Zeitschrift: Wasser- und Energiewirtschaft = Cours d'eau et énergie
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 43 (1951)
Heft: 12

Artikel: Une machine à calculer le régime des lacs subjurassiens
Autor: Chavaz, M.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-921688

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: 15.10.2025

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

Une machine à calculer le régime des lacs subjurassiens

Communication du Service fédéral des eaux, rédigée par *M. Chavaz,* ing. dipl. E. P. F., chef de section.

Les travaux considérables effectués de 1869 à 1891 à l'enseigne de la «Correction des Eaux du Jura» ont permis d'assainir et de mettre en valeur de grandes surfaces de terrain, notamment dans le Seeland bernois et fribourgeois. Mais les graves inondations survenues depuis lors à plusieurs reprises (1910, 1944, 1950), inondations au cours desquelles plusieurs dizaines de km² situés le long des rives des lacs de Morat, de Neuchâtel et de Bienne ainsi que de leurs émissaires furent submergés, ont montré qu'il serait désirable de compléter cette première correction par une nouvelle régularisation.

Avec l'aide financière des cantons intéressés et la collaboration de plusieurs bureaux d'ingénieurs, notre service a entrepris les études nécessaires afin d'élucider la nature et l'importance des nouveaux travaux qu'il conviendrait d'effectuer. Il résulte de ces études que seule une augmentation très importante de la capacité de chacun des trois canaux de la Broye, de la Thielle et de Nidau à Büren permettrait d'éviter tout nouveau danger d'inondation. Une solution intégrale serait toutefois d'un prix très élevé, vu la longueur des canaux à agrandir. Il était donc indiqué d'examiner aussi des solutions partielles afin de pouvoir se rendre compte — au moins dans les grandes lignes — comment évolue le rapport entre le coût et l'efficacité d'une correction donnée lorsqu'on fait varier l'importance de cette dernière.

*

On ne peut prévoir les conditions climatologiques et par conséquent hydrographiques futures. Pour déterminer les effets d'une nouvelle correction, on recherche donc quels auraient été les niveaux des lacs et les débits de leurs émissaires durant une ou plusieurs périodes caractéristiques du passé en supposant que la correction envisagée aurait été déjà réalisée.

Le calcul des apports aux lacs durant ces périodes est simple; ces apports dépendent seulement des fluctuations effectives des niveaux des lacs et des débits de leurs émissaires durant les périodes de référence choisies. Celui du nouveau régime, c'est-à-dire celui des niveaux et débits correspondant à la nouvelle correction, demande souvent beaucoup plus de temps. En effet, si le calcul est élémentaire dans le cas d'un seul lac, lac Léman ou lac des Quatre-Cantons par exemple, il exige déjà plus de temps lorsqu'il s'agit de deux bassins interdépendants (bassins supérieur et inférieur du lac de Constance p. ex.) et devient très long si on se trouve en présence — comme dans notre cas — de trois lacs dont les niveaux dépendent les uns des autres.

En effet, les variations des niveaux de ces lacs et celles des débits de leurs émissaires s'expriment alors sous forme d'un système de 3 équations différentielles non linéaires, le temps étant la variable indépendante, les niveaux des lacs des variables dépendantes, et les affluents à ces derniers des fonctions perturbatrices. Les équations ne sont pas linéaires du fait que les débits par les canaux intermédiaires de la Broye et de la Thielle sont des fonctions complexes des niveaux des lacs et par conséquent du temps.

Lors des études précédentes, ces calculs avaient été effectués en mettant les équations différentielles sous forme de différences finies, puis en les résolvant par approximations successives. La longueur de cette méthode réside dans les tâtonnements qu'elle comporte. En théorie, on doit choisir deux valeurs, parfois même trois, dans une

