

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE

PUBLIÉE SOUS LA DIRECTION DU DR TOULOUSE

BIBLIOTHÈQUE

DIRECTEUR

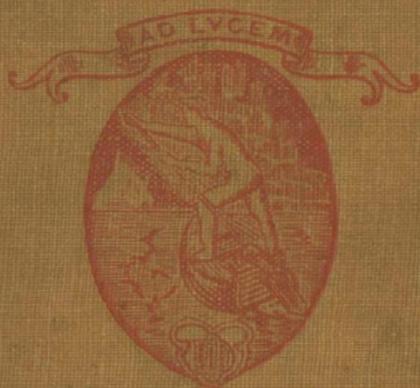
DES INDUSTRIES CHIMIQUES

JUVÉNAL DERÔME

L'Eau Dans l'Industrie

PAR

GEORGES BOURREY



OCTAVE DOIN & FILS. EDITEURS. PARIS

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Octave DOIN et Fils, éditeurs, 8, place de l'Odéon, Paris.

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE

Publiée sous la direction du **Dr TOULOUSE**

BIBLIOTHÈQUE

DES INDUSTRIES CHIMIQUES

Directeur : **M. JUVÉNAL DERÔME**

Professeur agrégé des Sciences physiques au Collège Chaptal,
Inspecteur des Établissements classés.

Le développement des industries chimiques est l'un des facteurs économiques les plus importants de la société moderne, et les progrès réalisés par ces industries ont souvent amené de véritables révolutions commerciales. La soude, par exemple, qui, préparée en 1860 par le procédé Leblanc, valait 650 francs, tomba subitement à 280 francs la tonne quand apparut le procédé Solvay. De même le kilogramme d'aluminium qui, préparé par Henri Sainte-Claire Deville valait, en 1854, 3000 francs, se vend aujourd'hui environ 3 francs, grâce aux méthodes nouvelles de l'électrochimie. Enfin, est-il besoin de rappeler que la découverte de l'alizarine, par Græbe et Libermann, a profondément troublé le commerce des départements français producteurs de garance ? Les procédés les plus classiques eux-mêmes se transforment, et les vieilles chambres de plomb de l'acide sulfurique risquent de disparaître pour faire place au procédé dit *de contact*.

*

Ce n'est pas toujours sans luttes que se font ces transformations : le four électrique semblait appelé, il y a quelques années, à remplacer très rapidement, en métallurgie, même le haut fourneau, et déjà l'on entrevoyait l'époque où les grosses usines métallurgiques déserteraient, dans une certaine mesure, les pays de houille noire pour ceux de houille blanche ; mais voici que de nouvelles études apprennent à mieux utiliser l'énergie calorifique des hauts fourneaux, voici que la production économique de l'oxygène industriel semble pouvoir permettre bientôt de réduire le volume de ces colosses de la métallurgie, et, mettant mieux leurs services à la portée de l'industrie de moyenne puissance, paraît devoir retarder la transformation entrevue.

Mettre au point l'état actuel des procédés utilisés dans les diverses branches de l'industrie chimique, tel est le but de cette Bibliothèque. Elle s'adresse, en tout premier lieu, aux industriels, qui plus que jamais ont besoin de véritables connaissances encyclopédiques pour s'assurer le succès. La clientèle, de plus en plus gâtée par les conquêtes de la science, a des désirs de plus en plus impérieux : pour les comprendre, les réaliser, les développer, il ne faut pas seulement connaître *une* industrie, il faut être familiarisé avec les méthodes et les progrès des industries voisines. Pour gagner du temps, il faut savoir choisir, parmi les procédés d'analyse, ceux qui sont les plus rapides et les plus sûrs. Pour créer enfin, il faut avoir des vues d'ensemble sur l'enchaînement naturel et logique des différentes industries.

Souvent aussi il est utile de se souvenir des choses momentanément tombées presque dans l'oubli, et que tout à coup le perfectionnement d'un détail ramène au premier plan : n'est-ce pas le cas de cette préparation de l'acide sulfurique par le procédé de contact que nous citons plus haut ? Dès 1831, Philips l'entreprend, mais il y renonce parce que la mousse de platine qu'il emploie se trouve rapidement hors d'usage ; en 1838, Kuhlmann n'est pas plus heureux ; ce

n'est qu'en 1875 que M. Winckler réalise avec succès cette préparation industrielle : il lui avait suffi de commencer par purifier les gaz, air et anhydride sulfureux, avant leur passage sur la mousse de platine !

