

Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 41 (1915)
Heft: 3

Artikel: Les jaugeages par titration physico-chimique
Autor: Mellet, R.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-31588>

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: 26.01.2026

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

Bulletin technique de la Suisse romande

ORGANE EN LANGUE FRANÇAISE DE LA SOCIÉTÉ SUISSE DES INGÉNIEURS ET DES ARCHITECTES — PARAISSANT DEUX FOIS PAR MOIS

RÉDACTION : Lausanne, 2, rue du Valentin : Dr H. DEMIERRE, ingénieur.

SOMMAIRE : *Les jaugeages par titration physico-chimique*, par R. Mellet, ingénieur. — *Efforts provoqués par les différences de température dans les tubes en béton armé*, par A. Paris, ingénieur-civil. — *A propos de coupole de réservoirs en béton armé*. — Concours pour le Bürgerspital, à Soleure. — Société suisse des ingénieurs et des architectes. — Société fribourgeoise des ingénieurs et des architectes. — Société vaudoise et Section vaudoise de la Société suisse des ingénieurs et des architectes. — *Bibliographie*.

Les jaugeages par titration physico-chimique.

par le Dr R. MELLET, professeur à l'Université et à l'Ecole d'ingénieurs de Lausanne.

Le jaugeage des débits par la méthode chimique, dont nous nous occupons depuis de nombreuses années, en collaboration avec M. A. Boucher, ingénieur, puis avec le Dr L.-W. Collet, directeur du Service de l'Hydrographie Nationale, a pris une extension de plus en plus considérable. La méthode que nous avons établie avec M. Boucher¹, a été appliquée par plusieurs expérimentateurs, tant pour le jaugeage de turbines que pour celui de torrents. L'Hydrographie Nationale suisse l'a adoptée officiellement pour les cours d'eau très torrentueux, pour lesquels la méthode du moulinet électrique se montre insuffisante ou inappliable. Son distingué directeur, le Dr L.-W. Collet, l'a utilisée en particulier pour le jaugeage de la Massa, principal émissaire du glacier d'Aletsch, torrent impétueux dont les eaux charriaient au moment du jaugeage, avec un débit d'environ 28 m³ par seconde, une quantité d'alluvions telle que toutes les autres méthodes furent reconnues impuissantes.

Notre méthode fut employée aussi avec succès dans le cas de turbines à faible chute et gros débits, entre autres pour le jaugeage des turbines de l'usine de Ventavon (Energie électrique du Littoral Méditerranéen), effectué sous la direction de M. Boucher, puis tout récemment, par M. B. F. Groat, qui réussit à jauger à moins de 1 % près le débit des turbines de la « St-Laurence River Power Company », à Massena, Pensylvanie (50 m³ par seconde, avec une chute de 10 mètres).

Nous ne retracerons pas ici les multiples avantages de notre méthode de jaugeage, qui ont été suffisamment établis dans nos précédentes publications. Rappelons seu-

¹ A. Boucher : Jaugeages par titrations, et R. Mellet : Application de la titration des chlorures au jaugeage de débits. *Bulletin technique de la Suisse romande*, 1910, n° 11, page 123 et 125.

L.-W. Collet, R. Mellet et O. Lütsch : Jaugeages par titrations et essais comparatifs. Communications du Service de l'Hydrographie Nationale, 1913, n° 1.

R. Mellet : Le jaugeage des débits par voie chimique. Revue générale des sciences, 1913, n° 21, page 809. Idem, 1914, n° 3, page 96.

lement, entre autres, la simplicité et la rapidité de l'opération sur le terrain, et la faculté dont dispose l'opérateur de se fixer à l'avance la précision qu'il désire réaliser, quelque grande que soit cette précision.

Le travail au laboratoire est également d'une simplicité extrême. Toutefois lorsqu'il s'agit de très gros débits et qu'on veut atteindre une grande précision, les analyses, qui elles-mêmes n'exigent que fort peu de temps, doivent être précédées de l'évaporation de volumes parfois assez considérables des solutions à analyser (échantillons de la solution finale et eau de la turbine ou du torrent prélevée avant l'introduction de sel).

