Zeitschrift: Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles
Herausgeber: Société Vaudoise des Sciences Naturelles
Band: 50 (1914-1915)
Heft: 183

Artikel: Encore sur l'écoulement du Rhin alpin
Autor: Horwitz, L.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-269627

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

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

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

Download PDF: 12.07.2025

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

ENCORE SUR L'ÉCOULEMENT DU RHIN ALPIN

(à propos d'un récent mémoire)

par L. HORWITZ

Dans les procès-verbaux de la Société vaudoise des sciences naturelles (séance du 3 juin 1914), j'ai montré que mes travaux sur l'écoulement du Rhin alpin étaient antérieurs au mémoire de M. Roder sur le même sujet, récemment paru. Le lecteur y trouvera les détails bibliographiques nécessaires.

Je me propose ici de discuter quelques divergences entre les vues de M. Roder et les miennes, concernant le problème en question.

§ 1. — Le débit des branches principales du Rhin alpin dépend-il de la constitution pétrographique de leurs bassins ou des précipitations qui y tombent ?

Le fait le plus saillant, qui caractérise l'écoulement du Rhin grison, est établi d'une manière relativement sûre et consiste en ceci : Le débit moyen (en litres par sec. par km²), pendant la période 1894-1905, des trois branches du Rhin grison était le suivant :

Rhin antérieur	44,5 litres.
Glenner	39,0 »
Rhin postérieur	33,7 »

(Les chiffres correspondants de M. Roder, établis par extrapolation pour la période de 15 ans, 1895-1909, se distinguent à peine des chiffres ci-dessus.)

M. Roder essaie d'expliquer ces différences du débit

des trois branches rhénanes en les rattachant à la constitution pétrographique de chaque bassin. Il a fait construire (par Dr Paul Beck) une carte de perméabilité pour l'eau de la région grisonne, jointe à son mémoire, d'où il découlerait que le bassin du Rhin antérieur est le plus imperméable, tandis que celui du Rhin postérieur l'est le moins. La conclusion, laconique et inattendue, (mémoire de M. Roder, p. 131) est « que la région du Rhin antérieur, comme la plus imperméable, possède le débit le plus abondant ».

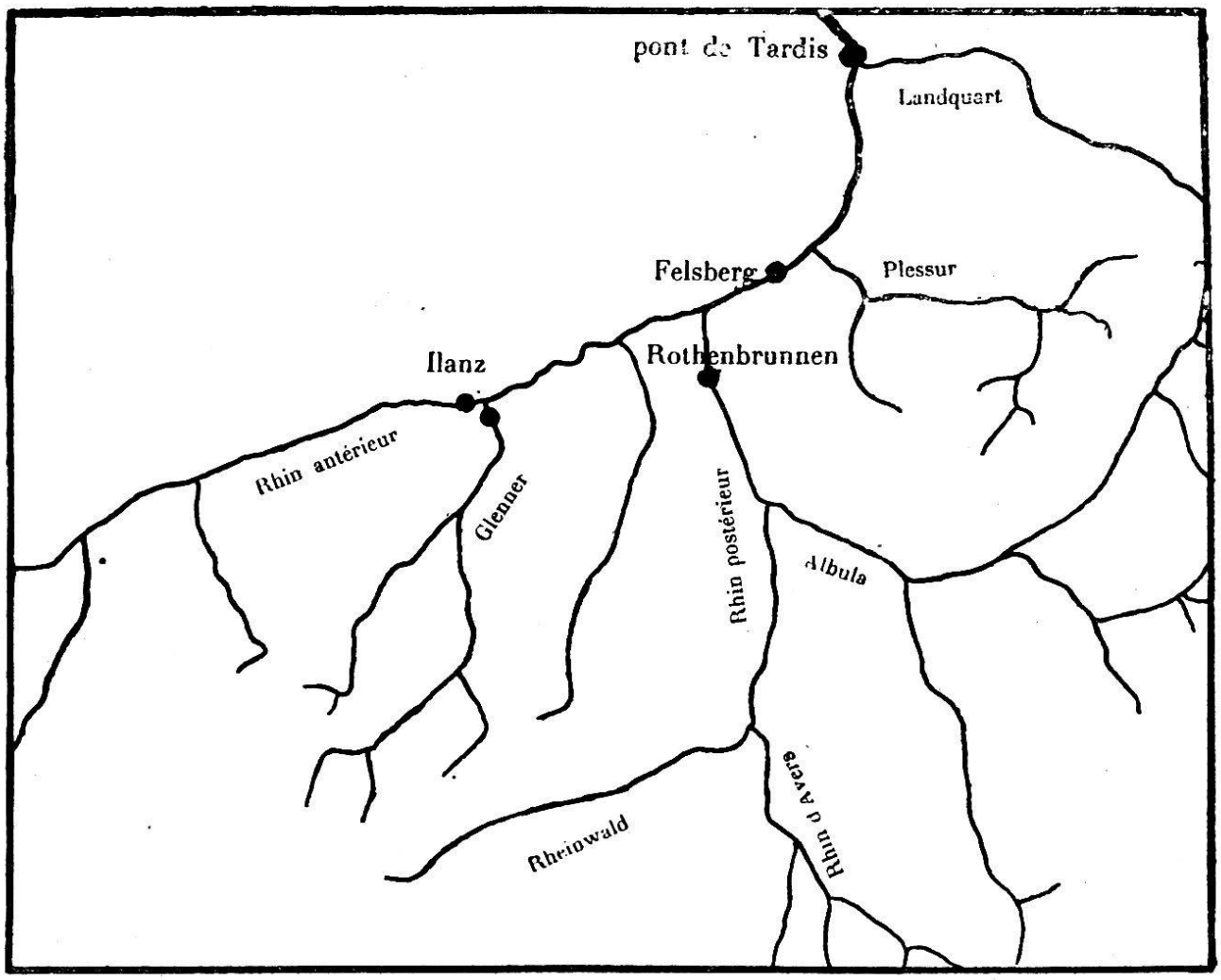
J'ai caractérisé cette conclusion comme inattendue. Je m'explique. Jusqu'à maintenant, d'après ce que je sais, on s'est fort peu occupé du côté quantitatif de l'influence de la constitution du sous-sol sur le débit. Je ne saurais mentionner que Penck et Keller. Le premier dans son mémoire classique, souvent cité[1] établit que le débit du bassin de la Moldava, avec son sous-sol relativement imperméable, est relativement plus *petit* (26 % des précipitations correspondantes) que celui du reste du bassin de l'Elbe (29,6 %). D'après Penck, l'explication de ce fait serait la suivante : l'eau qui s'infiltre sort évidemment quelque part *dans les limites* du bassin, mais en se dérobant de la surface, elle perd moins par l'évaporation que l'eau qui reste à la surface. De telle manière que c'est la région perméable, où l'eau s'infiltre, qui relativement aura le débit le plus grand, tandis que notre auteur, M. Roder, affirme le contraire pour les débits absolus (dans le cas en question il importe peu de savoir s'il s'agit des débits relatifs ou absolus).

