

**Zeitschrift:** Archives des sciences physiques et naturelles  
**Herausgeber:** Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève  
**Band:** 17 (1935)

**Artikel:** Sur un nouveau caractère des rivières à régime glaciaire  
**Autor:** Buffle, Jean  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-741553>

### **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:** 13.01.2026

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

SUR UN NOUVEAU CARACTÈRE  
DES  
RIVIÈRES A RÉGIME GLACIAIRE

PAR  
**Jean BUFFLE**

(Avec une planche)

Ayant étudié avec le Professeur Collet<sup>1</sup> le transport des alluvions dans l'Arve, en 1933, j'en ai profité pour déterminer les matières dissoutes dans les eaux de cette rivière. Je saisis cette occasion pour remercier le Professeur Collet de m'avoir donné l'idée de ce travail.

Je faisais deux prises d'eau par jour à la passerelle du bois de la Bâtie, donc à petite distance de son confluent avec le Rhône, dans la partie la plus rapide du courant, à 8 h. 30 et à 18 h. Elles étaient ensuite filtrées pour doser les matières en suspension. 200 cm<sup>3</sup> du filtrat de la prise du matin étaient réservés pour être évaporés à sec dans une capsule d'argent. Celle-ci était alors séchée à poids constant, à l'étuve, à 110°.

Ce travail fut entrepris tout d'abord dans l'idée d'établir les relations qu'il pouvait y avoir entre les matières en suspension et les matières en dissolution. Par la suite, après avoir lu le travail de Joukowsky sur le « Régime annuel du Rhône, de

<sup>1</sup> LÉON-W. COLLET et J. BUFFLE, Le transport des alluvions en suspension dans les eaux de l'Arve à Genève en 1933. *Comptes rendus de la Soc. Phys. et d'Hist. nat. Genève*, vol. 51, p. 98 (1934) (*Archives* [5], vol. 16, supplément).



l'Arve, de l'Elbe et de la Meuse », j'ai été amené à comparer la courbe des matières en dissolution à celles des températures de l'air et des débits, ce qui m'a conduit à des conclusions intéressantes.

Baëff, en 1890, est le premier auteur qui ait étudié les matières en dissolution dans l'eau de l'Arve. Cet auteur avait déjà observé un certain nombre de faits intéressants :

1<sup>o</sup> Que le maximum de matières dissoutes se rencontre en hiver, principalement pendant les mois de janvier et février. Qu'ensuite ces matières décroissent jusqu'à atteindre un minimum en août, après quoi elles recommencent à augmenter jusque vers la fin de l'hiver. Baëff ajoute en outre qu'« en été l'action des torrents glaciaires comme agents d'alimentation est prépondérante, tandis qu'elle est presque nulle en hiver. Or, ceux-ci déversent des masses d'eaux très peu chargées de matières dissoutes et contribuent par suite à diluer les eaux de la rivière ;

2<sup>o</sup> Qu'en période de crue, à un maximum de matières en suspension correspond un minimum de matières en dissolution, mais sans expliquer la chose d'une façon satisfaisante. Baëff dit à ce sujet, que l'« accroissement que subit la vitesse pendant la crue » fait « en sorte que les matériaux solubles restent un temps moindre au contact du dissolvant » ;

3<sup>o</sup> Baëff ne parle qu'une seule fois de l'influence de la température sur la quantité de matières dissoutes dans les eaux de l'Arve, ceci à propos de la loi de solubilité du carbonate de chaux. Partout ailleurs il met en regard les matières dissoutes et les débits. Il admet donc sans doute implicitement, et d'autres auteurs l'ont fait après lui, que les matières dissoutes sont essentiellement fonction du débit.