Les concentrations, devant être faites au bain-marie pour éviter les pertes qu'entraînerait un chauffage trop énergique, prennent un certain temps, parfois une journée entière, et, bien qu'elles puissent être effectuées sans grande surveillance de la part de l'opérateur, elles constituent le seul inconvénient que l'on puisse reprocher à notre méthode chimique de jaugeage. Ces évaporations sont nécessaires d'une part, par la quantité minime de sel que contiennent les dissolutions à analyser, parfois quelques milligrammes par litre, d'autre part, par l'insuffisance des procédés chimiques connus pour l'analyse de solutions extrêmement diluées. Quant à ce dernier point, rappelons que nous avons déjà rendu le procédé de titration chimique des chlorures environ dix fois plus précis par notre méthode d'analyse exposée dans ce journal¹.

L'inconvénient des évaporations ne doit pas, du reste, être exagéré. Toutes les solutions à analyser peuvent en effet être mises à l'évaporation en même temps, pourvu que l'on dispose d'un nombre suffisant de ballons jaugés, de capsules et de bains-marie. Nous avons cependant cherché à éliminer cette perte de temps, en utilisant un procédé physico-chimique d'analyse permettant de traiter sans évaporation préalable même des solutions ne contenant que quelques centigrammes de sel par litre. Il est évident qu'il ne pouvait être question de supprimer complètement l'analyse chimique et de la remplacer par un autre procédé (analyse colorimétrique par exemple). L'analyse volumétrique (titration) est en effet ce qu'il y a de plus simple, tout en offrant une garantie suffisante d'exactitude, pour l'appréciation de la concentration de solutions salées. Il

¹ *Bulletin technique de la Suisse romande*, 1910, n° 11, pages 125 et suivantes.

s'agissait donc simplement de substituer à l'indicateur chimique de fin de réaction un indicateur physique plus sensible, c'est-à-dire de percevoir la fin de la titration chimique, non par une réaction chimique auxiliaire provoquant un changement subit de couleur de liquide (virage), mais par un changement brusque d'une autre quelque chose des propriétés physiques de la solution, telle que le moment précis du changement puisse être déterminé rigoureusement même dans le cas de liquides trop dilués pour pouvoir présenter un virage assez net. Nous avons choisi comme propriété physique la conductibilité électrique, et nous avons appliquée la méthode employée avec succès par M. le professeur P. Dutoit pour l'analyse des vins¹. Les résultats ont été satisfaisants. Nous ferons remarquer cependant que la méthode physico-chimique est plus délicate que la méthode purement chimique et nous semble moins à la portée d'ingénieurs n'ayant pas la pratique du laboratoire. Elle exige en outre un matériel beaucoup plus coûteux et moins transportable. Enfin, au risque de devenir très compliquée, cette méthode ne peut fournir le débit cherché qu'avec une précision maximale de 1%, tandis que la méthode que nous avons employée jusqu'ici permet de réaliser sans aucune difficulté la précision de 1‰, ou même une précision plus grande, qu'on peut se fixer à l'avance. Le seul avantage qui résulte de l'emploi de la méthode physico-chimique est donc la suppression des évaporations, même dans le cas de gros débits et sans augmenter outre mesure le débit de la solution initiale, par conséquent la possibilité d'effectuer les analyses sur-le-champ tout en réalisant une approximation de 1%, ce qui, par volumétrie chimique, n'est possible que dans le cas de petits débits.

I. Principe de la méthode.

Lorsqu'on ajoute du nitrate d'argent à une solution contenant du chlorure de sodium, on détermine la formation d'un précipité de chlorure d'argent, sel extrêmement peu soluble, suivant l'équation chimique



La quantité de chlorure de sodium dissous diminue donc. Ce sel étant au fur et à mesure remplacé dans la dissolution par une quantité équivalente de nitrate de sodium (ainsi que le montre l'équation), il en résulte une faible augmentation de la résistance électrique du liquide. Plus on ajoute de nitrate d'argent, plus la résistance augmente, et cela tant qu'il reste du chlorure de sodium dissous. Au moment où tout le chlorure de la solution a été remplacé par du nitrate de sodium, l'addition de nitrate d'argent ne précipite plus rien. Le sel ajouté reste en dissolution sans subir ni provoquer aucune transformation chimique. Il en résulte une diminution de la résistance électrique du liquide. A partir de ce moment, plus on ajoute de nitrate d'argent, plus la résistance diminue.

