleborgs län, 1851.

W. PETTERSSON: Karta öfver Elfdalens socken uti Kopparbergs län, 1:200 000, 1891.

— Karta öfver Särna socken och Idre Kapellag uti Kopparbergs län, 1:200,000, 1885—95.

Norges geografiske Opmaaling: Topografisk kart over Norge, 1:100,000. Blad: Ljördalen, Bratfjeldet, Tryssil, Engerdalen.

NISSEN: Kart over det Sydligte Norge, 1:600,000.

nage a été modifié par l'intervention de l'homme, mais au total ces zones neutres, peu étendues, sont de médiocre importance. Il est naturellement plus difficile de savoir si la ligne de partage des eaux souterraines coïncide avec celle de la surface, mais ce doit être le cas d'une façon générale, et en tout cas les discordances possibles sont sans importance au point de vue du régime hydrologique des eaux.<sup>1</sup>

Au point de vue orographique le bassin presque tout entier constitue une région élevée avec des points culminants dépassant 1,200 m. En nous servant de la carte ci-jointe qui porte des lignes équidistantes indiquant une différence de niveau de 200 m., nous avons dessiné la courbe hypsographique de la fig. 1; d'où l'on tire que l'altitude moyenne du bassin est de 415 m. La zone intermédiaire entre 200 et 400 m. atteint la plus grande superficie, 9,000 kil. carr.; et la zone intermédiaire entre

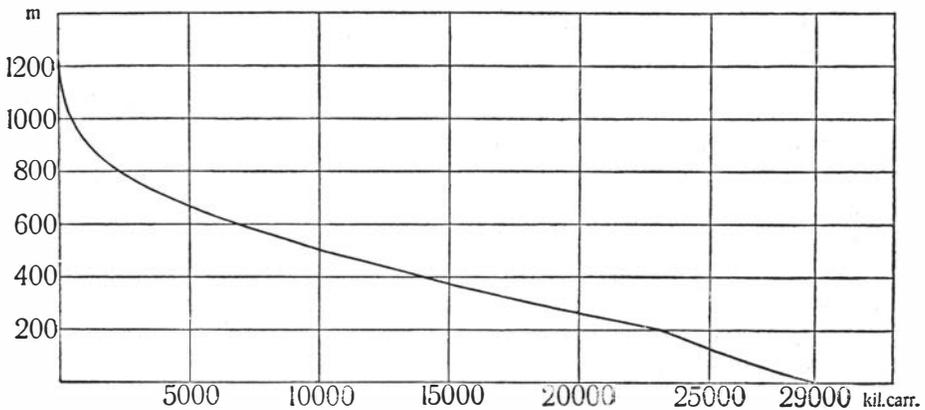


Fig. 1.

200 et 600 m. n'est pas inférieure à 1,600 kil. carr.; 400 kil. carr. seulement atteignent 1,000 m. et 5 kil. carr. environ dépassent 1,200 m.

On voit par la carte géologique du bassin du Dalelf que cette région est caractérisée par le même trait que l'ensemble du massif scandinave, l'anciennité des terrains.<sup>2</sup> C'est ainsi qu'on n'y rencontre ni roches

<sup>1</sup> A. PENCK: Untersuchungen über Verdunstung und Abfluss von grösseren Landflächen. Geogr. Abh. herausg. von Dr. A. Penck. Bd. V. Wien 1896.

E. IMBEAUX: Essai programme d'Hydrologie. Z. Gw. 1898, 1899.

<sup>2</sup> Nous donnons ici la liste des principaux ouvrages que nous avons utilisés pour cette description du bassin.

Öfre Dalarne förr och nu. 1903.

A. E. TÖRNEBOHM: Grunddragen af det centrala Skandinaviens bergbyggnad. K. Sv. V. A. Handl. Bd 28. 1896.

E. SVEDMARK: Geologiska meddelanden från resor i Dalarne och Helsingland. G. F. F. 13. 3.

H. HEDSTRÖM: Om den senglaciala marina gränsen i Dalarne. G. F. F. 15. 3.

A. G. HÖGBOM: Om postarkeiska eruptiver inom det svensk-finska urberget. G. F. F. 15. 4.

— Sur la tectonique et l'orographie de la Scandinavie. Ann. de Géographie 1902.

éruptives ni terrains sédimentaires postérieurs au silurien. Cependant les roches les plus anciennes, les gneiss et les gneiss-granites n'y jouent pas le même rôle dominant que dans la plupart des régions de la Suède; ces roches archéennes ont été recouvertes de formations moins anciennes, qui apparaissent plus rarement dans le reste de la Suède et ont eu une grande influence aussi bien sur les formes du relief de la surface que sur la constitution des terrains de revêtement actuels.

Les parties orientales du bassin constituent un ensemble archéen où l'on ne rencontre que les gneiss et les gneiss-granites les plus anciens; les mêmes roches apparaissent aussi très fréquemment dans tout le bassin, au sud du lac Siljan, mais dans tout ce domaine une superficie plus considérable appartient à l'archéen supérieur, c'est à dire aux »granulites«, — nous groupons sous ce nom, conformément à la terminologie suédoise une partie des gneiss à grains fins — et en particulier à une grande quantité de granites de composition diverse. Lorsque ces granites supérieurs se formèrent les éruptions puissantes auxquelles sont dûs les porphyres, plus abondants encore dans notre bassin, avaient déjà eu lieu, peut-être n'étaient-elles point achevées; ces porphyres s'étendent sur la plus grande partie des régions situées à l'ouest et au nord-ouest du lac Siljan; ils sont eux-mêmes partiellement recouverts par des formations plus récentes. Leur constitution pétrographique est très variable: les plus récents, les porphyres felsitiques, sont d'une grande dureté et par conséquent remarquables au point de vue topographique. Dans le voisinage de Särna apparaît une roche très voisine, le syenite de cancrinite, dont se compose le Siksjöberg. Celui-ci serait d'après A. E. TÖRNEBOHM la base d'un ancien volcan c'est-à-dire un »neck«.

Après la période éruptive cette région semble avoir passé par une période de destruction suivie elle-même d'un changement de niveau positif quand se sont produits les puissants dépôts sédimentaires venus probablement du sud-est qui ont constitué les »grès de Dalécarlie«; ceux-ci forment une bande large d'environ 60 kil. et qui de Malung et d'Öje au sud s'étend vers le nord jusqu'à la limite du bassin au nord-est.

E. SVEDMARK: Geologiska notiser från Dalarne. G. F. F. 16. 6. — Orsa Finmarks geologi. G. F. F. 17. 2.

A. G. HÖGBOM: Högsta marina gränsen i Norra Sverige. G. F. F. 18. 6. — Några genombrottsdalar i vårt lands sydliga fjälltrakter. Ymer. 1895.

KELLGREN: Agronomiskt-botaniska studier i Norra Dalarne åren 1890 och 1891, S. G. U. afhandlingar och uppsatser. Ser. C. 119.

K. AHLENIUS: Bidrag till Siljanbäckens geografi. Ymer 1905.

H. HEDSTRÖM: Redogörelse för de praktiskt-geologiska undersökningar, som med understöd af Kopparbergs läns Hushållningssällskap blifvit utförda i Dalarne sommaren 1892. Kopparb. Läns Hushålln. sällsk. Handl. 1894.

R. TOLF: Berättelse öfver torfmosseundersökningar i Dalarne sommaren 1897. Kopparb. läns Hushålln. sällsk. Handl. 1896—97. — Berättelse öfver torfmosseundersökningar i Härjedalen sommaren 1896. Svenska mosskulturföreningens tidskrift 1897. — Försumpning af skogsmark i öfre Dalarne. Svenska mosskulturföreningens tidskrift 1897.

La formation des grès à toutefois été interrompue par des éruptions, au cours desquelles les diabases se sont épanchées en couches puissantes. C'est ainsi que la plus ancienne de ces périodes éruptives a donné naissance à la couche de diabase dont les bords apparaissent au nord-ouest d'Öje sur une longueur de plus de 80 kil., le centre même de la couche étant recouvert de grès. Par la suite de nouvelles éruptions de diabase se produisirent sous forme d'une couche injectée dans les grès; cette couche apparaît entre Öje et Transtrand, autour de Särna et d'Idre et aux environs du cours supérieur du Görelf et du Drefelf. Ces diabases ont résisté mieux à l'érosion que ne l'ont fait les grès; de là les nombreuses montagnes tabulaires caractéristiques que l'on rencontre par exemple entre Öje et Transtrand, comme le Lyberg, le Fenningberg, l'Hormundsberg. D'ailleurs les grès de Dalécarlie constituent aussi plusieurs montagnes considérables, présentant les caractères de plateaux ou de hautes plaines, tel l'ensemble montagneux qui s'élève le long de la frontière suède-norvégienne au nord du Hemfjäll, et qui renferment le Fulufjäll et le Faxefjäll hauts de plus de 1,000 m.

Dans les parties nord et nord-ouest du bassin apparaissent des grès et des quartzites plus récents quoique toujours algonkiens, et de même espèce que ceux que l'on rencontre hors du bassin sur de grandes étendues dans la région montagneuse scandinave. La partie plus ancienne de ces formations »sparagmitiques» est assez peu abondante et se rencontre surtout au nord de Herjehogna dans la région norvégienne du bassin, la partie supérieure au contraire sous forme de »quartzite de Vemdalen» joue un rôle important dans la composition de plusieurs des principales montagnes et sous forme de grès rose constitue le sous-sol des districts les plus septentrionaux du bassin. Parmi les montagnes formées de quartzite de Vemdalen il faut citer le Herjehogna et une série de sommets importants qui s'alignent vers le nord-ouest, tels que le Stådjan, le Nipfjäll, le Fjätvåla. Grâce à sa dureté cette roche constitue ainsi une sorte de muraille qui domine les régions environnantes, les supérieures comme les inférieures, et que les fleuves, tel le Fjätälf, doivent franchir par des percées épigénétiques.

Les périodes de transgression au cours desquelles se déposèrent les diverses couches de grès furent suivies vers la fin de l'ère algonkienne d'un soulèvement qui exposa ces dépôts aux effets de l'érosion. Puis un nouvel transgression se produisit au début de l'ère silurienne, une grande partie du bassin fut recouverte par la mer et de puissants sédiments se formèrent. Des roches qui furent alors constituées il ne reste cependant que peu de restes préservés par diverses circonstances au cours de la longue période de destruction par l'eau courante et les agents atmosphériques qui suivit la formation de ces dépôts. Des restes de ce genre apparaissent près des lacs de Flötning et de Guttu dans la partie occidentale de la commune d'Idre et surtout dans la vallée circulaire constituée par les lacs Siljan et d'Orsa, l'Ore elf, les lacs Skat-

tung et d'Ore et la dépression de Boda. Outre des chistes et de calcaires siluriens apparaît ici une sorte de grès, le grès d'Orsa, qui date du silurien supérieur ou peut-être du dévonien.

La conservation de ces faibles fragments de dépôts siluriens est due aux perturbations tectoniques postérieures. La fin de l'ère silurienne et le début de l'ère suivante virent se former le puissant plissement calédonien qui donna naissance entre autres à la chaîne occidentale de la Scandinavie. Particulièrement caractéristiques de ses plissements en Scandinavie sont les énormes renversements qui se produisirent sur presque toute la longueur de la chaîne c. à d. sur 1,800 kil., et qui sur une largeur atteignant jusqu'à 130 kil, recouvrirent les couches récentes de terrains plus anciens. Un de ces lambeaux de poussée subsiste dans la partie nord-ouest de notre bassin; le Frönberg situé au nord-ouest d'Idre se compose en effet d'un granite archéen qui repose sur les quartzites apparentes de la région environnante. Par suite de ce phénomène les dépôts siluriens ont été couverts par les quartzites; de là leur conservation. Les couches siluriennes du bassin du Siljan par contre doivent leur conservation au fait suivant; la vallée circulaire qui est de constitution silurienne s'est affaissé, une série de failles s'étant produites, au dessous du niveau de la coupole granitique centrale; protégés par leur position les dépôts siluriens s'y sont maintenus par la suite tandis que l'érosion les faisait disparaître des régions environnantes. En même temps l'apparition des dislocations bouleversait considérablement et rompait l'ordre des strates dans toute cette région.

Les terrains que nous venons de passer en revue en retraçant l'ancienne évolution géographique de notre bassin apparaissent toutefois rarement à la surface; ils sont recouverts d'épaisses couches de sédiments, dépôts morainiques et agglomérations d'origine fluvio-glaciaire, abandonnés par la calotte de glace à l'issue de la période glaciaire qui constitue l'ère la plus importante au point de vue de l'aspect géographique actuel de notre pays. Ces couches de terrains meubles jouent donc dans le bassin actuel un rôle tout à fait capital, mais comme ils se composent d'éléments empruntés au sous-sol, leurs caractères dépendent essentiellement de la nature des couches sous-jacentes. C'est ainsi que dans la région des grès les dépôts morainiques se composent de grès écrasés et désagrégés; de là leur perméabilité plus grande que dans les régions archéennes où ils se composent de débris de gneiss, de porphyre et de granite. Dans les régions siluriennes et parages avoisinants ils sont plus argileux et calcaires, de sorte qu'ils sont beaucoup plus favorables à la culture: partout ailleurs ils ne portent que des forêts et des marécages, présentant ceux-ci souvent des caractères différents selon que l'on se trouve dans une région de grès ou de porphyres.

Les dépôts d'origine fluvio-glaciaire que l'on rencontre partout en abondance n'offrent pas à la végétation des conditions fort différentes. Au point de vue topographique ils sont très remarquables quand ils

apparaissent sous forme d'âsar. Tel est le cas dans presque tout le bassin aussi bien dans les parties supérieures, par exemple à Malung et Lima, Mora et Elfdalen que dans les parties inférieures où l'on rencontre par exemple l'ås d'Upsal qui suit le Dalelf à l'embouchure.

Dans les parties les plus basses du bassin les couches superficielles accusent une autre constitution; en effet ces régions étaient sous la mer lors de la fonte des glaces; elles furent surélevées à la fin de la période glaciaire et dans les temps qui suivirent. Dans notre bassin la mer atteignit lors de sa plus grande extension jusqu'à 200 à 225 m. au-dessus de son niveau actuel. Dans toute la zone marine les dépôts morainiques furent partiellement emportés et reconstitués à nouveau; les masses énormes de sédiments apportés par les fleuves chargés de limons subirent le même sort. Ainsi apparut un revêtement nouveau composé de couches de limon et de sable déposées par la mer et constituant un sol favorable à la culture. C'est pourquoi la zone cultivée sur une grande échelle correspond d'une façon générale à l'ancien domaine marin.

A ces dépôts s'ajoutent dans les vallées de puissants apports fluviaux formant parfois des plaines en parties cultivées en partie couvertes de marais, souvent profondément entaillées par les fleuves qui coulent alors entre des ravins (nommés »nipor») escarpés.

Le revêtement superficiel que nous venons de décrire porte une végétation qui se compose essentiellement de forêts de conifères. D'après les calculs de O. APPELBERG<sup>1</sup> 2,9 % seulement de la superficie du bassin du Dalelf appartiennent aux terres cultivées, 4,1 % aux prairies tandis que les forêts et les terrains impropres à la culture couvrent 87,2 % et les lacs 5,8 %. Les terres cultivées on trouve principalement, nous l'avons vu, dans l'ancienne zone submergée; particulièrement favorisées sont les communes des environs du Siljan et du lac d'Orsa, Ore et Boda, qui possèdent grâce à la constitution du sous-sol un sol plus argileux et calcaire. Mais même dans les régions inférieures le sol cultivé n'atteint jamais des proportions considérables. Dans le gouvernement de Kopparberg il n'occupe au-dessous de Djurås où s'unissent les deux branches du Dalelf que 10 à 20 % de la région. Dans les régions supérieures il ne se rencontre que dans les étroites vallées et demeure assez maigre. A l'ouest d'Elfdalen il ne représente que 1 % de la surface totale.

Aussi les forêts dominent-elles; elles sont composées de pins (*Pinus silvestris*), espèce d'arbres de beaucoup la plus nombreuse, avec laquelle seuls les rapins (*Pinus abies*) et les bouleaux (*Betula odorata*) jouent un rôle notable dans les groupements forestiers. Sur les 25,300 kil. carr. qui d'après O. APPELBERG appartiennent aux forêts et terrains impropres à la culture, on peut considérer que 80 % environ<sup>2</sup> sont couverts par les forêts,

<sup>1</sup> O. APPELBERG: Bidrag till kännedomen om den i Sveriges vattendrag framrinnande vattenmängden. Ingenjörföreningens förhandlingar 1887.

<sup>2</sup> En admettant que les proportions soient à peu près les mêmes dans le bassin du Dalelf et le gouvernement de Kopparberg.

en sorte qu'au total celles-ci n'occuperaient pas moins de 20,000 kil. carr. dans le bassin du Dalelf.

La limite supérieure des arbres dans les régions montagneuses de notre bassin est à une altitude de 800 à 900 m.; 2,300 kil. carr. sont situés à plus de 800 m. Sur la limite on rencontre une zone de bouleaux présentant une largeur verticale de 30 à 50 m.; au-dessous commencent les bois de rapins et de pins desquelles dominant, comme nous l'avons dit, les seconds. Au-dessus de la limite supérieure des arbres des landes couvertes surtout de bruyères constituent le principal système végétal.

Parmi les terrains impropres à la culture, assez considérables, on vient de le voir, les marécages occupent le premier rang; leur qualité d'assembleurs d'eau leur donne une grande importance. Ils sont étendus surtout dans la région morainique couverte de forêts et sont dûs soit à l'envahissement des lacs par la végétation, soit à la transformation spontanée des forêts en tourbières. Dans les plaines, le long des fleuves, ils sont nombreux aussi, moins toutefois dans les parties inférieures du bassin. Ils sont dûs alors à l'envahissement des lagunes et des lacs par la végétation. Leur végétation présente des caractères différents selon la constitution du sous-sol. C'est ainsi que les marais à carex sont beaucoup plus étendus dans les régions des grès et du silurien que partout ailleurs où l'on ne rencontre guère que des marais à sphaigne.

Si maintenant nous récapitulons tout ce vient d'être dit pour essayer de diviser le bassin du Dalelf en zones géographiques, nous distinguerons au premier abord trois domaines distincts. Le premier se compose d'une plaine récente, recouverte à la fin de l'époque glaciaire et dans la période suivante par la mer, dans laquelle les sédiments se déposèrent; il comprend les parties inférieures à 200 ou 225 m (environ 6,000 kil. carr.) et coïncide d'une façon générale avec le domaine des terres cultivées sur une grande échelle. A l'ouest et au nord-ouest apparaît une région de haut relief comprenant les montagnes à forme de plateaux qui dépassent la limite supérieure des arbres et par conséquent sont reliées par la courbe de niveau de 900 m. Entre ces deux domaines s'étend le troisième qui est le plus vaste, celui des forêts et des marécages continus.

Nous pouvons en outre établir des subdivisions de zones d'après la constitution du sous-sol et ses caractères essentiels. Nous distinguerons ainsi, dans le domaine le plus élevé la région montagneuse des grès de Dalécarlie et celle des formations de »sparagmite«, la première comprenant les montagnes qui s'étendent du Hemfjell au Herjehogna et au delà vers l'ouest, la seconde les montagnes de quartzite et le pays plus au nord et à l'ouest. Outre les différences de constitution des terrains, la seconde de ses régions se distingue encore de la première par les perturbations tectoniques contemporaines des plissements siluriens.

Dans la zone des forêts nous distinguerons la région des formations tabulaires de grès de Dalécarlie, la coulée porphyrique (la frontière de ces

deux régions coïncide presque tout-à-fait avec la ligne de partage des eaux entre les vallées de l'ouest et de l'est), la région des terrains primitifs à l'est du bassin, la région, riche en mines, d'où le nom, le Bergslag, des «granulites» et des granites et enfin la région de fracture du bassin du Siljan, laquelle comprend aussi une partie de la plaine. Nous avons rappelé antérieurement les caractéristiques de ces diverses régions.

Il nous reste à parler du Dalelf et à rappeler brièvement les particularités de son cours. Il est constitué par la réunion de deux bras, l'Österdalelf et le Vesterdalelf. Le premier vient du lac de Vån situé à la frontière à une altitude de 825 m. et conserve dans tout son cours une direction générale nord-ouest sud-est. Il traverse outre de petits lacs, simples élargissements du fleuve, le lac Siljan, d'une superficie de 286 kil. carr., le sixième par l'étendue des lacs de Suède. La surface du Siljan est à 165 m. d'altitude, sa plus grande profondeur est de 125 m.; le relief du fond est caractérisé par un chenal profond en forme d'S. L'Österdalelf sort du Siljan à Leksand, traverse l'Insjön et rencontre à Djurås l'autre bras. Les affluents les plus importants sont le Fjätelf et l'Oreelf; le premier coule dans les parties le plus au nord-est du bassin, franchit, ainsi qu'il a été expliqué plus haut, en se dirigeant vers le sud-sud-est, le faite de quartzite et atteint le fleuve en aval de Särna. Le second vient du lac Gällsjön, coule d'abord vers l'est-sud-est, fait un coude brusque vers le sud-sud-est, et conserve cette direction jusqu'au lac Orejsjön dans lequel il se jette. Il entre là dans la région de fracture du bassin du Siljan, suit désormais en traversant le lac de Skattung la direction ouest de la faille jusqu'au lac d'Orsa. Ce dernier communique au sud avec le Siljan au confluent de l'Österdalelf et n'est séparé de ce fleuve que de basses terres deltaïques. Si l'on regarde le Storån émissaire du lac Vånsjö comme bras principal l'Österdalelf a un longueur d'environ 275 kil; il draine une superficie d'environ 12,300 kil. carr.

Le Vesterdalelf est constitué par la réunion du Fuluelf et du Görelf; le premier de ces cours d'eau vient des lacs de Kammsjö à l'ouest d'Idre, le second des lacs Lilling situés sur le versant nord-ouest du Fulufjell. Le Görelf coule d'abord vers le sud, pénètre en Norvège où il reçoit l'important Drefelf fait un coude vers le sud-est pour, arrivé à la frontière, tourner brusquement vers l'est et se jeter dans le Fuluelf qui pendant tout son cours a coulé vers le sud-est et le sud. Le Vesterdalelf continue ensuite dans la même direction jusqu'à Äppelbo où il s'incurve vers l'est. Après de nombreux changements de direction il atteint enfin l'autre bras. Si l'on considère le Fuluelf comme le bras principal, le Vesterdalelf a une longueur d'environ 300 kil. et draine une superficie de 8,550 kil. carr. Son principal affluent est le Vanån qui traverse le lac le Venjan et a son confluent un peu à l'est d'Äppelbo.

Au delà du confluent de ses deux bras, le Dalelf coule toujours très sinueux vers le sud-est jusqu'à Krylbo, situé à peu de distance en aval d'Avesta, et recueille l'émissaire du lac Runn, qui apporte aussi le trop-

plein du lac Amung et de plusieurs autres lacs de la région orientale. Au delà de Krylbo le sillon du fleuve, orienté vers l'est et le nord-est fait partie intégrante d'une série de lacs, les lacs de Bäringen, Bysjön, Fernebofjärd, Hedesunds-fjärd, puis le fleuve tourne vers le nord, franchit les remarquables cascades d'Elfkarleby et se jette dans le golfe de Gefle. De Djurås à la mer le fleuve a une longueur d'environ 230 km.

Les cours d'eau du bassin du Dalelf sont caractérisés par la discontinuité des pentes c'est-à-dire la perpétuelle alternance de tronçons torrentiels et de tronçons à faible courant.

Dans les premiers ils franchissent de nombreux rapides. Les cascades à profil abrupt sont rares; il faut citer cependant la cascade de Njupeskar où le petit affluent du Fuluef, le Njupån, se précipite de la montagne de Fulufjell d'une hauteur de 90 m., la chute étant verticale dans les 70 m. inférieurs, la cascade de Granå, avec 7 m. de déversement vertical, la cascade d'Elfkarleby haute de 15 m. etc. Dans la partie inférieure du bassin la puissance hydraulique de ces chutes et de ces rapides est utilisée souvent par l'industrie, mais des forces immenses demeurent encore inemployées.

Les tronçons à faible courant présentent leurs caractères ordinaires: souvent les cours d'eau s'y élargissent en lacs, tels les lacs d'Idre et de Säma, situés dans le bassin de l'Österdalelf; ou encore leurs dépôts forment de vastes plaines alluviales à travers lesquelles les cours d'eau serpentent en donnant naissance aux formations caractéristiques des bassins inférieures: anciens lits, lacs en fer à cheval etc. La plaine alluviale de ce genre la plus caractéristique est située dans le bassin du Vesterdalelf sur le parcours déjà signalé à l'est d'Äppelbo autour de Jerna (plaine de Jerna); plus haut on a signalé la plaine deltaïque du confluent de l'Österdalelf dans le Siljan où apparaissent des phénomènes de même genre.

## 2. Les précipitations atmosphériques dans le bassin du Dalelf.

L'étude du régime hydrologique d'un fleuve, c'est-à-dire, de ses ressources en eau abandonnée par l'atmosphère, et de l'évacuation de cette eau par le fleuve lui-même ou par d'autres agents, suppose tout d'abord la connaissance de deux facteurs: la quantité et la répartition des précipitations atmosphériques, la quantité d'eau débitée par le fleuve. Occupons-nous d'abord du premier de ces deux points.

On peut indiquer la quantité des précipitations de deux manières, soit en donnant la hauteur des précipitations, c'est-à-dire la hauteur de la couche d'eau que l'on obtiendrait si l'eau tombée était uniformément répandue sur tout le bassin; soit en donnant la précipitation totale, c'est-à-dire le cubage de l'eau tombée que l'on obtient en multipliant la hau-

teur des précipitations par la surface du bassin. Le total obtenu dans le second cas étant considérable et d'un maniement peu commode, nous avons au cours du présent travail toujours employé la hauteur. Il est d'ailleurs à remarquer que tous les chiffres utilisés se rapportent au bassin en amont d'Avesta et non au bassin total du Dalelf.

Les matériaux que nous avons utilisés pour nos calculs sont principalement constitués par les mesures des précipitations relevées sur l'initiative de l'Institut météorologique central depuis 1880 sur un grand nombre de points de la Suède et publiées dans le »Månadsöfversikt öfver väderleken i Sverige» édité par H. E. HAMBERG. Les années pour lesquelles nous désirions connaître les valeurs des précipitations étaient les années 1894—1904, aucune évaluation de l'écoulement n'ayant été faite avant 1894.

