

# SÉANCE SPÉCIALE D'HYDROLOGIE DU 23 JUIN 1901.

*Présidence de M. A. Rutot, président.*

## Communications.

Nous nous bornons à fournir ci-dessous les titres des quatre causeries qu'ont bien voulu faire gracieusement, à la Société belge de Géologie, MM. *L. Janet*, *F. Marboutin* et *M. Le Couppey de la Forest*, au cours de cette séance spéciale, qui leur était exclusivement consacrée.

On trouvera aux *Mémoires*, avec les planches et figures qui les accompagnent, ces exposés de nos aimables et savants confrères parisiens.

## **SUR L'UTILISATION DES SOURCES**

POUR L'ALIMENTATION DES VILLES EN EAUX POTABLES

par **Léon JANET**

---

SUR

## **LA PROPAGATION DES EAUX SOUTERRAINES**

---

NOUVELLES MÉTHODES D'EMPLOI DE LA FLUORESCÉINE

par **Félix MARBOUTIN**

---

## **LES CAVERNES PÉNÉTRABLES A L'HOMME**

DANS LA CRAIE DU BASSIN ANGLO-PARIISIEN

par **Max LE COUPEY DE LA FOREST**

---

UNE APPLICATION A LA GÉOLOGIE

DES

## **EXPÉRIENCES A LA FLUORESCÉINE**

par **Max LE COUPEY DE LA FOREST**

---

**BULLETIN BIBLIOGRAPHIQUE.**

---

C. EKENDAHL. — Ueber den Gang und die Entwicklung der chemischen und biologischen Untersuchungsmethoden im Laboratorium der Städtischen Wasserwerke in Stockholm in den Jahren 1882-1901. (Marche et développement des méthodes et des recherches chimiques et bactériologiques au laboratoire de la distribution d'eau communale de Stockholm, pendant les années 1882-1901, par C. Ekendahl.)

Cette brochure de 54 pages, in-8°, de large format et en texte serré, donne des renseignements détaillés sur les méthodes d'analyse employées, au laboratoire des eaux de la ville de Stockholm, par M. le chimiste Ekendahl.

L'introduction fait l'*historique de la chimie hydrologique en Suède* depuis une quarantaine d'années. L'auteur signale les difficultés qui sont résultées d'une application irraisonnée de règles trop générales. Les distributions d'eau ont commencé en Angleterre, et la plupart des grandes installations continentales ont été faites par des capitalistes anglais et dirigées par des ingénieurs anglais. Des chimistes éminents avaient étudié à fond l'eau de la Tamise, alimentant Londres après filtrage. Les règles posées par eux comme résultat de ces études ont donc été reconnues partout. Mais la Tamise draine un bassin créacé; ses eaux sont, au début, d'une très grande pureté organique; la densité de la population amène une pollution de nature très suspecte. Dans un pays à roches imperméables, comme la Suède, les sources sont rares, tandis que le ruissellement superficiel est considérable.

La végétation forestière et les marais amènent dans les eaux des quantités considérables de matières organiques, mais ce sont des matières organiques d'origine végétale; la rareté de la population a

pour conséquence une pollution beaucoup moins dangereuse, hygiéniquement parlant, que pour la Tamise. Seulement, le dosage global des matières organiques par les méthodes au permanganate, c'est-à-dire le degré d'oxydabilité de l'eau, donne des chiffres beaucoup plus élevés. La comparaison de ces deux choses non comparables a causé des inquiétudes peu justifiées.

Une autre circonstance encore était de nature à augmenter le contraste apparent entre les deux eaux : la différence des méthodes d'analyse. La méthode Letheby-Tidy, employée en Angleterre, fait réagir le permanganate à froid. Les chimistes Aug. Almèn et J.-L. Ekman, qui ont les premiers spécialisé ces études en Suède, avaient pris modèle, au contraire, sur les laboratoires allemands et opéraient la réaction à chaud, suivant les prescriptions de Kubel. Cette méthode donne toujours des valeurs beaucoup plus fortes. Almèn faisait bouillir plusieurs fois pendant cinq minutes, jusqu'à constance du permanganate résiduel. Ekman avait abandonné cette méthode, n'ayant pas pu constater de limite à la réduction de petites quantités de permanganate dans ces ébullitions successives; mais il faisait réagir, d'abord en solution acide, puis en solution alcaline. Tous deux naturellement trouvaient des chiffres encore plus élevés que par la méthode ordinaire de Kubel.