Le second auteur, plus récent, M. Keller[2], autorité

[1] A. Penck. Untersuchung über Verdunstung und Abfluss von grösseren Landflächen. Geographische Abhandlungen von Penck, Band V, Wien, 1896.

[2] H. Keller. Niederschlag, Abfluss und Verdunstung in Mitteleuropa. Geographische Zeitschrift 1906.

dans le domaine de l'hydrographie, n'est pas moins net ; M. Keller fait la distinction entre l'ancienne école (Belgrand, Imbeaux), qui a négligé les liens qui unissent le coefficient d'écoulement avec la quantité des précipita-



RÉSEAU HYDROGRAPHIQUE DU RHIN ALPIN
(avec 5 stations limnimétriques principales.)

tions correspondantes, et la nouvelle, qui par contre a une tendance à exagérer cette dépendance au détriment des particularités spéciales de chaque bassin. M. Keller pense que les deux points de vue ne s'excluent pas, si l'on considère la nouvelle opinion comme une règle moyenne et l'ancienne comme des écarts à cette règle (p. 625). Pourtant, à plusieurs reprises, M. Keller ne

laisse subsister aucun doute que la perméabilité des roches agit dans le sens *opposé* à celui indiqué par M. Roder. Ainsi (p. 624), il cite l'opinion récente de M. Imbeaux sur ce sujet[1] : « pour un même climat, les grands coefficients d'écoulement annuel appartiennent aux bassins à fort ruissellement ou à *rapide perméabilité*, les faibles aux bassins à fort[2] ruissellement ou à *perméabilité lente* » (c'est moi qui souligne). Les réserves que formule M. Keller à propos de cette thèse, ne concernent pas sa portée générale, avec laquelle il est d'accord, mais un cas particulier. A la page 685, il s'exprime de la manière suivante : « Je durchlässiger (im Flachlande) der Boden und je stärker die Schicht ist, die das versickerte Wasser aufnimmt und den Grundwasservorräten zuführt, je tiefer unter der Oberfläche diese liegen, umso besser wird das in den Untergrund versunkene Wasser gegen rasche Verdunstung geschützt... (Für Gebirgsflüsse) ...eine dünne zur Aufspeicherung grösserer Wassermassen ungeeignete Verwitterungskrume auf undurchlässigem Grundgestein verhindert die ausgiebige Versickerung und zwingt das niedergeschlagene Wasser zum offenen Abfluss oder zur baldigen Rückkehr in Dampfform... » Enfin citons un passage dont la teneur concerne directement notre cas (p. 687) : « Ausser den klimatischen Besonderheiten dürfte bei den Alpenflussgebieten ebenfalls der Durchlässigkeitsgrad darauf einwirken, ob die Verdunstungshöhe ein mehr oder weniger grosses Mass erreicht. Das Verschwinden in den Schwundlöchern des verkarsteten Gebirges mag das abfliessende Regenwasser bis zu seiner Wiedererscheinung im Form mächtiger Quellen vor zu starker Verdunstung schützen. *Aber auch im undurchlässigen Hochgebirge bieten Geröllhalden*

[1] Essai programme d'hydrologie, Zeitschrift für Gewässerkunde, II, p. 274.

[2] Evidemment faute d'impression. Il faut lire « faible ». (L. H.)

der Felshänge und Schotterbetten der Täler wirksamen Schutz » (c'est moi qui souligne).

Ce qui est curieux c'est que M. Roder cite lui aussi les deux auteurs et je me demande, non sans quelque étonnement, comment il peut émettre une opinion, opposée à la leur, sans juger nécessaire d'expliquer pourquoi il est d'avis contraire.