Toutefois les observations, ainsi qu'il arrive presque toujours en des cas semblables, manquent souvent pour telle ou telle station; une station cessant de fonctionner, souvent après quelques mois seulement d'existence, est remplacée par une autre située dans le voisinage, mais souvent aussi n'est pas remplacée du tout. Dans tout notre bassin on ne compte que 13 stations ayant fourni des séries régulières d'observations pour la totalité de la période considérée, ou des séries assez abondantes pour que l'on ait pu sans risquer de trop fortes erreurs les compléter à l'aide de la méthode d'interpolation ordinaire en empruntant les données d'une station voisine (méthode dite communément de HANN). 7 autres stations sont situées dans le voisinage du bassin et fournissent en conséquence des observations utilisables. En Norvège et dans le voisinage du bassin 4 stations ont de 1896—1904 fourni des observations<sup>1</sup> à peu près complètes qui ont aussi été utilisées. On n'a pas toutefois tenté à restituer par interpolation les valeurs non fournies par ces stations pour 1894—96. En outre de ces 24 stations, 30 autres stations situées dans le bassin ou son voisinage ont entrepris des observations pendant un temps plus ou moins long. Ces diverses stations sont indiquées sur la carte que nous donnons du bassin; celles pour lesquelles on a des mesures directes ou calculées complètes et les 4 stations norvégiennes sont désignées par ○ (stations normales), les autres par ●.

Un simple coup d'oeil sur la carte permet de se rendre compte que toutes ces stations sont fort inégalement réparties dans le bassin. Elles sont relativement nombreuses dans les parties sud et sud-est, mais sont très rares dans les parties ouest et nord-ouest qui présentent l'altitude la plus considérable et qui reçoivent les précipitations les plus considérables. On voit en outre qu'elles sont à peu près sans exception situées dans les vallées et la plaine, ce qui s'explique par la difficulté de se procurer des observateurs dans les régions forestières et montagneuses à peu près inhabitées. Une station suédoise et trois stations norvégiennes seu-

<sup>1</sup> Nedbøriakttagelser i Norge utgivet af det norske meteorologiske Institut I—X, 1895—1904.

lement sont situées au-dessus de 500 m., encore la station suédoise, celle de Storsäteren n'offre-t-elle des observations que pour 11 mois de la période que nous étudions.

Les précipitations sont fort variables d'un lieu à un autre, même peu éloigné; elles dépendent en effet de divers facteurs, altitude, voisinage de la mer ou de lacs étendus, exposition aux vents etc. Aussi est-il de la plus grande importance, si l'on veut calculer la précipitation moyenne pour un domaine donné, que les stations soient aussi rapprochées les unes des autres et aussi régulièrement réparties que possible entre les diverses zones orographiques et géographiques. Nous venons de voir que ce vœu est très mal réalisé dans le bassin du Dalelf. Il faut cependant, en utilisant les observations faites, calculer non seulement la précipitation moyenne par mois et par an, mais aussi la précipitation pour tous les mois où l'étude des relations entre sa masse et les valeurs correspondantes de l'écoulement présente un intérêt.

Il est évident que l'emploi de la méthode des moyennes calculées directement — méthode qui plus que tout autre exigerait un réseau de stations nombreuses et régulièrement réparties — et à laquelle O. APPELBERG<sup>1</sup> a eu recours, devait conduire à des résultats très peu sûrs. La méthode des isohyètes, si l'on dessine les isohyètes en tenant compte des conditions de niveau, est peut-être la plus sûre; elle a été employée par exemple par V. RUVARAC,<sup>2</sup> par A. PENCK<sup>3</sup> et par J. MÜLLNER<sup>4</sup> pour des recherches analogues, mais on ne peut guère l'employer quand on désire calculer la hauteur de la précipitation pour chaque mois. Il faudrait alors dessiner une carte des isohyètes pour chaque mois ce qui, même si l'on remplaçait le levé planimétrique par la méthode d'interpolation proposée par W. MEINHARDUS,<sup>5</sup> demanderait un temps considérable. Les auteurs que nous venons de citer n'ont pas tenté de calculer les valeurs mensuelles, mais se sont borné à calculer au moyen de la méthode des isohyètes la précipitation moyenne annuelle pour la période étudiée. Les valeurs pour chaque année ont ensuite été tirées des variations de la précipitation en un certain nombre de stations régulièrement réparties dans le pays; les moyennes mensuelles pour la période ont été calculées de la même façon pour chaque mois en utilisant l'échelle proportionnelle mensuelle telle qu'elle était fournie par les mêmes stations.

<sup>1</sup> O. APPELBERG: Bidrag till kännedomen om den i Sveriges vattendrag framrinnande vattenmängden. Ingenjörföreningens förhandlingar 1887.

<sup>2</sup> V. RUVARAC: Die Abfluss- und Niederschlagsverhältnisse von Böhmen. Geogr. Abhandl. herausg. von A. PENCK. Bd. V. 1896.

<sup>3</sup> A. PENCK: Untersuchungen über Verdunstung und Abfluss von grösseren Landflächen. Geogr. Abhandl. herausg. von A. PENCK. Bd. V. 1896.

<sup>4</sup> J. MÜLLNER: Die Seen des Salzkammergutes und die österreichische Traun. Geogr. Abhandl. herausg. von A. PENCK. Bd. VI. 1896.

<sup>5</sup> W. MEINHARDUS: Eine einfache Methode zur Berechnung klimatologischer Mittelwerte von Flächen. M. Z. 1900.

Nous ne pouvons adopter non plus la méthode employée par W. ULE,<sup>1</sup> et qui consiste à diviser le domaine étudié en circonscriptions peu étendues, et choisies de façon à présenter des conditions orographiques et topographiques aussi semblables que possible, et à calculer ensuite la hauteur de la précipitation pour chaque circonscription en formant les moyennes directement. En effet les mêmes objections se présentent contre la formation directe de moyennes pour les circonscriptions élevées que pour le domaine tout entier; de plus cette méthode ne tient pas compte des conditions de niveau ce qu'il est indispensable de faire quand il s'agit d'un domaine tel que notre bassin, et où les stations sont réparties ainsi qu'il a été dit.

La méthode qui convient à notre bassin doit remplir les conditions suivantes: elle doit 1., étant donné que l'on n'a pas d'observations pour les hautes altitudes, permettre de tenir compte des différences de niveau; 2. permettre de faire état des observations incomplètes fournies par toute une série de stations. La première condition serait remplie si par exemple, après avoir divisé le bassin en circonscriptions, on cherchait à évaluer l'importance des diverses stations au point de vue de la précipitation moyenne en utilisant les stations situées dans les circonscriptions ou leur voisinage et en tenant compte aussi exactement que possible des conditions orographiques et climatiques; cela permettrait d'attribuer à chaque station un coefficient et d'obtenir pour chaque circonscription une formule donnant la précipitation. Mais autre qu'elle répond difficilement à la seconde condition, cette méthode présente l'inconvénient de laisser place à des erreurs souvent considérables dans le calcul des moyennes mensuelles puisque ces moyennes seraient calculées à l'aide d'une même formule normale tirée de la moyenne annuelle.

En conséquence nous avons préféré avoir recours à une méthode à peu près conforme à celle que H. E. HAMBERG a proposée et employée lui-même pour ses calculs des précipitations moyennes en Suède dans son grand travail »De l'influence des forêts sur le climat de la Suède». La méthode employée par P. SCHREIBER<sup>2</sup> pour calculer les précipitations du bassin saxon de l'Elbe est analogue. Notre bassin fut recouvert d'un réseau de 80 points représentant chacun un rectangle d'environ 400 kil. carr. de superficie, en chaque point on inscrivit l'altitude moyenne approximativement évaluée du rectangle environnant. On dressa ainsi des cartes mensuelles pour les onze années que durèrent les recherches, au total 132 cartes sur lesquelles on reporta 1. les valeurs des précipitations pour les stations normales, et pour toutes les stations où en outre des mesures

---

<sup>1</sup> W. ULE: Zur Hydrographie der Saale. Forschungen zur deutschen Landes- und Volkskunde. Bd. 10. 1897.

— Niederschlag und Abfluss in Mitteleuropa. Forschungen zur deutschen Landes- und Volkskunde. Bd. 14. 1903.

<sup>2</sup> P. SCHREIBER: Beiträge zur meteorologischen Hydrologie der Elbe. Abhandl. des Königl. sächs. meteorologischen Institutes. Heft 2. 1897.

avaient été prises dans le mois, 2. un certain nombre d'autres valeurs calculées, mais moins sûres, dont il sera parlé plus loin. En chaque point on interpola ensuite une valeur de précipitations, arrondie à 5 mm., en utilisant les valeurs des stations environnantes, et en tenant compte de l'altitude du point. Grâce à ces cartes mensuelles la hauteur des pluies pour chaque mois put être calculée exactement de la même façon qu'avec la méthode d'interpolation du W. MEINHARDUS.<sup>1</sup> Les valeurs interpolées furent ensuite groupées en tableaux d'où l'on tira pour les onze années les moyennes mensuelles et la moyenne annuelle. Les moyennes inscrites sur des cartes analogues, on put tracer les lignes isohyètes et l'on obtint ainsi des cartes d'isohyètes moyennes. Ces cartes pour Janvier, Avril, Juillet et Octobre sont reproduites à une échelle réduite dans la Tab. 3; les isohyètes annuelles sont dessinées sur la carte géographique du bassin.

Ces cartes ne peuvent naturellement donner une représentation détaillée de la répartition des pluies; notamment les lignes deviennent incertaines le long des frontières du bassin, puisqu'on ignore celles des régions environnantes. On les a retenues surtout pour faciliter une comparaison entre les valeurs de précipitations obtenues par interpolation et celles provenant de mesures réellement prises dans les diverses stations. Les écarts que l'on observe entre ces cartes et les cartes correspondantes de H. E. HAMBERG<sup>2</sup> pour la période 1881—94 sont peu considérables sauf ceux qui dépendent de la prise en considération des différences de niveau et ceux qui sont attribuables aux données tardivement obtenues sur les précipitations dans les régions norvégiennes voisines, à la suite du développement du réseau des stations norvégiennes en 1895.

La méthode employée paraît donc satisfaire d'une façon générale aux conditions ci-dessus formulées; elle permet d'obtenir la hauteur des pluies pour chaque mois, d'utiliser toutes les séries d'observations, si courtes qu'elles soient, et enfin de tenir compte dans les interpolations des circonstances orographiques. Les erreurs possibles dans le calcul des valeurs obtenues ne sauraient être très considérables, et peuvent dans une certaine mesure être évaluées. Une erreur de 1 mm. seulement pour une valeur de mois supposerait une erreur d'évaluation de 80 mm., et que par exemple on a évalué les valeurs de 8 points avec 10 mm. d'erreurs, celles de 16 points avec 5 mm. etc., d'où il apparaît au premier instant que des erreurs d'évaluations même commises en un grand nombre de points auraient une assez médiocre influence. En tenant compte en outre autant que possible lors des interpolations des données des plusieurs stations voisines, on évite l'influence d'anomalies accidentelles des valeurs mesurées. Si comme H. E. HAMBERG nous évaluons l'erreur probable en ce qui concerne les valeurs mensuelles prises isolément à  $\pm 10\%$ , l'erreur pour la moyenne de toute la période serait d'après la formule de

<sup>1</sup> W. MEINHARDUS: l. c.

<sup>2</sup> H. E. HAMBERG: Om skogarnes inflytande på Sveriges klimat. IV. Nederbörd. Bihang till domänstyrelsens underdåniga berättelse rörande skogsväsendet för år 1895. 1895.

FECHNER<sup>1</sup> égale à  $\pm 2.6\%$ . Il pourrait toutefois très bien faire que notre procédé d'interpolation ait un peu augmenté l'erreur. Si donc nous évaluons cette erreur à  $15\%$ , l'erreur probable pour la moyenne mensuelle atteint environ  $4\%$ . Les erreurs peuvent d'ailleurs être très considérables pour les valeurs mensuelles considérées isolément; c'est ainsi que pour une hauteur de 20 mm. en Février l'erreur pourrait, à notre avis, atteindre 3 mm., pour une hauteur de 100 mm. en Juillet 15 mm., mais le degré de précision que nous avons obtenu est tout à fait satisfaisant pour le but que nous nous proposons.

Enfin outre qu'il est facile de contrôler sa précision, cette méthode est avantageuse par les facilités qu'elle offre pour déterminer les précipi-

Tab. I.

Station	Alt. m	1894	1895	1896	1897	1898	1899	1900	1901	1902	1903	1904	Moy
Särna . . .	450	598	649	568	565	<b>710</b>	479	432	396	444	426	331*	509
Transtrand .	723	<b>723</b>	<b>792</b>	714	746	773	616	580	480	579	678	473*	650
Malung . . .	371	587	728	690	<b>737</b>	728	613	529	456	595	633	440*	612
Elfdalen . .	250	567	602	540	<b>633</b>	621	482	435	379*	517	506	432	519
Mora . . .	170	540	660	553	575	<b>678</b>	543	463	326*	496	534	446	529
Rättvik . . .	170	488	<b>614</b>	516	430	535	368	354	276*	407	399	337	429
Östänvik . .	200	529	<b>600</b>	497	471	599	465	368	344*	383	498	423	471
Olsbacka . .	130	544	<b>667</b>	571	594	656	602	437	311*	511	580	450	539
Vassbo . . .	120	594	<b>673</b>	587	597	647	597	405	307*	508	608	471	545
Falun . . .	122	534	<b>672</b>	662	645	652	551	482	330*	502	665	478	561
Sundborn . .	130	530	576	540	568	558	456	415	325*	423	<b>583</b>	399	488
Rönndalen .	200	514	574	562	509	<b>628</b>	552	430	370*	404	488	463	499
Stjernerund .	130	533	635	670	661	<b>748</b>	637	505	307*	565	714	531	591
Sveg . . .	346	419	473	419	495	<b>523</b>	451	398	378*	452	430	403	440
Ljungby . . .	400	582	645	606	<b>672</b>	<b>672</b>	629	517	483*	577	613	501	591
Humblebacken	150	590	<b>840</b>	632	632	653	549	484	372*	521	664	483	584
Korså . . .	190	544	711	680	<b>750</b>	699	570	536	364*	576	704	463	600
Mossgrufvan	180	639	688	740	689	854	638	588	349*	589	<b>876</b>	554	655
By . . . . .	70	484	604	620	636	699	546	483	265*	480	<b>749</b>	488	550
Gysinge . . .	60	487	605	602	536	614	478	420	266*	439	<b>639</b>	417	500
Sanden . . .	362	—	—	857	<b>918</b>	812	670	738	668	662	775	631*	748
Glötvola . .	706	—	—	<b>716</b>	680	540	540	541	451	446	490	332*	526
Saeter . . .	681	—	—	<b>595</b>	521	526	490	540	440*	464	573	441	510

<sup>1</sup> J. HANN: Lehrbuch der Meteorologie. Pag. 107. 1901.

tations en tel domaine restreint du bassin, par exemple les bassins des bras principaux ou des affluents, en telle zone d'altitude etc.

Avant de passer aux principes suivis au cours des interpolations nous donnerons quelques détails sur le régime des pluies aux stations normales. Les tableaux I et II contiennent le premier les totaux annuels des précipitations aux stations normales pour les années 1894—1904 inclus. (1896—1904 inclus pour les stations norvégiennes), le second les moyennes mensuelles pour le même temps. Les valeurs dans lesquelles sont entrées des chiffres obtenues par interpolation d'après la méthode de HANN sont en italiques; ce sont les plus nombreuses. La comparaison des deux tableaux montre cependant que le nombre des valeurs mensuelles interpolées est en général très restreint et se réduit souvent à 1.

Comme la distance entre les stations est en général si considérable que l'on atteint ou dépasse les limites dans lesquelles l'emploi de la méthode est légitime, on s'est livré à des recherches spéciales pour savoir quelle station doit être élue de préférence en vue des comparaisons avec

Tab. II.

Station	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Aôut	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année.
Särna . . .	17*	19	29	20	42	61	76	<b>89</b>	51	51	24	30	509
Transtrand .	27*	27*	42	29	52	67	95	<b>101</b>	62	69	38	41	650
Malung . . .	31	27*	29	33	44	52	96	<b>101</b>	59	56	36	38	612
Elfdalen . .	22	23	35	20*	38	54	74	<b>81</b>	55	51	31	35	519
Mora . . .	25	27	39	22*	47	49	73	<b>82</b>	49	52	26	38	529
Rättvik . . .	17	16*	23	18	44	47	66	<b>70</b>	47	41	20	20	429
Östanvik . .	22	23	28	21*	39	56	59	<b>70</b>	48	48	27	30	471
Olsbacka . .	28	26	36	25*	50	58	76	<b>82</b>	50	50	27	31	539
Vassbo . . .	27	27	30	24*	50	62	79	<b>87</b>	52	47	26	34	545
Falun . . .	34	33	38	26*	48	58	70	<b>84</b>	50	50	32	38	561
Sundborn . .	25	24	30	22*	45	55	64	<b>76</b>	45	43	28	31	488
Rönndalen .	29	26	26	21*	42	49	60	<b>85</b>	45	50	30	36	499
Stjernsund .	33	30*	43	34	47	56	76	<b>89</b>	53	52	34	44	591
Sveg . . .	15*	18	27	17	37	54	65	<b>79</b>	43	39	19	27	440
Ljungby . .	25*	29	41	27	46	66	78	<b>95</b>	57	53	29	45	591
Humblebacken	26*	29	39	32	46	53	75	<b>100</b>	50	61	34	39	584
Korså . . .	33	31	40	28*	45	60	68	<b>100</b>	55	58	38	44	600
Mossgrufvan	31	29*	46	40	51	60	92	<b>104</b>	58	62	39	44	655
By . . . . .	29	30	42	31	40	47	74	<b>87</b>	45	50	32	43	550
Gysinge . .	29	32	39	27*	33	46	65	<b>73</b>	42	45	28	41	500
Sanden . . .	29*	38	49	37	52	84	81	<b>105</b>	75	102	40	56	748
Glötvola . .	23	21*	36	28	45	66	63	<b>86</b>	46	47	23	42	526
Saeter . . .	31	25	31	24*	37	58	55	<b>85</b>	48	51	26	39	510

une autre. Dans ce but on a pour chacune des années où des observations ont été faites (et l'on a alors utilisé non seulement les observations de la période 1894—1904, mais toutes celles postérieures à 1881) établi des rapports entre la dite station et toutes celles que l'on a jugées convenables. On a ensuite calculé l'écart moyen de ces rapports au moyen de la formule

$$\Delta = \pm \sqrt{\frac{s}{n(n-1)}}$$

où  $s$  représente la somme des carrés des écarts des divers rapports de la moyenne des dits rapports,  $n$  le nombre des années d'observation.

Le plus souvent il s'est trouvé que la station la plus voisine était la plus avantageuse, mais tel n'est pas toujours le cas, témoin la comparaison suivante des rapports entre la station de Gysinge et quelques-unes des stations voisines, Korså, Stjernesund, By et Mossgrufvan, éloignées de Gysinge de 55, 40, 25 et 53 kil.

Nous avons donc les rapports

Gysinge: Korså	(20 ans)	= 0.85 ;	écart moyen	$\Delta = 0.013$
» : Stjernesund	(22 » )	= 0.85 ;	»	$\Delta = 0.015$
» : By	(10 » )	= 0.77 ;	»	$\Delta = 0.020$
» : Mossgrufvan	(22 » )	= 0.91 ;	»	$\Delta = 0.0097$

En conséquence la station de comparaison la plus convenable pour calculer les valeurs de Gysinge sera Mossgrufvan et non Stjernesund ou Korså.

Il ressort des tableaux que dans la plupart des stations l'année 1901 a été la moins abondante en précipitations exception faite des stations les plus occidentales qui seules présentent des minima en 1904. Par contre les maxima sont très inégalement répartis entre les années 1895, 1896, 1897, 1898 et 1903. Dans le plus grand nombre des stations, c'est-à-dire 7 le maximum apparaît en 1895 ; on le rencontre 6 fois en 1898. Les mensuelles montrent que dans toutes les stations le mois d'Août a été le plus pluvieux, dans toutes les stations suédoises le second rang appartient ensuite à Juillet, tandis qu'à Sanden les pluies sont en Octobre presque aussi abondantes qu'en Août et dans les stations de montagne norvégiennes de Glötvola et de Saeter Juin obtient le second rang. Un maximum secondaire d'une intensité généralement insignifiante apparaît en Octobre surtout dans les stations situées le plus à l'ouest et à l'est, c'est-à-dire les plus voisines de la mer. Les minima tombent irrégulièrement sur les mois de Janvier, Février, ou Avril, sur Avril dans la plupart des stations.

Les moyennes de précipitation annuelles montrent que Sanden reçoit une quantité d'eau notablement plus considérable que toutes les autres stations, 748 mm. Il faut en outre remarquer que ce chiffre se rapporte à la période 1896—1904 pendant laquelle la moyenne est moins considérable que pendant la période 1894—1904, les années 1894 et 1895 ayant présenté une précipitation supérieure à la normale. Ensuite viennent

les stations de Transtrand, Malung et Mossgrufvan, situées à l'ouest et au sud. Toutes ces stations font partie d'une région plus exposé aux vents marins qui du sud et du sud-ouest viennent du Skagerack. Nous constatons au contraire une précipitation médiocre à la station de Sveg située assez loin au nord du bassin du Dalelf dans la vallée de la Ljusnan, et aux stations situées à l'est du Siljan, de Rättvik, Östanvik, Rönndalen et Sundborn, cette dernière assez anormale, les stations voisines de Falun, Olsbacka et Vassbo recevant des pluies notablement plus abondantes.

Nous avons dit plus haut que pour le calcul des précipitations nous avons aussi utilisé un certain nombre de valeurs interpolées autres que celles inscrites dans nos tableaux et dans le calcul desquelles nous n'avions pu faire entrer des rapports tirés d'un aussi grand nombre d'observations que pour les autres, en sorte que ces valeurs sont moins sûres. C'est ainsi cependant qu'au moyen d'une multiplication par 0.90 on a tiré de la station de Transtrand une moyenne de 585 mm. pour Lima, de Malung en utilisant les facteurs de réduction, 0.90, 1.16, 1.15 les moyennes 551, 710 et 704 mm. pour les stations de Nås, Liljendal et Ulriksberg et enfin de Mossgrufvan au moyen d'une multiplication par 0.86 la moyenne de 563 mm. pour Ludvika. Ces chiffres démontrent ce que les stations normales seules ne pouvaient nous apprendre, que ces régions sud-ouest reçoivent plus d'eau que toutes les autres stations suédoises. Une autre station qui n'a pas fourni d'observations pour la période 1894—1904, mais en a fourni antérieurement, et qui, en raison de sa situation, est très importante pour la connaissance de la répartition des précipitations, est celle de Leksand. Si l'on fait le calcul à l'aide des observations de Falun pour le même temps, on obtient au moyen d'une multiplication par 0.85 une moyenne de 477 mm. pour Leksand. Pour les précipitations des régions plus septentrionales, il faut surtout se référer aux stations de Särna, Glötvola et Saeter; nous avons donc aussi cherché à utiliser les stations de Storsäteren et Gustafsberg, bien que les observations n'y aient commencé qu'en Décembre 1903. Si l'on compare les précipitations de Storsäteren et de Särna de Décembre 1903 à Septembre 1905 on obtient le rapport Storsäteren: Särna = 1.17, qui permet d'évaluer à 596 mm. la quantité d'eau reçue par la première des deux stations. Si nous nous étions basés sur Glötvola, nous aurions trouvé entre les deux stations pour la période Décembre 1903 — Décembre 1904 un rapport égal à 1.25, et une hauteur d'eau à la station considéré de 658 mm.<sup>1</sup> Nous avons cependant choisi de préférence Särna comme station de comparaison d'abord presque la période sur laquelle est basée la relation est un peu plus longue, ensuite presque Särna fournit des observations depuis 1894. Par le même procédé on tire de Transtrand une moyenne de 657 mm., de Särna une moyenne de 692 mm. pour Gustafsberg. Transtrand étant plus rapprochée, nous l'avons choisie pour la comparaison.

<sup>1</sup> Si l'on avait calculé le rapport Storsäteren: Särna pour la même période Décembre 1903 — Décembre 1904 on aurait trouvé un chiffre plus rapproché c'est-à-dire 613 mm.

Par le même procédé on a calculé les précipitations de chaque mois pour ces stations; ces valeurs ont été portées comme celles des stations normales et celles provenant de mesures prises en d'autres endroits sur les cartes mensuelles et employées lors des interpolations pourvu toutefois qu'elles n'aient point été trop différentes de celles que l'on pouvait adopter d'après les stations normales environnantes. Elles ont alors été parfois simplement rejetées, ou bien on a pris une moyenne entre elles et une ou plusieurs valeurs des stations normales. On conçoit aisément que de tels cas aient dû se présenter puisque les rapports ont été tirés de périodes relativement courtes ou très courtes, et que naturellement la relation calculée entre deux stations pour une longue période est beaucoup moins valable pour un mois pris isolément.

Nous avons enfin à rendre compte des principes d'après lesquels nous avons évalué l'influence de différence de niveau sur les précipitations. Nous n'insisterons pas sur le fait bien connu que celles-ci augmentent avec l'altitude. La question a été traitée par V. POCKELS<sup>1</sup> au point de vue théorique; ses recherches et les nombreuses mesures publiées d'autre part montrent que même une dénivellation peu considérable joue un rôle sensible. Comme cependant tant d'autres facteurs interviennent, d'abord et surtout la situation par rapport aux vents pluvieux, puis la nature des précipitations, l'exposition des pluviomètres, etc., il est extrêmement difficile d'évaluer cette influence en chiffres pour une vaste étendue; encore est-il évident que ces chiffres ne sauraient être que très approximatifs.

L'accroissement des précipitations avec l'altitude semble être moins rapide dans les régions montagneuses les plus septentrionales que dans toutes les autres parties du bassin. Si par exemple nous considérons les stations désignées dans le tab. III et situées sur un espace orienté à peu près nord-sud autour et au nord du lac Faemun, nous constatons qu'au total la latitude joue un plus grand rôle que l'altitude. En effet les plus

Tab. III.

Station	Lat. N	Long E. Gr.	Alt. m.	Préc. mm.
Brenna . . . . .	61° 47'	11° 57'	554	589
Glötvola . . . . .	61 51	11 52	706	578
Saeter . . . . .	62 15	11 46	681	519
Bredalslien . . . . .	62 28	11 23	836	547
Røros . . . . .	62 34	11 23	630	412
Kongens Grube	62 40	11 18	856	452

<sup>1</sup> V. POCKELS: Über die Kondensation an Gebirgen. M. Z. 1901.

<sup>2</sup> Voir par exemple: J. HANN: Handbuch der Klimatologie. 2. Aufl. I, pag. 288.  
V. KREMSER: Klimatische Verhältnisse des Memel, Pregel- und Weichselgebietes. M. Z. 1900.

méridionales de ces stations bien que situées à une altitude inférieure reçoivent les précipitations les plus considérables. Si cependant nous comparons Bredalslien et Røros, la première située pourtant à 14 kil. au sud de la seconde, nous constatons que Bredalslien reçoit une précipitation supérieure correspondant à un accroissement de 64 mm. par 100 m.; si nous comparons Bredalslien et Saeter, la première située à 30 kil. au nord de la seconde, l'accroissement n'est plus que de 14 mm.; enfin la comparaison des deux dernières stations du tableau, Røros et Kongens Grube, la seconde située à environ 12 kil. au nord de la première, n'accuse qu'un accroissement de 7.5 mm. Bredalslien et Kongens Grube sont à peu près à la même altitude, nous pouvons donc admettre que l'infériorité pluviométrique de la seconde vient de ce qu'elle est située plus au nord et conclure qu'une avance vers le nord de 1 kil. correspond à un abaissement de la précipitation de 5 mm. Si l'on se sert de ces chiffres pour réduire à la même latitude Røros et Kongens Grube d'une part, Røros et Bredalslien d'autre part, on tire des premières comme valeur de l'accroissement des précipitations 33 mm. par 100 m.; des secondes 31 mm. par 100 m. La comparaison déjà établie entre Särna et la station plus septentrionale, mais de 360 m. environ plus élevée, le Storsäterna a donné pour 1904 un accroissement de 20 mm. par 100 m.; la comparaison de Särna et Glötvola, de 266 m. plus élevée, donne pour 1896—1904 le même chiffre. Si l'on tenait compte de l'abaissement des précipitations à mesure qu'on avance vers le sud, on obtiendrait probablement des valeurs plus considérables. Cependant si l'on prend la moyenne des valeurs trouvées pour l'accroissement on arrive à environ 25 mm. par 100 m.; chiffre qui doit correspondre dans une certaine mesure à la réalité.