¹ P. Dutoit et M. Duboux : L'analyse des vins par volumétrie physico-chimique. Rouge & Cie, éditeurs, Lausanne 1912.

En résumé, lorsqu'on ajoute du nitrate d'argent à une solution de chlorure de sodium, la conductibilité du liquide commence par baisser, et monte ensuite. Il s'agit donc de fixer, au moyen de mesures électriques, le point précis où le minimum de conductibilité est réalisé.

La titration physico-chimique des chlorures par conductibilité électrique comprend les opérations suivantes.

Au moyen d'une burette volumétrique on introduit par petites portions, dans la solution à titrer, une solution de nitrate d'argent d'un titre connu.

On détermine la conductibilité du liquide au commencement de l'opération et après chaque addition de réactif, en maintenant la température constante. Cette détermination se poursuit encore deux ou trois fois après la précipitation complète du chlorure d'argent¹.

On obtient ainsi la valeur de la conductibilité du liquide avant toute addition (solution contenant une quantité fixe de chlorure de sodium), plusieurs valeurs de la conductibilité pendant la précipitation (solution contenant une quantité de plus en plus faible de chlorure de sodium et une quantité de plus en plus forte de nitrate de sodium) et plusieurs valeurs de la conductibilité après la fin de la précipitation (solution contenant une quantité fixe de nitrate de sodium et une quantité de plus en plus forte de nitrate d'argent). Ces valeurs permettent de tracer la courbe de la réaction, en portant en abscisses les volumes de réactif et en ordonnées les conductibilités.

La courbe de la précipitation du chlorure de sodium par le nitrate d'argent est constituée par une branche descendante (chlorure et nitrate de sodium), puis par une branche ascendante (nitrate de sodium et nitrate d'argent). Le point d'intersection de ces deux branches donne le volume de réactif qui a été nécessaire pour la précipitation intégrale du chlorure de sodium sous forme de chlorure d'argent. Dans leur étude de l'analyse des vins par volumétrie physico-chimique, MM. P. Dutoit et M. Duboux ont démontré que, pour éviter une augmentation sensible du volume total du liquide mis en œuvre, le réactif doit être beaucoup plus concentré que la solution à analyser. Dans le cas qui nous occupe il est commode d'employer une solution de nitrate d'argent environ $\frac{4}{5}$ normale. On laisse couler cette solution d'une burette permettant de lire le centième de cm³. Remarquons que, dans le cas des jaugeages, il n'est pas nécessaire d'en connaître le titre, ainsi que nous l'avons démontré dans nos publications précédentes.

MM. Dutoit et Duboux ont également montré qu'une titration physico-chimique n'exige pas la connaissance des valeurs absolues de la conductibilité de la solution, qui peut ainsi être exprimée en unités absolument arbitraires, puisqu'il s'agit d'apprécier seulement les variations de conductibilité produites par l'addition de réactif. Conformément aux indications de ces auteurs, nous maintenons

¹ La détermination de la conductibilité d'une dissolution se fait par la méthode du pont de Wheatstone, trop connue pour que nous ayons besoin de la décrire.

constante la résistance de comparaison pendant toute la durée de la titration, et nous traçons nos courbes au moyen des valeurs de $\frac{a}{b}$, a et b représentant les longueurs en cm. des deux branches du pont ($\frac{a}{b} = \frac{a}{100-a}$)

II. Technique de la méthode appliquée aux jaugeages.

1^o Matériel nécessaire.

Une burette de 1 cm³ divisée en centièmes, avec réservoir latéral (modèle de MM. Dutoit et Duboux). Pour éviter les erreurs de mesure, l'extrémité de la burette doit être très effilée.

Quelques pipettes et ballons jaugés.

L'installation complète pour la détermination de la conductibilité électrique, comprenant :

- une ou deux piles au chlorure d'ammonium ;
- une petite bobine d'induction ;
- un commutateur ;
- une boîte de résistances ;
- un récepteur téléphonique ;
- un pont de Wheatstone ;
- une cuve cylindrique en verre, d'environ 600 cm³ de capacité ;
- une paire d'électrodes platinées, d'environ 12 cm² de surface chacune ;
- un thermomètre permettant de lire le centième de degré ;
- un agitateur actionné par un petit moteur ou par une petite turbine.

2^o Réactif.