C'est aux divers desiderata précédents que répondront les livres de cette Bibliothèque : les différentes méthodes de transformation des matières premières, dont l'origine aura été soigneusement indiquée, y seront l'objet d'une critique scientifique serrée, tous les brevets dignes d'intérêt y seront analysés, les conditions économiques y seront discutées, une très complète étude bibliographique terminera tous les ouvrages.

Nous espérons qu'ils ne seront pas lus seulement par les industriels, et que tous les chimistes, quelles que soient leur origine et leurs attaches, s'y intéresseront. N'y a-t-il pas nécessairement un étroit lien entre la chimie pure et la chimie appliquée ? Que de perfectionnements furent amenés par les études de chimie pure ! Boussingault, par exemple, pour extraire l'oxygène de l'air, transformait au contact de l'air, à 600°, de la baryte en bioxyde de baryum, qu'il ramenait ensuite à l'état de baryte en le portant à 800° ; mais la baryte résiste mal à ces alternatives de température, et s'effrite ; les frères Brin, utilisant un autre résultat de l'étude faite, en chimie pure, des lois de la dissociation, ont transformé le procédé Boussingault, qui ne donnait pas un bon rendement, en un procédé vraiment industriel, en faisant intervenir les variations de pression de l'oxygène au-dessus de la baryte maintenue à température constante.

Par contre, combien souvent les besoins de la chimie industrielle n'ont-ils pas orienté le courant des études théoriques ? N'est-ce pas l'espoir de produire soit de nouvelles matières colorantes, soit de nouveaux parfums, qui a conduit tant de chercheurs vers la chimie organique ?

L'abîme que l'on dit quelquefois exister entre l'usine et le laboratoire de chimie pure n'est donc qu'un fossé arti-

ficiel. C'est pour travailler à le combler un peu que nous avons tenu à choisir nos auteurs à la fois parmi les industriels directement spécialisés et parmi les chimistes de laboratoire que leurs études rendent particulièrement compétents dans le domaine de la chimie appliquée.

On verra dans la liste ci-contre que chacun des grands chapitres de l'industrie chimique constitue, dans notre publication, un volume; cela permettra, par des réimpressions opportunes, de toujours maintenir cette Bibliothèque au niveau des derniers progrès de la Science.

Les volumes seront publiés dans le format in-18 jésus cartonné; ils formeront chacun 350 pages environ avec ou sans figures dans le texte. Le prix marqué de chacun d'eux, quel que soit le nombre de pages, est fixé à 5 francs. Chaque volume se vendra séparément.

Voir, à la fin du volume, la notice sur l'ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE, pour les conditions générales de publication.

TABLE DES VOLUMES
ET LISTE DES COLLABORATEURS

*Les volumes publiés sont marqués par un *.*

1. **Les Industries des gaz de l'air et de l'eau**, par R.-J. LÉVY, Licencié ès sciences, Chimiste diplômé de l'Institut de Nancy.
- *2. **L'Eau dans l'Industrie (Applications et Épuration)**, par G. BOURREY, Licencié ès sciences, Ingénieur Chimiste des Chemins de fer de l'État, Inspecteur de l'Enseignement technique au Ministère du Commerce et de l'Industrie.
3. **Charbons naturels et artificiels**, par J. LEROIDE, Licencié ès sciences, Sous-chef des Travaux pratiques à l'École de Physique et de Chimie de la Ville de Paris.
4. **Les Combustibles gazeux et leurs sous-produits**, par J. LEROIDE.
5. **Les Petites Industries des Métalloïdes (Soufre, sulfites, hydro et hyposulfites; sulfure de carbone; — anhydride carbonique; — brome et iode; — borax et acide borique).**
6. **L'Industrie des Acides minéraux (SO_4H_2 , AzO^3H , HCl)**, par E. BAUD, Maître de Conférences à la Faculté des sciences de Marseille.
7. **Chlore, Hypochlorites et Chlorates**, par E. RENGADE, Préparateur à la Faculté des sciences de Paris, Secrétaire du Dictionnaire de Würtz.
8. **Sodium, Soude et Sels de Soude**, par G. DARZENS, Agrégé de Physique, Répétiteur à l'École Polytechnique, Inspecteur des Établissements classés.
9. **L'Industrie des Sels de potasse**, par A. RIGAUT, Préparateur de Chimie générale à la Faculté des sciences de Paris.

