

Zeitschrift: Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles
Herausgeber: Société Vaudoise des Sciences Naturelles
Band: 50 (1914-1915)
Heft: 185

Artikel: Sur les précipitations et l'écoulement du Rhin alpin
Autor: Roder, Ernest
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-269637>

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: 18.04.2026

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

SUR LES PRÉCIPITATIONS ET L'ÉCOULEMENT DU RHIN ALPIN

Réplique à M. le Dr L. Horwitz à propos de son compte-rendu donné dans le N° 183 du Bulletin de la Société vaudoise des sciences naturelles.

PAR

le Dr Ernest RODER

M. Horwitz, dans son compte-rendu sur ma thèse de doctorat (*Niederschlag und Abfluss im bündnerischen Rheingebiet, 1894-1909*), a analysé mon travail d'une manière un peu partielle. Cela s'explique peut-être par le simple fait que dans mon mémoire deux publications de M. Horwitz ont été involontairement passées sous silence. La première de ces notes est une communication préliminaire de deux pages et demie, parue au mois de janvier 1912. La seconde est datée du mois de mars 1913, moment où ma thèse était déjà acceptée par les autorités universitaires, quatre mois après mon examen. Cette publication de mars 1913 (35 pages) traite des irrégularités trouvées dans les débits du Rhin à Felsberg. M. Horwitz arrive à la conclusion suivante (p. 54-56, N° 178 du *Bulletin*) :

» 1. Dans la vallée du Rhin alpin, à la station limnimétrique Felsberg, a été constatée, comme moyenne de six ans, une perte de débit par rapport à celui d'amont ; cette perte a été évaluée à 15 mètres cubes en moyenne

annuelle par seconde, tandis que le débit total annuel à la station Felsberg est de 102 mètres cubes.

» 2. Pour expliquer cette perte, l'hypothèse la plus facile à faire est qu'elle n'est qu'apparente et due aux remaniements du fond, non enregistrés par les levés. Cependant cette hypothèse se heurte à des difficultés.

» 3. Une autre explication de la particularité signalée serait à chercher dans l'infiltration. En effet, bien loin en amont de la station Felsberg, le sol de la vallée du Rhin, presque partout imperméable, est remplacé par de grandes masses perméables (éboulements, moraines, alluvions) qui facilitent énormément l'infiltration...

» 9. Nous constatons ainsi que des deux hypothèses (remaniements du fond et infiltration) aucune, appliquée isolément, n'est entièrement satisfaisante. Par conséquent, il est tout à fait possible que les deux facteurs aient agi ensemble.

» 10. L'anomalie intéressante du débit du Rhin alpin à la station Felsberg ne peut donc pas être expliquée complètement pour le moment, à cause des données insuffisantes....» Voici donc les points principaux du résumé de M. Horwitz.

J'ai commencé ma thèse sous la direction de M. le professeur Brückner en 1904. La plus grande partie de mon travail a été terminée en 1908. Le peu de loisirs que me laisse l'enseignement ne me permit pas de le terminer avant 1912. Diverses circonstances, comme la présentation de mon travail pour le concours du prix Claparède, m'empêchèrent de le donner à l'impression avant l'hiver 1913-1914. Dans cet intervalle, les notes de M. Horwitz m'ont échappé. Je le regrette d'autant plus qu'il eût été intéressant de discuter certains points. Je ne veux pas manquer de dire que M. Horwitz a essayé d'éclaircir en particulier et sans doute d'une manière intéressante la question de l'infiltration. Cependant, à la page 137 de

mon travail, on trouve presque la même remarque qu'il expose sous 9. de son résumé, c'est-à-dire que l'infiltration seule ne suffit pas pour expliquer les différences du débit des stations limnimétriques.

1. Dans son compte-rendu sur ma thèse, M. Horwitz s'est posé premièrement la question suivante (§ 1, p. 117, N° 183 du *Bulletin*) : « Le débit des branches principales du Rhin alpin dépend-il de la constitution pétrographique de leurs bassins ou des précipitations qui y tombent ? »

Dans ce premier paragraphe, M. Horwitz semble croire que je donne plus d'influence à la constitution pétrographique du sous-sol qu'à la quantité des précipitations. Suivant mes calculs, les précipitations dans le bassin du Rhin antérieur s'élèvent à 1697 millimètres, dans le Glenner à 1647, dans la vallée du Rhin postérieur à 1658 millimètres. Les facteurs d'écoulements sont respectivement de 81, 72, 64 %. Les différences qu'on constate dans les précipitations de ces trois bassins partiels, — qui constituent deux tiers du bassin rhétique, — sont trop peu importantes pour en déduire les différences qui existent entre les facteurs d'écoulement. Je suis encore actuellement persuadé que les différences dans les facteurs d'écoulement sont dues à d'autres influences, comme la constitution pétrographique, la pente et la distance moyennes, c'est-à-dire la longueur du chemin de l'eau jusqu'au profil de jaugeage. Il est d'autant plus naturel d'arriver à ce résultat que tous les calculs démontraient que le tronçon Ilanz (Rhin) a le plus grand coefficient d'écoulement ; ce tronçon est reconnu en même temps comme le plus imperméable.