Solution de nitrate d'argent renfermant une quantité indéterminée d'environ 30 à 40 gr. de ce sel par litre. La même solution doit être employée pour les trois titrations d'un jaugeage.

3^o Dilution préalable de la solution initiale.

On en mesure à l'aide d'une pipette 5 cm³, qu'on étend à 500 cm³ (avec de l'eau distillée) dans un ballon jaugé.

4^o Choix des échantillons concordants de la solution finale.

Pour éviter d'effectuer la titration physico-chimique de chacun des échantillons prélevés en aval du point d'introduction de la solution salée, il est avantageux de déterminer par titration chimique approximative quels sont les échantillons concordants. On pourra ensuite, pour la titration définitive, composer un échantillon moyen unique par mélange de volumes égaux de ces derniers¹.

Les titrations approximatives des divers échantillons de la solution finale se font, à l'aide d'une burette ordinaire et par une solution plus diluée de nitrate d'argent (environ 2 gr. par litre), en prenant chaque fois 50 ou 100 cm³ de liquide à titrer (par voie chimique ordinaire, c'est-à-dire

¹ Nous avons adopté cette simplification de notre méthode également pour l'analyse par voie purement chimique, ce qui conduit à l'évaporation et à la titration définitive d'un seul échantillon moyen de la solution finale.

après addition de quelques gouttes de solution de chromate de potassium).

5^o Volumes à titrer par conductibilité.

On introduit dans la cuve à résistance

a) Pour la titration de la solution initiale : 5 cm³ (exactement pipettés) du liquide, étendu comme cela a été indiqué ci-dessus (3^o), auxquels on ajoute environ 400 à 500 cm³ d'eau distillée.

b) Pour la titration de la solution finale : 400 à 500 cm³ (mesurés exactement) d'un mélange de parties égales des échantillons concordants.

c) Pour la titration de l'eau de la turbine ou du torrent prélevée avant l'introduction de sel : 500 cm³ (mesurés exactement), auxquels on ajoute, à l'aide d'une pipette, exactement 5 cm³ de la solution initiale étendue (voir 3^o). Cette addition a pour but d'augmenter d'une quantité connue la teneur en sel de l'eau naturelle, qui parfois n'en contient qu'une proportion non dosable, même par conductibilité. Sans cette addition, le nitrate d'argent ne déterminerait souvent aucune précipitation de chlorure d'argent, grâce à la solubilité de ce dernier.

6^o Titration des solutions et calcul du débit.

On met l'agitateur en mouvement, on note la température du liquide contenu dans la cuve et on en mesure la conductibilité. On laisse ensuite couler de la burette, par fractions de 0,1 à 1 cm³ (suivant la concentration plus ou moins grande du liquide salé), la solution de nitrate d'argent, en maintenant la température rigoureusement constante, et on détermine la conductibilité du liquide après chaque addition.

La conductibilité diminuant au début (pendant la précipitation du chlorure d'argent), le déplacement du curseur sur le pont, nécessaire pour percevoir le minimum de son au téléphone, se fait de droite à gauche. Dès que la précipitation du chlorure d'argent est terminée, la conductibilité du liquide va en augmentant et le déplacement du curseur a lieu de gauche à droite. A partir de ce moment on fait encore trois ou quatre additions de réactif (avec mesure de la conductibilité).

Les valeurs a notées sur le pont (en cm.) sont transformées en $\frac{a}{b} = \frac{a}{100-a}$, puis on trace le graphique en portant en abscisses les volumes de nitrate d'argent exprimés en cm³ et en ordonnées les valeurs de $\frac{a}{100-a}$, représentant les conductibilités correspondantes. L'intersection des deux courbes, prolongées en ligne droite dans le voisinage de leur rencontre, donne le volume exact de réactif qui a été nécessaire pour la précipitation complète du chlorure. Ce volume est, pour les trois titrations, rapporté à un litre des solutions à titrer ce qui fournit les chiffres indiqués dans notre formule de jaugeage par les lettres N_1 , N_2 et n .

Le calcul du débit se fait comme pour le jaugeage par titration chimique :

$$D = d_1 \frac{N_1}{N_2 - n} - d_1$$

Nous donnons ci-dessous, à titre d'exemples, les jaugeages des turbines de l'usine de Ventavon (Energie électrique du Littoral Méditerranéen), dont nous avons effectué les titrations par les deux méthodes (chimique et physico-chimique).