Mais peut-être l'eau supposée infiltrée dans le bassin du Rhin postérieur quitte par les voies souterraines ce bassin pour alimenter un des bassins avoisinants ? A la page 66 M. Roder s'exprime ainsi : « Une grande partie de l'eau infiltrée réapparaît à la surface sous forme de nombreuses sources et le reste s'associe au courant de la nappe souterraine dans les dépôts fluvioglaciaires des fonds des vallées. » Dans la première partie de cette phrase l'auteur contredit donc lui-même sa conception de l'eau « perdue » pour le débit (comp. aussi la page 61 où il parle de la richesse des sources dans la région « typique » de Heinzenberg). Quant à la nappe souterraine dans la vallée du Rhin postérieur, elle existe certainement, mais il suffit de jeter un coup d'œil sur la carte de M. Roder (tableau I) pour se convaincre que grâce à l'apparition de la roche en place dans le lit du Rhin aux environs de Rothenbrunnen, la nappe souterraine est obligée de remonter à la surface. Si elle remonte à la surface en amont de la station limnimétrique de Rothenbrunnen, elle enrichit le débit du Rhin postérieur, donc cette eau n'est pas non plus « perdue ». Si par contre elle apparaît en aval de cette station, une autre difficulté surgit, liée étroitement à la question de la perte d'eau dans le tronçon Ilanz (Rothenbrunnen)-Felsberg, question que je discuterai plus bas.

Il faut encore ajouter que si la constitution pétrographique du sous-sol joue sûrement un rôle appréciable dans les pays à altitude peu élevée, où la pente

moyenne est petite, donc le ruissellement lent, il en est autrement dans un pays montagneux avec une pente forte et un ruissellement rapide : ici la constitution pétrographique peut certainement être négligée[1].

En résumé, l'explication du modeste débit du Rhin postérieur par sa perméabilité relative ne résiste pas à l'examen.

Je reviendrai dans la suite sur un autre essai d'expliquer le débit si pauvre du Rhin postérieur, essai, à peine esquissé par l'auteur, à savoir l'action du fœhn.

Quant à moi, j'estime, comme je l'ai déjà fait il y a deux ans et demi dans ma première note, qu'il faut comparer les débits, en première ligne, avec les précipitations correspondantes.

Il pleut le plus abondamment dans le bassin du Rhin antérieur ; voilà pourquoi son débit est lui aussi le plus grand. Le bassin du Rhin postérieur possède un tronçon qui est très humide (le Rheinwald) grâce à la proximité des lacs italo-suisses ; mais les autres parties du bassin : celui du Rhin d'Avers, plutôt sec, et celui d'Albula, très sec, l'emportent sur le bassin du Rheinwald de telle sorte qu'en définitive le bassin du Rhin postérieur est le plus sec, et c'est pour cette raison que son débit est le plus petit. Enfin le bassin du Glenner occupe une position intermédiaire quant aux précipitations, et au débit.

J'ajoute qu'à cause d'un nombre relativement restreint des stations pluviométriques, qui sont presque toutes situées au-dessous de l'altitude moyenne des bassins, je n'ai pas osé déterminer la masse d'eau précipitée dans chaque basin. Je me suis contenté d'évaluations, en

[1] E. de Martonne. « Traité de géographie physique », Paris, 1909, p. 352 : Des pentes fortes permettent un écoulement rapide des eaux tombées à la surface du sol, en réduisant l'infiltration, même sur les terrains les plus perméables. En montagne, l'influence de la perméabilité du sol est par suite bien moindre qu'en plaine.

comparant les données pour les stations existantes et en tenant compte de la position géographique de chaque bassin.

M. Roder a pensé autrement et a fait une intéressante et courageuse tentative de construire des courbes, qui représentent les rapports entre l'altitude et la quantité des précipitations. Voyons quels sont les résultats obtenus par l'auteur :

Tout d'abord, M. Roder trouve lui aussi que le bassin du Rhin antérieur est le plus abondamment arrosé (1697 mm. par an). Evidemment, il ne faut pas attacher une importance démesurée à ce chiffre (l'auteur le reconnaît du reste lui-même), puisque la station pluviométrique la plus élevée de ce bassin se trouve à l'altitude de 1401 m. ; donc la plus grande étendue de ce bassin est, quant aux précipitations, *terra incognita*...

Mais tandis que j'ai admis que le Rhin postérieur est plus sec que le Glenner, M. Roder intervertit l'ordre. D'après lui, le bassin du Rhin postérieur reçoit 1658 mm., tandis que le Glenner seulement 1647 mm. Les stations à des altitudes plus grandes manquant, je ne peux opposer aux estimations de M. Roder que des estimations de ma part. D'un côté rien ne nous empêche de dessiner les courbes pour le Glenner et pour le Rhin antérieur un peu plus à droite, que ne le fait M. Roder, tandis que de l'autre, je pense : 1° que la courbe du Rhin postérieur (*sensu stricto*) est dessinée trop vers la droite (valeur trop grande); 2° que la même remarque s'applique au bassin du Julia.

En effet, la courbe du Rhin postérieur de M. Roder englobe aussi le Rhin d'Avers, où il n'y a pas des stations pluviométriques, mais dont la position géographique l'approche plutôt du bassin du Julia que de celui du Rheinwald ; ensuite M. Roder dessine sa courbe trop près de la station Hinterrhein qui, située vis-à-vis d'un

col, occupe pourtant une situation exceptionnelle. La même remarque, à un degré encore plus grand, concerne la station du col de Bernardin. Quant au Julia, sa courbe est décidément trop à droite. Le Pilatus, je pense, se trouve sur la courbe du Julia par erreur ? En résumé, j'estime que, grâce aux valeurs trop exagérées pour les bassins du Rheinwald et de l'Avers et pour celui du Julia, M. Roder obtient une valeur trop élevée pour les précipitations du Rhin postérieur. D'autre part, les valeurs pour le Glenner et pour le Rhin antérieur sont peut-être aussi trop petites.