A ce propos, M. Horwitz cite les chiffres de Penck sur la partie du bassin de l'Elbe située en Bohême. On conviendra qu'entre le bassin de l'Elbe et le bassin rhénan il y a de grandes différences de climat et d'orographie. En effet, le bassin de l'Elbe jusqu'à Tetschen a

douze fois la surface du bassin rhénan jusqu'à Tardisbrücke et soixante-cinq fois la surface du tronçon Rhin antérieur-Ilanz. De plus, les chaînes de montagnes qui limitent la Bohême sont beaucoup moins hautes. De ces deux données, on déduit aisément que la pente moyenne des rivières est moins forte que dans les Grisons. La moyenne des précipitations de la Bohême (70 cm.) est inférieure de moitié à celle des précipitations rhétiques. L'évaporation en Bohême absorbe plus des deux tiers des précipitations, tandis que dans le bassin rhétique elle prend moins d'un tiers. Ces différences une fois établies, il est peu vraisemblable que d'autres phénomènes hydrographiques doivent se montrer parallèles.

Or le coefficient d'écoulement est plus petit dans les parties imperméables de la Bohême (de 3 à 4 %) que dans les parties perméables. Dans les hautes Alpes du bassin rhénan, c'est le contraire. C'est une différence de plus à noter entre les deux bassins. Je vais expliquer cette particularité des hautes Alpes grisonnes :

Dans le bassin très imperméable du Rhin-Ilanz, à un moment où les précipitations tombent encore, *une grande partie de l'eau passe le profil de jaugeage*, ce qu'il est facile de déduire des observations limnimétriques journalières. Les pertes causées par l'évaporation ne peuvent entre temps qu'être minimales.

Dans le bassin du Rhin postérieur, par contre, la perméabilité du sous-sol, un amas considérable d'éboulis, une certaine richesse en forêts concourent pour empêcher la circulation de l'eau. Dès le commencement d'une période de temps sec, surtout de fœhn, on trouve dans les parties plus perméables, *des quantités d'eau relativement considérables en amont* du profil de jaugeage ; ainsi l'évaporation est facilitée, bien que l'eau profondément infiltrée dans le sol soit protégée en partie contre l'évaporation. Mentionnons que 37 % seulement

du tronçon Ilanz-Rhin sont à une distance de plus de 30 kilomètres du point de sortie, tandis que, dans la région du Rhin postérieur, ce coefficient monte à 60 %.

2. Il me paraît indispensable de noter ici le but principal de ma thèse. Je visais à obtenir, en me servant de la méthode la plus précise, *les évaluations les plus exactes possibles qu'on pût tirer du matériel d'observation sur les précipitations et le débit*. Bien qu'il fût évident que les mesures faites dans les stations rhénanes étaient entachées de certaines erreurs (plus de 10 % dans certaines années), je me suis efforcé de ne pas les augmenter par des calculs approximatifs.

Pour cette raison, il était indispensable d'évaluer les hauteurs moyennes de chaque étage de 300 en 300 mètres. Ce calcul devait être répété pour chaque bassin. M. Horwitz qualifie cette partie de mon travail aussi bien que d'autres « de longue méthode » ou bien « de calculs qui n'étaient peut-être pas nécessaires. » Il se base, pour dire cela, sur le fait que mes chiffres représentant la valeur moyenne des altitudes de certaines régions ne diffèrent presque pas des chiffres qu'il a obtenus par une méthode plus rapide, mais moins rigoureuse. Dans son travail « Sur une particularité du Rhin alpin », M. Horwitz n'a pas trouvé nécessaire de baser ses calculs sur l'année hydrographique (du 1^{er} octobre au 30 septembre). Il n'ignorait pourtant pas que les masses de neige tombées avant le 31 décembre ne fondent pas dans la même année et que par conséquent il peut en résulter des différences sensibles dans l'évaluation de l'écoulement, surtout dans un pays comme le canton des Grisons.