Jaugeages des turbines de l'usine de Ventavon.

I. Jaugeage à pleine charge.

1^o Titrat. de la solution initiale.

5 cm³ ont été dilués à 500 cm³.

Nous avons pris pour la titration 5 cm³ de cette solution diluée, plus environ 500 cm³ d'eau distillée.

Température pendant la titration : $t = 17^{\circ}48$.

Volume de réactif cm ³	Position du curseur sur le pont cm.	Valeur correspondante de $\frac{a}{100 - a}$
0,6	33,60	0,5060
0,4	33,40	0,5015
0,6	33,30	0,4993
0,9	33,20	0,4970
1,2	35,55	0,5516
1,3	37,40	0,5974
1,35	38,29	0,6205

Tracé du graphique : figure 1.

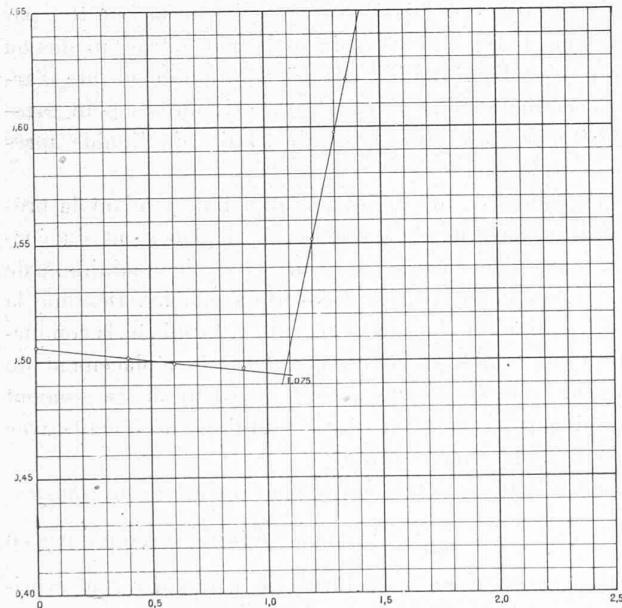


Fig. 1. — Usine de Ventavon, 1^{er} jaugeage, 1^{re} titrat. de la solution initiale.

Point obtenu : 1,075 cm³ de nitrate d'argent pour 5 cm³ de solution initiale diluée.

Donc pour 1000 cm³ de solution initiale :

$$N_1 = 21\,500$$

2^o Titrat. de la solution finale.

Par titration approximative 8 échantillons ont été reconnus concordants (n° 4 à 11).

Nous avons pipetté, puis mélangé 50 cm³ de chacun de ces échantillons (soit en tout 400 cm³ de solution finale).

$$t = 18^{\circ}45$$

cm ³ de réactif	cm. sur le pont	$\frac{a}{100 - a}$
0,0	31,48	0,4595
0,3	31,45	0,4588
0,6	31,42	0,4581
0,9	31,40	0,4577
1,2	31,50	0,4599
1,5	32,02	0,4710
1,8	32,60	0,4837
2,1	33,15	0,4959
2,4	33,70	0,5083

Tracé du graphique : figure 2.

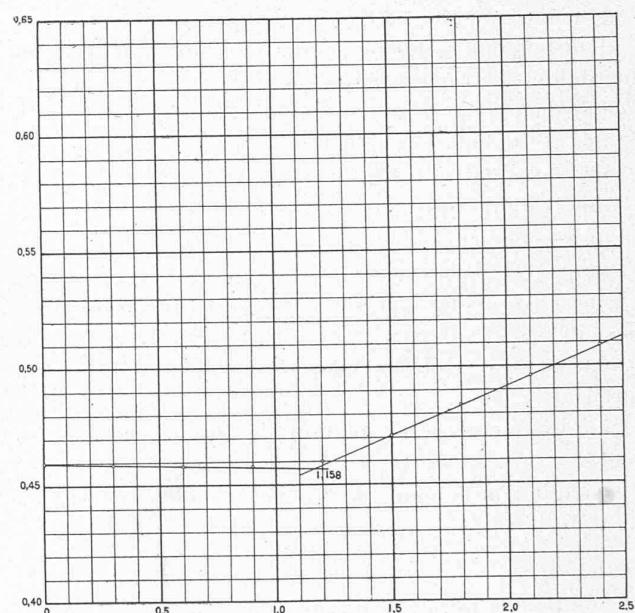


Fig. 2. — Usine de Ventavon, 1^{er} jaugeage, 2^{me} titrat. de la solution finale.