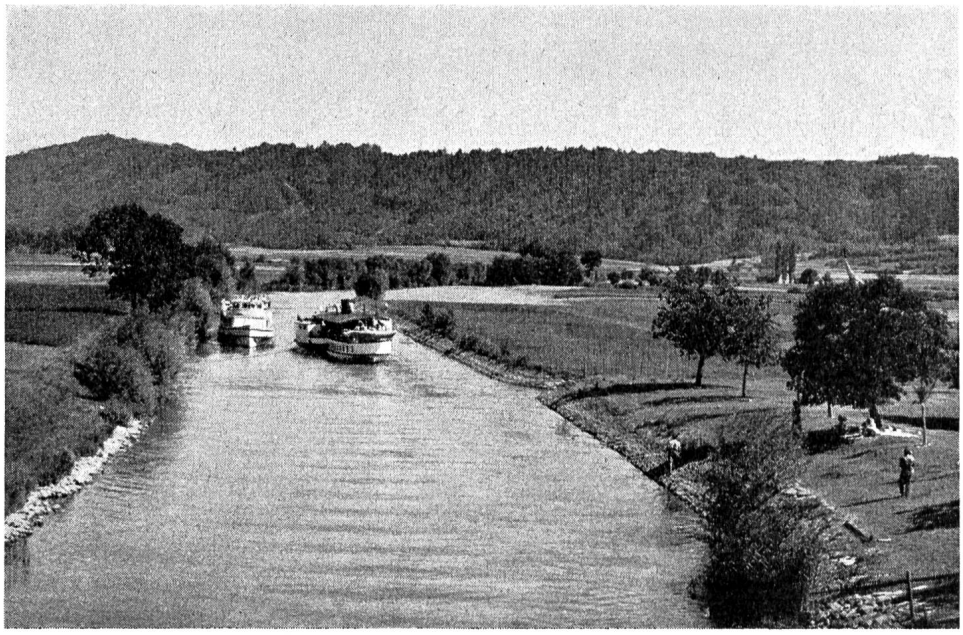

Fig. 1
La navigation sur le canal de la Broye, un dimanche d'été. Vue prise près de La Sauge. (Photo H. Baer, La Chaux-de-Fonds.)