Sans attacher à cette évaluation une importance qu'elle ne possède évidemment pas, il est pourtant intéressant de confronter les quantités des précipitations, obtenues par M. Roder, avec celles qui résultent de l'application aux débits des trois branches rhénanes de l'équation connue de M. Keller[1] :

$y = 0.942\,x - 405$ (y = débit; x = précipitations).

Voilà les résultats :

	Débit (mm)	PRÈCIPITATIONS		Coefficients d'écoul.	
		Roder	Keller	Roder	Keller
Rhin antérieur .	1409	1697	1926	83 [2]	73
Glenner	1230	1647	1736	75 [2]	71
Rhin postérieur .	1055	1658	1550	64	68
Tardisbruck — (Rhin ant. + + Glenner + Rhin postérieur)	931	1425	1418	65 [2]	65

[1] H. Keller, l. c., p. 611.

[2] J'ai corrigé les chiffres correspondants du tableau 18, obtenus par un procédé que j'estime incorrect. D'abord si l'auteur admet pour les coefficients d'écoulement des chiffres, anormalement bas, comme 45 et 22, pourquoi élimine-t-il les chiffres plus grands que 100 ? Les erreurs éventuelles se compenseraient. Ensuite je me représente très bien que dans un bassin alimenté par les glaciers, l'écoulement peut surpasser 100. Enfin on ne peut pas supprimer les % dépassant 100 et ne pas tracer en même temps le débit et les précipitations correspondantes.

§ 2. — Glaciations, précipitations, débit.

Pour appuyer notre manière de voir quant à l'ordre dans lequel se suivent les trois branches du Rhin alpin au point de vue des précipitations, je veux encore attirer l'attention sur la glaciation dans cette région, ce que j'ai fait déjà d'une manière sommaire dans ma première note.

La glaciation (en % de la surface totale) *des branches du Rhin alpin.*

	Altitude moyenne		Glaciation (%)
	Roder	Horwitz	
I. Rhin antérieur . .	2029 [1]	2029	7.8
II. Glenner	2012 [1]	2008	6.1
III. Rhin postérieur (sensu lato, jusqu'à Rotenbrunnen). . .	2084	—	3.5
a) Rhin postérieur . .	—	2228	12.9
b) Rhin d'Avers . . .	—	2326	4.9
c) Julia.	2194 [1]	2195	1.7
d) Albula Landwasser .	2002	—	2.4

D'où dépend la glaciation d'un bassin ? Sans doute, principalement de la quantité des précipitations qui y tombent[2]. Il est vrai que la configuration et l'orientation du bassin, son altitude moyenne, sa température moyenne

[1] Les altitudes moyennes, obtenues par M. Roder à l'aide d'une longue méthode, se distinguent à peine des valeurs, obtenues par moi, par la méthode rapide des moyennes (l'altitude moyenne d'une surface entre les isohypses de 300 et 600 par exemple $= \frac{300 + 600}{2} = 450$). Je crois aussi que les quantités des précipitations correspondantes n'auraient pas subi des modifications sensibles, si on les avait calculées d'après la méthode simplifiée. La méthode de la courbe hypsographique est aussi très commode.

[2] M. Roder est, du reste, du même avis (l. c., p. 30).

jouent aussi un certain rôle. Mais nos chiffres montrent que ces facteurs jouent un rôle secondaire. En effet, d'après l'altitude moyenne, relativement élevée du Rheinwald (jusqu'au Rhin d'Avers, altit. moyenne 2228 m.), sa température moyenne devrait être aussi relativement élevée[1], mais malgré cela sa glaciation, à cause de l'abondance des précipitations, est la plus grande de tous les bassins secondaires du Rhin alpin. L'altitude moyenne[1], naturellement dans les limites assez étroites seulement que présente notre région, ne joue non plus le rôle décisif. Il suffit de comparer le bassin du Julia, le plus élevé, qui est le plus modestement glacé (1.7 %) avec celui du Rhin antérieur, beaucoup plus bas, mais dont la surface glacée est de 7.8 %. Le fœhn, ce vent chaud et sec, si caractéristique pour certaines vallées alpines que j'ai mentionné dans ma première note et dont je reparlerai plus bas, ne joue lui aussi qu'un rôle secondaire. Le Glenner étant une vallée transversale, est certainement bien éprouvé par le fœhn, mais malgré son altitude relativement modérée, sa glaciation est beaucoup plus grande que celle du bassin du Rhin postérieur, plus élevé, et où le fœhn n'agit pas avec la même force dans tous les tronçons, puisque ceux-ci sont orientés d'une manière très différente.