Point obtenu : 1,158 cm³ de nitrate d'argent pour 400 cm³ de solution finale.

Donc pour 1000 cm³ de solution finale :

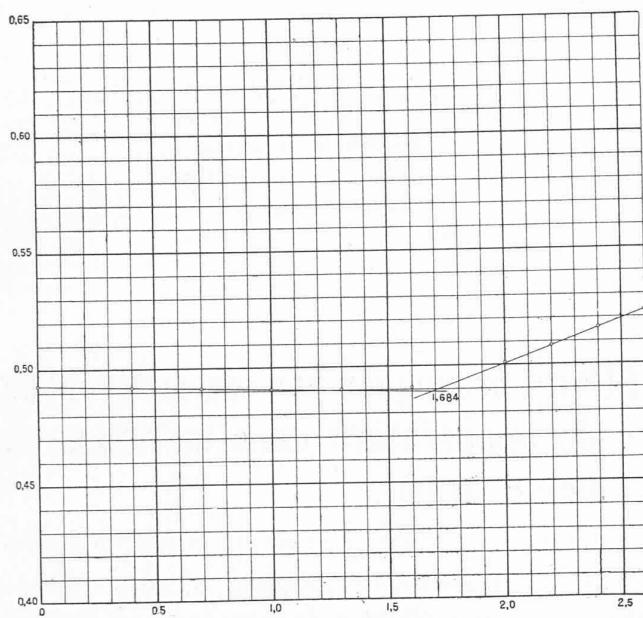
$$N_2 = 2,895$$

3^o Titrat. de l'eau de la Durance.

Nous avons prélevé 450 cm³ de cette eau, volume auquel nous avons ajouté exactement 5 cm³ de la solution initiale diluée.

$$t = 18^{\circ}14$$

cm ³ de réactif	cm. sur le pont	$\frac{a}{100 - a}$
0,0	33,02	0,4930
0,4	32,98	0,4921
0,7	32,95	0,4914
1,0	32,92	0,4907
1,3	32,90	0,4903
1,6	32,93	0,4910
2,0	33,38	0,5010
2,2	33,70	0,5083
2,4	34,02	0,5157
2,6	34,35	0,5232

Fig. 3. — Usine de Ventavon, 1^{er} jaugeage, 3^{me} titration de l'eau de la Durance.

Tracé du graphique : figure 3.

Point obtenu : 1,684 cm³ de nitrate d'argent pour 450 cm³ d'eau, plus 5 cm³ de solution initiale diluée.

A retrancher 1,075 pour ces 5 cm³

Reste 0,609 pour 450 cm³ d'eau.

Donc pour 1000 cm³ d'eau :

$$n = 1,353$$

4^e Calcul du débit.

$$d_1 = 0,9012 \text{ litre/sec.}$$

$$D = 0,9012 \frac{21\,500}{2,895 - 1,353} = 0,9\dots \\ = 12564,4 \text{ litres/sec.}$$

Par titration chimique nous avions trouvé :

$$12538,5 \text{ litres/sec.}$$

(différence : environ + 0,2 %)

II. Jaugeage à demi-charge.

1^{er} Titration de la solution initiale.

5 cm³ ont été dilués à 500 cm³.

Nous avons pris pour la titration 5 cm³ de cette solution diluée, plus environ 500 cm³ d'eau distillée.