A l'est et à nord-est du bassin du Dalelf se trouvent les stations de Humlebacken, Ofvanåker, Ljungby et Sveg, à peu près régulièrement espacées du sud-est au nord-ouest et présentant des altitudes de 150, 170, 400 et 350 m. Pour la même période de 5 années ces stations accusent les précipitations suivantes: 509, 385, 539 et 413 mm. La décroissance des précipitations vers le nord-ouest ressort de ces chiffres aussi bien que des cartes d'isohyètes du travail souvent cité de H. E. HAMBERG; mais on ne saurait croire que la décroissance soit aussi forte qu'entre Humlebacken et Ofvanåker. En tout cas la station la plus élevée, Ljungby, présente la plus grande précipitation. Les stations d'Ofvanåker et de Ljungby manifestent un accroissement de 67 mm. par 100 m. d'altitude, chiffre que l'on a calculé sans tenir compte des variations de la précipitation dans le sens horizontal, la valeur d'Ofvanåker ayant semblé très basse pour d'autres motifs. Falun et Korså donnent de même 50 mm. par 100 m., chiffre cependant plutôt trop élevé, les précipitations semblant augmenter vers l'est en dehors de l'influence de l'altitude. Rättvik et Östanvik donnent 75 mm. par 100 m.; enfin les stations situées à peu près à la même latitude d'Örbaekken dans la partie la plus orientale de Norvège, d'Aspberg dans le Vermland septentrional et de Malung donnent si l'on tient

compte des variations dans le sens horizontal un accroissement de 55 mm. par 100 m. Ces comparaisons indiquent toutes un accroissement des précipitations avec l'altitude, accroissement qui atteint très approximativement une moyenne de 55 mm. par 100 m.

Ce chiffre est, on le voit, supérieur à celui que nous avons trouvé pour les régions septentrionales. Les valeurs des accroissements doivent lorsqu'on veut les employer être exprimées en ‰, car il est évident qu'à une précipitation médiocre correspond un accroissement peu considérable. D'une façon générale l'accroissement peut donc être considérée comme proportionnel à la précipitation. En outre l'influence de l'altitude doit être différente selon les époques de l'année, les précipitations présentant des caractères différents, presque exclusivement cycloniques pendant le semestre d'hiver, souvent convectives pendant l'été. Des différences extrêmes apparaissent si l'on compare<sup>1</sup> par exemple le régime des hautes terres écossaises à Ben Nevis, région à climat océanique et où les précipitations dépendent exclusivement des minima barométriques, et le régime du plateau central français au Puy de Dôme, région de climat plutôt continental et à pluies de convection. Le rapport entre les précipitations de la haute station de Ben Nevis et de la station moins élevée de Fort William ne varie au cours des divers mois de l'année qu'entre 2.3 et 1.9, tandis que le rapport entre le Puy de Dôme et Clermont est en Juin 1.6 et en Janvier 5.5. Nous n'avons point estimé nécessaire de faire à cet égard des recherches à détail dans le bassin du Dalelf, nous nous sommes contentés d'évaluer d'après quelques stations les différences entre les semestres d'hiver et d'été. Il ressort de cette évaluation qu'il est plus fréquent de voir en été une station située à une altitude inférieure recevoir une précipitation supérieure.

Les chiffres auxquels nous sommes finalement arrivés en ce qui concerne l'influence de l'altitude sont ainsi les suivants: pour la région au nord de Särna

semestre d'hiver	6 ‰	d'accroissement	par	100 m.
»	d'été	2 ‰	»	» 100 »

pour la région au sud de Särna

semestre d'hiver	8 ‰	d'accroissement	par	100 m.
»	d'été	5 ‰	»	» 100 »

Il est difficile à savoir dans quelle mesure ces chiffres répondent à la réalité. On ne les estimera pas toutefois trop élevés si l'on se rappelle à la suite de quelles comparaisons ont été choisies les stations d'où l'on a tiré ces chiffres. On aurait plutôt des raisons de les trouver notablement trop bas pour les parties les plus élevées du bassin si on les com-

<sup>1</sup> A. WATT; The rainfall of the Ben Nevis observatories. Journ. of the Scottish Meteorol. Society Third series Nos XX and XXI.

pare à ceux que A. HAMBERG<sup>1</sup> donne pour la région du Sarjekfjell, où ses mesures permettent de constater un accroissement considérable de précipitation au-dessus de 1,000 m. Comme toutefois ces mesures ne nous sont connues que pour une année, et qu'en outre les conditions climatériques des régions montagneuses du bassin du Dalelf sont assez différentes de celles de la région du Sarjekfjell, une comparaison ne serait guère légitime.

Il paraît cependant certain que les valeurs de précipitation sont plus exactes si au cours des calculs il est tenu compte de l'altitude. Il est par contre hors de doute que les erreurs probables seront notablement plus importantes que si l'on avait négligé l'altitude pour se baser uniquement sur les mesures relevées aux stations, mais alors les calculs auraient été affectés de l'erreur constante causée par ce fait que les stations sont situées exclusivement dans les parties inférieures. Nous avons donc préféré choisir l'autre méthode. Il va de soi que pour connaître avec précision le régime des précipitations il faudrait augmenter notablement le nombre des stations, et surtout les multiplier plus qu'on ne l'a fait jusqu'ici dans les régions élevées.

Le tableau IV groupe les valeurs de précipitation ainsi obtenues pour tout le bassin du Dalelf, et pour les mois de la période Janvier 1894—Décembre 1904 ainsi que les moyennes et annuelles qui en sont tirées. La carte géographique donne en outre les isohyètes annuelles obtenues par la méthode ci-dessus décrite; la Pl. III donne les isohyètes des mois de Janvier, Avril, Juillet et Octobre.

Tab. IV.

	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
1894	41	24*	41	37	74	70	<b>112</b>	97	49	27	60	45	677
1895	32	27*	61	22	52	94	<b>145</b>	120	46	88	43	31	761
1896	22	15	71	34	38	<b>112</b>	89	92	80	89	13*	29	684
1897	32	19*	58	29	75	38	45	99	<b>138</b>	34	55	59	681
1898	13	52	45	12*	73	97	<b>144</b>	104	47	40	41	65	733
1899	50	35	19*	59	46	36	85	32	<b>105</b>	53	39	38	597
1900	31	36	18*	34	25	35	72	<b>91</b>	21	64	55	51	533
1901	16	18	27	12*	16	<b>103</b>	27	52	22	83	12*	48	436
1902	25	20	43	5*	54	21	89	<b>161</b>	41	50	13	25	547
1903	29	26	42	42	44	47	84	<b>128</b>	43	75	24*	29	613
1904	29	46	17	46	42	45	21	<b>94</b>	37	42	16*	37	472
Moy	29*	29*	40.	30	49	63	83	<b>97</b>	57	59	34	42	612

<sup>1</sup> A. HAMBERG: Sarjekfjällen. Ymer 1900.

Nous voyons que le maximum annuel de précipitations du bassin tombe assez irrégulièrement sur l'un des mois d'été, 4 fois en Août, 3 fois en Juillet, 2 en Juin et en Septembre, en moyenne cependant, comme à toutes les stations, en Août. Le minimum de précipitations se présente pendant l'un des mois de Février, Mars, Avril et Novembre, et en moyenne en Janvier et en Février. Octobre présente en moyenne un maximum secondaire faiblement accusé. La précipitation moyenne de tout le bassin pour la période de 11 ans considéré atteint 612 mm.

Les isohyètes montrent que les parties occidentales et méridionales sont les plus arrosées, les régions autour du Siljan, et celles à l'est et au nord-est de ce lac les moins arrosées. La vallée aux environs de Särna présente aussi une hauteur de pluies médiocre. Cet état de choses se modifie peu aux différentes époques de l'année ainsi que le montrent les isohyètes des mois caractéristiques. Octobre présente dans les régions montagneuses occidentales du bassin un maximum plus accentué que les autres mois.

Les hauteurs de précipitations varient de 500 mm. environ dans la région peu arrosée de Siljan à un peu plus de 800 mm. dans les régions montagneuses occidentales; il ressort de là, comme de la marche des isohyètes, que les bassins des deux bras principaux du Dalelf reçoivent des quantités d'eau fort inégales. Nous avons de la manière spécifiée plus haut calculé la précipitation moyenne pour le bassin du Vesterdalelf, pour celui de l'Österdalelf, et enfin pour celui du fleuve lui-même de leur confluent à Avesta. Les moyennes mensuelles figurent au tableau V.

Tab. V.

	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
Bassin du Vesterdalelf	32	31*	44	34	51	66	93	<b>102</b>	62	64	38	45	663
» de l'Österdalelf	26*	27	38	27	47	64	78	<b>92</b>	55	56	30	39	579
» en aval de Djurås	30*	30*	<del>38</del> 30*	30*	47	59	75	<b>90</b>	53	54	33	39	578
» total . . . . .	29*	29*	40	30	49	63	83	<b>97</b>	57	59	34	41	612

Nous constatons que la hauteur d'eau du bassin de Vesterdalelf, 663 mm., est notablement supérieure à celle des deux autres, qui accusent l'un et l'autre la même hauteur, le bassin de l'Österdalelf 579 mm., celui du fleuve lui-même en aval du confluent des deux bras 578 mm. Si l'on tient compte de la superficie de ces divers bassins on voit qu'ils reçoivent respectivement 36, 44 et 20% de la précipitation totale du bassin. Les variations mensuelles des pluies sont à peu près les mêmes dans les trois bassins. Tous trois reçoivent le maximum de précipitations en Août, le minimum en Janvier, Février ou Avril.

Si nous considérons la répartition des précipitations pendant les saisons de l'année nous trouvons que dans tout notre bassin le semestre d'hiver (Décembre — Mai) contribue à la précipitation annuelle de 36<sup>o</sup>/<sub>o</sub>, le semestre d'été (Juin — Novembre) de 64<sup>o</sup>/<sub>o</sub>. Pour le bassin du Vesterdalelf ces chiffres sont les mêmes, pour le bassin de l'Österdalelf on a 35 et 65 et pour le bassin en aval de Djurås 37 et 63. Les pour cent correspondants pour les quatre saisons de l'année se trouvent dans le tableau VI. On voit que les dissemblances entre les différentes régions du bassin sont très petites.

Tab. VI.

	Hiver	Printemps	Été	Automne
Bassin du Vesterdalelf . . . . .	16	20	39	25
» de l'Österdalelf . . . . .	16	19	40	25
» en aval de Djurås . . . . .	17	20	39	24
» total . . . . .	16	19	40	25

Si nous examinons les totaux des diverses années de la période étudiée, nous constatons que les cinq premières présentent des hauteurs d'eau considérables, notablement supérieures à la normale, les autres demeurant notablement au-dessous. Les précipitations atteignent en moyenne 707 mm. pour les 5 premières années, 533 mm. pendant les 6 qui suivent; les années étudiées se divisent ainsi en deux périodes présentant une différence accusée de régime pluviométrique. Deux années seulement accusent une hauteur à peu près égale à la normale, 1899 et 1903. La plus grande hauteur est celle de 1895, 761 mm., la moins considérable celle de 1901, 436 mm. Les valeurs mensuelles accusent aussi de nombreux cas extrêmes. La plus grand hauteur mensuelle est celle d'Août 1902, 161 mm., la moins considérable celle d'Avril de la même année, 5 mm. Les précipitations de Juillet 1901 et 1904 sont d'un médiocrité anormale, ne dépassant pas 27 et 21 mm.; de même celles d'Août 1899 32 mm., tandis que Juillet présente en 1895 et 1898 des hauteurs extraordinaires, 145 et 144. Ces nombreux cas anormaux constituent naturellement une complication gênante lorsqu'on veut se faire une idée claire de l'évolution normale du régime hydrologique.

Outre les quantités de précipitations, il est intéressant de connaître le nombre des jours sur lesquels se répartissent ces précipitations et la nature de ces dernières; aussi avons nous rassemblé à cet égard un certain nombre de données. Nous avons pris comme total moyen des jours de précipitation du bassin la moyenne de totaux de jours de précipitation (présentant une hauteur > 0,1 mm.) aux stations suivantes régulièrement réparties et présentant des séries d'observations à peu près complètes:

Glötvola, Särna, Transtrand, Malung, Mora, Falun, Mossgrufvan, Östanvik, Ljungby. Les moyennes mensuelles des nombres de jours de précipitation de ces stations sont données par le tableau VIII qui indique aussi les jours de chute de neige. Le tableau VII donne la moyenne pour tout

Tab. VII.

	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
Jours de précip. (> 0.1 mm.)	12.3	10.6	12.9	10.4	11.5	13.0	14.2	16.2	11.8	13.3	9.1*	13.2	149
Jours de précip. (> 5 mm.)	1.7	1.5*	2.5	1.6	3.4	3.8	5.0	5.9	3.8	3.8	2.1	2.3	37
Précip. . . . .	29*	29*	40	30	49	63	83	97	57	59	34	42	612
Intensité . . .	2.4*	2.7	3.1	2.9	4.3	4.8	5.8	6.0	4.8	4.5	3.7	3.2	4.1

le bassin calculée par mois de la façon ci-dessus définie, par conséquent sans qu'il ait été tenu compte de la situation des stations, et la moyenne des jours ayant présenté une précipitation supérieure à 5 mm. Le même tableau indique aussi les quantités des précipitations, et renferme aussi, tirées de ces données, des valeurs de l'intensité de précipitations obtenues en divisant la précipitation mensuelle par le nombre des jours de précipitation. Août est aussi le mois qui présente le plus grand nombre de jours de précipitation, le plus grand nombre de jours avec grandes hauteurs journalières, et la plus grande intensité. Novembre présente le plus petit nombre de jours de précipitation tandis que Février accuse les précipitations les moins abondantes. Au total le nombre des jours de précipitation n'est point en hiver aussi petit que pourrait le faire supposer la médiocrité de la hauteur d'eau tombée, mais en hiver les précipitations se font par quantités bien moins considérables qu'en été où les pluies d'orage sont fréquentes et abondantes. Le mois de Mai accuse une intensité très remarquable en égard au nombre relativement petit des jours de précipitation.

Dans notre bassin les précipitations se font en hiver surtout sous forme de neige, et il n'échappera point que ce fait est d'une importance capitale au point de vue du régime hydrologique. Il est donc du plus grand intérêt de se procurer des données précises sur la quantité annuelle des précipitations survenues sous forme de neige, le nombre des jours de neige, l'épaisseur de la couverture de neige, la durée de son existence, la densité de la neige, et la façon dont elle fond. Les renseignements de cet ordre que nous possédons sont cependant peu nombreux.

C'est ainsi que nous ne pouvons connaître la proportion des précipitations neigeuses et des précipitations pluvieuses que par la comparaison du nombre des jours de pluie et des jours de neige. Si toutefois on admet

Tab. VIII.

		Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
Glötvola	Jours de précip.	13.6	11.9	13.6	11.7	11.6	12.4	13.6	17.0	9.9	12.9	9.0	12.1	149
	» » neige	13.2	11.8	13.2	10.2	6.3	1.0	0.1	0.2	1.1	7.9	7.5	11.9	84
	» » » %	97	99	97	87	54	8	1	1	11	61	83	98	56
Särna	Jours de précip.	12.7	10.4	13.0	9.5	12.2	14.2	15.1	18.6	13.8	13.8	9.6	14.7	158
	» » neige	12.6	10.2	12.5	7.5	3.8	0.2	0.0	0.0	0.4	5.0	6.8	13.2	72
	» » » %	99	98	96	79	31	1	0	0	3	36	71	90	46
Transtrand	Jours de précip.	13.4	11.5	14.9	13.1	11.5	13.3	15.0	16.3	10.5	14.5	9.6	15.0	159
	» » neige	13.3	11.3	14.2	9.5	2.7	0.0	0.0	0.0	0.4	4.6	6.2	14.1	76
	» » » %	99	98	95	73	23	0	0	0	4	32	65	94	48
Malung	Jours de précip.	9.2	8.2	11.0	9.0	9.9	9.8	13.3	13.7	9.1	10.7	7.4	10.4	122
	» » neige	9.1	8.0	10.2	5.9	1.7	0.0	0.0	0.0	0.1	3.1	4.4	9.3	52
	» » » %	99	98	93	66	17	0	0	0	1	29	59	89	43
Mora	Jours de précip.	11.1	8.8	10.9	8.8	11.7	13.8	14.7	16.4	12.3	13.3	7.8	11.6	141
	» » neige	10.7	8.4	10.1	5.3	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	4.5	9.9	54
	» » » %	96	95	92	61	19	0	0	0	0	19	58	85	38
Falun	Jours de précip.	11.0	9.5	10.5	8.5	9.3	11.5	10.9	13.6	10.6	11.6	7.7	10.8	126
	» » neige	10.5	8.8	9.6	4.8	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	4.5	8.9	50
	» » » %	95	93	91	56	12	0	0	0	0	16	58	82	40
Mossgrufv.	Jours de précip.	15.1	14.5	15.4	14.4	13.0	13.4	14.1	16.5	13.2	15.5	12.1	16.0	173
	» » neige	14.5	13.7	13.7	9.2	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.8	7.0	13.6	78
	» » » %	98	94	89	64	23	0	0	0	0	18	58	85	45
Östankvik	Jours de précip.	12.9	8.2	12.9	8.7	11.8	12.7	14.0	15.6	12.9	12.7	8.6	13.6	165
	» » neige	11.7	7.1	11.9	5.9	1.9	0.0	0.0	0.0	0.2	2.3	4.7	11.0	57
	» » » %	91	87	92	68	16	0	0	0	2	18	55	81	39
Ljungby	Jours de précip.	11.7	12.1	13.5	10.2	12.6	15.9	17.0	18.4	13.8	14.8	10.5	14.2	165
	» » neige	11.7	11.6	13.4	9.1	4.6	0.3	0.0	0.0	0.8	5.7	7.7	13.9	79
	» » » %	100	96	99	89	37	2	0	0	6	39	73	98	48
Moy. pour le bassin du Dalef	Jours de précip.	12.3	10.6	12.9	10.4	11.5	13.0	14.2	16.2	11.8	13.3	9.1	13.2	149
	» » neige	11.9	10.1	12.1	7.5	3.0	0.2	0.1	0.1	0.3	4.0	5.9	11.8	67
	» » » %	97	95	94	72	25	2	1	1	3	30	65	89	45

que la quantité de neige tombée est proportionnelle au nombre des jours de neige la précision du calcul en ce qui concerne l'hiver, la période la plus intéressante à cet égard, paraîtra suffisante. Le nombre moyen des jours de neige pour les divers mois de la période 1894—1904 et pour les stations ci-dessus énumérées situées en diverses parties du bassin est donné par le tableau VIII; on a aussi tiré des mêmes stations la moyenne du bassin tout entier. Nous constatons qu'en moyenne 45 % des jours de précipitation de l'année sont de jours de neige. Cette proportion demeure à peu près la même dans toutes les parties du bassin: elle atteint 56 % à Glötvola et descend à 38 %, chiffre le plus bas à Mora.

On voit nettement que c'est aux stations les plus élevées par rapport à leurs environs que la neige tombe le plus souvent. Les stations de plaine Mora, Östanvik et Falun présentent les plus basses proportions, les stations relativement élevées de Glötvola, Transtrand et Ljungby les plus hautes. Comme toutefois toutes les stations sont à une altitude médiocre les chiffres obtenus sont très certainement trop faibles; l'erreur ne peut dans une certaine mesure être compensée que par ce fait que parmi les stations choisies les plus élevées sont les plus nombreuses.

Aucun mois n'est en moyenne tout à fait exempt de neige, encore que la neige tombée en Juillet et Août aux stations les plus septentrionales n'ait pratiquement aucune importance; du moins ces précipitations prouvent-elles que dans les montagnes il tombe de la neige toute l'année. En Janvier, Février et Mars une très petite partie seulement des précipitations se produit en moyenne sous forme liquide, et jusqu'en Mai les jours de neige forment le quart du total des jours de précipitation. Si l'on en juge par la station de Mossgrufvan il semble que la région de Bergslag au sud soit caractérisée par des chutes de neige se prolongeant fort avant dans le printemps.

Quant aux dates de l'apparition de la première couverture de neige continue en automne et de sa disparition au printemps, nous donnons quelques indications en nous guidant sur les cartes du travail de H. E. HAMBERG.<sup>1</sup> Les chiffres que nous présentons sont des moyennes approximatives pour la période 1881—94 et ne peuvent par conséquent tout à fait s'appliquer à la période que nous étudions. La couverture de neige se forme dans les parties les plus septentrionales du bassin entre le 15 et le 20 Octobre, et dans les bassins du Västerdalelf et de l'Österdalelf, à l'exception du bassin du Siljan, avant le 1 Novembre. Les dates de la disparition de la couverture de neige au printemps sont différentes en terrain découvert et en forêt. En terrain découvert la disparition a lieu avant le 20 Avril dans les plaines autour du Siljan et dans les régions situées immédiatement à l'ouest et à l'est de ce lac. La couverture persiste un peu plus longtemps dans la région de Bergslag. Dans les

---

<sup>1</sup> Om skogarnes inflytande på Sveriges klimat. V. Snötäcke. Bihang till Domänstyrelsens underdåniga berättelse rörande skogsväsendet för år 1895. 1896.

régions de l'extrême nord-ouest la disparition se produit entre le 25 Avril et le 1 Mai. En forêt ces dates doivent être retardés de 5 à 10 jours.

Quant à l'épaisseur et la fonte de la couverture de neige, c'est seulement depuis l'hiver de 1904—05 que l'on a commencé en Suède à recueillir des renseignements; aussi n'avons-nous pu calculer des moyennes à cet égard. Mais depuis que le système de stations norvégiennes a été développé, ces stations ont entrepris de relever des mesures, et bien que ces mesures ne puissent être directement utilisées pour notre bassin, elles peuvent cependant être de quelque profit si l'on veut essayer de se faire une idée de ces facteurs importants du régime hydrologique en hiver. Le tableau IX contient des chiffres tirés de ces mesures, et qui représentent

**Tab. IX.**

		Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Oct.	Nov.	Déc.
Épaisseur moy. de la couverture de neige m.	Sanden . . .	40	54	65	38	5	4	5	24
	Glötvola . .	42	51	65	59	17	4	8	25
	Saeter . . .	37	51	71	69	19	4	8	26
Épaisseur max. de la couverture de neige cm.	Sanden . . .	51	70	86	60	13	10	11	41
	Glötvola . .	50	59	81	75	40	8	12	40
	Saeter . . .	45	62	86	85	45	7	15	38

les moyennes pour la période 1896—1904 d'épaisseur moyenne de la neige par mois et des maxima d'épaisseur aux stations de Sanden, Glötvola et Saeter situées non loin du bassin du Dalelf. Ce tableau fait ressortir que l'épaisseur moyenne et les maxima d'épaisseur demeurent pendant les mois d'hiver proprement dits, de Novembre à Mars, sensiblement identiques dans toutes ces stations, bien qu'elles soient situées fort différemment, mais que par contre la situation est fort différente à l'époque de la fonte aux stations élevées septentrionales et aux stations méridionales, la neige persistant notablement plus longtemps dans les premières que dans les secondes. Mars présente dans toutes les stations les maxima d'épaisseur absolue et d'épaisseur moyenne.

A Saeter on a en outre depuis 1899 déterminé la densité de la neige pour toute l'épaisseur de la couverture, et la période de cinq ans hiver 1899—1900 — hiver 1903—04 a donné pour les différents mois les moyennes suivantes: Novembre 1.2; Décembre 1.5; Janvier 1.9; Février 1.9; Mars 2.1.

Le calcul de la fonte et de l'évaporation se heurte à un certain nombre de difficultés. Si l'on calcule la diminution de la couverture de neige par ces deux facteurs en prenant la différence entre la hauteur de

neige tombée mesurée dans le mois et l'accroissement d'épaisseur de la couverture que l'on obtient en mesurant cette épaisseur au début et à la fin du mois et qui peut être évaluée en mm. d'eau grâce aux mesures de la densité de la neige, il arrive très souvent que l'on trouve la seconde quantité supérieure à la première, d'où il faudrait conclure qu'il n'y a pas eu de fonte ni d'évaporation. Cette apparente anomalie s'explique très certainement surtout par ce fait que lorsque les précipitations se composent de neige les pluviomètres donnent généralement des chiffres trop faibles. On peut aussi extraire des mesures d'épaisseur journalières les diminutions successives, les additionner pour le mois, et tirer de là l'évaluation approximative de ce que la couverture a perdu par la fonte et l'évaporation. Mais cette méthode ne donne pas non plus de résultats certains. D'abord la densité attribuée à toute la couverture de neige ne peut être celle de la partie fondante de cette couverture; ensuite la diminution d'épaisseur peut provenir du tassement de la neige; enfin la fonte peut se produire à certains jours en même temps qu'il neige; l'épaisseur de la couverture pourra alors ne pas changer et pourra même augmenter en dépit d'une fonte très réelle. Si l'on attribue à la neige une densité égale à 1, et si l'on calcule qu'elle fraction de la précipitation neigeuse mesurée représente la quantité d'eau fondue et évaporée ainsi additionnée, on obtient une valeur de la perte certainement trop faible, 1. presque la densité attribuée à la neige est un minimum, correspondant seulement à la densité de la neige nouvellement tombée, 2. presque pour la raison signalée plus haut les quantités disparues n'ont pas toutes été enrégistrées. On peut cependant aussi avoir recours au procédé suivant pour calculer la proportion des pertes. Si l'on additionne pour tout l'hiver les valeurs d'accroissement de la couverture et si l'on admet que la somme obtenue correspond exactement à la neige tombée représentée en centimètres de neige, si l'on additionne ensuite toutes les valeurs de diminution, et que l'on considère cette somme comme égale à celle des pertes par fonte et évaporation, toujours en cm. de neige, on obtiendra, en attribuant à ces diverses quantités de neige la même densité, la proportion des pertes comme la proportion pour cent entre le total des accroissements et celui des diminutions. Comme toutefois la densité de la quantité de neige disparue devait être plus élevée les chiffres ainsi obtenus doivent aussi être trop faibles. Mais il peut arriver qu'il soit tombé de la neige sans que cette précipitation ait été accusée par un accroissement d'épaisseur, la fonte et l'évaporation s'étant poursuivies au même moment, et comme l'évaporation, fût-elle insignifiante, ne s'arrête jamais, la valeur représentant la quantité de neige obtenue par ce procédé doit être trop faible à un plus haut degré encore que ne l'est pour des raisons de même ordre la valeur représentant la diminution, et par conséquent la proportion des pertes doit présenter un chiffre trop élevé.