Almèn doit avoir été un homme de grand bon sens. Il appliquait à l'analyse de l'eau une méthode sévère, comme on a vu. L'eau de la Tamise ne réduit que 0<sup>sr</sup>,002 de permanganate au litre; celle de Stockholm en réduit 0<sup>sr</sup>,006 et même davantage. Almèn en conclut que les matières organiques dans l'eau n'ont pas l'influence hygiénique qu'on leur attribue. Bien des chimistes plus récents pourraient, avec avantage, prendre exemple sur leur prédécesseur suédois.

L'analyse des eaux est, de tous les domaines de la chimie, celui où il importe le plus d'employer des *procédés identiques* pour que les résultats soient comparables. La méthode ordinaire au permanganate est certainement théoriquement mauvaise; elle ne détruit pas toutes les matières organiques; un même poids de matière, d'après sa composition, peut réduire des quantités très différentes de permanganate. Il faudra certes tenir compte, dans certains cas, de ces différences. Mais, en général, ce qui importe le plus, c'est que les résultats soient comparables.

On comprend donc fort bien que M. Ekendahl, arrivant à la direction du service chimique des eaux, à Stockholm, ait abandonné les méthodes plus exactes pour revenir à la méthode anglaise, puisque c'étaient les

résultats obtenus en Angleterre que le public prenait comme terme de comparaison.

Mais la méthode de Tidy est inutilement longue; les chimistes officiels anglais tiennent beaucoup à des procédés laborieux et compliqués, applicables seulement dans des laboratoires complètement montés et, par conséquent, hors de la portée de concurrents plus modestes.

M. Ekendahl, qui devait travailler au début avec des moyens assez restreints, n'a pas tardé à sentir les inconvénients de la méthode anglaise. Il a alors eu recours à la méthode de Kubel, mais en la modifiant de façon à obtenir des chiffres égaux à ceux donnés par la méthode de Tidy. Ces modifications consistaient en un excès d'acide (20 c. c. d'acide sulfurique au  $\frac{1}{4}$  au lieu de 5 c. c. au  $\frac{1}{3}$ ); température de 60° au lieu de l'ébullition; addition d'une quantité de permanganate légèrement supérieure à ce que peut réduire l'eau, au lieu du grand excès recommandé par Kubel. Ces deux dernières modifications devaient tendre à diminuer les chiffres. Les résultats obtenus montraient un rapport constant avec le carbone organique dosé par la méthode de Frankland.

On sait en quoi consiste cette méthode : combustion organique du résidu solide et détermination du carbone et de l'azote. Le procédé est très compliqué et très délicat; ailleurs qu'en Angleterre, il n'est presque pas employé. M. Ekendahl l'a introduit en Suède en 1884, et en dit beaucoup de bien. La méthode donne des valeurs absolues pour le carbone et l'azote organique; le rapport de ces substances permet de déterminer si l'on a affaire à une pollution d'origine animale ou végétale. C'est ainsi que pour les eaux du lac Mälär, il y a six à dix fois plus de carbone que d'azote. On avait reproché à la méthode par combustion que les inévitables erreurs étaient presque de la grandeur des quantités à déterminer. M. Ekendahl trouve que l'on a beaucoup exagéré l'importance de ces erreurs et que jamais elles n'ont affecté ses résultats expérimentaux au point de mettre un instant en doute la nature végétale des matières dans l'eau de Stockholm.

Pour le vulgaire, une analyse d'eau est une analyse d'eau. En réalité, la question est beaucoup plus complexe et le problème à résoudre est loin d'être toujours le même. Le chimiste intelligent n'entre dans son laboratoire pour commencer les manipulations qu'après avoir mûrement réfléchi et nettement déterminé le point spécial sur lequel il devra porter son attention pour une eau donnée. On pourrait, à première vue, trouver à redire aux procédés de Stockholm; la modification de la méthode de Kubel n'est certainement pas heureuse et l'on comprend

qu'elle ne se soit pas répandue, même en Suède. Mais tout s'explique et se comprend quand on tient compte de la situation spéciale où s'est trouvé M. Ekendahl à ses débuts; il était urgent de redresser une injustice envers l'eau de la distribution résultant d'une différence de méthode expérimentale dans les analyses anglaises et celles faites à Stockholm. A la longue, le public est revenu à une appréciation plus équitable; la méthode spéciale n'était donc plus nécessaire, et depuis 1898, le laboratoire de Stockholm l'a abandonnée pour adopter la méthode classique allemande.

