

Mesure du débit des oueds nord-africains par la méthode chimique au bichromate

Application aux oueds de Kabylie des Babors et des hauts plateaux sétifiens

Discharge measurements of North African waddis by the chemical bichromate method

Application to the waddis of Kabylie and the high Setif plateaux

PAR

A.-A. GUNTZ

ET

A. LUXO

PROFESSEUR A LA FACULTÉ DES SCIENCES D'ALGER
SERVICE DE CHIMIE APPLIQUÉE

INGÉNIEUR DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE
SERVICE DES ÉTUDES GÉNÉRALES ET RECHERCHES
D'ÉLECTRICITÉ ET GAZ D'ALGÉRIE

Les auteurs ont expérimenté la méthode de jaugeage chimique au bichromate de sodium (méthode Dodero) en y apportant une modification appropriée aux eaux troubles susceptibles de réduire le bichromate.

L'addition d'un peu de permanganate aux prélèvements faits en vue du dosage stabilise le bichromate et la technique du dosage colorimétrique reste utilisable moyennant quelques petites modifications.

Les résultats obtenus confirment la sensibilité et la précision de la méthode chimique Dodero; ils permettent de l'appliquer sans crainte à des eaux suspectes, susceptibles de perturber les résultats par réduction du bichromate.

The authors have carried out experiments on the chemical gauging method using sodium bichromate (Dodero method) and have modified it to suit the turbid waters which are likely to reduce the bichromate.

The addition of a little permanganate to the samples is made immediately to stabilise the bichromate; and the technique of calorimetric dosage remains useable provided a few small modifications are made.

The results obtained confirm the sensitivity and accuracy of the Dodero chemical method; they show that the method can be applied with certainty to doubtful waters, which at first seem likely to upset the results by reducing the bichromate.

La mesure du débit d'un cours d'eau par voie chimique est une opération très simple en théorie.

Il suffit d'y déverser un produit chimique en solution concentrée et avec un certain débit constant. On dose en aval le mélange devenu homogène.

Si le débit du réactif est par exemple Q l/s et la concentration C , tandis que le mélange prélevé a une concentration c :

la dilution C/c multipliée par Q donne le débit.

En pratique, il faut trouver un produit chimique qui cumule un certain nombre de qualités :

- 1° Être facile à se procurer à un prix abordable;
- 2° Être facilement soluble, ni corrosif, ni toxique;
- 3° Être facile à doser avec précision, même aux très grandes dilutions (de l'ordre du mg/litre);
- 4° Ne pas préexister en quantité comparable dans l'eau du cours d'eau;

5° Ne pas se détruire ou disparaître entre le moment de l'injection et l'analyse du prélèvement.

Ces conditions restreignent naturellement beaucoup le choix possible.

Aussi le simple sel marin, facile à doser et proposé à l'origine par SCHLOESING (1), instigateur de la méthode chimique, n'est pas applicable aux eaux de rivières tant soit peu salées, comme le sont précisément les oueds nord-africains.

La fluoresceine, naturellement absente, est détruite par la lumière et son dosage précis n'est pas facile, aussi trouve-t-elle un champ d'application limité aux eaux souterraines.

Finalement, un petit nombre de composés chimiques ont franchi le barrage des conditions nécessaires. Ce sont :

- le sulfate de manganèse.
- le nitrite de sodium,
- le bichromate de sodium, dernier venu dont la qualité majeure est la sensibilité du dosage à la diphényl-carbazide. Absent dans les eaux naturelles et, sous certaines conditions, stable, le bichromate doit être plus avantageux que le nitrite de sodium dont le dosage a une sensibilité du même ordre.

L'emploi d'isotopes radioactifs, susceptibles d'être détectés par la mesure physique du rayonnement caractéristique, est très probablement une solution nouvelle, solution d'avenir que nous ne pouvions envisager avec les moyens dont disposent les chimistes.