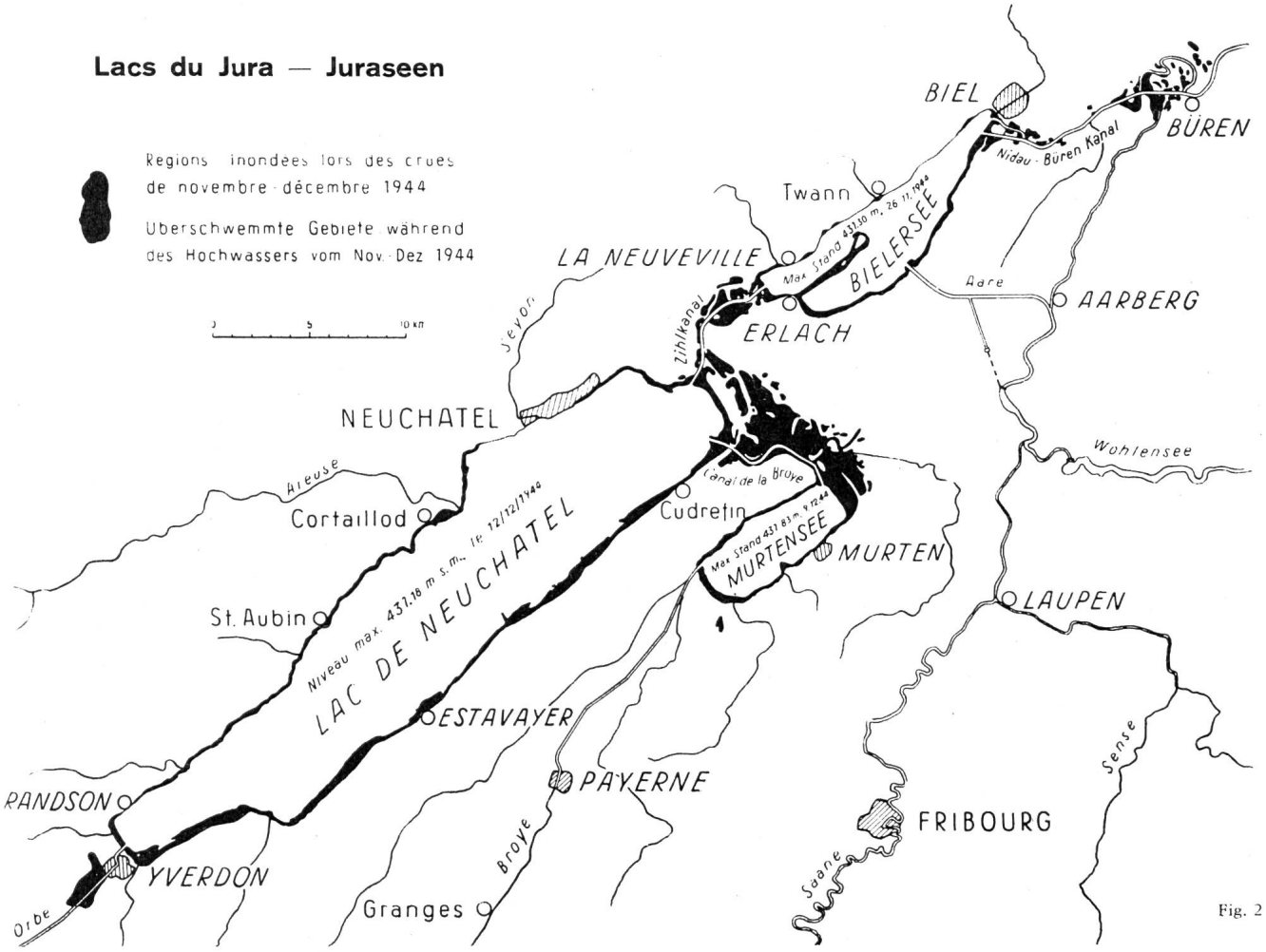

Fig. 2

double, respectivement triple, infinité de possibilités. En fait, le choix de ces valeurs se cantonne heureusement entre des limites souvent assez rapprochées, ce qui évite des essais trop nombreux. Il n'en reste pas moins que le calcul d'un seul intervalle élémentaire de temps constitue une opération souvent assez longue. Or, comme pour le calcul initial des apports, on doit admettre que les débits sont constants durant chacun de ces intervalles; on ne peut donc les choisir trop grands sans fausser les résultats des calculs. En règle générale, on admet comme intervalle élémentaire normal la journée de 24 heures; les débits entrant en ligne de compte sont alors les débits journaliers moyens. Durant certaines périodes, notamment lors de grandes crues ou lorsque les variations de niveau des lacs nécessitent plusieurs manœuvres au barrage de Nidau au cours d'un même jour, il faut cependant considérer des intervalles élémentaires plus courts que 24 heures. Si au contraire, on se trouve en régime stable, on peut étendre la durée de ceux-ci à 48 heures.

Pour juger d'une nouvelle correction et partant du régime correspondant, nous avons vu qu'il est nécessaire de connaître au moins quel aurait été ce régime durant des périodes caractéristiques comportant des débits extrêmes: crues, étiages. Lorsqu'il s'agit de lacs et de cours d'eau importants — comme dans notre cas — on désire savoir aussi quelles seraient les répercussions du nouveau régime sur le niveau moyen des lacs ou sur la production des usines hydro-électriques d'aval, par exemple.

Il est alors indispensable de calculer ce régime pour des années entières, voire même des périodes de 10 ou 20 ans, c'est-à-dire des laps de temps comprenant plusieurs milliers d'intervalles élémentaires. On conçoit que le calcul du régime probable pour un état de correction et un règlement de barrage donnés — car pour un état de correction, nombre de règlements de manœuvre différents peuvent entrer en ligne de compte — constitue un très long travail. Si, enfin, ce qui est le cas pour les lacs subjurassiens, il s'agit d'examiner toute une gamme de corrections possibles afin de dégager certaines lois, on voit que les calculs de régime deviennent si laborieux et si onéreux — et, disons-le aussi, si fastidieux — qu'on peut être tenté de réduire le nombre des solutions à examiner au-dessous de celui indispensable à la sûreté des conclusions.

Comment éviter donc ces longs calculs sans renoncer aux résultats recherchés ?

A première vue, on pourrait être tenté d'utiliser les méthodes analytiques classiques, celle-ci donnant de bons résultats pour des problèmes analogues, comme par exemple les calculs hydrauliques relatifs aux chambres d'équilibre des usines hydroélectriques à haute pression. Pour ces ouvrages, en effet, on résout les équations ex-

primant les mouvements d'ensemble des masses d'eau contenues dans la galerie d'amenée et la chambre d'équilibre et plusieurs auteurs ont même établi, pour des cas déterminés, des nomogrammes; ainsi on peut éviter souvent de longs calculs par différences finies. Mais le calcul hydraulique d'un château d'eau et celui du régime d'un système formé par plusieurs lacs se présentent différemment. Lors des calculs des chambres d'équilibre, on cherche à déterminer les répercussions sur le régime hydraulique d'une seule manœuvre, par exemple la fermeture rapide des turbines, effectuée suivant une loi simple et connue. Hormis cette modification temporaire pouvant être exprimée sous une forme mathématique, toutes les autres données du problème subsistent sans changement. On peut alors résoudre analytiquement les équations de celui-ci et éviter ainsi de longs calculs.