3. M. Horwitz s'est contenté, pour les précipitations du Rhin alpin, d'évaluations et a comparé les résultats des différentes stations tout en considérant leur situation géographique. J'ai fait de même (voir p. 42-57 et 67-107) et si M. Horwitz soutient que j'ai raisonné autrement,

c'est qu'il ne m'a pas compris. Comme je l'ai montré, mes courbes suivent des points d'observation qui étaient donnés. Je n'ai pris une certaine liberté, du reste bien limitée, qu'à une altitude où il fallait allonger les courbes au-dessus des points d'observation les plus élevés, circonstance que je n'ai du reste point cachée. Ayant déterminé les relations entre les précipitations et le débit, je considérais ma tâche comme résolue pour le moment. Si je n'ai pas discuté les différences dans les résultats comme l'aurait voulu M. Horwitz, c'est que pour une partie des recherches je n'avais comme base que des valeurs approximatives; j'ai craint de tomber dans cette erreur souvent rencontrée dans les raisonnements trop hâtifs, à savoir qu'on se laisse conduire par les résultats qu'on attend de ses déductions.

4. M. Horwitz m'a mal lu s'il croit que j'ai étendu mes calculs à une période de quinze ans pour améliorer d'un coup tous mes résultats. Comme je l'ai dit aux pages 32, 33, 121 et suivantes, je ne me suis astreint à cette corvée que pour éliminer les erreurs causées par l'influence des masses d'eau amoncelées sous forme solide. Le calcul des précipitations des trois dernières années (1909-1912) ne présente pas, en effet, les grandes difficultés qu'on rencontre en étudiant les années précédentes. Par contre, les évaluations du débit peuvent être qualifiées de calculs approximatifs. Les nouveaux résultats ont été ajoutés, non sans réserve, aux calculs des années précédentes.

5. M. Horwitz lui-même ne doute pas que le foehn ne joue un rôle important dans les bassins du Rhin alpin. Il faudrait étudier à part l'influence de ce facteur. De la comparaison entre les précipitations et l'écoulement, j'ai cru pouvoir déduire que l'évaporation causée par le foehn est la plus considérable près du confluent du Rhin antérieur et du Rhin postérieur, surtout dans le tronçon du Domleschg. M. Horwitz semble croire que le foehn est

plus puissant au Vals, Lugnez, Somvix, Medels. Il est vrai que toutes ces vallées s'ouvrent vers le nord. Il ne faut pas oublier qu'à la sortie des vallées latérales s'élève, sur l'autre rive du Rhin (ant.), la grande barrière du Tödi, tandis que dans la vallée de la Reuss, citée par M. Horwitz, avec Altdorf, endroit où l'influence du föehn se montre d'une manière classique, l'écoulement de l'air se fait sans encombre au nord et au nord-ouest. Quant à moi, je trouve précisément qu'il y a une certaine ressemblance entre la vallée du Rhin postérieur et celle de la Reuss, puisque le föehn trouve une sortie le long du Rhin aussi bien qu'aux bords de la Reuss, qu'il prenne son chemin au-dessus du col de Kunkels (1351 m.) vers la Tamina ou qu'il se dirige vers Coire et Tardisbrücke. La différence entre les deux contrées à parcourir par le föehn est surtout que la route principale de la Reuss, dans le lac des Quatre-Cantons, se dirige pour peu de temps vers l'ouest, celle du Rhin postérieur vers l'est.

J'ai évalué l'augmentation de l'évaporation près du confluent du Rhin postérieur avec le Rhin antérieur à 10 % (voir p. 138 de ma thèse). Retenons ce chiffre, parce que M. Horwitz ne tarde pas dans son compte-rendu (p. 156 à 158) à mettre ce passage en scène pour obtenir un coup de théâtre. Il semble que j'aurais dû établir d'une manière plus précise mes explications sur le rôle du föehn. Ce malentendu regrettable a induit M. Horwitz à un calcul courageux. Il s'y prend de la manière suivante : d'abord il cite la restriction que j'ai faite en disant que les chiffres du débit des tronçons de Ilanz-Felsberg et Felsberg-Tardisbrücke ne se trouvent pas en harmonie complète avec les résultats des cinq bassins à jaugeage direct. Ensuite il transforme le débit négatif du tronçon Ilanz-Felsberg en précipitations qu'il additionne aux précipitations effectives. C'est ainsi qu'il arrive à un

chiffre étonnant d'évaporation, soit 1922 millimètres. Puis il énumère l'évaporation des bassins Ilanz-Rhin, Glenner, Rhin postérieur et ajoute en grosses lettres le chiffre énoncé et pas moins de 14 millimètres pour le tronçon Felsberg-Tardisbruck. Plessur et Landquart restent hors de calcul comme facteurs sans importance. Les deux chiffres attribués aux deux tronçons ont, paraît-il, été soulignés pour illustrer le fait curieux *que le premier tronçon ne constitue que 10 %*, le second même seulement *que 3 % du bassin entier de Tardisbrücke*. M. Horwitz veut ainsi faire croire que j'ai déclaré le foehn responsable des 1922 millimètres disparus.