En employant la première des méthodes ci-dessus décrites pour calculer la proportion des pertes nous avons trouvé pour la période de

cinq ans déjà définie que l'évaporation et la fonte enlèvent pendant les mois d'hiver 35<sup>0</sup>/<sub>0</sub> des précipitations tombées sous forme de neige; avec la seconde méthode nous arrivons à 44<sup>0</sup>/<sub>0</sub>. En conséquence nous pouvons admettre une perte approximative de 40<sup>0</sup>/<sub>0</sub>.

Pour la Suède il existe quelques recherches sur ces questions dues à J. WESTMAN et M. JANSSON. Un seul<sup>1</sup> des travaux publiés qui traite de la couverture de neige à Upsal pendant l'hiver 1900—01, aborde la question de la fonte et de l'évaporation en hiver; tous les autres ne traitent que de la fonte au printemps, ce qui pour notre sujet est moins intéressant. D'après les mesures relevées à Upsal l'accroissement de la couverture de neige du 5 Janvier au 29 Mars 1901 correspondait à 40 mm. d'eau; pendant le même temps les précipitations tombées sous forme de neige atteignaient environ 60 mm. Par conséquent 20 mm. seulement, c'est-à-dire 33<sup>0</sup>/<sub>0</sub> de la quantité tombée auraient été enlevés par la fonte et l'évaporation. On ne saurait tirer de conclusions sûres d'observations qui n'ont été faites qu'une seule année. Il semble cependant probable que le régime de la fonte en hiver ne doit être très différent dans les parties occidentales élevées et les parties orientales plus continentales du bassin du Dalelf.

Nous nous sommes un peu étendus sur les précipitations neigeuses à cause de la grande importance qu'elles présentent au point de vue du régime hydrologique de notre bassin, et de l'intérêt que l'on doit prendre dans notre pays à l'extension nécessaire des recherches relatives aux facteurs les plus importantes de ce régime. Les mesures de l'épaisseur de la couverture de neige commencées depuis quelque temps sont insuffisantes; elles doivent nécessairement être complétées par des mesures de la densité de la neige.

### 3. Hauteur d'eau et écoulement.

Les mesures de la hauteur d'eau et de l'écoulement utilisées dans le présent travail ont été prises ainsi que nous l'avons déjà dit à Avesta. Des mesures de la hauteur d'eau ont été prises depuis, beaucoup plus longtemps, mais nous n'avons pas utilisé ici que celles postérieures à 1894, les déterminations du débit faites après cette date pouvant seules nous servir.

La hauteur d'eau est mesurée à l'aide d'une échelle d'étiage placée en amont de la chute d'Avesta et graduée en vieux pieds et pouces suédois. Les mesures relevées ont été dans le présent travail transformées

---

<sup>1</sup> M. JANSSON et J. WESTMAN: Quelques recherches sur la couverture de neige. Bull. of the Geol. Instit. of. Upsala Vol. V. 1901.

en mètres, et réduites à un 0 d'ailleurs assez arbitraire qui a aussi été employé lors des mesures d'écoulement tardivement entreprises. Il a été nécessaire d'interpoler certaines valeurs de hauteur pour l'hiver, cela en partie presque le fleuve qui près de la chute n'est jamais complètement pris, est parfois barré par des amoncellements de glaces; ces barrages peuvent atteindre de très grandes dimensions et se maintenir pendant plusieurs jours. Lors des observations, on est toutefois averti de leur formation par le relèvement subit de la courbe des hauteurs d'eau qui ordinairement s'abaisse lentement en hiver. Si en même temps on note

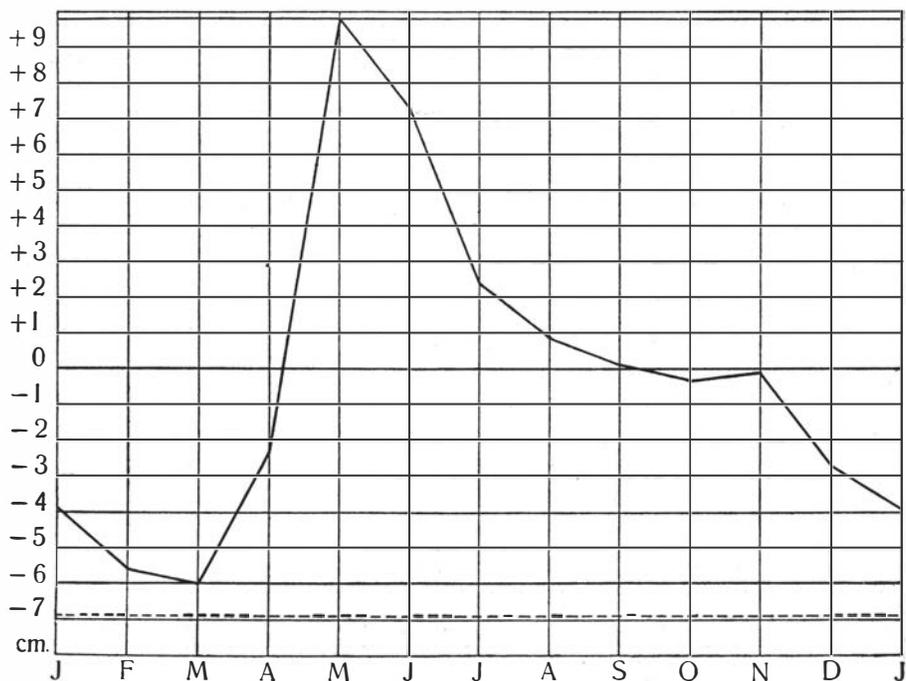


Fig. 2.

l'état pluviométrique et celui de la température, on peut sans difficulté déterminer si le relèvement est attribuable à un barrage ou peut-être à des précipitations survenues sous forme de pluie, ou encore à une fonte violente due à une élévation de la température. Pour certains fleuves étrangers ces barrages de glaces jouent un grand rôle dans les calculs de hauteur d'eau. C'est ainsi que V. RUVARAC<sup>1</sup> a constaté que l'on attribuerait à l'Elbe une hauteur d'eau trop grande de 10 % en Décembre, 35 % en Janvier, 20 % en Février et 10 % en Mars si l'on ne tenait pas compte de ce facteur. Dans les fleuves qui portent en hiver une couverture de glace constante, la hauteur de l'eau n'est point influencée par des barrages de cette nature. Des mesures de hauteur prises dans le Klarelf

<sup>1</sup> V. RUVARAC: l. c.

*Bull. of Geol.* 1906.

à Bryngfjorden une seule fois, il est vrai, par semaine, pendant les hivers 1892—96 n'indiquent aucune discontinuité attribuable comme dans le Dal-elf à des barrages de glace. Il n'y a cependant aucune difficulté à remplacer les valeurs inexactes par des valeurs interpolées plus sûres. Une autre cause enfin a rendu des interpolations nécessaires, et c'est que lorsque les eaux sont très basses en hiver on dispose dans le lit du fleuve un barrage artificiel pour faire monter le niveau. Les interpolations ont été faites à l'aide de données reçues à Avesta.

La fig. 2 donne une courbe de la hauteur d'eau pour le Dal-elf à Avesta. La hauteur moyenne au cours de la période considérée a été de 9.62 m., et la courbe indique les écarts en cm. Le niveau des basses eaux est, si l'on entend par là le niveau moyen du mois qui présente les eaux les plus basses, à 60 cm. au-dessous du niveau moyen, à 69 cm. si, comme le Comité suédois des chutes d'eau,<sup>1</sup> on entend par niveau des basses eaux la moyenne pour plusieurs années des minima annuels absolus (ligne pointillée de la figure). Le niveau des hautes eaux (c'est-à-dire le niveau moyen de Mai) est à 98 cm. au-dessus du niveau moyen. Le niveau le plus élevé observé pendant la période considérée (c'est-à-dire le niveau des hautes eaux d'après le Comité suédois des chutes d'eau) est à 244 cm. et fut atteint le 26 Mai 1899; le minimum de hauteur correspondant se produisit à plusieurs reprises en Février et Mars 1902 et le 10 Avril de la même année; il ne dépasse pas 98 cm. au-dessous du niveau moyen. L'écart des niveaux extrêmes est au total égal à 3.42 m. En moyenne les eaux atteignent naturellement leur plus grande hauteur de l'année en Mai, après avoir grossi rapidement dès Avril; elles baissent ensuite d'abord rapidement, puis lentement jusqu' en

Tab X.

	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
1894	9.38	9.24*	9.26	10.06	<b>11.06</b>	10.23	10.00	9.83	9.71	9.48	9.56	9.47	9.77
1895	9.39	9.19	<b>9.08*</b>	9.36	<b>11.01</b>	10.09	10.05	10.62	10.12	9.97	9.92	9.65	9.87
1896	9.41	9.17	9.16*	9.65	<b>10.59</b>	10.35	10.06	9.69	9.65	10.14	9.86	9.51	9.77
1897	9.32	9.11	9.01*	9.39	<b>11.07</b>	10.27	9.55	9.27	9.68	10.01	9.67	9.51	9.66
1898	9.58	9.32	9.15*	9.21	10.75	<b>10.89</b>	10.49	10.57	9.87	9.52	9.62	9.49	9.87
1899	9.35	9.23	<b>9.21*</b>	9.52	10.74	<b>10.77</b>	9.95	9.44	9.28	9.66	9.57	9.41	9.68
1900	9.04	8.92	8.80*	9.11	10.14	<b>10.34</b>	9.73	9.62	9.25	9.03	9.52	9.33	9.40
1901	9.17	8.94	8.87	9.26	<b>10.18</b>	9.77	9.68	9.08	8.83*	8.93	9.31	8.95	9.25
1902	8.81	8.69	<b>8.67*</b>	8.79	9.84	10.37	9.60	9.65	<b>10.43</b>	9.79	9.67	9.27	9.47
1903	8.96	8.88*	9.08	9.63	<b>10.46</b>	10.26	9.67	9.88	10.09	9.84	9.93	9.45	9.68
1904	9.12	9.02	8.93	9.30	<b>10.78</b>	10.53	9.67	9.17	9.05	9.08	9.12	8.90*	9.39
Moy.	9.23	9.06	9.02*	9.39	<b>10.60</b>	10.35	9.86	9.71	9.63	9.59	9.61	9.35	9.62

<sup>1</sup> Betänkande afgifvet den 17 Mars 1903 af den för utredning beträffande vissa staten tillhöriga vattenfall af Kungl. Majt den 9 Juni 1899 tillsatta kommité. 1903.

Octobre. En Novembre apparait un faible relèvement, conséquence évidemment du maximum de précipitations secondaire d'Octobre. Enfin le fleuve baisse régulièrement jusqu' en Mars où il atteint son plus bas niveau.

Tab. XI.

	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Max. de niveau	-2	-12	-11	+118	+244	+174	+94	+138	+137	+69	+60	+24
Année	1898	1898	1903	1894	1899	1899	1898	1895	1902	1896	1896	1895
Min. de niveau	-90	-98	-98	-98	-41	+9	-30	-74	-84	-86	-65	-89
Année	1902	1902	1902	1902	1902	1891	1897 1901	1901	1901	1901	1904	1904

Le tableau X contient les moyennes de niveau mensuelles et le tableau XI les maxima et les minima observés au cours de chaque mois avec l'indication de l'année où ces cas extrêmes se sont produits. Dans ce dernier tableau les hauteurs d'eau sont comptées à partir du niveau moyen. Nous constatons que pendant 7 années le niveau le plus élevé est atteint en Mai, pendant 3 en Juin et 1 en Septembre (1902). Le minimum se produit généralement en Mars, mais se rencontre 2 fois en Février, 1 fois (1901) en Septembre, et 1 fois en Décembre. Les moyennes annuelles de hauteur les plus considérables sont celles de 1895 et de 1898, supérieurs de 25 cm. au niveau moyen, la plus basse est celle de 1901, inférieure de 37 cm. au même niveau. Mai présente aussi en général le maximum de hauteur absolu de l'année; deux fois seulement le fleuve atteint son maximum de hauteur en Juin, et une fois (1902) en Septembre. Par contre le fleuve atteint son minimum aussi souvent en Avril qu'en Mars. Les chiffres du tableau XI montrent que les plus grandes hauteurs d'eau de chaque mois sont très inégalement réparties selon les années, mais que les plus petites au contraire apparaissent presque toutes en 1901 et 1902; nous reviendrons plus loin sur ce point.

La comparaison des précipitations mensuelles et des observations relatives à la hauteur d'eau n'offre en effet pas un grand intérêt et il est plus utile de comparer les précipitations mensuelles et les débits. Le calcul des débits d'après les mesures de la hauteur d'eau exige que l'on ait mesuré le débit assez souvent qu'il soit possible de construire une courbe (courbe d'écoulement) indiquant le rapport entre la hauteur d'eau et le débit, et permettant de calculer ce dernier pour n'importe quelle hauteur. Le débit se détermine en mesurant la vitesse moyenne de l'eau courant sur une surface de profil connu. Des mesures de ce genre ont été prises à Avesta en 1899, 1901 et 1902 puis en 1905; les mesures de 1905 ont été spécialement utilisées pour la construction de la courbe. Toutes ces mesures ont été relevées à l'aide d'un hydrotachymètre enregistreur sur un profil situé en aval des chutes et en un nombre de points

amplement suffisant aussi bien dans le sens horizontal que dans le sens vertical. La fig. 3 donne la courbe d'écoulement construite à l'aide de ces mesures.

En calculant au moyen de la courbe le débit journalier correspondant aux hauteurs d'eau mesurées, et en additionnant les chiffres ainsi obtenus, on a calculé les débits mensuels. On a préféré avoir recours à cette méthode compliquée plutôt que de déterminer directement le débit mensuel considéré comme proportionnel à la hauteur d'eau moyenne du mois; il peut se faire en effet qu'une moyenne de hauteur soit constituée

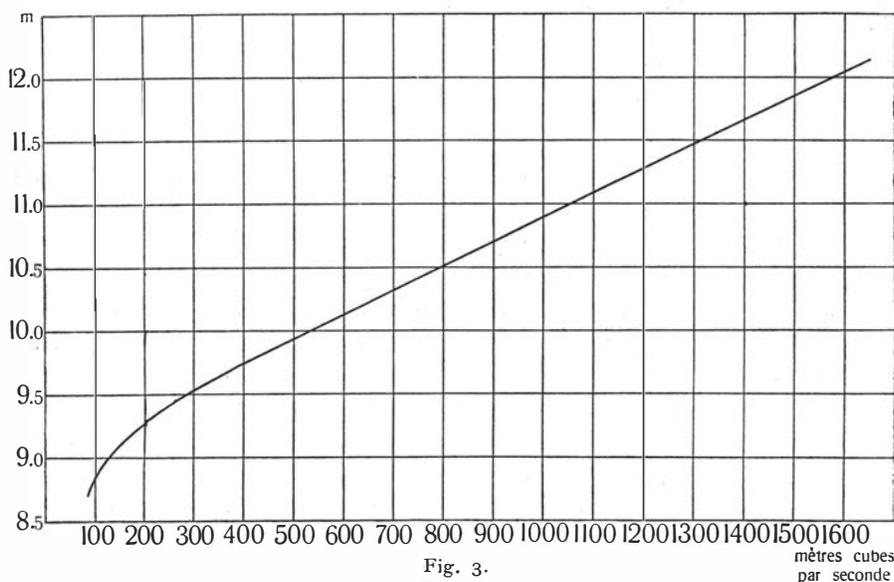


Fig. 3.

mètres cubes  
par seconde

par une série de grandes et une série de petites hauteurs, auquel cas la courbe montre que les débits calculés des deux façons doivent être inégaux.

Les moyennes de débit mensuelles ainsi calculées sont portées au tab. XII en mètres cub. par seconde. Si on les compare aux hauteurs d'eau du tab. X on constate qu'à l'accroissement de hauteur du mois de Novembre ne correspond pas un accroissement du débit, fait qui s'explique par la fréquence des basses eaux en Novembre. Si l'on avait calculé le débit moyen directement d'après la hauteur moyenne, cette différence n'aurait point apparu. En dehors de cela les deux tableaux concordent quant aux maxima et aux minima si ce n'est qu'en 1896 le débit le plus faible se place en Février et la plus petite hauteur d'eau en Mars.

La moyenne annuelle du débit à Avesta est égale à 375 m. cub. par sec.; elle correspond à une hauteur moyenne de 9.69 m. Si à l'aide de la courbe on tirait directement la moyenne du débit de la moyenne de hauteur (9.62 m.), elle ne dépasserait pas 342 m. cub. par sec. Le débit du Klarelf à Bryngfjord s'élève d'après des observations datant de

1892—97 à 235 m. cub. par sec. Ces chiffres correspondent à une masse d'eau totale de 11870 mill. de m. cub. pour le Dalelf et de 7290 mill. de m. cub. pour le Klarelf. Le plus fort débit observé du période à Avesta a été égale à 1600 m. cub. par sec., le plus faible à 81, quantités qui sont à peu près dans le rapport de 1 à 20. Pour le Klarelf le même

Tab. XII.

	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
1894	241	192*	199	566	<b>1076</b>	640	534	446	387	283	318	280	430
1895	247	176	145*	253	<b>1055</b>	577	557	844	590	511	488	360	484
1896	255	168*	169	362	<b>830</b>	706	561	375	358	604	461	293	430
1897	219	153	130*	271	<b>1083</b>	667	313	202	375	534	367	294	384
1898	326	222	164*	182	920	<b>984</b>	779	820	465	301	343	285	483
1899	230	187	180*	304	916	<b>925</b>	504	268	205	360	323	253	388
1900	137	112	95*	180	603	<b>704</b>	396	349	200	140	300	220	286
1901	172	116	104	202	<b>622</b>	414	376	148	99*	121	216	119	226
1902	97	85	83*	99	460	715	333	360	<b>750</b>	426	371	204	332
1903	119	106*	153	350	<b>761</b>	664	366	473	579	451	498	269	399
1904	155	132	114	234	<b>930</b>	800	371	170	134	150	156	103*	286
Moy.	200	150	140*	273	<b>841</b>	709	463	405	375	353	349	244	375

rapport donne les chiffres 1 : 21. D'après le Comité suédois des chutes d'eau<sup>1</sup> le plus fort débit observé aux chutes d'Elfkarleby près de l'embouchure du Dalelf serait 1800 m. cub. par sec. et le débit des basses eaux de 105 m. cub. par sec., celui-ci étant cependant défini de la manière indiquée plus haut à propos de la hauteur d'eau. Les chiffres correspondants seraient à Avesta 113 m. cub. par sec.

Pour permettre une comparaison avec les précipitations correspondantes on peut exprimer les débits soit en millions de m. cub. soit en mm., c'est-à-dire que l'on peut se considérer l'eau débitée comme uniformément étendue sur la surface du bassin. Ces hauteurs de débits correspondent parfaitement aux hauteurs de précipitations données plus haut. Nous nous bornons par conséquent à exprimer les débits de cette façon. Le tableau XIII contient les hauteurs d'eau par mois en mm. La hauteur de débit annuelle atteint ainsi 450 mm., la hauteur du débit en Mai 85 mm., en Février et Mars (ainsi exprimé le débit est identique pour ces deux mois à cause de leur longueur inégale) 14 mm. L'inégalité de leur durée explique aussi que Février accuse plus souvent que Mars les minima de hauteur d'eau

<sup>1</sup> Förteckning öfver Statens vattenfall enligt vattenfallkommitténs utredning år 1903. 1903.

mensuelle. Si l'on calcule aussi la hauteur de débit du bassin du Klar-elf, on trouve, ainsi que l'on devait s'y attendre en raison de la situation

Tab. XIII.

	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
1894	25	18*	20	56	<b>109</b>	63	53	45	38	29	31	28	515
1895	25	16	15*	25	<b>107</b>	57	57	86	58	52	48	37	583
1896	26	16*	17	36	<b>84</b>	69	57	38	35	61	45	30	515
1897	22	14	13*	27	<b>110</b>	66	32	20	37	54	36	30	461
1898	33	20	17*	18	93	<b>97</b>	79	83	46	31	34	29	580
1899	23	17*	18	30	<b>93</b>	91	51	27	20	37	32	26	465
1900	14	10*	10*	18	61	<b>69</b>	40	35	20	14	29	22	342
1901	17	11	11	20	<b>63</b>	41	38	15	10 <sup>°</sup>	12	21	12	271
1902	10	8*	8*	10	47	70	34	37	<b>74</b>	43	36	21	398
1903	12	10*	16	34	<b>77</b>	65	37	48	57	46	49	27	478
1904	16	13	12	23	<b>94</b>	80	38	17	14	15	15	10 <sup>°</sup>	347
	20	14*	14*	27	<b>85</b>	70	47	41	37	36	34	25	450

plus occidentale de ce bassin, des chiffres notablement plus élevés que pour celui du Dalelf, à savoir, 606 mm. en moyenne annuelle pour la période 1892—1897, 97 mm. pour Mai et 27 pour Février.

#### 4. Intervalle de temps entre les précipitations et l'écoulement.

De nombreux facteurs compliquent la comparaison des précipitations et du débit par an ou par mois. La façon la plus simple d'exprimer le rapport entre ces deux quantités est de donner la fraction des précipitations mesurées que représente le débit mesuré pour une certaine période; ces coefficients de débit présentent d'ailleurs en eux mêmes un certain intérêt. Si toutefois l'on veut exprimer le rapport entre la quantité d'eau écoulée pendant un certain temps et les précipitations qui ont fourni cette eau, la question se complique notablement, et dans la plupart des cas, on peut considérer qu'il est impossible de donner à ce problème une solution exacte.

Si cependant l'on envisage seulement la quantité d'eau qui, tombée sous forme liquide, arrive au fleuve par ruisselement direct et si l'on admet que le reste qui vient au fleuve par des voies souterraines

a une valeur constante, il faut encore avoir égard à l'intervalle de temps moyen qui s'écoule entre l'instant où l'eau tombée atteint le sol du bassin et celui où cette eau atteint le point du fleuve où le débit est mesuré. Nous avons ainsi à comparer les précipitations de tel mois non pas avec le débit du même mois, mais avec le débit d'un autre mois, en retard sur le premier d'un certain nombre de jours correspondant à l'intervalle de temps dont il vient d'être question.

On peut se faire une idée de la longueur de cet intervalle si l'on étudie ce qui se passe lorsqu'après une période de sécheresse accompagnée d'un lent abaissement de la courbe de niveau, se produit une précipitation soudaine et passagère, elle-même suivie d'un relèvement brusque et passager de la courbe. On obtiendra la valeur approximative du retard en notant le nombre de jours écoulés entre celui où s'est produit le maximum de pluie et celui où la courbe atteint son point le plus élevé. La planche IV indique le rapport entre la précipitation et les variations du niveau en quelques cas où les circonstances étaient favorables à l'étude de retard.

Tab. XIV.

Max. de pluie	Max. du niveau	Intervalle de temps
1894 19 VIII	27 VIII	8 jours
1895 23 VI	29—30 VI	6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>
1897 4 IX	10—12 IX	7
20 IX	28 IX	8
11 X	18 X	7
1898 2 VII	9—10 VII	7 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>
8 VII	15 VII	7
13 VII	21 VII	8
1900 9 VIII	16 VIII	7

Le tableau XIV fournit les mêmes indications. L'intervalle de temps entre les deux maxima est, on le voit, très constant, et varie entre 6<sup>1</sup>/<sub>2</sub> et 8 jours; il est en moyenne de 7 jours <sup>1</sup>/<sub>2</sub>. Pour les précipitations journalières portées à la planche on a pris, puisqu'aussi bien il ne s'agit ici que de valeurs relatives, les moyennes des précipitations observées aux stations déjà utilisées pour le calcul du nombre des jours de précipitation sauf que Glötvola a été remplacée pour 1896—1901 par Brenna, les observations journalières de la première de ces stations n'ayant pas été communiquées. Nous avons ainsi compté l'intervalle de temps nécessaire à la fraction de ruissellement pour atteindre le fleuve à 8 jours. Les courbes

de niveau montrent cependant nettement que toute l'eau précipitée ne s'écoule pas en cet espace de temps, mais que le niveau continue à baisser pendant encore un temps assez long avant de revenir à son niveau antérieur. Ce temps varie beaucoup en raison des conditions diverses du ruissellement, et peut assez fréquemment dépasser un mois. En général cependant il s'agit seulement de 15 à 25 jours. Si l'on tient compte de cet apport d'eau postérieur au maximum de débit, et qui se fait surtout par voie souterraine, on devra attribuer au retard signalé ci-dessus une durée notablement plus longue. Mais alors se présente cette difficulté que la quantité d'eau courante arrivée directement et correspondant à la précipitation de la première moitié d'un mois n'en est pas moins attribuée au mois précédent. Etant donnée la grande importance de l'écoulement souterrain dans notre bassin il est donc difficile d'obtenir un chiffre satisfaisant pour le retard du débit — il faudrait pour cela étudier les courbes des précipitations et du débit pour chaque mois — et nous nous sommes bornés à utiliser le retard de 8 jours constaté entre les maxima des précipitations et des niveaux. Pour la Saale W. ULE<sup>1</sup> a trouvé un retard correspondant de 10 jours, pour l'Elbe bohémien A. PENCK<sup>2</sup> compte 6 jours. L'emploi de ces retards a donné pour ces bassins une égalisation satisfaisante.

Tab. XV.

	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
1894	22	17*	23	76	<b>101</b>	56	53	44	35	27	33	28	515
1895	23	15	14*	49	<b>97</b>	53	62	84	52	52	47	33	581
1896	23	15*	20	49	<b>86</b>	63	54	36	38	62	38	28	512
1897	21	13*	13*	50	<b>107</b>	52	27	21	46	49	34	30	463
1898	31	18	16*	24	<b>111</b>	89	78	79	39	30	32	29	576
1899	21	17*	19	36	<b>112</b>	77	44	23	24	36	31	23	463
1900	13	10	9*	26	<b>73</b>	58	34	36	16	16	30	21	342
1901	15	10	12	31	<b>59</b>	42	30	13	9*	17	18	11	267
1902	10	8*	9	13	<b>63</b>	58	30	51	64	42	30	18	396
1903	12	10*	22	38	<b>84</b>	54	34	56	51	50	41	23	475
1904	15	12	11	38	<b>103</b>	64	30	16	13	16	14	10*	342
Moy.	19	13*	15	39	<b>91</b>	61	43	42	35	36	32	23	449

Le tableau XV indique les débits en mm. des mois retardés de huit jours; les tableaux XVI et XVII donnent les coefficients d'écoulement; dans le premier le débit est compté par mois solaires, dans le second par mois retardés. Ces tableaux montrent que le retard amène une certaine égalisation, mais que cependant celle-ci est souvent tout à

<sup>1</sup> W. ULE: Zur Hydrographie der Saale. — Niederschlag und Abfluss in Mitteleuropa.