Il ne faut pas oublier par ailleurs que la plupart de ceux qui ont fait des mesures de ce genre, sinon tous, avaient pour principale préoccupation d'évaluer la quantité totale de matériaux enlevée annuellement soit mécaniquement, soit par dissolution dans le bassin d'alimentation du cours d'eau étudié. Ces auteurs s'inquiétaient peu du mode d'érosion, seul le poids total d'alluvions transportées les intéressait.

C'est en me plaçant à un point de vue quelque peu différent

que je désire insister ici sur les relations qui me semblent exister entre la température et la concentration en sels dissous dans les eaux de l'Arve.

J'admets, jusqu'à preuve du contraire, que la majeure partie des matières dissoutes contenues dans l'eau d'une rivière, provient des eaux d'infiltration. Ces dernières se concentrent sous forme de nappes phréatiques lorsqu'elles rencontrent un niveau imperméable (argile, marnes, etc.). Ces nappes sont elles-mêmes en communication plus ou moins étroite avec la rivière, suivant la nature du lit de celle-ci.

Quant à la rivière, elle ne doit avoir qu'un pouvoir dissolvant très faible, pour deux raisons principales:

1<sup>o</sup> Elle reste fort peu de temps en contact avec les matériaux de son lit, en un point donné;

2<sup>o</sup> Son eau est constamment brassée, ce qui a pour effet de chasser partiellement le  $\text{CO}_2$ , donc de diminuer son pouvoir dissolvant à l'égard des carbonates.

Il résulte de ceci que le débit, et les eaux de ruissellement dont il dépend directement, ne doivent jouer qu'un rôle effacé dans l'apport des sels dissous, tandis que les eaux d'infiltration doivent faire sentir fortement leur influence sur ce même apport. Comme en définitive ces eaux d'infiltration sont en rapport étroit avec la température, c'est cette dernière qui doit avoir des répercussions sur la concentration des eaux d'une rivière en matières dissoutes.

Cette influence de la température ressort de l'examen des quatre courbes suivantes (voir planche):

1<sup>o</sup> Celle des matières dissoutes, exprimée en grammes par  $\text{m}^3$ ;

2<sup>o</sup> et 3<sup>o</sup> Celles des températures. Les chiffres utilisés sont les moyennes quotidiennes établies par l'Observatoire de Genève et par la station du Grand Saint-Bernard (2476 m).

Je regrette de n'avoir pas eu à disposition des observations thermométriques portant sur l'ensemble du bassin de l'Arve. Comme sa superficie est assez considérable ( $1980 \text{ km}^2$ ), les seuls chiffres de Genève et du Grand Saint-Bernard ne sauraient donner une image absolument exacte des variations de température dans ce bassin. Cependant, malgré la distance et l'altitude qui séparent ces deux stations et bien que le Grand

Saint-Bernard soit situé à 11 km. 350 en ligne droite en dehors du bassin de l'Arve, les deux courbes de température concordent d'une façon remarquable. J'en excepte une inversion de l'allure des courbes du 19 décembre 1932 au 2 janvier 1933. C'est ce parallélisme frappant qui m'a d'ailleurs engagé à poursuivre ce travail.

4<sup>o</sup> Celles des débits en m<sup>3</sup>/sec. construite d'après les chiffres communiqués par le Service fédéral des Eaux, à Berne.

En examinant ces courbes, nous voyons que:

1<sup>o</sup> La courbe des débits et celles des températures sont approximativement parallèles dans l'ensemble. Cette constatation n'a d'ailleurs rien d'étonnant, le débit de l'Arve dépendant surtout de la fonte des neiges et des glaciers;

2<sup>o</sup> La courbe des matières en dissolution varie en sens inverse de celles des températures. Voici pourquoi:

La majeure partie des sels dissous dans l'eau de l'Arve est formée de carbonates, surtout de carbonate de chaux. La solubilité de ceux-ci étant fonction directe de la teneur de l'eau en CO<sub>2</sub>, il en résulte que cette solubilité doit être faible en été et forte en hiver, la teneur de l'eau en CO<sub>2</sub> variant dans le même sens (loi de Schloesing). Quant à l'origine du CO<sub>2</sub>, elle est probablement due en bonne partie à la respiration des plantes et aussi à la dissolution par les eaux de ce gaz contenu dans l'atmosphère. Ainsi s'explique la variation annuelle mise en évidence par l'allure de la courbe des matières en dissolution.