$$t = 19^{\circ},80$$

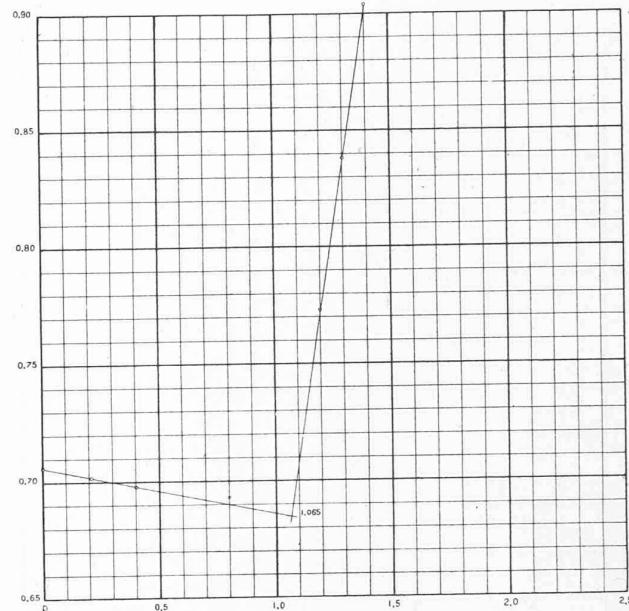
cm ³ de réactif	cm. sur le pont	$\frac{a}{100 - a}$
0,0	41,38	0,7059
0,2	41,24	0,7019
0,4	41,10	0,6978
0,8	40,93	0,6929
1,2	43,60	0,7731
1,3	45,60	0,8382
1,4	47,48	0,9041

Tracé du graphique : figure 4.

Point obtenu : 1,065 cm³ de nitrate d'argent pour 5 cm³ de solution initiale diluée.

Donc pour 1000 cm³ de solution initiale :

$$N_1 = 21\,300$$

Fig. 4. — Usine de Ventavon, 2^{me} jaugeage, 1^{re} titration de la solution initiale.2^{re} Titration de la solution finale.

Par titration approximative 4 échantillons ont été reconnus concordants (*E*, *F*, *H*, *I*). Nous avons pipetté, puis mélangé 100 cm³ de chacun de ces échantillons (soit en tout 400 cm³ de solution finale).

$$l = 19^{\circ},98$$

cm ³ de réactif	cm. sur le pont	$\frac{a}{100 - a}$
0,0	42,65	0,7437
0,4	42,60	0,7422
0,6	42,58	0,7416
1,0	42,53	0,7400
1,4	42,65	0,7437
1,6	43,02	0,7550
1,8	43,46	0,7687
2,0	43,90	0,7825

Tracé du graphique : figure 5.

Point obtenu : 1,362 cm³ de nitrate d'argent pour 400 cm³ de solution finale.

Donc pour 1000 cm³ de solution finale :

$$N_2 = 3,405$$

3^{re} Titration de l'eau de la Durance.

Nous avons prélevé 400 cm³ de cette eau, volume auquel nous avons ajouté exactement 5 cm³ de la solution initiale diluée.

$$l = 20^{\circ},04$$

cm ³ de réactif	cm. sur le pont	$\frac{a}{100 - a}$
0,0	43,15	0,7590
0,5	43,09	0,7572
0,8	43,06	0,7563
1,4	43,00	0,7544
1,7	43,05	0,7559
2,0	43,65	0,7746
2,2	44,05	0,7873
2,4	44,45	0,8002

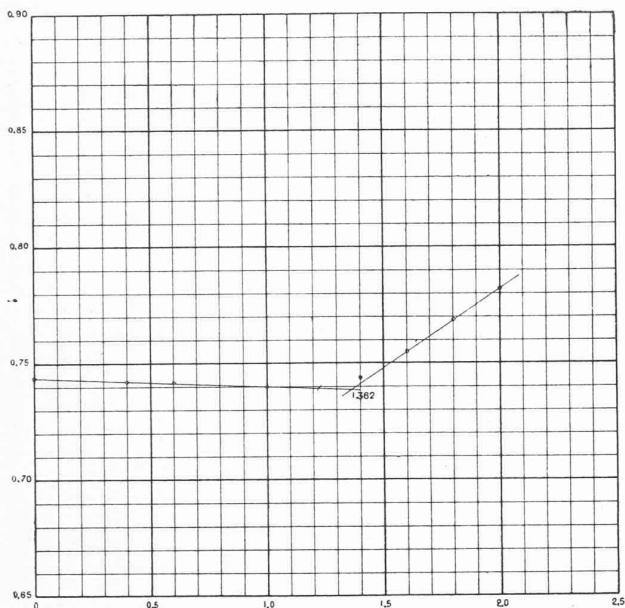


Fig. 5. — Usine de Ventavon, 2^{me} jaugeage, 2^{me} titration de la solution finale.