Le Service des Etudes Générales et Recherches d'Electricité et Gaz d'Algérie a en projet des aménagements hydro-électriques importants sur l'Oued Bou-Sellam et l'Oued Djendjen. Les conditions des mesures sont telles que les jauges au moulinet s'avèrent difficiles et imprécises; la méthode chimique de mesure des débits a donc été mise en œuvre en utilisant le bichromate.

Il est rapidement apparu que le bichromate n'avait pas la stabilité prévue. Les eaux d'oueds, très chargées en sédiments et en matières organiques, deviennent susceptibles de réduire le bichromate.

Il est très plausible d'admettre une réduction biochimique et l'un de nous a pensé stopper ce processus en ajoutant, sitôt le prélèvement fait, une petite quantité de permanganate de potassium jouant à la fois le rôle d'antiseptique, d'oxydant protecteur et même régénérateur du bichromate éventuellement réduit.

La technique du dosage se présente dès lors ainsi :

— Aussitôt faits, les prélèvements sont additionnés de quelques gouttes d'une solution de permanganate de potassium concentrée, — teinte obtenue : vin rosé;

— Si les échantillons doivent être adressés à un laboratoire distant et si quelques délais sont à prévoir, les flacons seront de préférence bouchés à l'émeri ou en matière plastique.

A l'arrivée au laboratoire, on procède à la décoloration au moyen d'azoture de sodium. Il faut en ajouter le moins possible — soit quelques gouttes d'une solution à 1 %, soit quelques cristaux du sel solide. On opère par additions successives en suivant la décoloration qui est très rapide au bain-marie, quinze minutes au plus. Aussitôt décolorée, la solution est refroidie. Dans ces conditions, le permanganate est réduit sans que le chromate soit touché et sans que soit gênée la réaction à la diphényl-carbazide (6).

L'expérience révèle facilement les conditions susceptibles de donner la sensibilité la meilleure avec le colorimètre dont on dispose et les concentrations des prélèvements. Quoique la loi de BEER soit sensiblement suivie (filtre vert - 540 m μ pour le maximum d'absorption), il est toujours convenable de tracer une courbe expérimentale avec des quantités connues de chromate et les mêmes réactifs.

L'expérience montrera si une addition très faible de permanganate suivie de décoloration spontanée est suffisante à l'usage.

I. — MESURE DE DÉBITS DE RÉSURGENCES DANS L'OUED BOU-SELLAM

L'Oued Bou-Sellam traverse au nord-ouest de Sétif un massif calcaire où il s'encaisse en gorges profondes (gorges du Guergour); la question s'est posée de mesurer le débit des résurgences situées dans le lit de l'oued.

Les débits, de 200 à 600 l/s, ont été mesurés au moyen d'un équipement très léger. Le tronçon de l'oued en régime torrentiel sur lequel ont porté les essais était choisi juste assez long pour que la dilution de la solution soit bien homogène. Les prélèvements ont été effectués jusqu'à la teneur nulle. Le débit de l'oued, pratiquement constant pendant les mesures, a été calculé en écrivant que le poids total de bichromate injecté se retrouve dans la section de prélèvement. Le traitement au permanganate a été effectué au moment du flaconnage, bien que les eaux fussent claires, du fait de la présence possible de corps organiques et des très faibles concentrations à doser vers la fin de l'opération.

II. — MESURES DE DÉBITS DE L'OUED DJENDJEN

L'Oued Djendjen à la station de mesure draine un bassin versant de 133 km², qui comprend un des plus hauts sommets de la Kabylie des Babors (Djebel Tababor 1.960 m); il est constitué par des schistes de perméabilité très faible, on y observe des crues violentes de 300 m³/s et au-delà. Dès que le débit dépasse 10 m³/s, il est très difficile de maintenir un moulinet aux points voulus d'une verticale déterminée de la section et la mesure de hauteur d'eau ne peut être faite avec précision.