<sup>2</sup> A. PENCK: Untersuchungen über Verdunstung und Abfluss von grösseren Landflächen.

Tab. XVI.

	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
1894	61	75	49	<b>151</b>	147	90	47	46*	78	107	52	62	76
1895	78	59	25*	114	<b>206</b>	61	39	72	126	59	112	119	77
1896	118	107	24*	106	221	62	64	41	44	69	<b>346</b>	103	75
1897	69	74	22	93	147	<b>174</b>	71	20*	27	159	65	51	68
1898	<b>254</b>	38*	38*	150	127	100	55	80	98	78	83	45	80
1899	46	49	95	51	202	<b>253</b>	60	84	19*	70	82	68	78
1900	45	28	56	53	<b>244</b>	197	56	38	95	22*	53	43	64
1901	106	61	41	167	<b>394</b>	40	141	29	45	14*	175	25	62
1902	40	40	19*	200	87	<b>333</b>	38	23	181	86	277	84	73
1903	41	38*	38*	81	175	138	44	38*	133	61	<b>205</b>	93	78
1904	55	28	71	50	<b>224</b>	178	181	18*	33	36	94	27	73
	69	48	35*	90	<b>173</b>	111	57	42	65	61	100	59	74

Tab. XVII.

	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
1894	54	71	56	<b>205</b>	136	80	47	45*	71	100	55	62	76
1895	72	56	23*	<b>223</b>	187	56	43	70	114	59	109	106	76
1896	105	100	29*	144	226	56	61	40	48	70	<b>290</b>	97	75
1897	66	68	22	<b>172</b>	143	137	60	21*	33	144	62	51	68
1898	<b>238</b>	35*	36	200	152	92	54	76	83	75	78	45	79
1899	42	49	100	61	<b>243</b>	214	52	72	23*	68	79	61	77
1900	42	28	50	76	<b>292</b>	166	47	40	76	25*	55	41	64
1901	94	56	44	258	<b>369</b>	41	111	25	41	21*	150	23	61
1902	40	40	21*	260	117	<b>276</b>	34	31	156	84	231	72	72
1903	41	38*	52	91	<b>191</b>	115	41	44	119	67	171	79	77
1904	52	26	65	83	<b>245</b>	138	143	17*	35	38	88	27	72
	66	45	38*	130	<b>186</b>	97	52	43	61	61	94	55	73

fait insuffisante. Comparé au tab. XIII le tab. XV montre que les moyennes s'élèvent en Avril et en Mai, et s'abaissent au contraire en Juin et en Juillet. Ce fait est à peu près indépendant des précipitations, et dépend du retardement des jours de fonte de la neige. Août présente maintenant un débit à peu près aussi considérable que Juillet, ce qui est plus conforme à la réalité les précipitations étant plus considérables pendant le premier de ces mois. Le faible maximum accusé par les précipitations en Octobre reparait aussi dans les débits. Une égalisation correspondante se produit aussi en ce qui concerne les coefficients de débit moyens. Les valeurs sont accrues pour Avril et Mai tandis que la valeur de Juin descend

au-dessous de 100. Le retardement abaisse même la valeur du débit de Novembre (100) commandée par les précipitations considérables d'Octobre.

Pour certains mois il est cependant évident que le retard est tout à fait insuffisant. Cela est spécialement vrai pour les mois qui suivent les périodes de grandes précipitations. La quantité d'eau qui correspond à ces précipitations ne parvient pas à s'écouler pendant le mois lui-même et les huit jours suivants, et rehausse par conséquent de façon anormale les coefficients de débit. En Juillet 1895 les précipitations s'élevèrent à 145 mm., le débit était pendant le même mois sans retard 57 mm., avec retard 62 mm.; le coefficient de débit était donc égal à 43 %, valeur inférieure à la normale. Le mois d'Août suivant vit se produire une précipitation aussi très considérable, 120 mm.; le débit correspondant<sup>1</sup> s'éleva à 84 mm., c'est-à-dire à 70 % de la précipitation, ce qui est une proportion anormalement considérable. Le mois suivant, avec une précipitation, 46 mm., un peu inférieure à la moyenne, présenta un débit de 52 mm. par conséquent supérieur à la précipitation, fait dû à ce que les quantités d'eau correspondant à la haute précipitation des mois précédents ne s'étaient pas encore écoulées. Octobre 1897 sans retard à un coefficient de débit de 159 %, avec retard un coefficient de 144 %; le débit atteint ainsi un chiffre notablement plus élevé que la précipitation, peu considérable à la vérité, et égale à 34 mm. Le fait est dû à la précipitation extraordinairement élevée du mois précédent, 138 mm. dont en outre la plus grande partie tomba à la fin du mois (Pl. IV). On se rapproche pour la première fois au milieu de Novembre la hauteur d'environ 9,30 m. atteinte par l'eau avant la première crue du commencement de Septembre, bien que les précipitations aient été très peu abondantes pendant tout Octobre, et à peu près nulles au commencement de Novembre; au milieu de Novembre on a en effet 9,58 m. En Août 1902 les précipitations atteignirent 161 mm. d'où pour le mois suivant un coefficient de débit anormal de 156 %. Même fait l'année suivante; Septembre a alors un débit égal à 119 % de la précipitation, qui ne dépasse pas 43 mm., et cela à cause des précipitations considérables (128 mm.) d'Août. Les mois précédés de périodes de grandes précipitations présentent ainsi, en dépit de retard de 8 jours, des coefficients de débit anormalement élevés, dû au persistant apport d'eaux souterraines provenant des précipitations des mois antérieurs.

Des coefficients de débit trop élevés apparaissent aussi en d'autres occasions, notamment lorsque pendant le mois considéré les précipitations sont très minimes. Il est alors évident que la petite quantité d'eau tombée peut être à peu près toute absorbée par les autres facteurs qui éliminent l'eau du bassin. Le fleuve est en ce cas alimenté par l'eau des périodes antérieures, provenant soit d'une précipitation suffisante du mois précédent qui n'a pas eu le temps de s'écouler, soit d'approvisionnements souterrains plus profonds et plus constants. C'est ainsi qu' Octobre 1894 a un

<sup>1</sup> Dans ce qui suit on parle des mois retardés toutes les fois que le contraire ne sera pas spécifié.

coefficient de débit de 100 % avec seulement 27 mm. de précipitation. En Août 1899 72 % des 32 mm. d'eaux tombées s'écoulèrent, chiffre très au-dessus de la normale; cependant les précipitations avaient les mois précédents été inférieures à la normale. Aux précipitations médiocres de Juillet en 1901 et 1904, 27 et 21 mm., correspondent les coefficients de débit très considérables 111 et 143.

Par contre les mois qui suivent des mois peu pluvieux présentent des coefficients de débit remarquablement faibles, même s'ils accusent eux-mêmes d'importantes précipitations. C'est ainsi qu'on a en Août 1897 un coefficient de débit égal à 21 bien que la précipitation égale à 99 mm. soit normale. Pourtant Juillet n'avait eu que 45 mm. de précipitation. Septembre même fut influencé, et des 138 mm. de précipitation de ce mois il ne s'écoula que 33 %. Août 1899 qui fut précédé d'un Juillet normal a, on l'a déjà vu, une précipitation faible et par conséquent un coefficient de débit élevé; le mois de Septembre suivant présente malgré une précipitation de 105 mm. un écoulement qui n'est pas supérieur à 24 mm. L'eau monte bien à partir du 8 Septembre, mais la montée ne correspond pas du tout à la considérable précipitation.

L'été de 1901 se distingua par des circonstances météorologiques très particulières. Le mois de Juin présenta une précipitation abondante (103 mm.), Juillet une précipitation très faible (27 mm.). Août et Septembre une précipitation faible (52 et 22 mm.), Octobre une précipitation assez considérable. L'eau atteint son maximum de hauteur le 3 Juillet avec 9,98 m., puis baisse, sauf des crues insignifiantes, jusqu'à son niveau le plus bas, 8,76 m., atteint les 3—5 Octobre. Le coefficient de débit fut de 111 % en Juillet, chiffre dû aussi bien à la faible pluviosité de ce mois qu'à la forte pluviosité du précédent, de 25 % en Août, de 41 % en Septembre, et de 21 % en Octobre. Les quantités d'eau écoulées furent les suivantes: 30 mm. en Juillet, 13 mm. en Août, 9 mm. en Septembre, et 17 mm. en Octobre. Pendant les mois d'hiver de 1902 le débit fut ensuite très faible, conséquence de ce fait qu'après la sécheresse de l'été les approvisionnements souterrains n'avaient pas été reconstituées. De même en Août 1904 on a un coefficient de débit très faible (17 %); le mois de Juillet précédent avait été très sec, avec seulement 21 mm. de précipitation.

Ces exemples montrent que même par les mois d'été, et en tenant compte du retard commandé par l'écoulement direct, les coefficients de débit n'expriment pas dans nombre de cas le rapport vrai entre la précipitation et l'écoulement correspondant. Au total, en été la précipitation d'un mois donné correspondrait à la quantité d'eau écoulée le mois suivant bien plutôt qu'à celle du même mois même compté avec un retard de 8 Jours. C'est aussi ce qu'indique le tab. XVIII ci-joint qui contient les coefficients de débit de Juillet, Août et Septembre si l'on établit les rapports des précipitations de chacun de ces mois à l'écoulement du suivant. Il faut toutefois observer que même cet énorme retard ne suffirait pas à

prévenir des coefficients supérieurs à 100 % les mois qui suivent une période très pluvieuse.

**Tab. XVIII.**

	Juillet	Août	Sept.
1894.....	40	40	60
1895.....	60	48	113
1896.....	43	38	76
1897.....	44	37	39
1898.....	58	44	66
1899.....	32	63	35
1900.....	49	22	67
1901.....	56	19	54
1902.....	42	46	105
1903.....	57	45	107
1904.....	81	15	41
	51	38	69

Nous avons vu précédemment que pour la Saale un retard de 10 jours donne une égalisation remarquable, et l'on peut considérer que ce délai suffit à l'écoulement des précipitations dans le bassin de ce cours d'eau. Ce bassin est ainsi à ce point de vue très différent de celui du Dalef. Cette différence doit être attribuée tout d'abord aux qualités du sol superficiel de notre bassin relativement à l'accumulation et à la conduction des eaux et aux propriétés analogues des forêts et des marais. PRALLE<sup>1</sup> a adopté un retard d'un mois complet dans ses recherches sur l'Ilmenau. Cette affluent de l'Elbe coule dans sa partie inférieure à travers les couches sablonneuses des landes de Lüneburg; de là probablement les concordances qui semblent se révéler à cet égard entre ce cours d'eau et le Dalef. Il faut cependant remarquer que son caractère de rivière de plaine doit aussi contribuer à retarder l'écoulement dans le bassin de l'Ilmenau.

Cette différence entre les délais d'écoulement explique en grande partie que des crues désastreuses se produisent souvent en été dans l'Europe centrale, tandis qu'elles sont rares chez nous.

Il est vrai que dans le bassin de la Saale aussi une précipitation considérable influe sur le débit du mois qui suit, quoique toutefois dans un moindre proportion. Cette influence d'un mois sur les suivants doit s'expliquer, ainsi que le fait observer W. ULE,<sup>2</sup> par les conditions favo-

<sup>1</sup> W. ULE: Zur Hydrographie der Saale. Forschungen zur deutschen Landes- und Volkskunde. Bd. 10. 1897.

<sup>2</sup> W. ULE: Theoretische Betrachtungen über den Abfluss des Regenwassers. Z. Gw. Bd. VII.

rables ou défavorables qui retardent ou accélèrent l'écoulement, et il est évident que des causes de même ordre doivent agir aussi dans notre bassin et de la même façon. Cela ne doit pas cependant, nous semble-t-il, permettre d'éliminer l'idée d'un emmagasinement d'eau d'une période à une autre. Une partie de l'eau débitée provient toujours des nappes souterraines, mais en général ces nappes récupèrent ce qu'elles abandonnent sur l'eau tombée, et par conséquent ne sont pas modifiées. Pendant un mois très sec, et surtout, si les conditions d'écoulement étaient déjà défavorables antérieurement, les petites quantités d'eau tombée ne suffisent pas à compléter les nappes souterraines qui alimentent presque seules le fleuve, et ces nappes doivent décroître. Le mois qui suit devra donc tout d'abord reconstituer les approvisionnements, et présentera, par rapport aux précipitations un très petit débit. De même il semble qu'un emmagasinement peut se produire sous forme d'accroissement des nappes souterraines. Nous verrons plus loin qu'un emmagasinement de ce genre doit nécessairement se produire dans notre bassin.

Quant aux coefficients de débit des mois d'hiver et de printemps on comprend immédiatement, et il va de soi qu'ils ne traduisent pas un rapport direct entre les précipitations et le débit d'un même mois. Les précipitations se produisent en hiver surtout sous forme de neige qui est emmagasinée, et l'eau qui s'écoule doit pour une grande partie provenir d'une autre période. Le débit décroît régulièrement de Novembre à Mars, et si Janvier présente un coefficient de débit supérieur à celui de Décembre, c'est qu'en Décembre les précipitations sont plus considérables qu'en Janvier. En Avril, Mai et Juin a lieu la fonte des neiges, qui domine complètement l'apport des eaux et commande les hauts coefficients de débit. L'écoulement se produit alors sur un sol plus ou moins gelé avec une grande rapidité et presque tout à fait directement, d'où des crues violentes.

## 5. Rapport entre les précipitations et le débit annuels.

Le coefficient de débit annuel exprime le rapport entre le débit et les précipitations pour l'année. Mais, aussi bien que le coefficient mensuel, le coefficient annuel doit surtout exprimer le rapport entre les précipitations et le débit correspondant, et la question se pose alors de savoir si l'on peut obtenir un tel rapport, et comment on devra dans ce but compter l'année.

L'année hydrologique devra remplir la condition suivante: de l'eau qui s'écoulera pendant cette année aucune partie ne devra provenir de l'année précédente, de celle qui tombera aucune partie ne devra s'écouler pendant les années suivantes. Les facteurs auxquels nous avons à faire

s'il s'agit du régime hydrologique annuel sont évidemment outre *les précipitations* (Pr) et *le débit* (D), *l'évaporation* (Ev) — et nous entendons par là aussi bien celle qui se produit à la surface des cours d'eau, des lacs et du sol que celle qui affecte les nappes souterraines par l'intermédiaire des couches terrestres superposées, et à laquelle nous rattachons aussi les quantités d'eau absorbées par les plantes et restituées par le phénomène de la transpiration — *l'emménagement* d'eau sous forme de *neige* ( $N_{em}$ ) et *d'accroissement des nappes souterraines* ( $S_{em}$ ), *l'apport* d'eau sous forme de *neige fondue* ( $N_a$ ) ou *d'eau souterraine* ( $S_a$ ). Pour l'année on a donc l'égalité

$$D = Pr - Ev - N_{em} - S_{em} + N_a + S_a.$$

Pour une série d'années on a sans doute

$$\begin{aligned} \sum N_{em} &= \sum N_a \\ \sum S_{em} &= \sum S_a \end{aligned}$$

d'où en moyenne pour plusieurs années la formule

$$D = Pr - Ev.$$

Cette formule, d'où ressort ce fait important que l'évaporation est égale à la différence entre les précipitations et le débit à été acceptée par A. PENCK<sup>1</sup> et E. BRÜCKNER.<sup>2</sup> W. ULE<sup>3</sup> au contraire estime qu'outre par l'évaporation, l'eau est absorbée par la végétation en telle quantité que cette formule n'est pas exacte. Il est pourtant facile à démontrer que la quantité d'eau utilisée annuellement pour le développement des corps végétaux est tout à fait négligeable; celle qui sert à la transpiration doit être comptée dans l'évaporation. Si nous évaluons l'accroissement annuel des corps végétaux dans nos forêts à 10 m. cub. par hectare<sup>4</sup> c'est-à-dire 11,000 m. cub. par kil. carr., dont 55 % selon M. BÜSGEN<sup>5</sup> peuvent être considérés comme composés d'eau, le développement des forêts absorbe 550 m. cub. d'eau par kil. carr. et par an. Nous pouvons évaluer approximativement la superficie des forêts à 20,000 kil. carr. Des 15,000 millions de m. cub. d'eau qui tombent annuellement 11 millions seulement sont donc absorbés, c'est-à-dire une quantité infime, preuve que ce facteur, même en tenant compte des autres sortes de végétation, est négligeable.

Nous avons vu que nous ne pouvons employer pour une année donnée, si nous la comptons de Janvier à Décembre, la formule simple,

<sup>1</sup> A. PENCK: Untersuchungen über Verdunstung und Abfluss von grösseren Landflächen. Geogr. Abh. herausg. von Dr. A. PENCK. Bd. V. Wien 1896.

<sup>2</sup> E. BRÜCKNER: l. c.

<sup>3</sup> W. ULE: Zur Hydrographie der Saale. Niederschlag und Abfluss in Mitteleuropa.

<sup>4</sup> valeur assez supérieure à la valeur maxima trouvée par U. WALLMO pour quelques forêts dans la région de Bergslag. U. WALLMO: Rationell skogsafverkning. Örebro 1897.

<sup>5</sup> M. BÜSGEN: Bau und Leben unserer Waldbäume. Jena 1897.

mais celle dans laquelle entrent les quantités  $N_{em}$ ,  $N_a$ ,  $S_{em}$  et  $S_a$ . En effet une quantité d'eau assez considérable tombe sous forme de neige pendant les derniers mois de l'année, et ne s'écoule qu'au printemps suivant. En outre les coefficients de débit mensuels semblent indiquer qu'en hiver, tant que les précipitations sont solides, le fleuve est alimenté par l'eau de l'année précédente. Si par contre nous comptons l'année de Novembre à Octobre, période qui d'après les constatations de W. ULE se rapproche le plus pour l'Europe centrale d'un cycle complet, nous pouvons considérer que  $N_{em} = N_a$ , puisqu'aucun emmagasinement important de neige n'a lieu avant Novembre; mais l'eau nécessaire au débit hivernal devra provenir de la période antérieure. L'année qui conviendrait le mieux à notre régime devrait donc être comptée de Juillet à Juin. Pendant cette période la plus grande partie des neiges emmagasinées en hiver a fondu, et l'eau souterraine consommé en hiver doit avoir été emmagasinée précédemment dans le cours de la même année. Par conséquent pour une année ainsi comptée, la formule  $D = Pr - Ev$  sera exacte.

Nous pouvons donc prévoir que si l'on compte l'année ainsi les précipitations et le débit présenteront les plus grandes concordances. La fig. IV donne des courbes indiquant les variations des précipitations, du débit, et de leur différence par année de calendrier, pour l'année de Novembre à Octobre, et de Juillet à Juin. Nous voyons que les courbes accusent la plus faible concordance pour l'année Juillet-Juin, et une concordance assez satisfaisante pour les deux autres années.

Si nous calculons les coefficients d'écoulement nous constatons qu'ils ne concordent pas aussi bien avec les valeurs des précipitations pour l'année Novembre—Octobre. C'est ainsi qu'à l'année 1903—1904 qui présente les plus faibles précipitations de toute la période correspond le coefficient de débit le plus élevé, 81 %. La cause en est que l'été de 1904 fut très sec en sorte qu'aucun emmagasinement d'eau souterraine ne put avoir lieu, et que d'un autre côté l'automne 1903 vit d'abondantes précipitations lesquelles ne purent s'écouler la même année, mais entraînèrent un fort débit même en Novembre et en Décembre.

De même les discordances des courbes des précipitations et du débit pour l'année Juillet—Juin sont essentiellement causées par de fortes précipitations survenues en Juin qui n'ont pu s'écouler pendant l'année et ont entraîné pour une année un débit trop faible par rapport aux précipitations et l'année suivante un débit trop élevé. En outre il n'est pas impossible que le retard de la fonte des neiges dans les montagnes ait à cet égard une certaine influence.

La grande concordance que l'on observe pour l'année calendaire doit s'expliquer en partie par ce fait que le régime hivernal est plus stable, en partie par ce fait que les valeurs des précipitations et du débit en hiver sont médiocres, en sorte que les écarts des conditions normales ont peu d'influence sur les moyennes annuelles.

Bien que très certainement l'année Juillet—Juin corresponde mieux à un cycle hydrologique complet tel que nous l'avons défini plus haut,

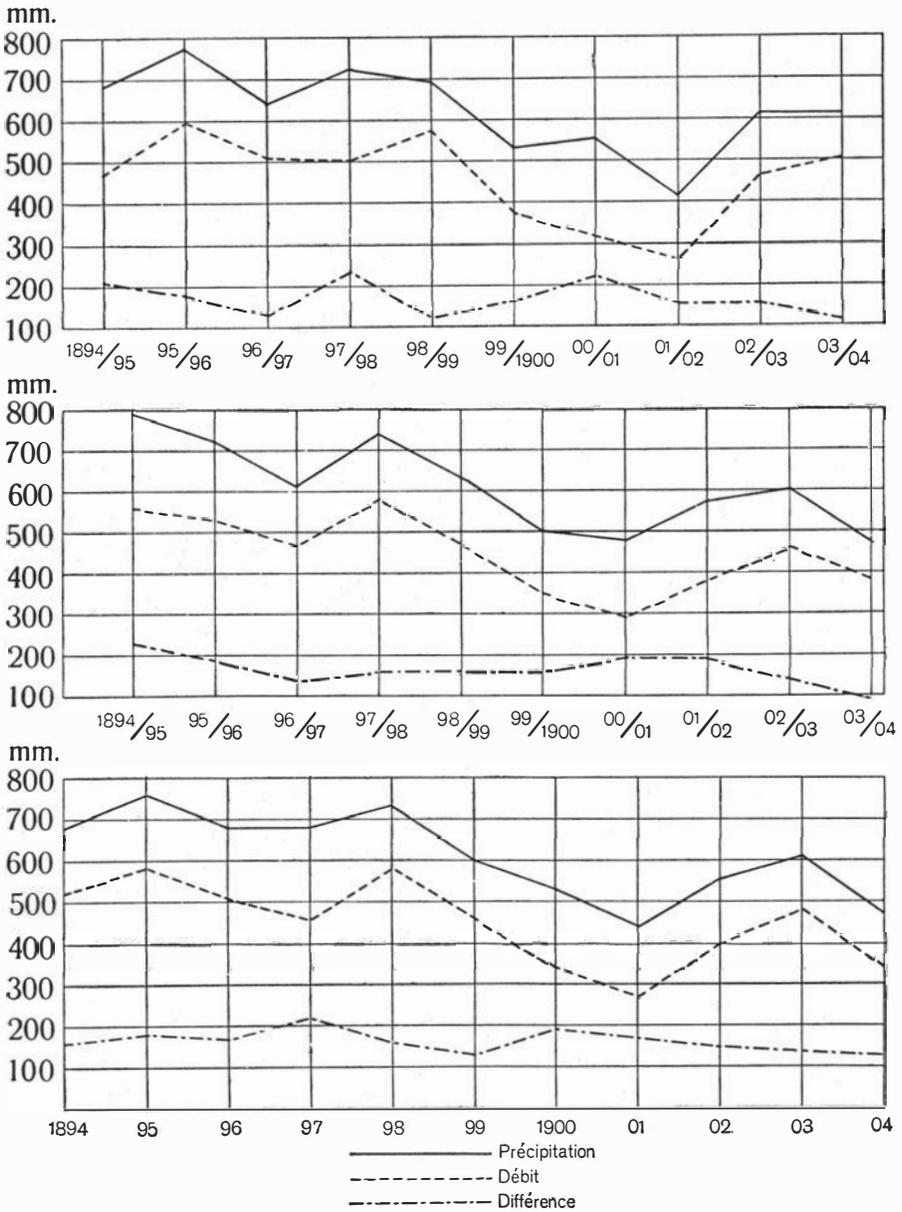


Fig. 4.

les valeurs de l'année calendaire sont donc plus favorables à l'étude des rapports entre les précipitations et le débit selon les années. Si nous adoptons cette façon de compter nos chiffres s'appliquent aux périodes

considérées par les autres auteurs que nous invoquons à titre de comparaison. La réponse à la question que nous nous sommes posés sera donc au total la suivante: les conditions du débit dépendant à chaque instant si étroitement de la pluviosité des mois précédents, il est à tout prendre impossible d'obtenir pour l'année un coefficient de débit exprimant le rapport entre des quantités vraiment correspondantes d'eau tombée et d'eau débitée.

La fig. 4 montre qu'en général le débit est d'autant plus considérable que les précipitations sont plus abondantes, et inversement. Les courbes des précipitations et du débit accusent une concordance à peu près complète en sorte que si l'une s'abaisse l'autre s'abaisse aussi, et inversement. Par contre les totaux ne sont pas identiques ni ne varient régulièrement.

Si nous étudions de près le tab. XIX qui indique les précipitations, le débit, les pertes, c'est-à-dire les différences, et le coefficient de débit pour les diverses années, nous constaterons cependant que le rapport entre les précipitations et le débit est tel que plus les précipitations sont

Tab. XIX.

	1894	1895	1896	1897	1898	1899	1900	1901	1902	1903	1904	Moy.
Précip. . . . .	677	<b>761</b>	684	681	733	597	533	436*	547	613	472	612
Débit . . . . .	515	<b>581</b>	512	463	576	463	342	267*	396	475	342	449
Perte . . . . .	162	180	172	<b>218</b>	157	134	191	169	151	138	130*	163
Coeff.de débit	76	76	75	68	<b>79</b>	77	64	<b>61*</b>	72	77	72	73

considérables plus le coefficient de débit est élevé. Cette loi ressort des études faites antérieurement en d'autres bassins, et s'est trouvée vraie partout. A. PENCK<sup>1</sup> l'a démontrée pour l'Elbe bohémien et la Moldau, J. MÜLLNER<sup>2</sup> pour le Traun et l'Ens, W. ULE<sup>3</sup> pour la Saale. W. ULE a en outre étudié la question pour un certain nombre de fleuves de l'Europe centrale, et a montré que dans des domaines géographiques analogues des relations fixes presque identiques existent entre les précipitations et le débit. Les recherches hydrologiques faites en Amérique<sup>4</sup> conduisent

<sup>1</sup> A. PENCK: Untersuchungen über Verdunstung und Abfluss von grösseren Landflächen. Geogr. Abhandl. herausg. von A. PENCK. Bd. V. 1896.

<sup>2</sup> J. MÜLLNER: l. c.

<sup>3</sup> W. ULE: Niederschlag und Abfluss in Mitteleuropa. Forschungen zur deutschen Landes- und Volkskunde. Bd. 14. 1903.

<sup>4</sup> F. H. NEWELL: Results of stream measurements. Fourteenth annual report of the U. S. Geological Survey. Part II. 1894.

G. W. RAFTER: The relation of rainfall to run-off. U. S. Geol. Survey; Water-Supply and Irrigation Paper No. 80. 1903.

J. C. HOYT and R. H. ANDERSON: Hydrography of the Susquehanna river drainage basin. U. S. Geol. Survey; Water-Supply and Irrigation paper No. 109. 1905.

aussi au même résultat. Quant aux bassins suédois, O. APPELBERG<sup>1</sup> à déjà conclu de ses recherches que le coefficient de débit est plus bas les années peu pluvieuses que les années pluvieuses.