6. Une remarque maintenant au sujet de la phrase de M. Horwitz (p. 150 et 151) : « 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 %) parce qu'il est le plus sec. » Cette constatation donnée dans la forme ci-dessus pourrait causer des malentendus. Les précipitations peuvent être considérées comme facteur principal de la glaciation. Ce serait tout de même une erreur de vouloir établir les chiffres 7,8 % et 3,5 % comme mesure des précipitations de ces contrées, ce qu'on est tenté de faire, séduit par la manière de parler de cet auteur. Cherchons à nous expliquer de la manière la plus concise possible.

Il n'y a que le 0,7 % du bassin total de Tardisbrücke qui dépasse une altitude de 3000 mètres. Les sommets nombreux qui culminent à cette altitude sont du reste rangés presque exclusivement sur les bords du bassin. Ainsi le bassin du Rhin alpin ne comporte dans la région des neiges persistantes que de faibles surfaces. En discutant un problème de glaciation, on ne peut pas envisager uniquement les précipitations, mais aussi d'autres facteurs importants, comme la situation géographique, la configuration du sol, l'altitude, la *Massenerhebung*, la température.

La situation effective devient plus évidente par le tableau suivant :

	Surface en km ²	Surface au-dessus de 2700 m. alt.	En % au-dessus de 3000 m. alt.	NÉVÉS ET GLACIERS	
				surface en %	évalué en km ²
Rhin ant., rive g...	364,5	9,4	1,8	6,46	23,5
» » d...	412,0	8,7	0,94	8,9	36,7
Glenner	382,2	8,7	1,04	6,1	23,2
Rheinwald	216,0	13,6	1,74	12,9	28,0
Rhin d'Avers, r. g..	176,9	15,0	0,73	5,85	10,4
» r. d..	84,5	12,1	0,6	2,8	2,4
Julia, rive gauche.	188,4	8,2	0,8	1,4	2,6
» » droite	136,3	14,13	3,7	2,6	3,1
Albula-Julia	526,2	7,34	0,6	2,4	12,7

Il faut distinguer dans les régions glacées du Rhin alpin trois zones fort différentes : *la chaîne du Tödi*, qui appartient aux Hautes Alpes, zone septentrionale, région offrant des conditions favorables à la glaciation ; les branches qui, en lignes saccadées, s'étendent *entre le Saint-Gothard et le Septimer*, sont en relation avec la région lacustre des Alpes méridionales et se distinguent par la richesse des précipitations ; les régions *entre le Septimer et la Silvretta* qui sont sans exception, situées à l'intérieur des Alpes grisonnes et ne reçoivent, pour cette raison, que peu de précipitations.

Il est, en outre, facile de déduire de la carte géographique le fait que les grandes extensions des glaciers et des neiges persistantes sont situées partout sur les pentes nord et nord-est et que des chaînes s'étendant de l'est à l'ouest les protègent contre les rayons du soleil. On peut constater, par exemple, ce groupement dans le val Cavaririas et dans le val Frisal situés dans la chaîne du Tödi. Sans cette circonstance spéciale, la glaciation de la pente nord du Rhin antérieur s'abaisserait sans doute à un facteur au-dessous de 5 %.

Suivant notre tableau, les neiges persistantes et les glaciers du Rhin antérieur sont situés sur la rive droite, là où la région touche déjà au bassin de la Méditerranée. Mais cette zone des précipitations maxima est située moins dans les bassins du Glenner et du Rhin antérieur que surtout dans le bassin du Rhin postérieur. Au Rheinwald, le chiffre remarquable des précipitations, trouvé par la méthode directe, se retrouve dans le coefficient de glaciation. Même pour le bassin du Rhin d'Avers, je suppose en général des précipitations importantes d'autant plus qu'il s'étend vers le sud à un voisinage plus proche de la région lacustre au pied des Alpes. De plus, le rehaussement de température causé par la *Massenerhebung* se fait sentir dans les régions de l'Avers dans une mesure extraordinairement forte, mais non moins dans ceux de la Julia et de l'Albula. L'altitude de plus de 3000 m. est moins fréquente dans le bassin du Rhin d'Avers que dans les autres régions mentionnées et se trouve fort dispersée. Il me semble, par conséquent que *dans le bassin du Rhin d'Avers, on trouve surtout la zone où la neige annuelle arrive à fondre complètement, quoiqu'avec peine.* C'est à ce point de vue qu'il faut considérer la glaciation considérable de 6 % de la rive gauche (plus étendue que l'autre).