Si nous examinons cette dernière de plus près nous pouvons faire encore d'autres constatations. En premier lieu, une forte élévation de température, se traduisant par une fonte de la neige, est marquée, avec quelques jours de retard, par un maximum relatif, sur la courbe des matières en dissolution. Voici quelques exemples parmi les plus marquants:

Dates	Températures	Dates	Matières dissoutes
7-12.IV	11,20	20-25.IV	223
25.IV-5.V	11,25	12-14.V	199
19-28.VII	18,50	30.VII et 3.VIII	180 et 219
5-11.VIII	21,08	23.VIII, 25.VIII et 1.IX	191, 195 et 250

Nous pouvons faire la même comparaison avec la courbe des débits. J'ai montré ci-dessus que cette dernière était en gros parallèle à la courbe des températures. Elle possède l'avantage sur celle-ci d'avoir des maxima très accusés, les crues, qui se produisent, sauf de rares exceptions, après chaque période chaude.

Cet examen nous montre que, dans la plupart des cas, à un maximum de débit correspond, avec un retard variable, un maximum relatif de matières en dissolution. Nous avons par exemple :

Dates	Débits	Matières dissoutes	Le	Retard (en jours)
4 février	110,20	314	16 février	12
5 mars	94,80	301,5	17 mars	12
20 mars	109,00	336,5	30 mars	10
4 et 8 mai	171 et 300	285	14 mai	10
21 juin	314	315	2 juillet	11
16 juillet	300	177 et 160	18, 24 juillet	2 et 8
30 juillet	182	180	3 août	4
15 août	144	191 et 195	23, 25 août	8 et 10
21 août	152	250	1 <sup>er</sup> sept.	11
14 sept.	129	202	25 sept.	11
22 sept.	149	210	4 octobre	12
13 octobre	196	288	26 octobre	13
26 octobre	101	312	8 novembre	13

Les débits sont donnés en m<sup>3</sup>/sec. et les matières dissoutes en gr par m<sup>3</sup>.

J'ai indiqué dans la dernière colonne les retards séparant les maxima de débits de ceux des matières en dissolution; la régularité de ces retards, si l'on fait abstraction des chiffres des 16 et 30 juillet, est assez remarquable. Je tenais à souligner la chose sans en tirer actuellement des conclusions qui pourraient être prématurées.

Je ferai seulement observer à ce propos que les eaux d'infiltration mettront un temps plus ou moins long pour arriver jusqu'à la rivière, suivant la nature géologique du sous-sol à l'endroit de la précipitation ou de la fusion.

D'autre part la distance qui sépare la région recevant la

précipitation du point où l'on fait les prélèvements doit aussi intervenir pour faire varier le retard signalé; plus cette distance est grande, plus le retard sera considérable entre les deux maxima.

La nature différente des crues doit avoir également une répercussion sur la quantité de matières passant en solution.

Enfin dans les mêmes conditions de température et de précipitation ou de fusion, cette quantité doit varier suivant que l'eau tombe ou que la neige fond en une région calcaire ou cristalline.

Dans une note préliminaire, parue dans les *Comptes rendus de la Société de Physique*<sup>1</sup>, je relevais le fait que lorsque la moyenne quotidienne de température descendait en dessous de 0° dans l'ensemble du bassin d'alimentation d'une rivière, la teneur en sels dissous diminuait aussi, avec un certain retard, sur le gel. Depuis lors quelques faits nouveaux m'ont laissé voir que la chose est moins certaine que je ne l'avais cru au premier abord. Je me réserve de revenir sur cette question lorsque j'aurai pu examiner un plus grand nombre de chiffres concernant les matières dissoutes, que cela n'a été le cas jusqu'à présent.