Le tab. XIX n'indique pas une concordance parfaite des minima et des maxima des précipitations et des coefficients de débit, mais si nous

**Tab. XX.**

Précip.	Débit	Perte	Coeff. de débit	Coeff. de perte
<b>761</b>	<b>581</b>	180	76	24
733	576	157	<b>79</b>	21*
684	512	172	75	25
681	463	<b>218</b>	68	32
677	515	162	76	24
613	475	138	77	23
597	463	134	77	23
547	396	151	72	28
533	342	191	64	36
472	342	130*	72	28
436*	267*	169	61*	<b>39</b>

rangeons (tab. XX) les coefficients par ordre de précipitations décroissantes, nous constatons, bien que les discordances soient encore notables, que la loi s'affirme en général. Nous avons précédemment fait observer

**Tab. XXI.**

Précip.	Débit	Perte	Coeff. de débit	Coeff. de perte
750	580	170	77	23
660	490	170	74	26
560	400	160	71	29
450	300	150	67	33

que la période que nous avons étudiée se divise en deux phases très différentes au point de vue des précipitations. Si nous prenons la moyenne de la période pluvieuse qui comprend les 5 premières années, nous obtenons un coefficient d'écoulement égal à 75 ‰; le coefficient de la pé-

<sup>1</sup> O. APPELBERG: l. c.

riode sèche ne dépasse pas 71 ‰. Si ensuite nous groupons les précipitations pour chaque cent mm., nous obtenons des moyennes à peu près également distantes les unes des autres. Le tab. XXI renferme ces moyennes avec les valeurs correspondantes des autres quantités. Il montre très clairement que les coefficients de débit s'élèvent en même temps que les précipitations, mais semble-t-il d'autant plus lentement que les précipitations sont plus faibles. D'une façon analogue les coefficients de perte s'élèvent d'autant plus que les précipitations sont moins considérables.

Si dans un système de coordonnées rectangulaires nous prenons les valeurs de précipitation comme abscisses et les valeurs de débit comme ordonnées, nous pouvons construire une courbe (fig. 5) exprimant le rap-

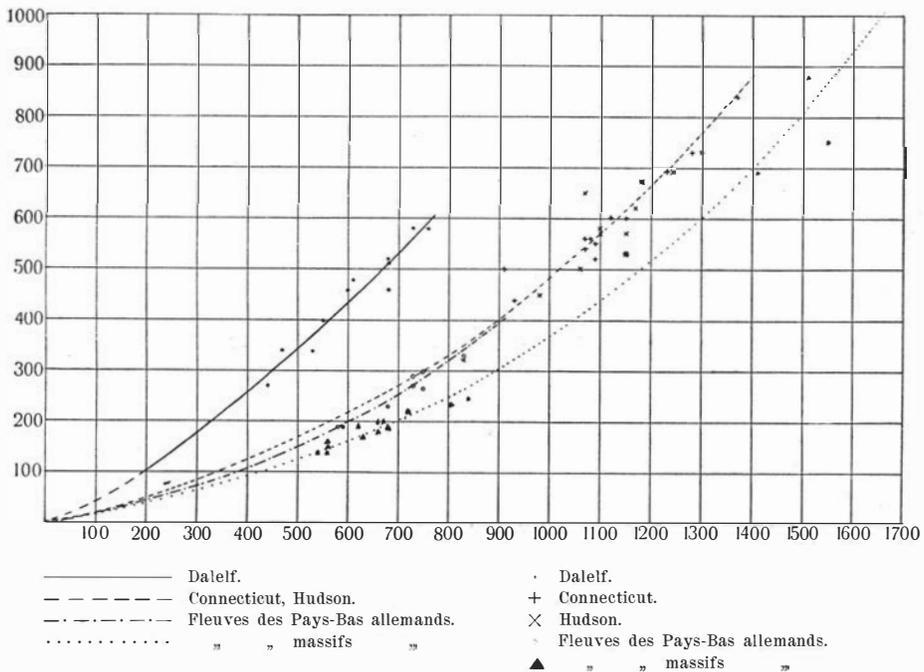


Fig. 5.

port cherché entre les précipitations et le débit. Nous obtenons un système de points à travers lesquels on peut sans difficulté tracer une courbe continue. Cette courbe sera convexe vers l'axe des abscisses, et prolongée, atteindrait, comme l'admet W. ULE, l'origine. Nous n'avons pas jugé nécessaire de chercher à exprimer analytiquement cette courbe au moyen d'une formule. Outre la courbe du Dalelf nous avons, pour permettre une comparaison, dessiné dans la même figure la courbe correspondante des cours d'eau des massifs et des Pays-Bas allemands (d'après W. ULE) et celle des fleuves Connecticut et Hudson,<sup>1</sup> les courbes de ces

<sup>1</sup> construite d'après les chiffres de G. W. RAFTER: l. c.

derniers pouvant être confondues en une seule tant les conditions géographiques et par conséquent les caractères hydrologiques de ces cours d'eau sont semblables. Nous donnons aussi les valeurs à l'aide desquelles la courbe a été construite; il faut remarquer à ce propos qu'en construisant la courbe W. ULE a rayé toutes les valeurs lorsque les précipitations étaient anormales d'une façon quelconque; aussi en ce qui concerne ses courbes constate-t-on des écarts moindres entre la courbe et les valeurs particulières. Nous avons groupé dans le tab. XXII les valeurs de débit tirées des courbes et correspondant à certaines hauteurs de précipitation ainsi que les coefficients de débit correspondants. Dans le tab. XXIII

Tab. XXII.

Préc.	Fleuves des massifs allemands		Fleuves des Pays-Bas allemands		Connecticut. Hudson		Dalelf	
	Débit	Coeff. de déb.	Débit	Coeff. de déb.	Débit	Coeff. de déb.	Débit	Coeff. de déb.
200	41	20	53	27	48	24	102	51
400	93	23	117	29	125	31	262	66
500	125	25	156	31	170	34	341	68
600	162	27	202	34	218	36	435	73
700	204	29	256	37	270	39	530	76
800	253	32	320	40	331	41	635	79
1000	370	37			483	48		
1200	519	43			663	55		
1400	704	50			880	63		
1500	811	54						
1700	1060	62						

enfin nous donnons pour divers bassins les moyennes de la précipitation, du débit, de la différence, c'est-à-dire l'évaporation, et des coefficients de débit et d'évaporation.

Ces bassins si différemment situés accusent ainsi de grandes dissemblances quant au rapport entre les précipitations et le débit. La courbe la moins ascendante est celle des cours d'eau des massifs allemands, comme l'Elbe en Bohême et en Saxe, le Main et la Saale. Une précipitation de 600 mm. correspond dans les bassins de ces cours d'eau à un débit d'environ 160 mm. Les coefficients de débit varient entre 27 et 29  $\%$ . Ce n'est que lorsqu'apparaissent les hauts chiffres de précipitation dans les régions alpines septentrionales, représentées par les bassins de la Traun et de l'Ens que la moitié de la précipitation est débitée. Les cours d'eau des Pays-Bas allemands — tels l'Ilmenau, l'Aller, le Weser — accusent

des coefficients de débit plus élevés que les cours d'eau des massifs ci-dessus cités. W. ULE explique ce fait par le grand rôle que jouent les couches superficielles perméables du sol dans ces régions — rôle soupçonné relativement aux conditions d'écoulement de l'Ilmenau; l'eau s'infiltrant aisément dans le sol échappe à la forte évaporation de la surface. Mais de plus la position plus septentrionale et surtout plus océanique de ces bassins doit agir dans le même sens. Le bassin de la plate-forme russe du Dnjepr par contre accuse le plus bas coefficient de débit, 25 %<sub>c</sub>. Comme dans cette région la précipitation atteint 550 mm. les conditions sont ici peu différentes de celles des massifs allemands. Le fait que le

Tab. XXIII.

	Période	Préc.	Déb.	Év.	Déb. %	Év. %
Elbe bohémien <sup>1</sup>	1876—90	692	192	500	27.8	72.2
Elbe saxon <sup>1</sup> . .	1876—94	675	199	476	28.7	71.3
Saale <sup>1</sup> . . . .	1882—1901	615	169	446	27.5	72.5
Main <sup>1</sup> . . . .	1886—97	657	187	470	28.5	71.5
Enns <sup>1</sup> . . . .	1881—90	1450	690	760	47.6	52.4
Traun <sup>1</sup> . . . .	1881—90	1530	870	660	56.8	43.2
Ilmenau <sup>1</sup> . . .	1848—73	593	193	400	32.5	67.5
Aller <sup>1</sup> . . . .	1891—1900	669	226	443	33.8	66.2
Weser <sup>1</sup> . . . .	1894—1900	744	263	481	35.4	64.6
Dnjepr <sup>2</sup> . . . .	1877—1901	549	138	411	25.2	74.8
Connecticut <sup>3</sup> . .	1872—85	1110	506	504	54.6	45.4
Hudson <sup>3</sup> . . . .	1888—1901	1123	591	532	52.6	47.4
Dalelf . . . .	1894—1904	612	449	163	73.4	26.6

débit est ici moindre que pour les cours d'eau des Pays-Bas ci-dessus cités s'explique aisément par l'action du climat beaucoup plus continental, bien que l'influence du climat sur l'évaporation en été soit à un haut degré compensée par l'abondance des chutes de neige.

Ces fortes chutes de neige nous semblent devoir être l'une des causes déterminantes de l'élévation inattendue des débits des bassins américains que nous avons cités, ceux du Connecticut et de l'Hudson. Il faut toutefois noter que les valeurs des précipitations, étant calculées par la méthode des moyennes directes et sans tenir compte des conditions de niveau

<sup>1</sup> W. ULE: Niederschlag und Abfluss in Mitteleuropa. Forschungen zur deutschen Landes- und Volkskunde. Bd. 14. 1903.

<sup>2</sup> E. ОРОКОВ: Zur Frage der vieljährigen Abflussschwankungen in den Bassins grosser Flüsse, im Zusammenhang mit dem Gang der meteorologischen Elemente. Z. Gw. Bd. 5. 6.

<sup>3</sup> G. W. RAFTER: l. c.

peuvent être trop basses. Autrement on aurait pu prévenir, étant données la situation méridionale de ces régions — environ  $42^{\circ}$  de lat. N. — et leur faible humidité relative, un débit très peu considérable. La hauteur du débit doit être surtout une conséquence des froids de l'hiver et des abondantes chutes de neige. Pour une précipitation de 1200 mm. le débit atteint 55 % tandis que de la courbe des bassins des massifs de l'Europe centrale on tire 43 %.

Grâce au rôle que les chutes de neige jouent dans ces bassins nord-américains ils ressemblent plus que les autres à celui du Dalelf en ce qui concerne le régime du débit. Le Dalelf a un débit notablement plus considérable qu'aucun des autres cours d'eau cités. Le coefficient de débit atteint 73 % pour une précipitation de 600 mm. Mais si l'on considère les nombreux facteurs qui tendent à hausser le débit dans notre bassin, ce chiffre peut ne pas paraître nécessairement trop élevé. Ces facteurs sont tout d'abord la situation septentrionale (environ  $61^{\circ}$  lat. N.), la basse température moyenne (à Falun +  $3^{\circ}.9$ , à Sveg +  $1^{\circ}.0$ ), la faible évaporation à la surface de la neige en hiver, la fonte et l'écoulement rapide des masses de neige sur le sol gelé au printemps, les couches superficielles souvent perméables du sol qui empêchent une grande évaporation de surface.

Par contre il semble douteux que les forêts aient l'influence que G. W. RAFTER<sup>1</sup> leur attribue dans les bassins américains, où elles contribueraient à accroître le débit. Elles agissent sur le débit de plusieurs façons. Grâce à la propriété qu'elles possèdent, comme les marais de retenir l'eau et de retarder l'écoulement, elles contribuent, selon la remarque de W. ULE,<sup>2</sup> à rendre les conditions du débit favorables, et peuvent par conséquent accroître ainsi l'écoulement direct. En outre elles protègent à un haut degré contre une forte évaporation l'eau qui a pénétré jusqu'au sol. Mais cette action est compensée par ce fait qu'une grande partie de l'eau tombée est retenue par les branchages des arbres où elles s'évapore aisément. En outre les forêts utilisent pour la transpiration des quantités d'eau assez considérables. Lequel de ces facteurs qui accroissent ou diminuent la quantité d'eau débitée a une action dominante? Cela peut être très différent selon les régions. Ici encore la nature et la répartition des précipitations aussi bien que les caractères orographiques du bassin doivent jouer un grand rôle. Dans la plate-forme russe à la limite de la forêt et des steppes P. OTOTZKIJ<sup>3</sup> a constaté un notable abaissement du niveau des eaux souterraines dans le domaine de la forêt par rapport à celle des régions non boisées. Des recherches postérieures entreprises dans des régions montagneuses n'ont pas, d'après le même

<sup>1</sup> G. W. RAFTER: l. c.

<sup>2</sup> W. ULE: Theoretische Betrachtungen über den Abfluss des Regenwassers. Z. Gw. Bd. VII.

<sup>3</sup> P. OTOTZKIJ: Der Einfluss der Wälder auf das Grundwasser. Z. Gw. Bd. I, II, III.

auteur,<sup>1</sup> donné de résultats certains. Nous n'osons pas quant à nous nous prononcer sur le point de savoir quel est au total le résultat de l'influence des forêts sur le débit dans le bassin du Dalelf.

Tab. XXIV.

	1894	1895	1896	1897	1898	1899	1900	1901	1902	1903	1904	Moy.
Précip.	677	761	684	681	733	597	533	436	547	613	472	612
Débit calculé	506	592	514	511	563	432	372	287	385	447	318	448
» mesuré	515	581	512	463	576	463	342	267	396	475	342	449
Différence	-9	+11	+2	+48	-13	-31	+30	+20	-11	-28	-24	21

Le tab. XXIV nous permet de constater que notre courbe relative au Dalelf exprime assez exactement le régime du débit pour les diverses années de la période étudiée. L'erreur n'atteint qu'une seule année 10 %,

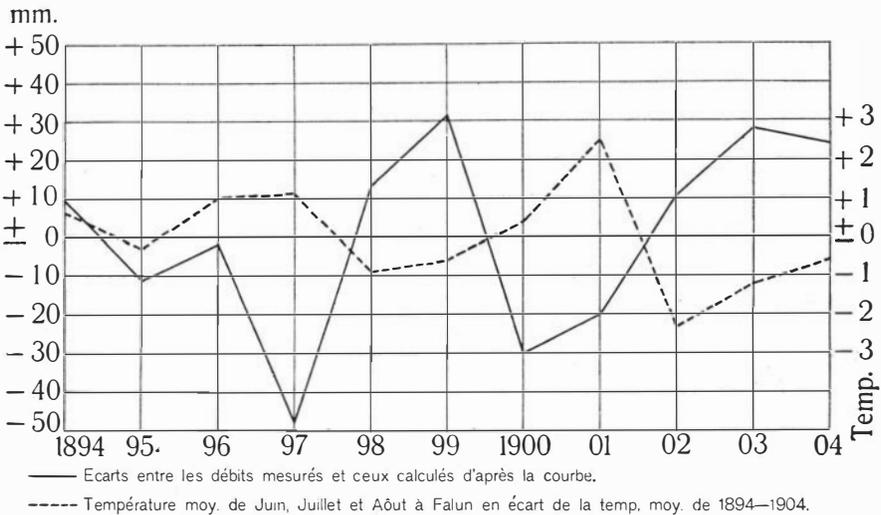


Fig. 6.

et ne dépasse pas en moyenne 5 %. La précipitation apparaît ainsi comme le facteur qui agit le plus sur la quantité du débit. Mais la température agit sans doute aussi, et l'on peut penser que les écarts qui séparent les valeurs mesurées des valeurs tirées de la courbe, lesquelles peuvent être considérées comme valeurs normales, sont causés par ce facteur. Pour savoir dans quelle mesure cela est exacte, nous avons (fig. 6) dessiné les dits écarts, et aussi les écarts entre la température moyenne de

<sup>1</sup> P. OTOTZKIJ: Zur Frage über die hydrogeologische Rolle der Wälder in Gebirgsgegenden. Z. Gw. Bd. VI.

Juin, Juillet et Août à Falun<sup>1</sup> et la température moyenne de toute la période. Nous avons choisi uniquement les mois d'été parce que très certainement c'est pendant cette saison que la température agit le plus sur le débit. Nous ne constatons évidemment pas un contraste complet entre les deux courbes, mais nous voyons pourtant que les valeurs de la température et du débit se trouvent en général séparées par la ligne de 0. Pendant 6 ans le débit mesuré a été supérieur au débit calculé, et pendant 5 de ces 6 années la température moyenne de l'été a été inférieure à la normale. De même manière pendant 5 années le débit a été inférieur au débit calculé, et dans 4 de ces cas la température a été supérieure à la normale.

Les trois années pendant lesquelles le débit a été beaucoup trop bas sont 1897, 1900 et 1901. Ces trois années ont eu en été une température élevée, supérieure de respectivement 1°.1, 0°.4 et 2°.5 à la normale; elles ont eu aussi en été des précipitations faibles, inférieures respectivement de 61, 45 et 61 mm. à la normale. Si nous comparons maintenant ces écarts du débit avec les valeurs de la différence psychrométrique (T—t) que nous pouvons considérer comme exprimant avec une exactitude suffisante l'évaporation,<sup>2</sup> nous constatons que les valeurs de T—t à Falun pour les mois d'été de 1897, 1900 et 1901 sont supérieures de 0.7, 0.5 et 0.6 à la normale. Les années 1898, 1893, 1903 et 1904 ont eu des débits assez trop forts. Si nous recherchons de la même façon ce qu'il en est des valeurs de la température, des précipitations et de l'évaporation en été pendant ces années, nous trouvons les données nécessaires groupées dans le tableau XXV. Nous voyons que 1898 et 1903 présentent en été une basse température, une précipitation considérable et une évaporation faible, faits qui s'accordent avec le débit trop fort. En 1899 et en 1904 les conditions sont autres: la température est assurément basse, mais la précipitation l'est également tandis que T—t a une valeur trop grande. Pour ces deux années on peut distinguer semble-t-il une influence de l'année précédente sur le débit.

Tab. XXV.

	1898	1899	1903	1904
Écart du débit.....	+ 13	+31	+28	+ 24
» de la temp. en été	— 0°.9	— 0°.6	— 1°.2	— 0°.6
» des préc. » »	+ 102	—90	+ 16	—83
» de T—t » »	— 0.7	+ 0.5	— 0.7	+ 0.6

<sup>1</sup> Observations météorologiques suédoises publiées par l'académie royale des sciences de Suède. 2:ième série.

<sup>2</sup> G SCHWALBE: Ueber die Darstellung des jährlichen Ganges der Verdunstung. M. Z. 1902.

Le rapport entre la précipitation et le débit exprimé par la courbe du Dalelf devrait d'une façon générale être valable pour des bassins de même constitution géographique. Tout d'abord on devrait penser qu'il convient à des parties du bassin du Dalelf, au bassin voisin du Klarelf, et peut-être aux bassins du Norrland, tandis qu'au contraire un autre rapport devrait exister dans les bassins des basses terres suédoises.

Nous avons constaté que le bassin du Vesterdalelf reçoit 660 mm. de précipitations; à ce chiffre devrait correspondre un débit de 490 mm. c'est-à-dire, pour une superficie de 8,850 kil. carr. de 4,200 millions de m. cub. Dans le bassin de l'Österdalelf et dans celui du Dalelf en aval de Djurås les précipitations étaient de 580 mm.; le débit devrait donc se chiffrer ici par 410 mm., c'est-à-dire respectivement 5,050 et 2,330 millions de m. cub. Si nous nous servions ainsi pour ces diverses parties du bassin de la courbe trouvée pour le bassin tout entier, nous obtiendrions pour tout le bassin en amont d'Avesta un débit de 11,550 millions de m. cub., soit 438 mm. Or nous avons déjà évalué ce débit à 449 mm., c'est-à-dire 11 mm. de plus. La différence qui ne s'élève pas à 3 ‰, est donc à peu près insignifiante.

Pendant les 5 années Juillet-Juin 1892/93—1896/97 le débit du bassin du Klarelf atteignit 606 mm.; à cette quantité d'eau devrait correspondre, si la courbe du Dalelf peut être appliquée ici, une précipitation de 775 mm., chiffre probablement très rapproché du chiffre réel. Un calcul approximatif d'après la méthode indiquée au milieu de la page 15, nous a en effet donné 753 mm.; ce chiffre s'écarte de moins de 3 ‰ de celui obtenu à l'aide de la courbe. Si cette valeur de la précipitation obtenue à l'aide de la courbe (775 mm.) était exacte, le coefficient de débit du Klarelf atteindrait 78 ‰.

Seules des recherches étendues à plusieurs ou au moins à un ou deux autres bassins pourront toutefois permettre de déterminer dans quelle mesure le rapport constaté par nous entre la précipitation et le débit pour le bassin du Dalelf peut être appliqué à d'autres bassins.

## 6. Rapport entre les précipitations et le débit aux différentes époques de l'année.

Au début du chapitre précédent nous avons déclaré que l'année hydrologique devrait pour le bassin du Dalelf être comptée de préférence de Juillet à Juin; dans le présent chapitre où nous traitons principalement de moyennes pour toute la période, nous emploierons cette façon de compter. Les moyennes s'appliquent donc à la période décennale 1894/95—1903/04. Le tab. XXVI renferme les moyennes mensuelles de la précipitation, du débit, de la différence et du coefficient du débit; la fig. 7

donne les courbes des deux premiers. Ces courbes manifestent certaines variations de la dépendance du débit par rapport aux précipitations aux différentes époques de l'année. En Juillet, Août, Septembre et Octobre il y a une certaine concordance entre les précipitations et le débit, mani-

Tab. XXVI.

	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Année
Précip. . . .	89	98	59	60	35	42	28	29	40	30	47	63	620
Débit . . . .	45	44	37	38	33	25	18	13	15	35	90	61	454
Différence . .	+44	+54	+22	+22	+ 2	+17	+10	+16	+25	- 5	-43	- 2	+166
Coeff. de débit	51	43	63	63	94	60	64	45	38	112	191	97	73

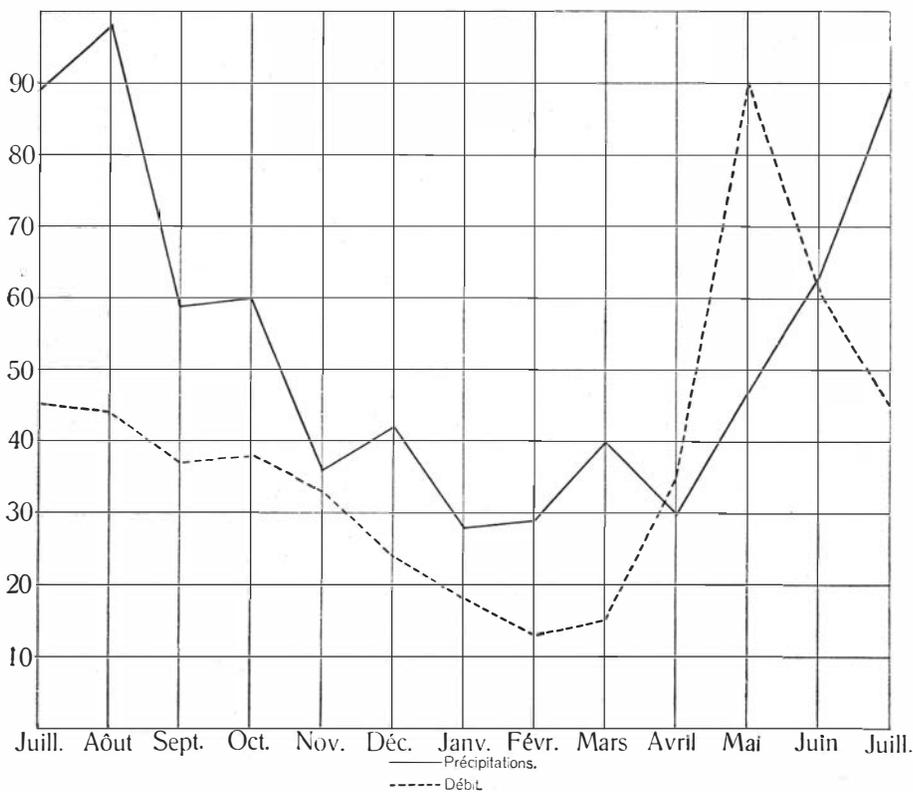


Fig. 7.

festée notamment par ce fait que la courbe du débit présente le maximum secondaire d'Octobre. Il est vrai qu'à la précipitation maxima d'Août ne correspond pas le débit maximum, ce qui pourrait s'expliquer par l'intensité de l'évaporation surtout les mois antérieurs. Le coefficient de

débit varie entre 45 en Août et 63 en Septembre et Octobre. Les mois suivants il varie entre 38 en Mars et 94 en Novembre, et tandis que pendant ces mois la précipitation demeure variable, le débit baisse régulièrement jusqu'en Février pour se relever faiblement en Mars. Avril, Mai, et Juin par contre sont caractérisées par des débits supérieurs à 100, ou très rapprochés de ce chiffre. Il semble résulter de là que l'on pourrait diviser l'année en trois périodes; la première, période d'été, comprenant les mois Juillet—Octobre, la seconde, période d'hiver, les mois Novembre—Mars, la troisième, période de printemps, les mois Avril—Juin.

Etudions tout d'abord un peu le rapport entre la précipitation et le débit pendant ces périodes pour les diverses années. Le tab. XXVII donne les valeurs de la précipitation en été, le débit correspondant, la

Tab. XXVII.

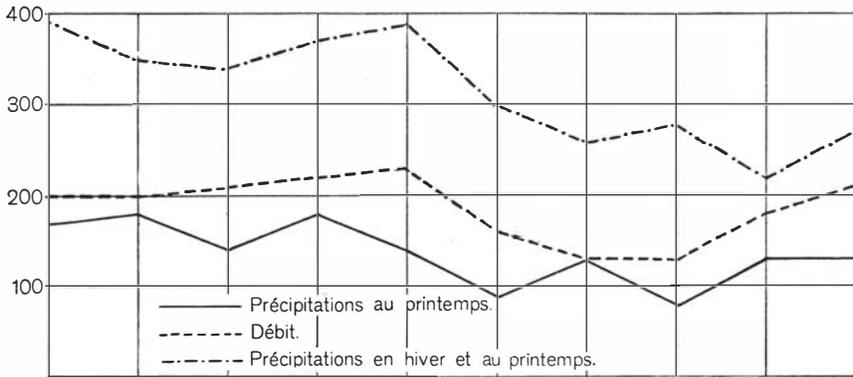
	1894	1895	1896	1897	1898	1899	1900	1901	1902	1903	Moy.
Précip. . . . .	285	<b>399</b>	350	316	335	275	248	184*	341	330	306
Débit . . . . .	159	<b>250</b>	190	143	226	127	102	69*	187	191	164
Diff. . . . .	126	149	160	<b>173</b>	109*	140	146	115	154	139	142
Coeff. de débit . .	56	63	54	52	<b>68</b>	46	41	38*	55	56	54

différence entre ces deux quantités, et enfin le coefficient de débit. La fig. 8 reproduit en outre les courbes de la précipitation et du débit pour la période. Nous constatons pendant cette période une concordance très complète de la précipitation et du débit, fait à prévoir si le débit provenait de la précipitation de la même période. A la précipitation maxima correspond de même que pour l'année le débit maximum et un haut coefficient de débit (63 %); à la précipitation minima correspondent le débit et coefficient minima.