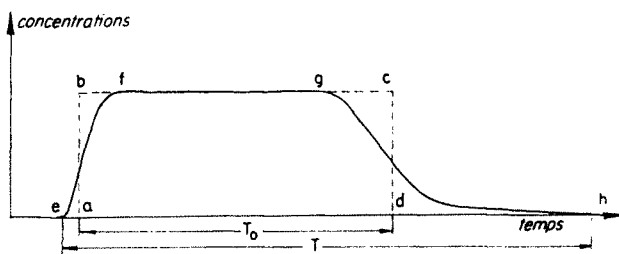
Ces raisons ont conduit à rejeter les jaugeages au moulinet pour les débits supérieurs à 10 m³/s.

La méthode de jaugeage chimique donnera par contre une valeur moyenne du débit plus exacte, sans qu'il soit nécessaire de connaître avec précision la section d'écoulement.

L'équipement de jaugeage, fixe, a été conçu pour les débits jusqu'à 300 m³/s, il est analogue à celui décrit par H. DUMAS (5).

L'injection est faite en 1, 2 ou 3 points de la section (débit réglable à partir de la rive); le mélange est effectué sur une longueur d'oued de 800 m, avec deux coudes de sens inverse.

Cependant, nous avons vu que le bichromate pouvait être réduit par les eaux; il faut contrôler que la quantité de bichromate injectée est bien retrouvée dans la section de prélèvement; on a donc effectué les prélèvements nécessaires pour tracer la courbe complète de variation de la concentration dans l'oued jusqu'aux concentrations nulles.



Soit :

Q le débit de l'oued,

q le débit d'injection,

C la concentration de la solution injectée,

c la concentration en régime permanent,

c_i la concentration, à l'instant i,

n le nombre de prélèvements,

T₀ la durée d'injection,

T la durée des prélèvements de C₀ = 0 à la concentration finale de nouveau nulle C_T = 0.

Lorsque le bichromate injecté n'a pas été réduit, les surfaces *abcd* et *efgh* sont égales, et :

$$\sum (c_i/n) \times T = c T_0$$

Le rapport du poids total de bichromate injecté à la somme dans le temps des concentrations des prélèvements permet aussi l'évaluation du débit moyen Q pendant l'opération — ce débit sera égal au débit de régime permanent $Q = Cq/c$ s'il n'y a pas de disparition de bichromate.

Nous donnons ci-dessous les résultats d'un des jaugeages effectué dans ces conditions.

Jaugeage effectué le 18 mars 1954

Débit d'injection : 0,446 l/s;

Durée d'injection : 1 heure;

Teneur en Cr₂O₇Na₂, 2H₂O = 22 gr/l;

Deux points d'injection dans le profil de 50 m de large, débits égaux;

Prélèvements : toutes les deux minutes pendant deux heures. Simultanément en trois points du profil en travers de la section de prélèvements à 800 m en aval des points d'injection;

Nombre de prélèvements : 180;

Traitement au permanganate dès flaconnage.

Concentration moyenne des prélèvements : 0,937 mgr/l.

Débit de l'oued (régime permanent) :

$$Q = 0,446 \frac{22}{0,937} = 10,47 \text{ m}^3/\text{s}$$

Débit de l'oued (contrôle) :

$$Q = \frac{3.600 \times 22 \times 0,446 + 836}{3.480,72} = 10,37 \text{ m}^3/\text{s}$$

Le terme 836 est une correction de vidange des tubes.

Remarques

a) Le jaugeage au moulinet encore possible à ce débit, effectué dans la section de prélèvement, a donné :

$$Q = 10,4 \text{ m}^3/\text{s}$$

en très bonne concordance avec les résultats précédents — différence inférieure à 1 %;

b) Les eaux de l'oued étaient troubles et chargées à 1 gr/l de matières en suspension. L'un de nous (7) a déjà signalé la réduction possible du bichromate dans ces conditions; l'erreur sur le débit, qui pourrait atteindre 30 % par excès, a pu être évitée par le traitement au permanganate, qui s'avère essentiel partout où des eaux polluées ou chargées sont en cause.