Lorsqu'on calcule le régime d'un système de lacs, par contre, on se trouve en présence de variables — les affluents aux lacs — qui changent constamment de valeur et cela d'une manière tout à fait imprévisible. La résolution mathématique des équations des mouvements des volumes d'eau intéressés permettrait donc tout au plus de résoudre le problème pour un intervalle de temps élémentaire, soit 24 heures généralement. Il faudrait ensuite répéter cette opération pour chaque nouvel intervalle, ce qui conduirait, en définitive, à des calculs encore plus longs que ceux effectués par tâtonnements.

*

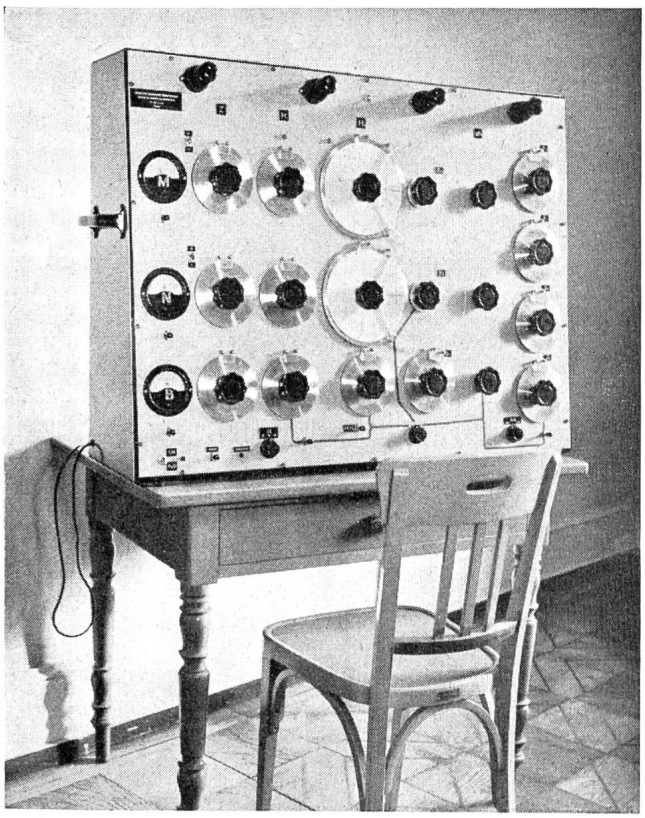

Abb. 3

Les considérations qui précèdent montrent que la solution ne saurait être recherchée dans cette direction; nous nous sommes donc demandés s'il ne serait pas possible d'utiliser une «machine à calculer» du type analogique c'est-à-dire adaptée au problème à résoudre. Nous pensions en premier lieu à un dispositif mécano-hydraulique qui, sans consister en un modèle réduit proprement dit, aurait comporté entr'autres trois cuves représentant les 3 lacs subjurassiens. En faisant en sorte que les apports à ces cuves et la capacité de leurs émissaires correspondent aux grandeurs réelles, les niveaux d'eau des lacs et les débits de sortie observés dans la machine auraient dû correspondre aussi aux valeurs réelles recherchées. M. Gicot, ingénieur-conseil à Fribourg, qui a assuré avec notre service la direction de l'ensemble des études pour une nouvelle régularisation des lacs subjurassiens et avec qui nous avons examiné cette possibilité, proposa de construire une machine purement mécanique. La précision des résultats en aurait été augmentée et certaines difficultés inhérentes au dispositif partiellement hydraulique envisagé primitivement auraient pu être évitées. Un avant-projet fut établi ; grâce, en particulier, à l'emploi d'intégrateurs et d'appareils enregistreurs, sa réalisation aurait permis d'obtenir automatiquement et d'une manière continue niveaux des lacs et débits des canaux durant de longues périodes. Malheureusement, des circonstances imprévisibles empêchèrent la Maison Coradi de Zurich — maison spécialisée dans la construction d'appareils mécano-mathématiques qui avait exécuté certains essais préliminaires — de réaliser la machine projetée. Pressés par le temps, nous dûmes alors envisager la construction d'un appareil moins complet mais d'une réalisation plus rapide et — avantage à prendre aussi en considération — d'un prix beaucoup moins élevé.

*

La figure n° 3 représente l'appareil en question. Il a été étudié et mis au point par M. le Prof. E. Stiefel et M. le Dr A. P. Speiser de l'Institut de mathématique appliquée de l'Ecole polytechnique fédérale.