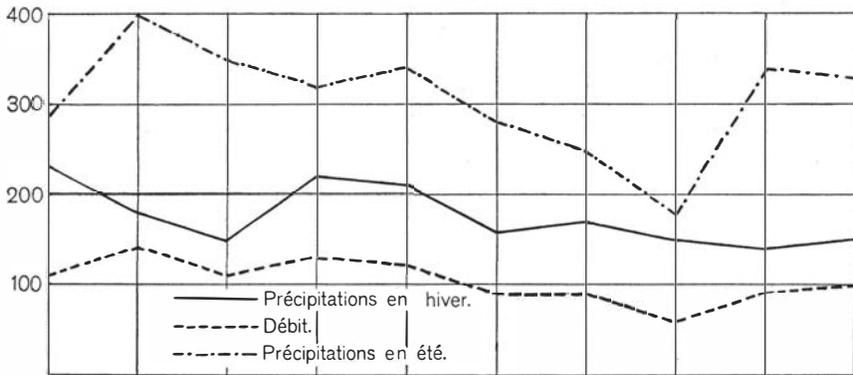
Aussi pouvons-nous construire pour l'été une courbe montrant la dépendance de débit par rapport à la précipitation (fig. 9). La forme de cette courbe est, on le voit, assez différente de celle que nous avons précédemment donnée pour l'année. Pour les précipitations faibles elle est très basse, mais elle s'élève très vite dès qu'on dépasse une valeur d'environ 250 mm. Ce fait était à prévoir puisque lorsque les précipitations sont faibles, les conditions d'écoulement sont défavorables, et, sans compter une forte évaporation, restreignent le débit; lors des fortes précipitations au contraire le débit redevient normal. La fig. 8, 1 où l'on a aussi dessiné la courbe des écarts moyens entre T—t à Falun en été et la moyenne de la même quantité, montre que l'évaporation a une évolution nettement inverse de celle du débit. Par contre il n'y a pas de concordance appréciable entre les courbes de l'évaporation et de la différence entre les pré-

cipitations et le débit. Dans la seconde de ces quantités, rentrent il est vrai, non seulement l'évaporation météorologique mais aussi la transpiration

### 3. Printemps.



### 2. Hiver.



### 1. Été.

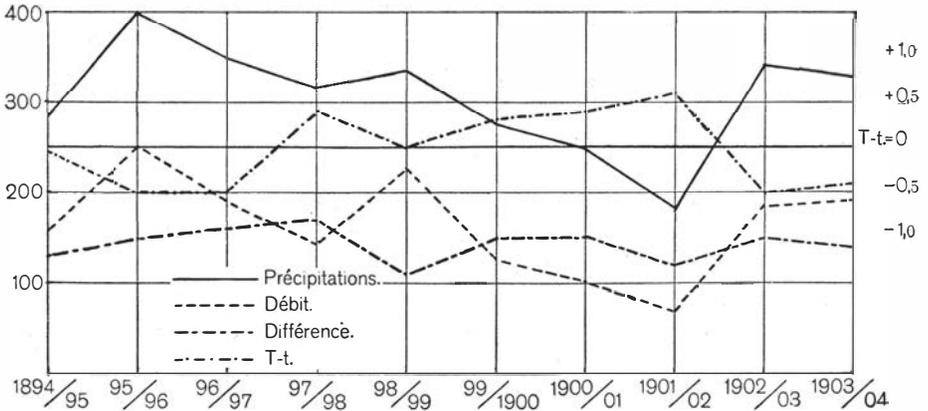
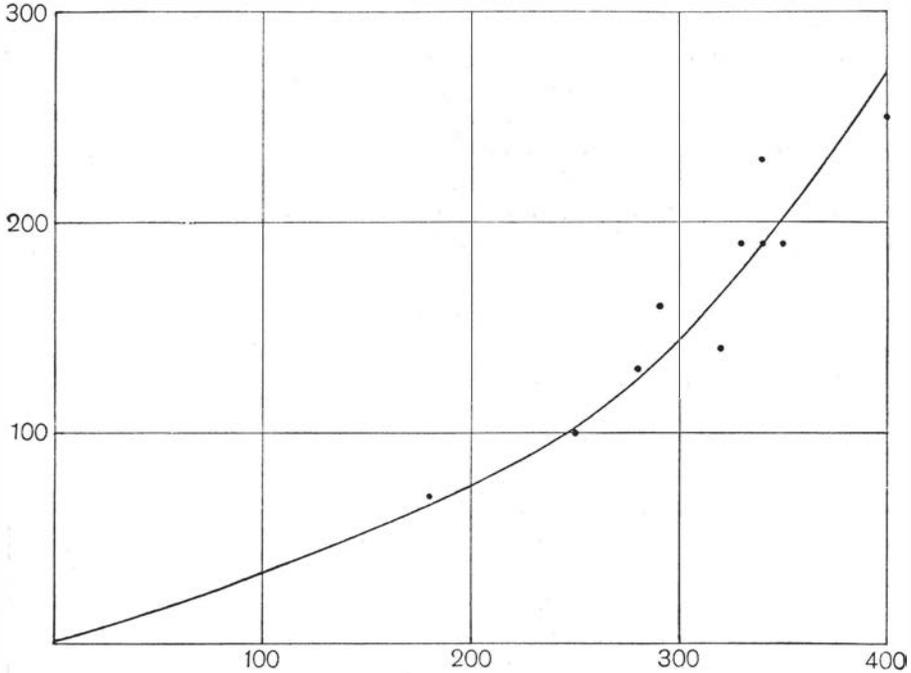


Fig. 8.

des plantes et la balance des eaux souterraines. Ce dernier fait ressort nettement de la comparaison de la différence entre la précipitation

et le débit pendant cette période (tab. XXVII et de la même différence pendant l'année (comptée de Juillet à Juin, tab. XXVIII), quantité qui représente bien l'évaporation annuelle. Cette comparaison montre que pour



deux années la différence est en été supérieure à l'évaporation annuelle, pour une année égale à la dite évaporation, et pour deux années inférieure seulement de 8 et 13 mm. Cela serait évidemment absurde si la différence

**Tab. XXVIII.**

	1894/95	95/96	96/97	97/98	98/99	99/1900	00/01	01/02	02/03	03/04	Moy.
Précip. . . . .	678	765	643	722	686	531	546	412	609	608	620
Débit . . . . .	471	586	512	496	569	370	322	259	455	498	454
Différence . . . . .	207	179	131	226	117	161	224	153	154	110	166
Coeff. d'écoul. . .	69	77	80	69	83	70	59	63	75	82	73

de l'été comprenait uniquement les quantités évaporées. Comme d'un autre côté il n'y a aucune raison de supposer que le débit de l'été ou l'évaporation de l'année soient affectés d'erreurs suffisantes pour expliquer cet état de choses, il faut qu'en été l'eau s'échappe autrement que par

l'évaporation et la transpiration, et force nous est alors d'admettre qu'il se produit un emmagasinement sous forme de nappes souterraines.

Si nous considérons ensuite les valeurs de la précipitation, du débit, de leur différence et du coefficient de débit pour la période d'hiver portées au tab. XXIX, nous ne constatons plus de concordance entre la précipitation et le débit. L'évolution des deux quantités est bien assez concordante ainsi que le montre la fig. 8, 2, mais les valeurs ne varient plus quantitativement suivant une loi fixe. A la plus élevée correspond ainsi un débit qui ne dépasse que d'une quantité insignifiante la normale et à la plus basse un débit très peu inférieur au normal. C'est pourquoi il n'est pas possible de construire pour l'hiver une courbe analogue à celles que nous avons construites pour l'année et pour l'été. Dans les bassins de l'Europe centrale c'est au contraire en hiver (Novembre—Avril) que se produit la meilleure concordance entre la précipitation et le débit.

Il ressort en outre du tableau que le débit est notablement plus constant en hiver qu'en été, fait que l'on peut prévoir si les nappes sou-

Tab. XXIX.

	1894/95	95/96	96/97	97/98	98/99	99/1900	00/01	01/02	02/03	03/04	Moy.
Précipitation . . . .	<b>225</b>	182	151	224	210	162	167	148	135*	145	175
Débit . . . . .	113	<b>138</b>	113	129	118	86	<b>88</b>	<b>56*</b>	<b>92</b>	102	104
Différence . . . . .	<b>118</b>	44	<b>38*</b>	95	92	76	79	92	43	43	71
Coeff. d'écoul. . .	51	<b>76</b>	75	58	56	53	53	<b>38*</b>	68	71	59

terraines fournissent une quantité d'eau à peu près constante. Il est toujours évident qu'en hiver le débit n'est point aussi dépendant des précipitations qu'en été. Mais si nous comparons les valeurs du débit d'hiver et celles des précipitations de l'été, — ces dernières sont reportées sur la même fig. —, nous constatons qu'il n'y a certes pas une concordance très frappante, mais cependant que dans la plupart des cas à une hausse de la courbe des précipitations correspond une hausse de la courbe du débit, et inversement.

En ce qui concerne enfin le rapport entre les précipitations et le débit du printemps la hauteur du coefficient de débit, en moyenne 133 %, suffirait à montrer que pendant cette période le débit dépend non seulement des précipitations de la saison, mais aussi des quantités de neige emmagasinées pendant la période précédente. La fig. 8, 3 montre aussi qu'il n'y a point concordance entre les précipitations et le débit au printemps. On obtient un meilleur résultat si l'on compare au débit du printemps la somme des précipitations de l'hiver et du printemps.

Le résultat auquel nous sommes arrivés en ce qui concerne le rapport entre le débit et la précipitation corrobore l'opportunité d'une division en trois périodes. Les caractères essentiels et les formules de ces périodes sont les suivantes. Pour l'été: le débit est alimenté en temps normal par les précipitations de la saison; l'eau qui n'est pas débitée s'évapore soit de la surface du sol, soit des nappes souterraines ou par la transpiration des plantes, ou encore est emmagasinée sous forme d'accroissement des nappes souterraines. La formule exprimant le régime hydrologique de cette période qui comprend les mois de Juillet, Août, Septembre et Octobre (bien que pendant ce dernier mois une partie des précipitations tombe sous forme de neige qui, nous l'avons déjà dit, constitue les derniers jours une couverture continue dans certaines parties du bassin) sera la suivante:

$$D = Pr - Ev - S_{em}.$$

En hiver la plus grande partie des précipitations tombe sous forme solide et constitue des emmagasinevements de neige. Pour entretenir son débit le fleuve a recours à l'eau emmagasinée; la formule sera:

$$D = Pr - Ev - N_{em} + S_a.$$

Au printemps le débit est en grande partie alimenté par les précipitations de la période précédente emmagasinées sous forme de neige, et d'ailleurs aussi par les précipitations de la saison même. L'eau s'échappe, comme en été sous l'influence de divers facteurs d'évaporation. La formule sera:

$$D = Pr - Ev + N_a.$$

Nous avons donc finalement à rechercher les valeurs des quantités qui entrent dans ces formules. Nous apprenons ainsi d'où vient l'eau aux diverses époques de l'année. Pour ces sortes de recherches on a suivi ordinairement la marche suivante adoptée par A. PENCK.<sup>1</sup> Admettant pour l'année l'égalité  $D = Pr - Ev$  on calcule l'évaporation annuelle, et ensuite les valeurs mensuelles de l'évaporation. Pour cela on admet que l'évolution annuelle de l'évaporation est celle que fournissent les déterminations d'un évaporomètre pour un certain lieu dans le bassin ou son voisinage. On sait en effet que les déterminations d'un évaporomètre sont valables pour des lieux même fort éloignés. Lors du calcul des valeurs mensuelles on a en outre généralement tenu compte des conditions d'évaporation. Les évaporomètres contenant toujours de l'eau bien qu'en très petites quantités dans le bassin fluvial donnent seulement les évaporations possibles non les évaporations réelles. Le nombre des jours pluvieux, et l'intensité des précipitations jouent ici un rôle de même que les conditions d'écoulement favorables ou défavorables. En

<sup>1</sup> A. PENCK: Untersuchungen über Verdunstung und Abfluss von grösseren Landflächen. Geogr. Abhandl. herausg. von A. PENCK. Bd V, 1896.

général on pourrait se contenter de tenir compte du nombre des jours pluvieux et considérer l'évaporation comme proportionnelle au nombre de ces jours.<sup>1</sup>

Par contre A. PENCK a cru pouvoir négliger complètement un autre facteur, la végétation. Il n'attribue ainsi dans le calcul des valeurs mensuelles de l'évaporation aucune importance aux quantités d'eau que la végétation utilise pour la transpiration. W. ULE par contre n'a pas cru pouvoir admettre que la différence annuelle entre la précipitation et le débit soit égale à l'évaporation; il attribue en effet à la végétation une très grande influence sur le régime hydrologique, non seulement en raison de la transpiration, mais aussi en raison de la formation de nouveaux corps végétaux. Pour nous, nous considérons ainsi qu'il a été dit plus haut l'opinion de A. PENCK sur la différence entre la précipitation et le débit comme légitime, mais nous ne considérons pas cependant que l'on puisse négliger l'accroissement de l'évaporation du à la transpiration. Et comme la transpiration ne joue aucun rôle dans les déterminations de l'évaporomètre, celles-ci ne peuvent être purement et simplement adoptées quand il s'agit de la marche de l'évaporation dans tout le bassin.

Une estimation même très approximative des quantités d'eau qui peuvent être annuellement utilisées par la végétation dans notre bassin devant présenter un certain intérêt si on établit une comparaison avec les évaluations tentées expérimentalement, nous l'avons essayée.

Nous connaissons des quantités qui entrent dans la formule du régime hivernal la précipitation et le débit. Nous pouvons calculer approximativement à l'aide des chiffres ci-dessus donnés relativement à la neige la quantité d'eau tombée emmagasinée sous forme de neige. Nous admettons que l'eau tombée sous forme de pluie en hiver s'écoule. Nous pouvons sans trop de chances d'erreur considérer la quantité d'eau tombée sous forme de neige en hiver comme proportionnelle au nombre des jours de chute de neige. Cela posé, le tab. VIII nous apprend que des 175 mm. d'eau tombée en hiver 155 mm. tombent sous forme de neige, 20 mm. sous forme de pluie que nous admettons grossir le fleuve au cours de la période. Nous avons déjà examiné la question de savoir dans quelle mesure la neige diminue sous l'action de la fonte et de l'évaporation en hiver. Nous avons constaté que la perte varie entre 33 et 45 % et admis qu'elle était d'environ 40 %. La fonte et l'évaporation enlèvent donc 60 mm. des précipitations et 95 mm. sont emmagasinés. 80 mm. devaient donc suffire pour couvrir le débit et l'évaporation, ce qui est impossible, puisque le débit atteint 105 mm. Le fleuve doit donc recevoir de la période précédente 25 mm. d'eau plus l'évaporation de l'hiver. En été la précipitation atteignait 305 mm., tandis que le débit s'élevait à 165 mm.; la différence est égale à 140 mm., et cette quantité ne peut être attribuée à l'évaporation puisque celle-ci atteignait en moyenne pour toute l'année 165 mm. Par ces faits se trouve confirmé le fait déjà sig-

<sup>1</sup> E. IMBEAUX: l. c.

gnalé qu'un emmagasinement doit nécessairement se produire pendant la période d'été.

Quant à l'évaluation de l'évaporation on peut admettre que l'évaporation en hiver doit être très peu différente de celle qui se produit à la surface de la neige. Dans leur travail ci-dessus cité M. JANSSON et J. WESTMAN donnent des mesures relatives à cette évaporation. Elle s'est trouvée pendant l'hiver 1900—01 avoir une valeur maxima de 4.5 mm. par mois, correspondant pour la période d'hiver à une évaporation de 22.5 mm. Si nous appliquons à notre bassin la marche annuelle des mesures faites à Stockholm au moyen d'évaporomètres de WILD nous pourrions déterminer pour combien l'évaporation de l'hiver entre dans celle de l'année. Cette application peut être faite sans correction pour l'hiver, les circonstances naturelles s'accordant pendant cette période avec celles que réalise l'évaporomètre en ce sens qu'une évaporation est constamment possible. Nous constatons alors que 16 % de l'évaporation annuelle se produit en hiver. En admettant pour notre bassin une évaporation de 22.5 mm. nous obtenons une évaporation annuelle de 140 mm. Nous avons vu précédemment que la différence entre la précipitation et le débit s'élève à 165 mm.; nous obtenons donc pour la quantité d'eau utilisée annuellement par les plantes pour la transpiration le chiffre d'ailleurs fort approximatif de 25 mm., c'est-à-dire environ 4 % de la précipitation annuelle, ou au total environ 600 millions de m. cub. d'eau.

Si nous comparons ces chiffres à ceux obtenus au moyen de mesures directes de la consommation d'eau due à la transpiration, nous constatons que les seconds sont en général bien plus élevés. Toutefois les mesures directes de la transpiration sont en général très peu sûres, les plantes recevant lors de ces mesures des quantités d'eau illimitées. Elles donnent alors pour la transpiration des valeurs trop élevées, de même que l'évaporomètre pour l'évaporation climatologique. Si toutefois nous utilisons les valeurs données par M. BÜSGEN<sup>1</sup> basées sur les mesures de v. HÖHNEL, et employées par W. ULE<sup>2</sup> dans le même but, nous pouvons évaluer de la façon suivante le besoin d'eau des forêts pour la transpiration. Un hectare de bois de hêtre agé de 115 ans consomme journellement d'après ces mesures 25,000 à 30,000 kilogrammes d'eau. Les conifères ont besoin d'une quantité dix fois moindre, par conséquent, en prenant le chiffre le plus bas, de 250 m. cub. par kil. carr., ce qui donne pour les 20,000 kil. carr. de forêts de notre bassin un total de 5 millions de m. cub. par jour. Pour 200 jours il faudrait donc 1,000 millions de m. cub. La transpiration étant très faible en hiver ce chiffre correspondrait donc à peu-près à la transpiration annuelle d'après les mesures citées. Nous constatons que ce chiffre est au moins du même ordre que celui trouvé antérieurement.

<sup>1</sup> M. BÜSGEN: l. c.

<sup>2</sup> W. ULE: Niederschlag und Abfluss in Mitteleuropa. Forschungen zur deutschen Landes- und Volkskunde. Bd 14, 1903.

*Bull. of Geol.* 1906.

Au cours des recherches suivantes nous admettons donc pour la perte d'eau par transpiration le chiffre de 25 mm. Il reste donc 140 mm. pour le reste de l'évaporation dont 16 % se produit en hiver, 84 % au printemps et en été. D'après les mesures prises à Stockholm au moyen d'évaporomètres ces 84 % se répartissent par moitié entre le printemps et l'été. Toutefois ces résultats ne peuvent pas être directement appliqués à l'évaporation de notre bassin. Ils prouvent bien que la force d'évaporation est plus grande au printemps qu'en été. Mais d'autres facteurs interviennent qui empêchent l'évaporation de suivre dans la nature le même processus que dans l'évaporomètre. Telles les circonstances d'écoulement favorables qui sont dominantes au printemps, et dûes au gel du sol ou sa saturation en eau par suite de la fonte des neiges. En conséquence nous croyons devoir admettre une intensité d'évaporation égale pour les deux périodes et considérons l'évaporation comme proportionnelle au nombre des jours de précipitation, méthode déjà indiquée précédemment. En procédant ainsi nous trouvons que l'évaporation de l'été constitue 52 %, l'évaporation du printemps 32 % de l'évaporation annuelle. Les valeurs de l'évaporation pour les diverses périodes seront donc les suivantes:

Été, 70 mm.; Hiver, 25 mm.; Printemps, 45 mm.

Il faut ajouter les valeurs de la transpiration, au total 25 mm. par an, que nous répartissons très approximativement de la façon suivante: été, 15 mm., printemps, 10 mm. Le chiffre de l'évaporation de l'hiver est déjà un peu élevé comparé à celui que nous avons admis antérieurement; aussi croyons-nous ne pas devoir compter de transpiration pour cette période. Au total les valeurs de l'évaporation sont donc:

Été, 85 mm.; Hiver, 25 mm.; Printemps, 55 mm.

En été la précipitation s'éleva à 305 mm., le débit à 165 mm., et nous venons d'évaluer à 85 mm. l'évaporation. Nous constatons donc que 55 mm. de l'eau tombée ne s'écoule ni ne s'évapore pendant cette période; nous avons admis que cette eau est emmagasinée sous forme d'accroissement des nappes souterraines. Celles-ci doivent par conséquent atteindre leur plus haut niveau à la fin de cette période. Des recherches nouvelles devront déterminer si telle est bien la réalité. Les conditions de notre bassin sont alors très différentes de celles de l'Europe centrale où de nombreuses mesures<sup>1</sup> ont prouvé que les nappes souterraines atteignent leur plus bas niveau en Septembre, Octobre ou Novembre, leur niveau le plus élevé au printemps ou au début de l'été. Nous verrons toutefois que ces faits contradictoires s'expliquent si l'on envisage les dissemblances du régime hydrologique.

Nous avons constaté pour l'hiver une précipitation de 175 mm.; 20 mm. tombent sous forme de pluie et s'écoulent immédiatement; 40 % du reste, c'est-à-dire 60 mm., fond ou s'évapore, tandis que 95 mm. sont emmagasinés sous forme de neige. Des 60 mm. qui fondent ou s'éva-

<sup>1</sup> I. СΟΥΚΑ: Die Schwankungen des Grundwassers mit besonderer Berücksichtigung der mitteleuropäischen Verhältnisse. Geogr. Abhandl. herausg. von A. PENCK. Bd. II, 1888.

porent 25 mm. sont éliminés par l'évaporation, 35 mm. vont donc grossir le fleuve, c'est-à-dire 55 mm. de la précipitation totale de la période. Le débit a été évalué à 105 mm.; c'est donc 50 mm. qui manquent; ils doivent être empruntés à l'eau emmagasinée en été qui fournit en effet à peu près cette quantité.

Au printemps la précipitation atteint 140 mm., l'évaporation a été évaluée à 55 mm., le débit s'élève à 185 mm. La précipitation ne suffit donc pas à couvrir l'évaporation et le débit qui constituent un total de 240 mm. Mais la neige emmagasinée en hiver et qui donne 95 cm. suffit à peu près exactement à combler la lacune.

Nous obtenons ainsi pour le régime hydrologique du Dalelf le schéma suivant :

	Pr	D	Ev	Sem	Sa	Nem	Na
Été . . .	305	165	85	55	—	—	—
Hiver . .	175	105	25	—	50	95	—
Printemps .	140	185	55	—	5	—	95
	620	455	165	55	55	95	95

Ces chiffres ne visent naturellement qu'à une approximation très incertaine au point de vue quantitatif. Par contre on est porté à croire qu'ils donnent du régime hydrologique du Dalelf une image d'ensemble assez exacte.

Si nous comparons le régime de notre bassin à ceux que A. PENCK et W. ULE ont définis pour divers bassins de l'Europe centrale nous constatons une première et essentielle différence: dans notre bassin c'est la période hivernale qui, en raison de la nature des précipitations, doit utiliser l'eau de la période précédente; dans les bassins de l'Europe centrale c'est en été, période d'évaporation intense, que les précipitations sont insuffisantes. Dans ces régions c'est donc à la fin de l'été que le niveau des nappes souterraines doit être le plus bas, fait démontré aussi d'une façon générale par les mesures. Dans notre bassin au contraire cet abaissement maximum doit avoir lieu à la fin de l'hiver tandis que le niveau le plus élevé doit être atteint à la fin de l'été avant que les ressources d'eau n'aient été entamées pour alimenter le débit d'hiver.

## Résumé.

Résumons brièvement les résultats auxquels nous ont conduit nos recherches sur le régime hydrologique du Dalelf.

1:0. La précipitation annuelle pour la période 1894—1904 s'est trouvée égale à 612 mm. Le mois d'Août présente la plus haute précipitation, 97 mm., les mois de Janvier et Février la plus basse, 29 mm.

2:0. Le débit annuel a atteint pendant la même période 450 mm. Le coefficient de débit s'élève ainsi pour notre bassin au chiffre considérable de 73 %.

3:0. L'intervalle de temps entre la précipitation et débit correspondant est très variable. Il s'est trouvé être d'environ huit jours pour les précipitations débitées directement. Toutefois le débit dure en général bien plus longtemps en sorte qu'il est très difficile de déterminer exactement l'intervalle en question.

4:0. Il existe un rapport marqué entre la précipitation et le débit des diverses années en sorte que plus la précipitation est abondante, plus le coefficient de débit est élevé. Aussi a-t-on pu construire une courbe exprimant ce rapport. Il est impossible d'affirmer, mais il semble probable que le rapport ainsi exprimé peut être appliqué à d'autres bassins de la Suède.

5:0. L'année hydrologique qui dans notre bassin doit être comptée de préférence de Juillet à Juin, présente trois périodes possédant chacune des caractères distincts au point de vue du régime hydrologique. La première ou période d'été, qui comprend les mois de Juillet—Octobre est remarquable en ceci que l'eau débitée provient essentiellement des précipitations de la saison, et que les précipitations suffisent en outre à la formation de réserves souterraines. La seconde période, période d'hiver, qui comprend les mois de Novembre—Mars est caractérisée par l'emmagasinement d'eau sous forme de neige; il en résulte que les précipitations de cette période ne suffisent point à alimenter le débit, et que les réserves d'eau de la période antérieure doivent être alors attaquées. La troisième période, période de printemps, qui comprend les mois d'Avril—Juin est caractérisée par l'enorme afflux des eaux de la période antérieure lors de la fonte des neiges.

Nous tenons enfin à présenter quelques voeux auxquels il a été déjà été fait allusion plus haut en termes généraux et dont la réalisation permettrait d'arriver à une connaissance plus précise du régime hydrologique des fleuves suédois.

Le réseau des stations créés en Suède pour observer les précipitations souffrent surtout dans les régions septentrionales et élevées d'un double défaut: elles sont trop peu nombreuses et elles sont situées trop bas. Etant donné la grande influence de l'altitude sur la quantité des précipitations, on devra autant que possible si l'on augmente le nombre de ces stations s'efforcer d'en créer de nouvelles en des régions élevées. Lors de la publication des mesures relevées dans les stations suédoises mieux vaudrait grouper ces mesures, ainsi que cela se fait ailleurs, par bassins fluviales, et non pas, ainsi que cela se pratique actuellement, d'après la division administrative en gouvernements.

La connaissance du débit des cours d'eau est importante aussi bien pour la définition du régime hydrologique que directement pour les utilisations de l'industrie. Il serait en conséquence très désirable que l'on organisait des observations journalières de la hauteur des eaux et des mesures du débit sur les cours d'eau en autant de points que possible; il serait à cet égard de l'intérêt des entreprises industrielles de suivre l'exemple déjà donné par la fonderie d'Avesta.

