

Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 36 (1910)
Heft: 11

Artikel: Jaugeages par titrations
Autor: Boucher, A.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-81430>

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: 05.07.2025

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

Pour que ces courbes puissent être employées d'une façon générale, elles ont été établies en se basant sur les débits spécifiques des bassins versants, exprimés en litres par km². Il suffira donc de multiplier les chiffres du graphique par l'étendue du bassin versant, en km², et la hauteur de chute en mètres, pour avoir les puissances en kilowatts/seconde, que l'on convertira en chevaux en divisant le résultat par 100, si l'on admet que les turbines ont un rendement de 75 %.

Les courbes ont été établies pour une année très sèche, pour une année très humide, et pour la moyenne de dix années consécutives.

Ces calculs de prévision peuvent se faire avec grande approximation, car s'il est vrai que les quantités de pluies et de neige annuelles, et les cubes d'eau écoulés par les rivières alpestres varient de près du simple au double d'une année à l'autre, les volumes d'eau rationnellement utilisables varient beaucoup moins.

Les *débits d'étiage* des différents cours d'eau alpins ayant une certaine étendue de bassin versant, sont actuellement bien connus. Ils varient très peu d'une année à l'autre, et correspondent généralement à environ cinq litres par seconde et par km² de bassin versant.

C'est le débit minimum qui a été admis dans les graphiques ci-dessus.

Pour des bassins très élevés, le débit d'étiage peut être un peu plus faible, mais la différence n'est pas assez importante pour modifier sensiblement les résultats donnés par les graphiques.

En réalité il est prudent de diminuer de 10 % les résultats du calcul, car l'étude de ces courbes est basée sur des *moyennes décennales*, et comme on ne peut pas prétendre faire suivre aux machines les variations journalières de débit¹, il y aura forcément un peu de déchet dans l'utilisation de l'eau.

Prenons comme exemple l'aménagement d'une force motrice ayant un bassin versant de 600 km² et une chute nette de 175 mètres.

L'emploi des graphiques donne les résultats suivants :

En supposant une installation pour le débit minimum de cinq litres par km², et en admettant des turbines ayant un rendement de 75 %, la puissance obtenue serait de

$$\frac{5 \times 600 \times 175}{100} = 5250 \text{ chevaux}$$

sur arbre des turbines, et ces chevaux pourraient travailler en plein toute l'année.

Pour une installation correspondant à trois fois le débit minimum, soit 15 litres par km², et produisant au maximum 15750 HP, le graphique N° 1 montre qu'on aurait une puissance moyenne de

$$\frac{10,5 \times 600 \times 175}{100} = 11000 \text{ HP}$$

en année exceptionnellement sèche, de

¹ Ces variations journalières peuvent dépasser dans les mois d'hiver 20 %.

$$\frac{12,4 \times 600 \times 175}{100} = 13000 \text{ HP}$$

en année moyenne, et de

$$\frac{13,2 \times 600 \times 175}{100} = 13800 \text{ HP}$$

en année très humide.

Le graphique N° 2 montre que ces 15000 chevaux installés ne travailleraient en plein que pendant quatre mois et demi dans une mauvaise année, pendant six mois en année moyenne, et pendant sept mois et quart dans une très bonne année.

La compilation des livres de marche de différentes usines sur la Drance en Valais, l'Arc et la Romanche en France, ont montré que la pratique confirme bien les prévisions qu'il est possible de faire au moyen de nos courbes.

Jaugeages par titrations.

Par M. A. BOUCHER, ingénieur.

Lorsqu'on désire connaître avec précision le volume ou la capacité d'un récipient, on n'arrive guère à un bon résultat par des mesurages directs, surtout si les formes ne sont pas simples.

On obtient plus facilement un meilleur résultat en pesant le récipient après l'avoir rempli d'un liquide de densité connue et en faisant le tarage ensuite.

Mais lorsqu'il s'agit de réservoirs d'une certaine capacité, on ne peut plus songer à recourir à la méthode des pesées.