Par contre, si nous prenons comme fil conducteur les précipitations, la glaciation des bassins secondaires s'explique très bien conformément à nos vues. Des trois branches principales du Rhin alpin, le Rhin antérieur est le plus glacé, parce qu'il est le plus humide (7.8 %). Le Rhin postérieur (*sensu lato*) est le moins glacé (3.5 %),

[1] Il est possible cependant que la température plus élevée, due à la loi de « Massenerhebung » (de Quervain) est plus ou moins compensée par le fait même d'altitude plus élevée de sorte que la surface d'un bassin, en moyenne plus haut qu'un autre bassin, aurait la même température que la surface totale de ce dernier.

parce qu'il est le plus sec ; cette circonstance est d'autant plus frappante que le bassin du Rhin postérieur est beaucoup plus élevé que celui du Rhin antérieur. Enfin le bassin du Glenner occupe une position intermédiaire, soit quant aux précipitations, soit quant à la glaciation. Nous voyons donc que les trois branches principales du Rhin alpin se comportent quant aux précipitations, au débit et à la glaciation, d'une manière tout-à-fait concordante.

Les chiffres pour la glaciation des tronçons du bassin du Rhin postérieur sont non moins probants. Ici c'est évidemment le Rheinwald, le plus humide, qui est le plus glacé (12.9). Par contre la glaciation des bassins du Rhin d'Avers (4.9), du Julia (1.7) et de l'Albula-Landwasser (2.4) est beaucoup plus petite, parce que ces bassins sont beaucoup plus secs. En particulier, notre opinion que M. Roder a exagéré dans ses courbes l'humidité des bassins du Rhin d'Avers et du Julia se confirme parce que le bassin du Rhin d'Avers est beaucoup moins glacé que celui du Rheinwald, et le bassin du Julia possède la glaciation la plus modeste de tous les tronçons rhénans, parce qu'il est très sec.

Ainsi l'examen de la glaciation des différents bassins de la région du Rhin alpin nous amène à la conclusion que cette glaciation se lie très étroitement aux débits constatés et aux précipitations évaluées par moi, tandis qu'elle ne pourrait pas être facilement mise en harmonie avec les vues de M. Roder, concernant le même phénomène.

§ 3. — **Les facteurs d'écoulement des tronçons du Rhin alpin.**

C'est un lieu commun dans l'hydrologie que sur un territoire caractérisé par *un climat plus ou moins homogène*, comme par exemple le territoire de l'Europe

centrale, le facteur d'écoulement de chaque bassin fluvial ($\frac{\text{débit}}{\text{précipitations}} \times 100$) augmente avec la quantité des précipitations, si toutefois la constitution pétrographique de chaque bassin n'est pas trop différente. J'ai déjà liquidé plus haut cette dernière condition. Quant à la loi énoncée, sa démonstration est facile à faire puisque l'évaporation augmente avec la quantité des précipitations beaucoup plus lentement que ces dernières, tandis que le débit le fait beaucoup plus vite.

Dans le cas qui nous occupe, appliquant avec toutes réserves l'équation de M. Keller, nous trouvons que, tandis que les précipitations augmentent de 1926 mm. (Rhin antérieur) — 1550 mm. (Rhin postérieur) = *376 mm.*, l'évaporation n'augmente que de 517 mm. (Rhin antérieur) — 495 mm. (Rhin postérieur) = *22 mm.*, et le débit de 1409 mm. (Rhin antérieur) — 1055 mm. (Rhin postérieur) = *354 mm.*

Il est donc tout naturel de s'attendre au résultat obtenu par M. Roder, que le facteur d'écoulement soit le plus grand dans le bassin du Rhin antérieur et le plus petit dans celui du Rhin postérieur.

M. Roder ne parle guère de cette loi, si connue, qui règle les facteurs d'écoulement. Ainsi au lieu d'admettre que le facteur d'écoulement est plus grand dans le bassin du Rhin antérieur que dans celui du Glenner tout simplement parce que celui-ci est plus sec que celui-là, M. Roder cherche de nouveau autre chose. Il dit d'abord que la pente moyenne dans le bassin du Rhin antérieur est rapide (Steilheit des Geländes) ; cependant il néglige de nous démontrer que dans celui du Glenner elle est moins rapide. Ensuite, il évoque l'imperméabilité plus grande du sol dans le bassin du Rhin antérieur en comparaison avec celui du Glenner.

Enfin comme facteur le plus important, M. Roder fait intervenir le *fœhn*, donc il conteste pour notre région

l'homogénéité du climat, exigée par la loi, énoncée au commencement de ce chapitre.

Arrêtons-nous un peu plus longuement sur ce facteur; tout d'abord, on peut se demander pourquoi M. Roder ne s'en est pas servi quand il expliquait les débits *absolus* des trois branches rhénanes ; il a alors invoqué exclusivement les différences de perméabilité. On ne comprend pas cette contradiction, puisque si le fœhn, comme le veut l'auteur, diminue le facteur d'écoulement dans le bassin du Glenner et du Rhin postérieur, il ne le fait pas autrement, que par l'augmentation de l'évaporation au dépens du débit *absolu*.

Quoiqu'il en soit, examinons le rôle que peut jouer le fœhn dans la diminution du débit, en augmentant l'évaporation. Premièrement, il faut remarquer que c'est seulement dans les fonds des vallées[1] que le fœhn agit comme vent sec et chaud, qui absorbe l'humidité. Plus haut il peut même fournir de l'eau (Comp. Roder, l. c., p. 136). Cette localisation de l'action desséchante du fœhn pèse d'autant plus que précisément dans les parties plus élevées des massifs montagneux en question les précipitations sont les plus abondantes. On est donc obligé d'admettre pour les régions inférieures des vallées une très grande force desséchante, si l'on veut expliquer exclusivement par ce facteur les débits plus petits du Glenner et du Rhin postérieur.