Si la multiplication des stations de précipitation et de débit pour tout le pays présente des difficultés, il serait intéressant que l'on commençât par la création de stations nouvelles dans un bassin analogue à celui que nous avons étudié, par exemple celui du Klarelf ou de quelque autre fleuve septentrional du Norrland par exemple le Lule-elf; on faciliterait ainsi les recherches sur le point de savoir dans quelle mesure le rapport que nous avons constaté pour le bassin du Dalelf entre la précipitation et le débit est valable pour d'autres bassins suédois. Il serait aussi intéressant pour permettre des comparaisons d'obtenir avec plus de précision les éléments d'un calcul portant sur l'un de nos bassins méridionaux de haute altitude, et sur l'un de nos cours d'eau de plaine par exemple de la plaine de Vestrogothie.

Le rôle que jouent dans le régime de nos fleuves les nappes souterraines et la neige fait désirer des mesures relatives à ces deux facteurs. Ces mesures devront porter sur les variations du niveau des nappes souterraines au cours de l'année. Elles permettront de déterminer si l'interprétation que nous avons donnée du régime du Dalelf est bien conforme à la réalité. En outre il serait utile d'étudier l'influence des forêts sur les nappes souterraines en empruntant les méthodes d'OTOTZKI et EBERMAYER. En ce qui concerne la neige les mesures de l'épaisseur et de la densité de la couverture sont les plus importantes.

Les voeux que nous venons de formuler ne prétendent points être complets. Ils sont, on le voit, essentiellement d'intérêt climatologique. Il va de soi que bien d'autres recherches seraient d'un grand intérêt, par exemple

des recherches sur les facteurs géologiques, la perméabilité des diverses roches et des couches de terrain meuble, l'influence des âsar sur l'écoulement, la formation des sources etc. Mais nous avons volontairement mis en avant les facteurs météorologiques, persuadés que l'action des autres n'est point appréciable, au moins en ce qui concerne les valeurs du coefficient d'écoulement et le rapport entre celui-ci et les précipitations tant que l'on ne peut pas déterminer avec une grande précision la précipitation.



## Bibliographie.

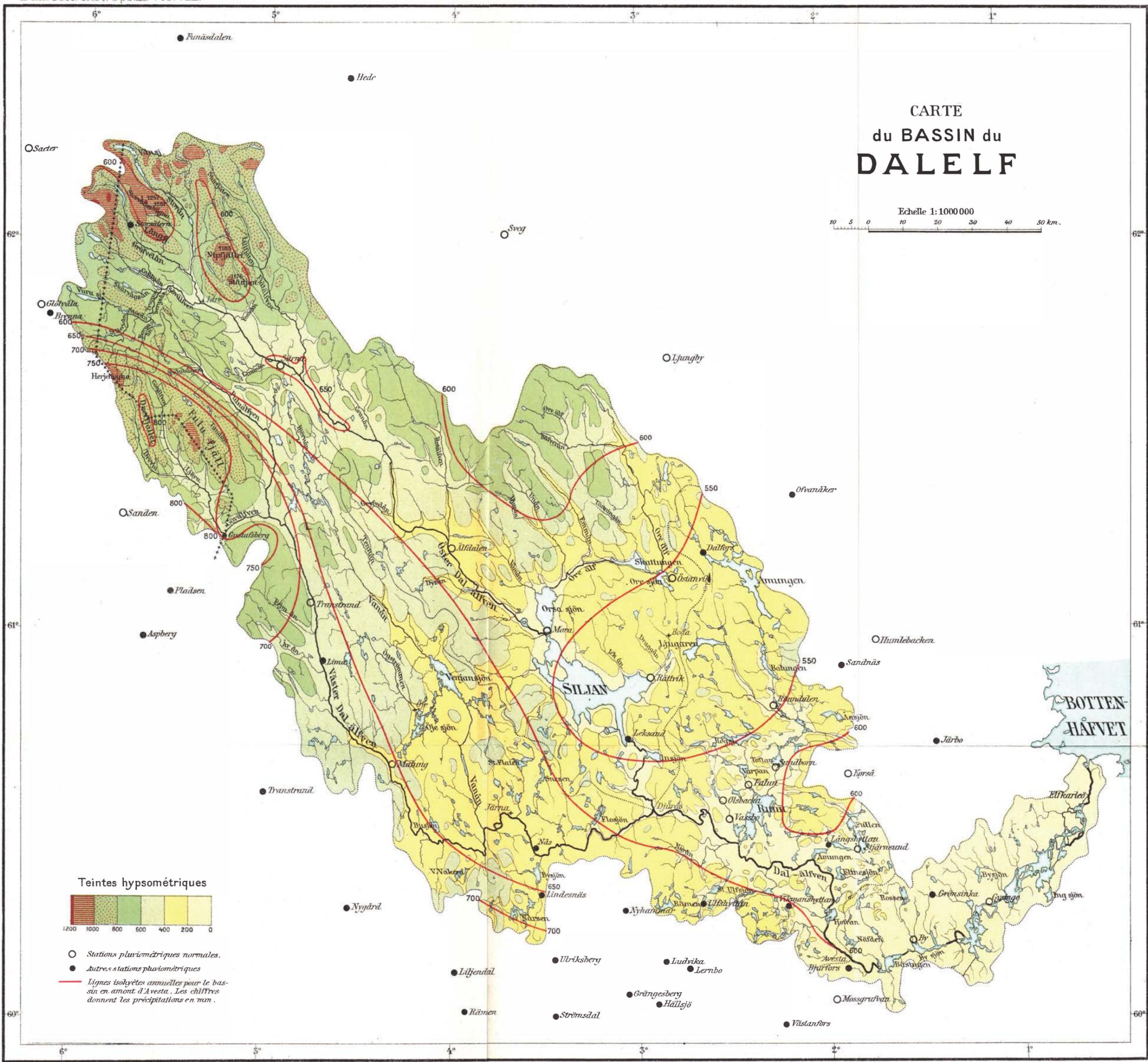
- K. Ahlenius:* Bidrag till Siljanbäckens geografi. Ymer 1905.
- O. Appelberg:* Bidrag till kännedomen om den i Sveriges vattendrag framrinnande vattenmängden. Ingeniörsföreningens förhandlingar 1887.
- Betänkande afgifvet den 17 Mars 1903 af den för utredning beträffande vissa staten tillhöriga vattenfall af Kungl. Maj:t den 9 Juni 1899 tillsatta kommitté.
- E. Brückner:* Ueber die Herkunft des Regens. G. Z. 1900.
- » Die Bilanz des Kreislaufs des Wassers auf der Erde. G. Z. 1905.
- M. Büsgen:* Bau und Leben unserer Waldbäume. Jena 1897.
- Förteckning öfver Statens vattenfall enligt vattenfallskommitténs utredning år 1903.
- Generalkarta öfver Sverige i skalan 1: 1,000,000 utgifven af Generalstaben år 1902.
- A. Hamberg:* Sarjekfjällen. Ymer 1900.
- H. E. Hamberg:* Månadsöfversikt öfver väderleken i Sverige. 1881—1905.
- » Om skogarnes inflytande på Sveriges klimat. IV. Nederbörd. V. Snötäcke. Bihang till Domänstyrelsens underdåniga berättelse rörande skogsväsendet för år 1895. (en suéd. et en franç.)
- J. Hann:* Lehrbuch der Meteorologie.
- » Handbuch der Klimatologie.
- H. Hedström:* Om den sen-glaciala marina gränsen i Dalarne. G. F. F. 13:3.
- » Redogörelse för de praktiskt-geologiska undersökningar som med understöd af Kopparbergs läns Hushållningssällskap blifvit utförda i Dalarne sommaren 1892. Kopparbergs läns Hushålln. sällsk. Handl. 1894.
- J. C. Heyl and R. H. Anderson:* Hydrography of the Susquehanna river drainage basin. U. S. Geol. Survey; Water-Supply and Irrigation papers. N:o 109.
- A. G. Högbom:* Sur la tectonique et l'orographie de la Scandinavie. Ann. de Géographie 1902.
- » Om postarkéiska eruptiver inom det svensk-finska urberget. G. F. F. 15:4.
- » Högsta marina gränsen i Norra Sverige. G. F. F. 18:6.
- » Några genombrottsdalar i vårt lands sydliga fjälltrakter. Ymer 1895.
- E. Imbeaux:* Essai-programme d'Hydrologie. Z. Gw. 1898, 1899.
- M. Jansson och J. Westman:* Quelques recherches sur la couverture de neige. Bull. of the Geol. Instit. of Upsala, N:o 10, Vol. V, Part. 2, 1901.

- Karta öfver Kopparbergs län i skalan 1: 500,000 utgifven af Generalstabens litografiska Anstalt 1905.
- Karta öfver Kopparbergs län i sex blad, utarbetad af Generalstabens topografiska afdelning, 1879.
- A. G. Kellgren*: Agronomiskt-botaniska studier i Norra Dalarne åren 1890 och 1891, S. G. U. afhandlingar och uppsatser. Ser. C. 119.
- V. Krenser*: Klimatische Verhältnisse des Memel-, Pregel- und Weichselgebietes. M. Z. 1900.
- W. Meinhardus*: Eine einfache Methode zur Berechnung klimatischer Mittelwerte von Flächen. M. Z. 1900.
- J. Müllner*: Die Seen des Salzkammergutes und die österreichische Traun. Geogr. Abhandl. herausg. von A. Penck. Bd. VI.
- J. Murray*: On the total annual rainfall on the land of the globe, and the relation of rainfall to the annual discharge of rivers. The Scott. Geogr. Mag. 1887.
- Nedbøriakttagelser i Norge utgifvet af det Norske meteorologiske institut. I—X, 1895—1904.
- F. H. Newell*: Results of stream measurements. Fourteenth annual report af the U. S. Geological Survey. Part II. 1894.
- Nissen*: Kart over det Sydlige Norge, 1: 600,000.
- Norges geografiske Opmaaling: Topografisk kart over Norge, 1: 100,000. Blad: Ljørdalen, Bratfjeldet, Tryssil, Engerdalen.
- Observations météorologiques suédoises publiées par l'académie royale des sciences de Suède. 2:ième série.
- E. Oppokow*: Zur Frage der vieljährigen Abflussschwankungen in den Bassins grosser Flüsse, im Zusammenhang mit dem Gang der meteorologischen Elemente. Z. Gw. Bd. 5, 6.
- P. Ototskij*: Der Einfluss der Wälder auf das Grundwasser. Z. Gw. Bd. 1, 2, 3.  
» Zur Frage über die hydrogeologische Rolle der Wälder in Gebirgsgegenden. Z. Gw. Bd. 6.
- A. Palm*: Berättelse öfver hydrografiska undersökningar inom Kopparbergs län utförda åren 1896—1903. Kopparbergs läns Hushållningssällskaps Handlingar 1903—1904.
- A. Penck*: Potamology as a branch of physical Geography Geogr. Journ. 1897.  
» Die Flusskunde als ein Zweig geographischer Forschung. Z. Gw. 1898.  
» Untersuchungen über Verdunstung und Abfluss von grösseren Landflächen. Geogr. Abhandl. herausg. von A. Penck. Bd. V.
- W. Pettersson*: Karta öfver Elfdalens socken uti Kopparbergs län. 1: 200,000, 1891.  
» Karta öfver Särna socken och Idre Kapellag uti Kopparbergs län, 1: 200,000, 1885—95.
- V. Pockels*: Über die Kondensation an Gebirgen. M. Z. 1901.
- G. W. Rafter*: The relation of rainfall to run-off. U. S. Geol. Survey, Water-Supply and Irrigation Paper No 80. 1903.
- V. Ruvarac*: Die Abfluss- und Niederschlagsverhältnisse von Böhmen. Geogr. Abhandl. herausg. von A. Penck. Bd. V. 1896.
- P. Schreiber*: Beiträge zur meteorologischen Hydrologie der Elbe. Abhandl. des Königl. sächs. meteorologischen Institutes. Heft. 2. 1897.
- G. Schwalbe*: Ueber die Darstellung des jährlichen Ganges der Verdunstung. M. Z. 1902.
- N. Selander*: Karta öfver Sverige i skalan 1: 500,000, 1881—83.
- I. Soyka*: Die Schwankungen des Grundwassers mit besonderer Berücksichtigung der mitteleuropäischen Verhältnisse Geogr. Abhandl. herausg. von A. Penck. Band II, 1888.
- E. Svedmark*: Geologiska meddelanden från resor i Dalarne och Helsingland G. F. F. 13.3.  
» Geologiska notiser från Dalarne. G. F. F. 16.6.  
» Orsa Finmarks geologi. G. F. F. 17.2.
- Svenska Generalstabens kartor öfver Sverige i skalan 1: 100,000. Blad: Falun, Hedemora, Gysinge, Sala, Gefle, Löfsta, Östhammar.

- R. Tolf:* Berättelse öfver torfmosseundersökningar i Dalarne sommaren 1897. Kopparbergs läns Hushålln.-sällsk. Handl. 1896—97.
- » Berättelse öfver torfmosseundersökningar i Härjedalen sommaren 1896. Svenska Mosskulturföreningens tidskrift 1897.
- » Försumpning af skogsmark i öfre Dalarne. Svenska Mosskulturföreningens Tidskrift. 1897.
- A. E. Törnebohm:* Grunddragen af det centrala Skandinaviens bergsbyggnad. K. Sv. V. A. Handl. Bd. 28. 1896.
- IV. Ule:* Die Gewässerkunde im letzten Jahrzehnt III, die Flusskunde. G. Z. 1900.
- » Die Aufgabe geographischer Forschung an Flüssen. Abh. der K. K. Geogr. Gesellschaft in Wien. 1902.
- » Zur Hydrographie der Saale. Forschungen zur deutschen Landes- und Volkskunde. Bd. 10. 1897.
- » Theoretische Betrachtungen über den Abfluss des Regenwassers. Z. Gw. Bd. 7.
- » Niederschlag und Abfluss in Mitteleuropa. Forschungen zur deutschen Landes- und Volkskunde. Bd. 14. 1903.
- U. Wallmo:* Rationell skogsafverkning. Örebro 1897.
- A. Watt:* The rainfall of the Ben Nevis observatories. Journ. of the Scottish Meteorol. Society. Third series Nos. XX and XXI.
- P. H. Widmark:* Karta öfver provinsen Helsingland uti Gefleborgs län. Öfre Dalarne förr och nu. 1903.

### Abréviations.

G. F. F.	= Geologiska Föreningens Förhandlingar.
S. G. U.	= Sveriges geologiska Undersökning.
K. Sv. V. A. Handl.	= Kungliga svenska Vetenskapsakademiens Handlingar.
G. Z.	= Geographische Zeitschrift.
Z. Gw.	= Zeitschrift für Gewässerkunde.
M. Z.	= Meteorologische Zeitschrift.



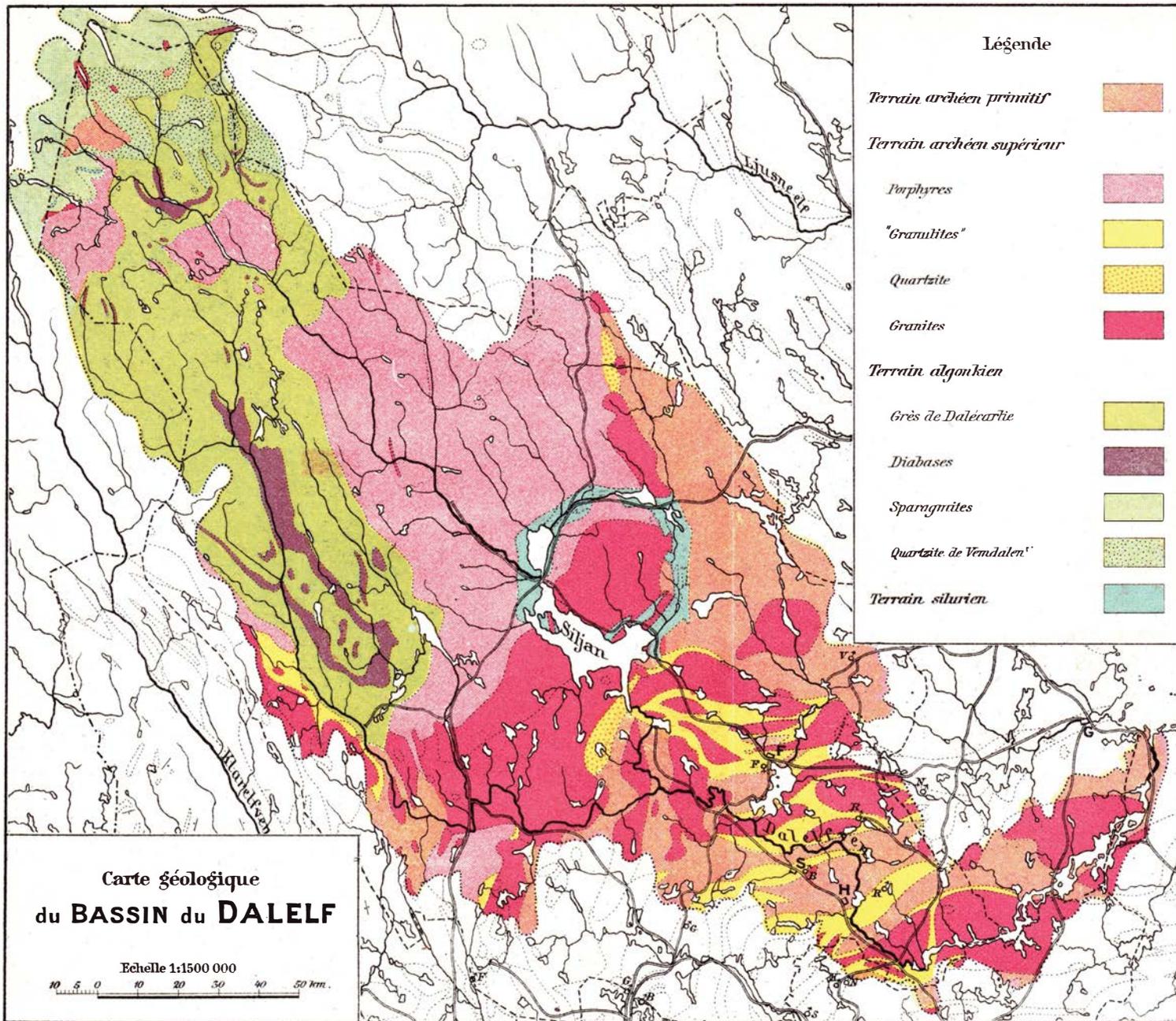
CARTE  
du BASSIN du  
**DALELF**

Echelle 1:1000000  
10 5 0 10 20 30 40 50 km.

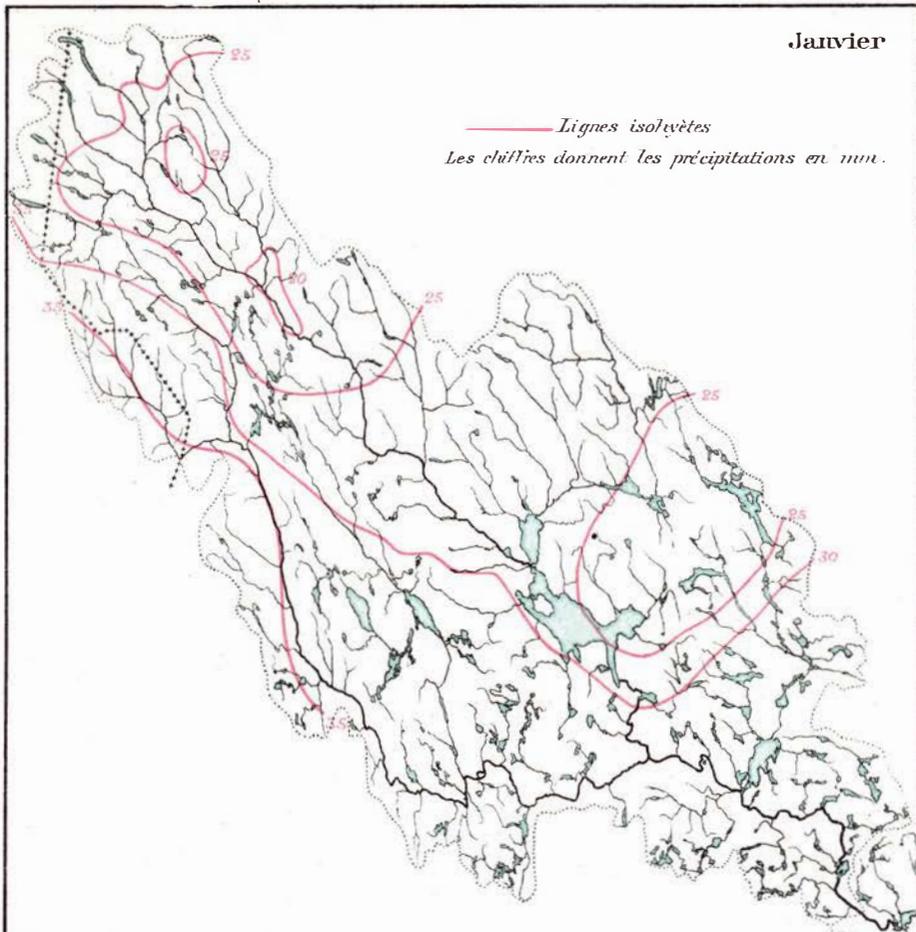
Teintes hypsométriques

1200	1000	800	600	400	200	0
------	------	-----	-----	-----	-----	---

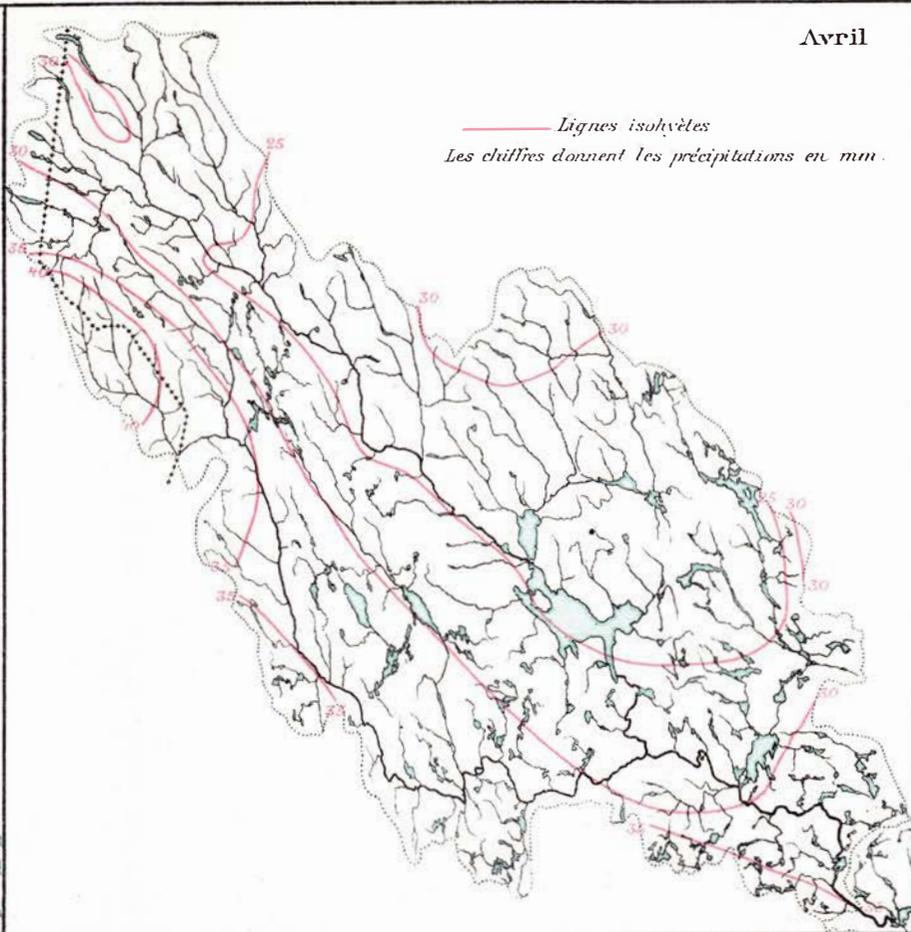
- Stations pluviométriques normales.
- Autres stations pluviométriques
- Lignes isohyètes annuelles pour le bassin en amont d'Avesta. Les chiffres donnent les précipitations en mm.



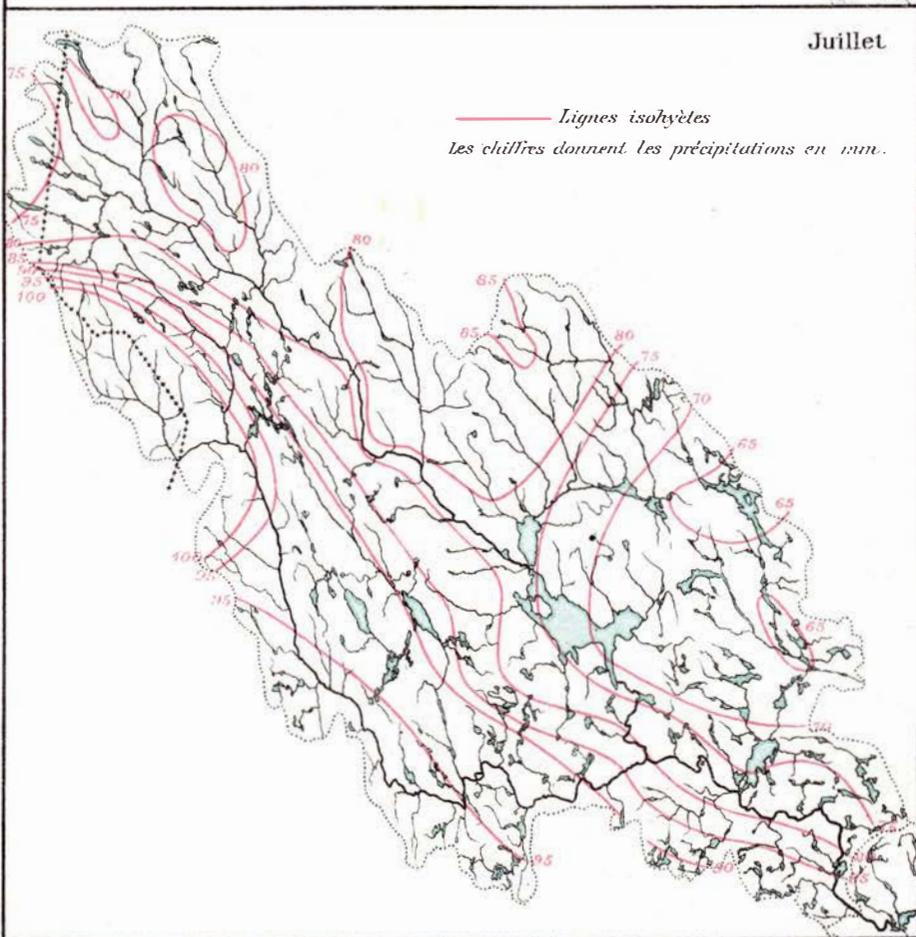
Janvier



Avril



Juillet



Octobre