Dans ce cas, il convient de recourir à la méthode des jaugeages par titrations, qui a le grand avantage de donner des résultats aussi précis qu'on le désire.

Cette méthode consiste à verser dans le réservoir un petit volume connu d'une liqueur contenant en dissolution une quantité connue d'une substance soluble, et à achever le remplissage avec un liquide ne renfermant pas la même substance soluble.

Pour l'intelligence de ce qui suit, nous conviendrons de désigner par l'expression *solution initiale* la liqueur qui a été la première mise dans le récipient, et nous désignerons par *solution finale* le mélange de la solution initiale avec le liquide que l'on a ajouté pour achever le remplissage.

Etant donné qu'il y a la même quantité absolue de substance soluble spéciale dans la solution initiale et dans la solution finale, les volumes de ces deux solutions sont entre eux dans le rapport inverse de leurs titres, et connaissant ces deux titres ainsi que le volume de la solution initiale, une simple proportion donne le volume de la solution finale, et par conséquent celui du récipient ou réservoir.

Le degré de précision de la méthode est le même que le degré de précision des titrations et du mesurage du volume de la solution initiale.

Suivant la nature de la substance soluble employée et surtout suivant la méthode de titration, on peut arriver à un degré de précision aussi grand qu'on peut le désirer.

La même méthode peut être employée avec la même précision pour déterminer, au lieu de *volumes*, des *débits* qui sont des volumes écoulés dans des temps déterminés.

Dans ce cas, on fait écouler, à débit constant, dans le liquide dont on veut déterminer le débit, une solution initiale renfermant une substance soluble titrable et on titre les deux liquides mélangés, que nous appellerons aussi solution finale.

Comme dans le cas précédent, le rapport des titres est l'inverse du rapport des débits des solutions initiale et finale, mais le débit de la solution finale n'est pas le débit cherché, il est celui que l'on cherche augmenté du débit de la solution initiale, et comme celui-ci est connu, il suffit de le déduire.

Trois conditions sont nécessaires pour obtenir des résultats précis et d'un degré de précision quelconque qu'on peut se donner.

1° *Ecoulement à débit constant des solutions.*

Il va de soi que le débit à mesurer doit être maintenu constant pendant la durée de l'opération. De plus, le débit de la solution initiale doit aussi être maintenu constant, et cela doit être fait très rigoureusement parce que la solution initiale étant une petite fraction de la solution finale, les erreurs se multiplient par le dénominateur de cette fraction.

On arrive facilement à maintenir ce débit très constant au moyen de différentes dispositions dont une des plus simples consiste à faire débiter à travers un petit ajutage sous une pression relativement élevée provenant d'un petit réservoir suralimenté de façon à maintenir constamment une légère surverse.

A titre de renseignement pratique, disons que dans la plupart des cas, le débit de la solution initiale est dans l'ordre de grandeur du décilitre par seconde, et qu'en plaçant le réservoir alimenteur à quelques mètres de hauteur, il est facile de lui donner une surverse inférieure à 1 mm. et par conséquent d'assurer la constance du débit à moins de un millième ou d'un dix-millième près.

2° *Mélange parfait avant le titrage final.*

Cette condition est plus difficile à remplir, et il y a même des cas où cela devient si difficile que le procédé cesse d'être pratique et qu'il convient mieux d'avoir recours à d'autres méthodes moins précises.

Un des cas où la méthode doit être écartée, c'est celui où on voudrait l'appliquer au jaugeage d'un grand cours d'eau à cours lent et régulier.

Pour se rendre compte de ce qui se passe dans ce cas spécial, on peut faire une expérience qui frappe immédiatement les yeux.