L'appareil est basé sur le système de résolution utilisé lors des calculs usuels; c'est à cette condition en effet qu'il est possible d'utiliser les apports aux lacs tels qu'ils ont déjà été calculés auparavant. Comme lors des calculs habituels, on examine successivement chaque intervalle de temps et les résultats relatifs à chacun de ceux-ci sont obtenus par approximations successives; mais les opérations intermédiaires sont effectuées électriquement par la machine. A cet effet, les termes des équations sont représentés par des tensions, des courants et des résistances électriques. On fait varier certaines résistances jusqu'à ce qu'un courant qui traverse un milliampèremètre s'annule.

Les valeurs connues au début du calcul d'un intervalle sont les niveaux initiaux des lacs et les apports moyens

à ceux-ci durant cet intervalle. Les niveaux des lacs sont déjà enregistrés dans l'appareil en tant que résultats du calcul de l'intervalle précédent; il faut par contre y introduire les valeurs des apports moyens au cours du nouvel intervalle considéré. Il en est de même du débit de l'Aar à Nidau qui doit satisfaire au règlement de manœuvre étudié et qui est fonction du niveau des lacs et de la saison. Suivant les cas, ce débit sera donné à l'avance ou devra être estimé, puis contrôlé.

Les fonctions représentant les débits de passage par les canaux intermédiaires de la Broye et de la Thielle — fonctions qui dépendent des niveaux moyens des lacs au cours de l'intervalle considéré — sont déjà dans la machine sous forme de nomogrammes polaires, de sorte qu'il n'est pas nécessaire d'utiliser les abaques correspondants pour le calcul. Pour étudier d'autres variantes pour les canaux de la Broye et de la Thielle, il suffit de changer les nomogrammes correspondants. Les variations de surface des lacs en fonction de leur niveau sont aussi prises en considération automatiquement par la machine.

La résolution des équations ayant lieu par voie électrique seulement, l'appareil consiste essentiellement en 3 milliampèremètres, de nombreuses résistances variables ou potentiomètres et des résistances constantes. Il fonctionne au moyen de courant-lumière redressé dans l'appareil en continu par un redresseur précédé d'un transformateur. La puissance totale absorbée est de 120 watts dont 80 pour la machine proprement dite et 40 pour l'éclairage. Grâce à l'emploi de cette machine, la durée des calculs est réduite à une fraction seulement de celle nécessaire en utilisant la méthode ordinaire.

*

A noter que nous avions essayé précédemment d'effectuer les calculs de régime des lacs subjurassiens au moyen de la machine à calculer universelle, type Z4, dont dispose l'Institut de mathématique appliquée de l'Ecole polytechnique fédérale depuis une année. On sait qu'il s'agit d'une machine électromécanique universelle utilisant le système binaire et permettant d'effectuer des calculs très complexes suivant un plan de calcul donné et en partant de valeurs numériques également données à l'avance. Des organes spéciaux dits «de mémoire» enregistrent et conservent les résultats intermédiaires qui sont renvoyés le moment venu aux organes opérateurs proprement dits, conjointement avec les données du calcul. Alors que les données numériques et le plan de calcul sont introduits dans la machine sous forme d'un ruban perforé, une machine à écrire inscrit automatiquement les résultats des opérations.

Comme les affluents changent de valeur chaque jour d'une manière quelconque et comme les débits par les canaux s'expriment analytiquement d'une manière complexe, la machine universelle se révèla peu indiquée pour résoudre le problème posé. En effet, ou on introduit dans celle-ci les abaques des débits par les canaux, ce qui demande un long travail préparatoire, ou on introduit les valeurs numériques de ces débits tirées des abaques normaux: le gain de temps par rapport à un calcul normal est alors peu important.

*

Le coût des travaux de correction envisagés se monte à plusieurs dizaines de millions de francs; il aurait donc été regrettable que l'exécution matérielle des calculs de régime nécessaires pour contrôler l'efficacité des diverses variantes possibles demande tant de temps qu'elle ne permette pas d'examiner toutes ces variantes et de choisir en pleine connaissance de cause la solution la plus indiquée. Grâce à la machine à calculer décrite plus haut, cela ne devrait pas être le cas. Même une fois réalisés les travaux de correction envisagés, elle présentera encore de grands avantages lorsqu'il s'agira d'étudier un nouveau règlement de manœuvre pour le barrage de régularisation de Nidau. Elle permet de libérer l'ingénieur, au moins en partie, de la servitude du calcul. Sa réalisation enfin, devrait constituer une contribution aux efforts tentés actuellement dans notre pays en vue d'y développer la construction de types modernes de machines à calculer.

Abb. 4
Le canal de l'Aar (Nidau—Büren) près de Meienried et à gauche, la boucle de la Vieille-Aar. Vue prise pendant les inondations de novembre 1944
(Photo Service de vol militaire)