La méthode de Kubel a été, de la part de M. Ekendahl, l'objet d'une étude ultra-consciencieuse. Outre les précautions recommandées par les auteurs les plus récents (Walter et Gärtner, dans la nouvelle édition du traité de Kubel-Tiemann), il est allé jusqu'à mesurer la hauteur des flammes et la pression du gaz. Il emploie deux brûleurs : un à grande flamme pour amener rapidement à 100° centigrades, et un à flamme plus petite pour maintenir une ébullition régulière; le ballon a une capacité d'un demi-litre et un long col; le ballon est incliné et non placé verticalement; l'ébullition est maintenue pendant dix minutes, comptées sur une montre à répétition qui marque les deux dixièmes de seconde. Les divergences dans les résultats d'analyses ordinaires peuvent dépasser 8 %; avec les précautions les plus minutieuses, M. Ekendahl est parvenu à les réduire à 4  $\frac{1}{2}$  %.

Plusieurs questions se rapportant à l'application de la méthode ont été examinées. Avec des eaux à pollution végétale, on constate souvent, au moment de l'addition de l'acide oxalique, la *formation de flocons bruns*, qui sont des oxydés de manganèse; il faut quelques minutes pour redissoudre ces flocons et obtenir un liquide incolore. Il y a longtemps qu'un auteur anglais a dit que de telles analyses sont mauvaises et doivent être recommencées avec plus d'acide sulfurique. M. Ekendahl a traité une même eau avec des quantités croissantes d'acide sulfurique, jusqu'à 50 centimètres cubes d'acide au tiers, au lieu de 5 centimètres cubes. L'oxydabilité de l'eau a régulièrement augmenté de 0<sup>sr</sup>,0048 d'oxygène au litre jusqu'à 0<sup>sr</sup>,0075. La différence est très considérable; elle est certainement due à une oxydation plus complète des matières organiques, car une expérience avec de l'eau distillée et des quantités croissantes d'acide sulfurique a donné, avec 5 centimètres cubes d'acide, 0<sup>sr</sup>,00029; avec 50 centimètres cubes, 0<sup>sr</sup>,00077. L'action propre de l'acide amène donc une consommation accrue de permanganate, mais cet accroissement est beaucoup trop faible pour expliquer l'énorme différence constatée plus haut.

L'addition initiale d'une quantité plus grande de permanganate que les 10 centimètres cubes réglementaires se traduit également par une augmentation de l'oxydabilité, mais beaucoup moins marquée que dans le cas précédent, environ 10 %.

La méthode de Kubel comporte une ébullition, au cours de laquelle des *matières organiques volatiles* peuvent s'échapper avant d'avoir été attaquées par le permanganate. M. Ekendahl a fait toute une série de recherches pour reconnaître l'existence de cette cause possible d'erreur et déterminer son importance. La méthode consiste à analyser une même eau directement après l'addition du permanganate, ou seulement vingt-quatre heures après cette addition; la deuxième série donne toujours des chiffres plus élevés. Mais ce qui est remarquable, c'est que l'augmentation est fort différente pour diverses eaux; pour l'eau de la distribution et celle du lac Mälär, l'augmentation est de 8 à 10 %; elle est de 20 % pour le lac de Born et pour l'eau de l'Arstavik; elle est de plus de 50 % pour le lac Hammarby. Une action préliminaire plus prolongée du permanganate (ébullition seulement après deux ou trois jours) ne donne presque plus d'augmentation. On peut conclure de ces faits: 1° que l'eau contient des *matières organiques volatiles*, que l'ébullition expulse avant que le permanganate ait eu le temps de les attaquer; 2° que ces *matières* sont détruites à froid et en vingt-quatre heures; 3° qu'elles sont en quantité variable dans diverses eaux.