Si dans la solution initiale on remplace la substance soluble dosable par une substance colorante telle que la

fluorescéine et qu'on fasse écouler à débit constant cette solution initiale colorée en la faisant tomber dans le milieu du cours d'eau, on observe les phénomènes suivants :

A proximité immédiate du point d'introduction de la liqueur colorée, l'eau du cours d'eau n'est colorée qu'au milieu et à mesure qu'on s'éloigne le mélange devenant meilleur, on arrive à un endroit où on ne perçoit plus de différence de coloration entre le milieu et les bords. Si on s'arrête en ce point et si on recommence l'opération, on voit l'eau se colorer de plus en plus, rester un certain temps avec la même teinte, puis se décolorer plus ou moins vite, sans que l'on puisse dire avec précision à quel moment le phénomène a commencé et quand il a fini, mais on observe seulement qu'il a duré toujours plus longtemps que n'a duré l'introduction du liquide coloré.

Si au lieu d'un liquide coloré on avait employé une solution titrable, les choses se seraient passées absolument de la même manière et quel que soit le moment où les échantillons auraient été prélevés, le rapport des titres aurait toujours donné un volume final trop grand.

Pour obtenir un résultat juste, il faut que la durée de la période pendant laquelle la coloration augmente et le titre s'enrichit, ajoutée à la durée de la période pendant laquelle la coloration et le titre diminuent, soit pratiquement négligeable par rapport à la durée du temps pendant lequel on fait débiter la solution initiale.

Ceci considéré, on voit que le procédé est théoriquement applicable dans tous les cas, mais que pour les grands cours d'eau, l'opération durerait trop longtemps et le débit à mesurer varierait pendant le temps nécessaire à l'opération.

Par contre, pour le jaugeage des petits cours d'eau torrentueux et surtout pour le jaugeage des débits de turbines, le procédé est pratique et, croyons-nous, dans la plupart des cas supérieur aux autres.

On aura soin, bien entendu, de toujours prélever plusieurs échantillons au cours d'une même opération et de les titrer séparément et ce ne sera que lorsque ces différents dosages auront donné des résultats suffisamment rapprochés que l'on sera certain d'avoir bien travaillé.

3° *Procédé de titrage précis et pratique.*

Il faut un procédé qui ne demande pas des opérations trop compliquées tout en donnant des résultats très précis et en employant une substance qui soit bon marché et facilement soluble.

Cette substance est toute indiquée, c'est le chlorure de sodium, qui peut aussi être remplacé par du chlorure de calcium.

L'emploi des chlorures nécessite cependant une précaution spéciale, parce que dans la plupart des cas les eaux que l'on veut jauger renferment déjà du chlore combiné en quantité appréciable.

Il est facile d'éliminer cette cause d'erreur en dosant non seulement la solution initiale et la solution finale, mais aussi en titrant le chlore dans l'eau que l'on veut jauger.

En ce qui concerne le procédé de dosage proprement dit, il a été rendu précis, pratique et facile par l'étude spéciale de M. Mellet, professeur et ingénieur-chimiste, étude qui est le complément important de la présente note, celle-ci doit être considérée principalement comme introduction à cette étude.

Application de la titration des chlorures au jaugeage de débits.

Par M. le Dr R. MELLET,
privat-docent à l'Université de Lausanne.

La méthode la plus pratique pour titrer industriellement des solutions neutres de chlorures alcalins est la méthode de *Mohr*, basée sur l'emploi d'une solution titrée de nitrate d'argent, en utilisant comme indicateur une solution de chromate neutre de potassium. L'addition du sel d'argent au chlorure détermine la formation d'un précipité blanc de chlorure d'argent dans le liquide coloré en jaune-citron par le chromate. Dès que la réaction est terminée, c'est-à-dire dès que le chlorure est complètement précipité, l'excès de solution argentique réagit avec l'indicateur en formant un précipité rouge-brun de chromate d'argent, ce qui se traduit, dès la première goutte en excès, par un léger virage de la couleur du liquide jaune-citron, qui prend une teinte orangée.