Ensuite rappelons que le fœhn agit d'une manière inégale aussi *dans le temps*. Il est le plus fréquent pendant les mois de mars, avril, mai, octobre et novembre, tandis qu'il est le plus rare pendant les mois chauds, quand l'évaporation est la plus efficace[2]. D'après Supan[3],

---

[1] *Maurer, Bilwiller, Hess.* « Das Klima der Schweiz », I, p. 185 : ...Der Grad der Erwärmung und die Trockenheit, die der Föhn mit sich führt, ist naturgemäss in den Tälern selbst am grössten

[2] « Das Klima der Schweiz », p. 187.

[3] Physische Geographie, 1911, p. 144.

voici les températures moyennes de Zurich et Altdorf (endroit du fœhn typique) :

	Altitude (m.)	Hiver	Printemps	Eté	Automne	Année
Zurich	470	−0.3°	8.9	17.6	8.8	8.7
Altdorf	454	+1.1°	9.5	17.3	10.0	9.5

Il s'ensuit donc que pendant l'été, période favorable à l'évaporation, quand les précipitations sont les plus abondantes et tombent à la montagne surtout en forme de pluie, et quand la température est la plus élevée, le fœhn, évoqué par M. Roder, fait presque totalement défaut.

Enfin, M. Roder omet d'indiquer d'une manière plus détaillée la *localisation* du fœhn dans les divers tronçons rhénans. Ainsi, puisque le débit du Rhin postérieur est de 33,7 litres et celui du Glenner 39.0 litres, il faudrait conclure, selon M. Roder, que celui-là est beaucoup plus éprouvé par le fœhn que celui-ci, d'autant plus que, toujours d'après M. Roder, la quantité des précipitations qui tombent dans le bassin du Rhin postérieur est plus grande que celle du Glenner (à cause des arguments développés plus haut, j'écarte le facteur de la perméabilité).

Or, pour des raisons faciles à comprendre[1], « les vallées transversales de la chaîne centrale des Alpes, orientées de SE vers NW ou de S vers N, sont balayées par le fœhn de la manière la plus efficace, tandis que dans les vallées longitudinales (de E vers W) les phénomènes du fœhn typique sont beaucoup plus atténués ». Appliquons ce principe au cas du Rhin alpin et nous comprendrons sans difficulté que l'action du fœhn devrait être plus énergique dans la vallée transversale du Glenner que dans la vallée du Rhin postérieur (*sensu lato*), où les diverses branches secondaires sont dirigées très différemment. Or, si l'on voulait expliquer le débit

[1] « Das Klima der Schweiz », Vol. I, p. 185.

plus petit du Rhin postérieur par l'action du fœhn, on devrait s'attendre juste au contraire. Il ne faut pas oublier non plus que le bassin du Rhin antérieur, quoique en grande partie orienté longitudinalement, possède cependant des branches transversales (le Rhin de Somvix et la vallée de Medels — surtout cette dernière[1]), où l'action du fœhn est très efficace.

Pour se convaincre du rôle dominant que M. Roder attribue au fœhn, il est instructif de comparer l'évaporation dans les trois branches rhénanes, calculée d'après l'équation de Keller avec celle obtenue des chiffres de M. Roder.

Evaporation annuelle.

	Roder.	Keller.	Différence.
Rhin antérieur	288 mm.	517 mm.	+229 mm.
Glenner	417 mm.	506 mm.	+89 mm.
Rhin postérieur	603 mm.	495 mm.	—108 mm.

L'évaporation dans le bassin du Rhin postérieur serait donc de plus de 300 mm. plus grande que celle dans le bassin du Rhin antérieur, et d'un peu moins de 200 mm. que celle dans le bassin du Glenner. Sans considérer les chiffres obtenus de l'équation de Keller comme répondant exactement à la vérité, il est pourtant douteux que les irconstances spéciales admises par M. Roder pour le Rhin grison puissent entraîner des écarts si considérables de cette équation, établie aussi pour les fleuves alpins.

En résumé, sans vouloir contester l'action desséchante du fœhn, je crois cependant que M. Roder a singulièrement exagéré son rôle dans le cas en discussion : d'abord dans la même vallée cette action est localisée dans les parties basses, ensuite le fœhn est très rare en été, enfin il ne se cantonne pas exclusivement dans le bassin du Rhin postérieur, mais doit même être plus efficace dans

[1] « Das Klima der Schweiz », Vol. I, p. 185.

celui du Glenner et jouer quelque rôle dans le bassin du Rhin antérieur.

Quant à moi, je partage l'opinion de M. Roder que le facteur d'écoulement est le plus élevé chez le Rhin antérieur et le plus petit chez le Rhin postérieur, mais j'attribue ce phénomène surtout au phénomène parallèle des précipitations.

§ 4. — L'anomalie de l'écoulement du Rhin alpin.

Déjà dans ma première publication (1912), j'ai attiré l'attention sur une singulière perte d'eau qui a lieu dans le tronçon de la vallée du Rhin. entre les stations Ilanz et Rothenbrunnen d'un côté et celle de Felsberg de l'autre; j'ai attribué cette perte à l'infiltration de l'eau du fleuve pendant son parcours sur des épaisses masses perméables. Dans mon travail de 1913, je me suis occupé plus en détail de cette anomalie et j'ai conclu qu'au moins une partie de cette perte que j'ai évaluée à 15 m^3 par seconde (moyenne de six ans) doit être attribuée à l'infiltration de l'eau du fleuve ; le reste aurait été causé par les changements non enregistrés du fond du lit aux quatre stations qui entrent en jeu.