La glaciation modeste du bassin de la Julia en contradiction avec l'élévation du terrain s'explique en partie par la direction méridionale de cette vallée étroite, où les arêtes élevées de plus de 3000 m. et de direction est-ouest sont presque introuvables. Oberhalbstein se distingue déjà par la sécheresse, plus grande encore aux bords de l'Albula supérieure et dans la vallée de Davos.

Je viens de dire que la *Massenerhebung* et par conséquent le rehaussement de la température se fera remarquer particulièrement dans les régions du Rhin postérieur. *Dans ce grand bassin, les altitudes entre 2100 et 2700*

mètres sont développées à un degré beaucoup plus considérables qu'au Rhin antérieur et au Glenner. C'est à cette particularité de la configuration du sol qu'est entièrement due l'altitude moyenne du bassin total du Rhin postérieur, laquelle dépasse celle des deux autres régions de 50-70 m. environ. A l'altitude de 2700 à 3000 mètres les trois bassins sont conformes, tandis qu'au-dessus de 3000 m. la surface du Glenner est un peu, celle du Rhin antérieur remarquablement plus grande, comme le démontre le tableau suivant :

Surface des zones de 300 en 300 m. en %
de la surface totale.

Altitudes : 1500 à 1800 à 2100 à 2400 à 2700 à 3000 m.

Rhin antérieur	13,5	17,9	21,5	19,0	7,7	1,4
Glenner . . .	14,0	19,2	21,0	17,6	7,7	1,0
Rhin postérieur	13,1	18,1	23,3	21,6	7,7	1,8
Rhin d'Avers .	5,5	17,5	28,5	32,0	13,4	0,7

Les recherches de Imhof et de Jegerlehner déjà ont démontré que les vallées de l'Albula supérieure et de Davos occupent, grâce à la Massenerhebung une position particulière. Le rehaussement de la température qui en résulte favorise la fonte des neiges et des glaces, d'autant plus qu'avec l'amointrissement des précipitations le temps s'éclaircit.

Récapitulons! La glaciation dans le bassin du Rhin alpin diminue le long d'une ligne qui commence au Rheinwald et suit le bord du bassin. La diminution est assez rapide. Les précipitations ont des proportions semblables, mais pas du tout identiques : Rhin postérieur sans l'Albula 2116 m/m., Julia 1632 m/m., Albula-Landwasser 1227 m/m. Grâce à la réunion des bassins les plus secs avec les plus humides, la moyenne est de 1658 m/m. pour le Rhin postérieur. Ce bassin se trouve

ainsi presque en coïncidence avec Glenner (1647 m/m.) et reste peu en arrière du Rhin antérieur (1697 m/m).

Je ne nierai pas que les précipitations indiquées pour le Rhin postérieur sont peut-être un peu trop grandes. La différence, pourtant, ne peut jamais être aussi importante qu'une considération superficielle du degré de glaciation pourrait le faire croire, suivant l'affirmation hâtive de M. Horwitz. Il y a pourtant une différence entre les précipitations tombées et celles qui n'ont pas été fondues.

7. Conclusion. Avec cette première série de constatations et résultats qu'on peut maintenant envisager, le problème hydrologique du Rhin alpin est loin d'être résolu. Des recherches futures montreront si l'infiltration s'élève aux valeurs qu'on peut déduire des résultats des cinq principales stations limnimétriques pendant les années 1894-1905. Il est assez invraisemblable que toutes les cinq valeurs moyennes de cette première période limnimétrique soient absolument correctes.

Selon M. Horwitz, j'ai trop abondé en exactitude dans mon travail. C'est un reproche que j'accepte volontiers.

Pour terminer, je citerai M. le directeur Dr Keller, de Berlin, cité aussi par M. Horwitz. Ce savant a aussi évalué les précipitations du Rhin alpin pendant la période de 1894-1905. Il n'a pas publié les chiffres trouvés. Suivant ce qu'il m'écrit, il est arrivé à une moyenne qui est un peu moins haute que la mienne. La différence est de moins de 5 cm. Il mentionne le fait que le Wiener hydrographisches Zentralbureau indique des précipitations beaucoup moins nombreuses pour les tributaires du lac de Constance, parce qu'à Vienne on a basé les calculs exclusivement sur les constatations ombrométriques et qu'on a donné trop peu de poids aux précipitations des régions inhabitées.

Oberdiessbach, décembre 1914.