Je signalerai, pour être complet, une anomalie particulièrement marquée et qui échappe pour le moment à toute interprétation utilisant des facteurs connus. Il s'agit du maximum du 21 janvier. Ce jour-là, la teneur en matières dissoutes s'est élevée à 421,5 gr par m<sup>3</sup>. Ce chiffre exceptionnellement fort ne correspond à aucun maximum marqué de température et encore moins de débit. Peut-être avons-nous là une perturbation purement locale due à l'intervention humaine.

Avant de conclure, je citerai encore quelques chiffres montrant bien que le débit ne joue qu'un rôle secondaire dans la concentration des sels dissous:

<sup>1</sup> C. r. *Société de Physique*, séance du 21 juin 1934, *Archives* [5], vol. 16, suppl.



Dates	Débits en m <sup>3</sup> /sec.	Matières dissoutes en gr p. l.	Températures en degrés C
8 mai	300	185	11,10
16 juillet	300	123	14,35
15 mai	135	251	10,87
12 octobre	129	222	10,70
7 mai	134	205,5	12,55
3 mai	134	195	13,00
14 septembre	129	148	16,45
23 juillet	130	142	20,35
13 juillet	135	136	21,85
26 octobre	101	288	7,65
1 <sup>er</sup> mai	100	216	14,40
6 mai	100	178	13,85
7 juin	100	166,5	19,50
16 août	100	143	22,50
4 novembre	77,10	240	4,55
29 octobre	79,20	231	4,48
6 mars	79,20	226	4,90
26 mai	79,20	180,5	8,45
29 septembre	79,20	125	15,28

L'examen de ces tableaux nous montre, semble-t-il, que la température est bien le facteur le plus important, sinon le facteur déterminant de la teneur des eaux de l'Arve en matières dissoutes.

Reportons-nous maintenant au travail cité de Joukowsky. Nous voyons, comme il le fait remarquer lui-même, sans en donner d'interprétation, que l'influence de la température est beaucoup moins apparente pour l'Elbe et la Meuse que pour l'Arve et le Rhône.

Or, il convient d'observer que l'Arve, et le Rhône en Valais, coulent en beaucoup de points de leurs parcours sur des graviers contenant des nappes phréatiques à leurs bases. Ces nappes constituent la principale source des matières dissoutes. (Voir à ce sujet W. Koehne, *Grundwasserkunde*, Stuttgart, 1928.) Il ne faut pas oublier non plus que ces rivières ont en certains endroits de leurs cours un régime torrentiel, ce qui n'est jamais le cas pour l'Elbe et la Meuse, lesquelles ont atteint leur profil



d'équilibre et coulent sur un lit plus complètement colmaté, donc en communication moins facile avec les nappes phréatiques du bassin d'alimentation.

Je pense, pour cette raison, que la dépendance entre la température et les matières dissoutes se trouve être plus marquée pour les rivières à régime glaciaire comme l'Arve et le Rhône, que pour les rivières à régime pluvial. Cette dépendance constituerait donc un caractère nouveau des rivières à régime glaciaire.

En résumé, j'arrive aux conclusions suivantes:

1° Les eaux des rivières à régime glaciaire ont une concentration en matières dissoutes dont les variations sont en sens inverse de celles de la température;

2° La période de cette variation est annuelle;

3° Les eaux des rivières à régime glaciaire ont une concentration en matières dissoutes qui augmente après chaque crue, avec un retard sur le maximum de débit;

4° Ce retard varie suivant les saisons et la nature des crues;