Conclusion

Dans les deux exemples cités, l'efficacité du permanganate a été vérifiée; on a pu ainsi réaliser des jaugeages chimiques en eaux chargées avec la même précision qu'en eau très pure. Les mesures de débits des grandes crues pourront être entreprises en toute sécurité.

DISCUSSION

Président : M. REMENIERAS

M. le Président remercie M. DUMAS d'avoir bien voulu présenter le mémoire de MM. GUNTZ et LUXO et félicite les auteurs.

Répondant à une question de M. BEAU sur l'homogénéité de la solution, M. DUMAS indique que les auteurs ne donnent que la concentration finale moyenne sans préciser les concentrations correspondant à chaque point de prélèvement.

Mais M. DUMAS pense que cette concentration devait être homogène au bout du parcours de 800 mètres considéré sur les oueds, car il a lui-même obtenu une dilution homogène à moins de 1 % dans la section finale d'un parcours de 500 m sur la Séveraisse. Dans l'un et l'autre cas, la turbulence à relativement grosse échelle et le faible tirant d'eau des cours d'eau étudiés finissent par donner une bonne homogénéité. En ce qui concerne les écoulements calmes, M. DUMAS signale qu'il a opéré dans le canal du Drac inférieur, à Grenoble, qui a 48 m² de section et un alignement droit de 1 km de longueur : pour un débit de 60 m³/s correspondant à une vitesse de plus d'un mètre à la seconde, avec une injection répartie en surface au moyen d'un tube perforé tous les 20 centimètres, il a obtenu, au bout d'un parcours de 400 mètres, une répartition assez homogène pour permettre un bon calcul du débit.

En général, les comparaisons avec d'autres méthodes de jaugeage sont rares, car là où la méthode chimique s'applique telle autre ne s'applique plus, mais les statistiques ont montré que les présomptions d'exactitude de cette méthode sont bonnes.

M. MAGRIN demande comment est déterminé le nombre de prélèvements successifs opérés en un même point de la section finale. Ce nombre est-il fixé suivant la précision que l'on désire obtenir?

M. DUMAS répond qu'on cherche à obtenir un régime permanent, et que ce régime permanent doit être assez long pour permettre un nombre de prélèvements suffisants pour tracer le palier de ce régime.

M. le Président rappelle qu'il y a cependant dans le mémoire de MM. GUNTZ et LUXO une comparaison avec des mesures au moulinet. L'écart inférieur à 1 % qui en

BIBLIOGRAPHIE

- (1) SCHLOESING (Th.). — C. R. Ac. des Sc., 1863.
- (2) GOGUEL (J.). — « Jaugeage continu du Guil », *la Houille Blanche*, n° 3, 1946.
- (3) Société Hydrotechnique de France, fascicule n° 4 du « Code d'Essais des Installations Hydrauliques », article A II.
- (4) DODERO. — C. R. Ac. des Sc., 243, 1462-4, 1952.
- (5) DUMAS (H.). — *La Houille Blanche*, 690-701, 1952; 51-57, 1953; 360-373, 1953.
- (5 bis) ZIRILLI (H.). — *La Houille Blanche*, 510-4, 1953.
- (6) SALTZMAN (Bernard-E.). — Analytical chemistry, 1066, 1952.
- (7) GUNTZ (A.A.). — C. R. Ac. des Sc., 236, 2423-4, 1953.
- (8) DODERO. — « Modalités pour le titrage des solutions employées dans la méthode chimique pour la mesure des débits ». *La Houille Blanche*, n° 6, 1953.

résulterait est, d'ailleurs, assez exceptionnel et mériterait une analyse particulière.