M. Roder, lui, a étendu par extrapolation son étude sur 15 ans (1894-1909), en pensant que de telle manière les résultats seront plus exacts. Je ne partage pas son opinion, parce que, en prolongeant son étude sur 15 ans, sans avoir possédé des données suffisantes en ce qui concerne les changements des lits, l'auteur a introduit une nouvelle source d'erreurs. La supériorité de sa période de 15 ans vis-à-vis de celle de 12 (resp. 6) ans, fournie par les documents existants, est donc illusoire.

Quoi qu'il en soit, la perte signalée par moi et qui est, pour la période de 6 ans, de *0.8 m^3* [1] (la somme des dé-

[1] Distinguer de la perte totale, qui s'évalue en additionnant à la perte constatée —0.8 m^3 le débit attendu du tronçon Ilanz (Rothenbrunnen)-Felsberg, de 14 m^3.

bits aux stations Ilanz et Rothenbrunnen réunis est de 103.1 m³, tandis que le débit à la station Felsberg est de 102.3 m³) est beaucoup plus grande chez M. Roder, pour sa période de 15 ans : elle est de *—6.5 m³*. M. Roder ne présente pas cette anomalie sous la forme précise comme nous l'avons fait dans notre mémoire et le faisons ici. Mais elle apparaît pourtant nettement de la Table 18 de l'auteur sous la forme du facteur d'écoulement, du Rhin à Felsberg, de 59 %, donc très bas. Ce facteur est le plus bas de tous les facteurs d'écoulement dans le bassin du Rhin alpin[1]. Le problème de l'anomalie s'est posé donc devant M. Roder.

D'abord (p. 135), il cherche de s'en débarrasser en rappelant qu'il s'agit dans son mémoire d'évaluations[2] ; mais il se rend compte lui-même qu'on ne peut pas d'un côté évoquer les inexactitndes des données, quand il s'agit d'expliquer certaines anomalies, même très considérables, et de l'autre côté tirer de ces mêmes données des autres conclusions, qu'on considère comme répondant à la vérité (par exemple quant aux débits différents des trois branches).

Pour cette raison, quelques pages plus loin, il énumère rapidement les divers facteurs qui peuvent jouer un rôle dans le problème en question : les données non tout-à-fait certaines pour la station de Tardisbruck, le courant d'eau souterraine (Grundwasserstrom), enfin le fœhn. Cependant c'est ce dernier facteur seulement qui est admis par l'auteur comme facteur principal pour expliquer la perte signalée.

---

[1] J'ai expliqué déjà plus haut (p. 148) pourquoi, entre autres, je n'admets pas le facteur d'écoulement du 55 % (au lieu de 65 %) pour la région V — (I + II + III) (Rhin Tardisbruck — [Rhin antérieur + Glenner + Rhin postérieur]) de M. Roder.

[2] « Hätten die Zahlen der Tab. 18 den Sinn absoluter Werte, so müssten durch Rechnung für die Zwischengebiete Ilanz bis Tardisbruck, sowie *Ilanz-Felsberg* (c'est moi qui souligne) und Felsberg-Tardisbruck Resultate zu gewinnen sein, die sich harmonisch denen der Gebiete mit direkter Messung einordnen würden ».

J'ai formulé déjà plus haut mes réserves contre l'attribution au fœhn d'un rôle trop important, comme facteur desséchant. Dans le problème de la perte d'eau, constatée à la station Felsberg, le rôle attribué par M. Roder au fœhn, devient énorme. En effet, d'après notre auteur, la quantité des précipitations annuelles qui tombent dans le tronçon Ilanz (Rothenbrunnen)-Felsberg est de 1457 mm., tandis que la perte de 6,5 m^3 représente une couche d'eau de 465 mm. Donc, d'après M. Roder, le fœhn aurait « fauché » dans le tronçon envisagé

$$1457 \text{ mm.} + 465 \text{ mm.} = 1922 \text{ mm.}$$

ou en tout cas la partie la plus considérable de cette quantité.

D'abord on peut se demander où le fœhn prend cette quantité de 465 mm. d'eau qui n'est pas incluse dans la quantité des précipitations. Est-ce du fleuve lui-même ? Cela représenterait déjà un travail considérable.

Ensuite pour apprécier cette énorme évaporation qui est une condition nécessaire de l'hypothèse de M. Roder, il est utile de la comparer avec l'évaporation dans les autre tronçons (je cite les chiffres d'après les résultats de M. Roder) :

	Evaporation annuelle.
Rhin antérieur	288 mm.
Glenner	417 »
Rhin postérieur	603 »
Ilanz (Rothenbrunnen)-Felsberg	**1922** »
Felsberg-Tardisbruck	**14** »

Quand on est devant des valeurs pour l'évaporation, comme celles citées tout à l'heure, il ne suffit nullement d'affirmer en quelques mots que c'est le fœhn qui en est responsable. Il est indispensable d'essayer d'appuyer cette affirmation par une étude plus détaillée des données dont disposait l'auteur. C'est ce que j'ai fait dans

un mémoire spécial pour mes hypothèses de l'infiltration et des changements des lits.

Essayons donc à notre tour de nous former une opinion sur la question, si vraiment l'action du fœhn dans le tronçon Ilanz-Felsberg peut être si énorme en comparaison de l'action de ce vent en amont et surtout en aval de ce tronçon.