On utilise généralement pour les titrations de ce genre une solution déci-normale de nitrate d'argent, c'est-à-dire une solution contenant par litre un dixième de l'équivalent de ce sel exprimé en grammes. Dans le cas qui nous occupe la dilution des solutions à titrer peut être telle que l'emploi d'une liqueur déci-normale doit être exclu, sinon on risquerait de n'obtenir comme résultat qu'une approximation grossière du débit cherché. Par contre une solution centi-normale de nitrate d'argent répondrait bien à l'approximation désirée, comme on le verra plus loin. Mais l'emploi d'une solution si diluée présente des difficultés par le fait que la fin de la réaction n'est pas assez nettement perceptible; l'indicateur n'est plus assez sensible parce qu'une goutte en excès de la solution argentique ne suffit pas à faire virer la teinte de la liqueur.

Modification de la méthode de Mohr pour solutions très diluées.

Une étude approfondie de la titration des solutions très diluées de chlorures au moyen de la solution centi-normale en question nous a permis de vaincre cette difficulté. Nous avons en effet reconnu que l'excès de nitrate d'argent nécessaire pour faire virer *nettement* la teinte de la liqueur est proportionnel :

1° au volume total du liquide mis en œuvre ;

2° à la quantité du précipité formé qui, suivant les cas, reste plus ou moins longtemps en suspension ;

3° à la quantité de chromate de potassium en solution.

Pour que la titration devienne exacte, ou plutôt pour qu'elle puisse être rectifiée, il faut donc opérer toujours dans les mêmes conditions, savoir :

1° que la solution à titrer ait dans chaque cas le même volume initial ;

2° que sa concentration en chlorure soit pour chaque titration dans le même ordre de grandeur, par exemple dans l'ordre de grandeur de la concentration de la solution centi-normale, pour que d'une part le volume de solution d'argent nécessaire, d'autre part la quantité du précipité formé soient dans chaque cas à peu près les mêmes ;

3° que la concentration du liquide en chromate soit aussi à peu près la même dans les différentes titrations.

Pour percevoir nettement le virage nous titrons le liquide dans une capsule de porcelaine d'environ 10 cm. de diamètre. A côté de celle-ci nous plaçons une seconde capsule de même grandeur contenant une liqueur témoin formée de 10 cm³ de solution centi-normale de chlorure de sodium, 2 gouttes de chromate de potassium et 9 cm³ de solution centi-normale d'argent. Ce liquide permet de reconnaître par comparaison le moment précis où l'autre solution commence à changer de teinte.

En observant les précautions qui viennent d'être indiquées, l'excès de nitrate d'argent nécessaire pour obtenir un virage net est toujours le même, soit une fraction constante du nombre de cm³ employés. Il est donc facile de déterminer expérimentalement cette fraction, qu'on retranche alors, pour chaque titration, de la quantité de nitrate d'argent employée. Au cours des nombreux essais que nous avons faits dans le but de déterminer les conditions ci-dessus, cette fraction à retrancher était en moyenne de $\frac{1}{100}$.

Nous verrons plus loin que, pour les jaugeages de débits, il n'est pas nécessaire de tenir compte de cet excès constant, et qu'il n'est même pas nécessaire de connaître le titre de la solution d'argent.

Application de la méthode de Mohr au jaugeage du débit des turbines.

Les conditions indiquées plus haut sont faciles à réaliser dans le cas du jaugeage de débits. Occupons-nous d'abord de la titration de la solution finale.

Pour réaliser la première condition il suffit d'évaporer le liquide à traiter jusqu'à ce qu'il occupe un certain volume, toujours le même, par exemple environ 10 cm³.

Pour réaliser la seconde condition il faut d'abord évaluer approximativement le débit de la turbine, ce qui est toujours facile à faire. Connaissant en outre la concentration et le débit constant de la solution initiale, on prend pour l'évaporation la quantité convenable de la solution finale pour qu'on ait à titrer quelques centigrammes seulement de chlorure.

Supposons par exemple, pour fixer les idées, que la solution initiale contienne environ 300 gr. de chlorure de sodium par litre, et que cette solution ait coulé dans la