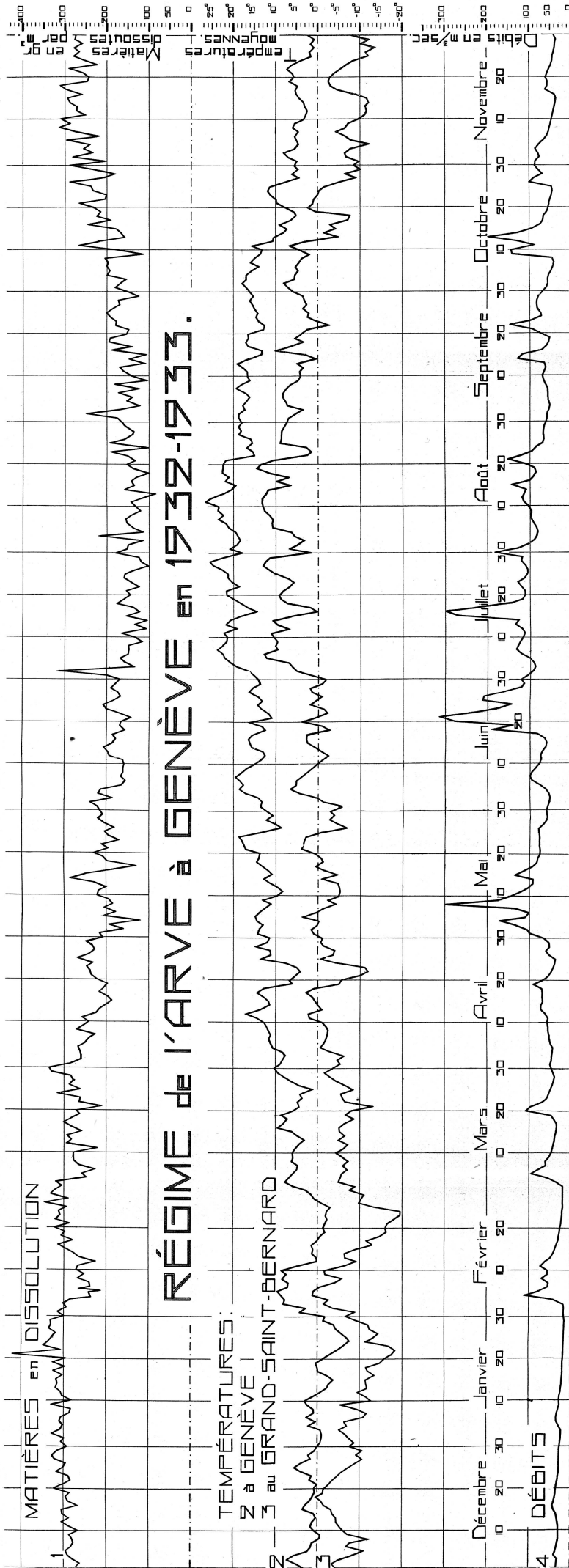
5° La relation liant la température et la concentration en matières dissoutes est caractéristique des rivières à régime glaciaire. (Voir les courbes de Joukowsky.)

Genève, le 18 juin 1934.

*Laboratoire de Géologie de l'Université.*

#### BIBLIOGRAPHIE

1. BAEFF, Boné. *Les eaux de l'Arve*. Thèse. Genève, 1891.
2. BOISSIER, Raoul. Le charriage des alluvions en suspension dans l'eau de l'Arve. *Arch. Sc. phys. et nat.*, 4<sup>me</sup> pér., t. XLI, 1916, p. 331 à 333.
3. BOISSIER, Raoul. Etude du colmatage du Val des Dix. *Mémoires Soc. Phys. et d'Hist. nat. Genève*, vol. 39, fasc. 5, p. 225 à 260. 1921.
4. COLLET, L.-W. Le charriage des alluvions dans certains cours d'eau de la Suisse. *Annales suisses d'hydrographie*, vol. II, p. 1 à 183. Berne, 1916.
5. COLLET, L.-W. *Les lacs*, pages 198 à 233. Paris, 1925.
6. COLLET, L.-W. et BOISSIER, Raoul. Le transport des alluvions dans l'Arve en 1915. *C. R. Soc. Phys. et d'Hist. nat. Gen.*, vol. 40, p. 48 à 50, 1923.