M. BOUVARD indique qu'une corrélation extrêmement satisfaisante a été trouvée entre des mesures faites par M. DUMAS et la R.E.H. Alpes II suivant la méthode chimique et des mesures faites au moulinet par la Division Technique Générale d'E.D.F sur l'Arveyron à Chamonix. Par contre, à côté d'un très grand nombre d'essais différents, il a été trouvé dans deux cas des anomalies difficilement explicables :

— Sur le torrent de Naves, affluent rive droite de l'Isère où le jaugeage portait sur plusieurs kilomètres de torrent pour des débits de l'ordre de 100 l/s (il s'agissait de mesurer les apports intermédiaires); dans ce cas on a trouvé une divergence entre les débits indiqués par jaugeages continus et les débits indiqués par des jaugeages faits à l'amont et à l'aval du tronçon considéré. Ces anomalies semblent dues à la présence dans l'eau d'amas de branches et de feuilles.

— Sur l'Arve au droit des Houches où les anomalies semblent correspondre soit à la teneur élevée en matière minérale (il s'agissait de jaugeages des purges et des dessableurs) soit à la teneur en matières organiques élevée due à la présence de Chamonix à l'amont.

M. DUMAS croit que la stabilité du bichromate en présence des matières organiques est bonne, mais que ce sont les micro-organismes qui provoquent la réduction de ce sel. Des essais de stabilité du bichromate seront faits en présence des eaux recueillies dans les endroits signalés par M. BOUVARD dans des mares stagnantes.

Lorsque les eaux présentent un trouble persistant dû à la suspension ou à la dilution de produits minéraux, il suffit d'avoir soin de prélever dans la rivière même, la quantité d'eau nécessaire à la préparation de l'échelle de dilution servant à l'étalonnage du colorimètre.

Répondant à une question de M. RAVIER, M. DUMAS dit qu'il ignore si l'emploi de l'azotate de sodium, qui a l'inconvénient d'être très toxique, présente comme antiseptique des avantages sur les solutions sulfuriques. Il ajoute que certains chercheurs ont cherché à utiliser un

antiseptique ou un procédé physique ne provoquant pas de coloration : par exemple l'irradiation des échantillons sous une lampe à vapeur de mercure.

M. RAVIER donne les résultats de ses essais comparatifs portant sur les jaugeages au moulinet, la méthode chimique et la méthode des résistivités : dans les eaux de grande pureté et de faible salinité telles que celles des torrents de montagne, les résultats des trois méthodes concordent à 3 % près; dans le Gave de Pau, pour des débits de 60 à 80 m³/s, entre la méthode des résistivités opérée avec des concentrations importantes de sel gemme (d'ailleurs moins soluble que le sel marin) et la méthode chimique, mise en œuvre avec des teneurs de bichromate inférieures au milligramme, la concordance a été à peu près normale, inférieure à 5 %, par contre, les écarts avec les mesures au moulinet ont atteint 10 à 12 %.

M. le Président remarque que lorsqu'on compare les résultats des jaugeages au moulinet avec ceux donnés par d'autres méthodes, les erreurs propres à chacune d'elles peuvent, suivant le hasard, s'ajouter ou se retrancher; on ne peut donc tirer de conclusion qu'après des essais répétés.

N.D.L.R. --- Nous avons communiqué le texte de cette

discussion à M. Luxo qui nous a fait part des observations ci-après :

1) Au sujet de l'opinion émise sur l'écart inférieur à 1 % entre les mesures de débit au moulinet et par la méthode chimique, effectuées par les auteurs :

La mesure du débit a été effectuée au moulinet en 57 points de la section de prélèvements, sur le bedrock levé avec précision; en chaque point la mesure était effectuée sur une durée d'au moins deux minutes. D'autre part si la répartition des écarts de mesures d'une même grandeur par différents procédés est gaussienne les valeurs voisines de la moyenne, ici zéro, ont la probabilité maximum et devraient donc être les moins rares, ainsi il n'y a pas lieu de s'inquiéter outre mesure de la concordance observée à 1 % près environ.

2) L'azoture de sodium n'est employé qu'au Laboratoire et seulement éventuellement pour décolorer le permanganate, sa toxicité ne pose donc pas de problème.

3) Les auteurs ont adopté le permanganate parce que sa couleur réalise automatiquement le contrôle de son addition.