Il est vrai que dans le bassin de la Rabiusa et sur la petite distance du Rhin postérieur (Rothenbrunnen-Reichenau) l'action du fœhn doit être très efficace. Seulement il ne faut pas perdre de vue que, contrairement à l'opinion de M. Roder, ce n'est pas le cas dans la partie de la vallée principale Ilanz-Felsberg, car elle est longitudinale. Ensuite j'ai mentionné déjà que, à cause de son orientation, il faut envisager la vallée du Glenner comme éprouvée par le fœhn. Enfin, quant au dernier tronçon (Felsberg-Tardisbruck), s'il est vrai que l'action du fœhn est plutôt faible dans les vallées de la Plessur et de la Landquart, en revanche, dans le tronçon principal (depuis Coire[1]) le fœhn agit particulièrement bien.

Nous voyons donc que le tronçon Ilanz (Rothenbrunnen)-Felsberg n'est pas du tout si privilégié par le fœhn en comparaison avec le Glenner et le tronçon Felsberg-Tardisbruck, comme on aurait pu conclure de l'énorme différence des valeurs pour l'évaporation : 1922 mm. — 603 mm. — 14 mm.

Je ne peux donc pas m'associer à l'affirmation de M. Roder que c'est le fœhn qui doit être rendu responsable de la perte signalée.

Et c'est précisément la différenee essentielle entre l'explication de la perte donnée par M. Roder (fœhn) et

[1] « Das Klima der Schweiz », p. 185 : « ... *das untere Rheintal von Chur bis zum Bodensee* (c'est moi qui souligne) ist dem Föhn am meisten ausgesetzt ».

la mienne (infiltration) que le fœhn n'est pas exclusivement cantonné dans le tronçon Ilanz (Rothenbrunnen)-Felsberg, tandis qu'il y a un contraste frappant entre le sol sur lequel coule le Rhin en amont d'Ilanz et de Rothenbrunnen et celui en aval de ces deux stations ; là des roches presque partout imperméables, couvertes seulement de temps en temps par des minces revêtements d'alluvions et de dépôts fluvio-glaciaires, ici des masses épaisses d'alluvions, d'éboulements et de glaciaire.

En résumé, sans vouloir nier totalement l'influence desséchante du fœhn[1], je crois cependant que la part de la perte, due à l'infiltration est de beaucoup plus considérable.

§ 5. — L'influence des glaciers sur le régime des eaux rhénanes.

M. Roder parle peu de cette importante question. Il résume (p. 31-33) le mémoire de M. Gaudenzio Fantoli (d'après une analyse du prof. Gravelius), qui démontre que les glaciers, relativement peu considérables des bassins des lacs de Côme et Majeur, exercent sur le régime de ces lacs une influence régulatrice. Il applique les résultats, obtenus par M. Fantoli, aux bassins rhénans, sans cependant savoir tirer des chiffres dont il disposait pour ces bassins des conclusions directes.

A la page 138, M. Roder indique que les variations (la différence entre le maximum et le minimum) sont plus grandes dans les débits des bassins que dans les précipitations correspondantes. De telle sorte la différence si profonde, qui existe entre le régime des débits dans les régions glacées et celles dépourvues de glaciers a totalement échappé à l'auteur, puisque d'après lui,

[1] Je rappelle que dans ma première note je mentionne aussi l'action du fœhn, mais je la mets en rapport avec la glaciation.

dans ces dernières, les variations des débits sont elles aussi plus grandes que celles des précipitations.

C'est grâce à ma méthode des « périodes cumulées », expliquée en détail dans un mémoire récent[1] que j'ai réussi à démontrer avec précision en quoi consiste la différence des régimes des cours d'eau, alimentés et non alimentés par les glaciers. Dans ces derniers, il y a une tendance à une exagération des débits par rapport aux précipitations correspondantes (régime des précipitations avec contrastes accentués), tandis que dans les premiers par contre il y a une tendance à une atténuation de débits par rapport aux précipitations (régime des précipitations avec contrastes atténués). Comme exemple, j'ai choisi, entre autres, justement les trois branches principales du Rhin alpin.

Conclusion.

En terminant cette analyse du mémoire de M. Roder, je reconnais y avoir trouvé quelques informations utiles. Cependant, d'un côté, il a consacré beaucoup trop de temps à des calculs qui n'étaient peut-être pas nécessaires (la longue méthode de la détermination des altitudes moyennes, appliquée par M. Roder, a donné des valeurs qui se distinguent très peu de celles calculées par moi beaucoup plus vite à l'aide du principe de la moyenne; la méthode intéressante de la détermination des quantités des précipitations se heurte à des objections vu les résultats obtenus). De l'autre côté, M. Roder

[1] L. Horwitz. «Contribution à la connaissance de l'écoulement en Europe». Extrait des Comptes-rendus de la Société des sciences de Varsovie, 1913, VIe année, fasc. 8. — Il est vrai que je ne me sers pas dans mes travaux des années hydrologiques d'octobre en octobre. Je me rendais très bien compte de ce défaut (« Sur une particularité », etc., p. 33), mais en comparant quelques-uns de mes chiffres (année de calendrier) avec ceux de M. Roder (année hydrologique) je me suis convaincu que les écarts sont peu importants et ne changent pas mes conclusions.

n'a pas approfondi d'une manière satisfaisante les autres problèmes beaucoup plus aigus (débits, précipitations, évaporation, perte d'eau) ou ne les a pas même abordés (débits semiannuels et mensuels par rapport aux précipitations).

Lausanne, en juin 1914.