7. COSSA, Löslichkeit des kohlensauren Kalkes in mit Kohlensäure gesättigtem Wasser. *Zeitschrift für anal. Chem.*, vol. 8, p. 145. 1868.
  8. DELEBECQUE, A., Sur la variation de la composition de l'eau des lacs avec la profondeur. *C. R. Ac. Sc. Paris*, t. 117, p. 712. 1893.
  9. DELEBECQUE, A., Sur la composition des eaux de la Dranse du Chablais et du Rhône, à leur entrée dans le lac de Genève. *C. R. Ac. Sc. Paris*, t. 118, p. 36. 1894.
  10. DELEBECQUE, A., Sur le carbonate de chaux de l'eau des lacs. *C. R. Ac. Sc. Paris*, t. 120, p. 790. 1895.
  11. VON ESSEN, *Recherches expérimentales sur la solubilité des carbonates et des bicarbonates dans la série isomorphe  $\text{RCO}_3$* . Thèse. Genève, 1893.
  12. ERIKSSON, J. V., Den kemiska denudationen i Sverige. *Medd. fr. Stat. Meteorolog-hydrograph. Anstalt.*, Bd. 5, Nr. 3, Stockholm, 1929, 96, p. 25.
  13. HALBFASS, W., Die chemische Denudation der Erdoberfläche durch die Gewässer. *Peterm. Geogr. Mitt.*, 1930, H. 9-10, p. 235-236.
  14. JOUKOWSKY, E., Le régime annuel du Rhône, de l'Arve, de l'Elbe et de la Meuse. *Arch. Sc. phys. et nat.*, 5<sup>me</sup> pér., vol. 10, 1928, p. 347-362.
  15. JOUKOWSKY, E., Variation périodique de la teneur en matières dissoutes et en matières en suspension dans l'eau de l'Arve à Genève. *C. R. Soc. phys. à Genève*, vol. 45, p. 96, 1928.
  16. KOEHNE, W., *Grundwasserkunde*. Stuttgart, 1928.
  17. KREJCI-GRAF, Zum Lösungsgehalt der Oberflächenwasser. *Chemie der Erde*, vol. 7, 1932, p. 609.
  18. KURRIS, F. J. J. H., *Evenvichten van vast calcium et magnesium carbonaat met koolznaroplossingen*. Thèse, Delft. Uitgevers Mij v/h Cl. Coffin. Maastricht, 1930.
  19. PLUMMER and SARGENT, Relationship of chloride concentration in underground waters to subsurface temperature gradients. *Bull. geol. soc. Am.*, vol. 42, 1931, p. 188.
  20. SPRING, W. et PROST, E., Etude sur les eaux de la Meuse. *Annales de la Société géologique de Belgique*, t. XI. Liège, 1884.
  21. UETRECHT, E., *Die Ablation der Rhone in ihrem walliser Einzugsgebiet im Jahre 1904-05*. Thèse. Berne, 1906.
  22. ULLIK, F., Bericht über die Bestimmung der während eines Jahres im Profil von Tetschen sich ergebenden Quantitätsschwankungen der Bestandteile des Elbenwassers. *Abh. der kön. böhm. Ges. d. Wiss.*, VI Folge, 10 Band. Prague, 1880.
  23. WALLACE, BAKER and WARD, The Red River as an erosive agent. *Transact. Roy. Soc. Can.*, vol. XX, part II, 1926, p. 149-167.
  24. WELLS, R. C., The solubility of calcite in water in contact with the atmosphere and its variation with temperature. *Journ. Wash. Ac. of Sc.*, vol. 5, n° 18, 4 nov. 1915.
-