Dans ces analyses, les *matières organiques* sont dosées par différence. Il était indiqué de contrôler ces résultats par des dosages directs. C'est ce qu'avaient déjà fait Preusse et Tiemann, et M. Ekendahl a confirmé leurs travaux. Les premiers distillats d'une eau réduisent du permanganate; le lac Hammarby donne ici aussi les chiffres les plus élevés; quant à la concordance entre l'oxydabilité directe de ces distillats avec les résultats par différence, elle est assez satisfaisante et même très étroite dans certains cas; mais nous sommes ici à la limite des choses dosables. Il est d'autant plus remarquable de constater que l'oxydabilité des divers distillats et de ce qui reste dans l'appareil donne souvent fort exactement l'oxydabilité totale, telle que déterminée en bloc et par la méthode ordinaire. Voici un exemple: l'eau du lac Mälär donne une oxydabilité, par la méthode ordinaire, de 0<sup>gr</sup>,00515 ou 0<sup>gr</sup>,00541 d'oxygène par litre; la moyenne de ces deux analyses est 0<sup>gr</sup>,00528. Un demi-litre de cette eau est distillé. On détermine l'oxydabilité de chaque centaine de centimètres cubes qui passent pour 400 centimètres cubes, puis pour les 50 centimètres cubes restant dans l'appareil; nous en résumons les résultats dans le tableau ci-après.

Premier distillat . . . . .	100 centimètres cubes	0 <sup>gr</sup> ,00048
Deuxième distillat. . . . .	100 —	0 <sup>gr</sup> ,00040
Troisième distillat. . . . .	100 —	0 <sup>gr</sup> ,00014
Quatrième distillat . . . . .	100 —	0 <sup>gr</sup> ,00036
Cinquième distillat . . . . .	50 —	0 <sup>gr</sup> ,00039
Restant . . . . .	50 —	0 <sup>gr</sup> ,02456
<hr/>		
TOTAL POUR . . . . .	500 centimètres cubes	0 <sup>gr</sup> ,02633
Dont $\frac{1}{3}$ . . . . .		0 <sup>gr</sup> ,00527
Trouvé directement . . . . .		0 <sup>gr</sup> ,00528

On remarquera que le gros des matières organiques reste dans l'eau; les substances volatiles ne constituent qu'une fraction minime. Les chiffres pour les distillats montrent d'abord une diminution; toutefois, l'anomalie du troisième distillat (0<sup>gr</sup>,14) ne se retrouve pas dans une autre série; mais les 50 centimètres cubes du cinquième distillat donnent une augmentation. Y a-t-il eu élévation de la température par suite de la concentration de l'eau? Un contrôle thermométrique eût été intéressant. Les matières organiques volatiles de l'eau semblent être retenues avec une certaine énergie et ne s'en aller que sous l'influence d'une température assez élevée.

C'est de cette manière qu'on peut interpréter des résultats aberrants obtenus par M. Ekendahl. Quand on évapore à siccité  $\frac{1}{2}$  litre d'eau et qu'on redissout le résidu avec de l'eau distillée, on trouve le même degré d'oxydabilité qu'avec l'eau telle quelle; la concentration à 50 centimètres cubes donne le même résultat. Il n'y a donc pas eu départ de matières organiques volatiles. Mais l'évaporation a été faite au bain-marie et il a été constaté que la température était de 85° centigrades.

Une autre série d'expériences a trait à la *décomposition spontanée du permanganate* dans les conditions de la méthode de Kubel, mais en prolongeant énormément la durée d'ébullition, jusque onze heures. De l'eau distillée très pure, qui ne consomme par litre que  $\frac{1}{3}$  de milligramme d'oxygène, peut être amenée à absorber au delà de 2 milligrammes pour huit heures d'ébullition.

L'eau de la distribution, pour dix minutes d'ébullition, consomme 5 milligrammes; pour huit heures, elle consomme au delà de 8 milligrammes. Quand on traduit en courbes les résultats de M. Ekendahl, on constate une très grande régularité, qui porte à croire que le phénomène est régi par des lois physiques (dissociation graduelle?). Il y a

une tendance évidente vers un état d'équilibre; la courbe monte d'abord très rapidement, pour ensuite s'infléchir et se rapprocher de l'horizontale.

La brochure donne également des renseignements sur les méthodes pour la détermination des autres éléments de l'analyse. Les études ne sont pas aussi développées que pour la méthode de Kubel, mais il y a généralement des détails intéressants,

Le *résidu solide* est déterminé par évaporation de 1 litre ou  $\frac{1}{2}$  litre dans une capsule de platine, alimentée par un flacon Bischoff. L'auteur recommande beaucoup cet appareil. Les capsules sont mises au dessiccateur à 100°-108° centigrades.