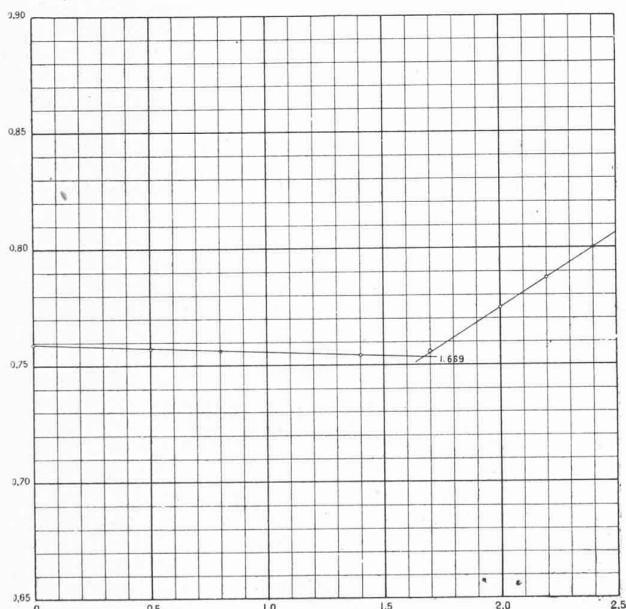


Fig. 6. — Usine de Ventavon, 2^{me} jaugeage, 3^{me} titration de l'eau de la Durance.

Tracé du graphique : figure 6.

Point obtenu : 1,669 cm³ de nitrate d'argent pour 400 cm³ d'eau, plus 5 cm³ de solution initiale diluée.

A retrancher 1,065 pour ces 5 cm³

Reste 0,604 pour 400 cm³ d'eau.

Donc pour 1000 cm³ d'eau :

$$n = 1,51$$

4^e Calcul du débit.

$$d_1 = 0,5818 \text{ litre/seconde}$$

$$D = \frac{0,5818}{3,405 - 1,51} = 0,6 \\ = 6538,9 \text{ litres/seconde.}$$

Par titration chimique nous avions trouvé :

$$6579,3 \text{ litres/seconde}$$

(différence : environ — 0,6 %).

Efforts provoqués par les différences de température dans les tubes en béton armé.

par A. PARIS, ingénieur-civil, professeur à l'Université de Lausanne.

Depuis que *Bouniceau* a démontré la grande analogie des coefficients de dilatation du béton de ciment Portland normal ($\alpha = 0,000013$ ou 14) et de l'acier doux de construction ($\alpha = 0,00001235$), la pratique a admis l'axiome de l'indifférence du béton armé aux variations de température, sauf toutefois en ce qui concerne l'opposition que rencontre la dilatation naturelle dans les appuis rigides. Cette hypothèse est du reste admissible dans la construction courante pour les deux raisons suivantes : 1^o les variations normales de température sont comprises entre des limites extrêmes de cinquante degrés et l'état de repos se trouve à mi-distance environ. 2^o les efforts théoriques dus au retrait sont beaucoup plus considérables puisqu'ils équivalent à une variation thermique moyenne de 300° abstraction faite des déformations intérieures subies de leur fait pendant la prise et le durcissement, déformations qui restreignent ces efforts dans une limite encore inconnue. Le reliquat, qu'on néglige du reste aussi, compense sûrement les efforts que provoque l'élévation normale de la température. Ils doublent par contre, au minimum, ceux qui résultent d'un froid naturel intense.

Les deux coefficients de dilatation du béton et du fer montrent un écart maximum de 1,65 millionnième par degré centigrade, ce qui est très peu, mais qui reste pourtant comparable à l'inverse du coefficient d'élasticité normal, de 140 000 kg/cm², soit 7,2 millionnièmes. Si le béton devait restreindre sa dilatation pour rester au niveau du métal, il éprouverait donc une compression de 1,65 : 7,2 = 0,23 kg/cm² par degré centigrade, soit 5,8 kg/cm² pour 25°. Cet effort ne sera du reste pas atteint, puisque le fer oppose une résistance élastique et que sa distension se déduira du raccourcissement infligé au béton.

Ces efforts, négligeables dans les limites ordinaires de variations thermiques, prennent par contre de l'importance lorsque le corps en béton armé se trouve en contact avec de hautes températures, comme dans les bacs à eau chaude ou surtout dans les cheminées d'usine. Dans ce dernier cas, l'enveloppe intérieure devant se limiter à la zone des températures dangereuses au béton armé, on