L'analyse se fait sans filtrage ou décantation préalable. Les matières en suspension font de droit partie de l'eau, dit M. Ekendahl. Cela est vrai jusqu'à un certain point; mais il y a pourtant des limites. M. Ekendahl lui-même filtrerait, s'il avait par litre des centaines de crustacés, avec une abondante flore d'algues.

La détermination de ces matières en suspension se fait, non par pesée directe, mais par la différence de résidu de l'eau telle quelle et l'eau ayant passé un filtre Chamberland. L'eau de la distribution a environ 0<sup>gr</sup>,150 de résidu solide totale, dont 0<sup>gr</sup>,0018 de matières en suspension.

La *turbidité de l'eau*, ou le trouble causé par ces matières en suspension, est déterminée quantitativement par comparaison avec des types. L'argile extrêmement fine qui reste en suspension pendant des mois et des années est employée comme liqueur titrée; la turbidité est exprimée en poids d'argile. Pour la *couleur*, c'est l'ancienne méthode au caramel qui est employée. M. Ekendahl ne mentionne ni les travaux de Allen Hazen ni les mémoires de Spring, si importants pour la compréhension des phénomènes de coloration et de turbidité des eaux.

La *combustion organique*, procédé Frankland, est l'objet de quelques remarques. Le procédé est trop peu répandu sur le continent pour qu'il soit utile d'insister.

Il résulte de cet exposé bibliographique que le laboratoire hydrologique de Stockholm est entre les mains d'un chimiste compétent, ayant une notion bien nette des questions à étudier et possédant l'habileté de manipulation nécessaire pour les résoudre expérimentalement. Au point de vue pratique de la conduite des affaires municipales, cela n'a l'air de rien; en réalité, c'est très important. N'est-ce point par suite d'une interprétation erronée d'analyses chimiques que l'eau de Stockholm a été mise en suspicion? Dans ces conditions, il se lève toujours



un sauveur, qui est généralement en même temps un faiseur. On met en branle la presse quotidienne, on crée « un mouvement d'opinion », la politique locale s'en mêle et la commune fait des travaux coûteux. L'eau potable est une question scientifique; par conséquent, il faut, à la tête de l'affaire, des hommes de science; la négligence de cette prescription élémentaire a, dans plusieurs cas, été payée par des désastres. Mais les savants ne sont pas infaillibles; ils peuvent se laisser aller à des exagérations théoriques; nous avons trop souvent eu l'occasion d'en signaler. Quand le savant est en même temps un homme de bon sens pratique, c'est l'idéal.

Ad. K.

**Jaarverslag betreffende de waterleiding der gemeente Amsterdam over 1900.** (Rapport annuel sur la distribution d'eau de la commune d'Amsterdam en 1900.)

Les *installations* pour la commune d'Amsterdam (520606 habitants d'après le dernier recensement) sont les suivantes :

A. — Eau potable pour les usages domestiques; cette eau est captée dans les dunes, puis filtrée au sable; cette alimentation a été faite en 1855 par une compagnie anglaise.

B. — Eau pour usages industriels, l'arrosage, les bains, les water-closets, les fontaines, etc.; l'eau est prise au cours d'eau le Vecht et filtrée au sable; date de 1888.

Ces deux eaux pour 487000 habitants. Le service a été repris par la commune en 1897.

C. — Le quartier Nieuw Amstel (autrefois une commune séparée de 33000 habitants, incorporée aujourd'hui dans la commune d'Amsterdam) avait, depuis 1888, sa propre distribution d'eau : puits profonds dans des couches sableuses à 28 kilomètres de distance. Ingénieur : M. Halbertsma.

Les chiffres du tableau ci-après sont intéressants. La consommation moyenne est au-dessous de 80 litres par tête; la consommation maximum dépasse à peine 110 litres. Nous voilà loin du chiffre fatidique de 150 litres. Il y a des hygiénistes qui se baseront sur ce fait pour considérer la situation d'Amsterdam comme peu satisfaisante; pour eux, l'idéal est une consommation beaucoup plus grande; ils ne regar-