10. **Les Industries des Métaux alcalino-terreux, du Magnésium, du Zinc et du Cadmium**, par M. MONIOTTE, Licencié ès sciences, Ancien élève de l'École de Physique et de Chimie de la Ville de Paris.
11. **Les Industries de l'Étain, de l'Antimoine et de l'Arsenic**, par M. MONIOTTE.
12. **L'Industrie de la Fonte**, par E.-M. GOUTAL, Professeur, Chef des Travaux chimiques à l'École Nationale Supérieure des Mines.
13. **Fers et Aciers**, par E.-M. GOUTAL.
14. **L'Industrie du Cuivre**, par G.-H. NIEWENGLOWSKI, Préparateur de Chimie à la Faculté des sciences de Paris (P. C. N.) et P. NIEWENGLOWSKI, Ingénieur au Corps des Mines (Vesoul).
15. **Aluminium, Aluminothermie, Alumine et ses sels**, par P. NICOLARDOT, Capitaine d'artillerie, Docteur-ès sciences.
16. **Industries du Manganèse, du Chrome, du Nickel et du Cobalt**, par L. OUVRARD, Docteur ès sciences, Sous-directeur du Laboratoire d'enseignement pratique de Chimie générale à la Sorbonne.
17. a. **Industries du Plomb et du Mercure : I. Métallurgie**, par A. BOUCHONNET, Préparateur à la Faculté des sciences de l'Université de Paris.
17. b. **Industries du Plomb et du Mercure : II. Composés**, par A. BOUCHONNET.
18. a. **Industries des Métaux précieux : I. L'Or**, par H. GUERREAU, Ancien Chimiste des Mines Crown Deep, Robinson Central Deep, Rose Deep (Transvaal).
18. b. **Industries des Métaux précieux : II. Argent et métaux de la Mine de Platine**, par DIETZ, Directeur de l'Usine d'affinage du Comptoir Lyon-Alemand, et M. MOLINIÉ, Ingénieur Chimiste, Chef du Laboratoire de l'affinage Lyon-Alemand.
- * 19. **Industries des Métaux secondaires et des Terres rares**, par P. NICOLARDOT.
20. **Chaux, Ciments, Plâtres et Mortiers**, par E. LEMAIRE, Ingénieur des Arts et Manufactures.
- * 21. **Pierres et Matériaux de Construction artificiels**, par A. GRANGER, Docteur ès sciences, Professeur à l'École d'application de la Manufacture de Sèvres.

22. **La Poterie**, par A. GRANGER.
23. **La Verrerie**, par A. GRANGER.
24. **Couleurs minérales et Émaux**, par L. VEZIEN, Ingénieur Chimiste, Licencié ès sciences (École de Physique et Chimie), et A. BOILEAU, Ingénieur Chimiste.
25. **Composés ammoniacaux et cyanures**, par E. VALLÉE, Ingénieur Chimiste.
26. **Industries des Acides organiques et Industries dérivées.** (Distillation des Bois, etc.)
27. **L'Industrie du Sucre**, par A. VILA, Licencié ès sciences, Attaché à l'Institut Pasteur.
28. **Alcool et Distillerie**, par A. MONVOISIN, Chef des travaux à l'École nationale vétérinaire d'Alfort.
29. **Le Pétrole.**
30. **Les Huiles de Graissage**, par F. MARCH, Docteur ès sciences, Chef de la Section des Recherches et Essais des matières végétales au Laboratoire d'essais des Arts et Métiers.
31. **Résines, Huiles siccatives et Vernis**, par A. NOUVEL, Licencié ès sciences, Ingénieur Chimiste.
32. **L'Industrie des Matières colorantes organiques**, par A. WAHL, Maître de Conférences de Chimie appliquée à la Faculté des sciences de Lille.
33. **Blanchiment et teinture.**
34. **L'Industrie des Corps gras**, par E. TASSILLY, Docteur ès sciences, Chargé de Conférences de Technologie à l'École de Physique et de Chimie industrielles de la Ville de Paris.
35. **L'Industrie des Os et des Débris animaux (Colles, Gélatine, Phosphates et Phosphore)**, par L. VEZIEN.
36. **Le Caoutchouc et la Gutta**, par E. TASSILLY.
37. **L'Industrie des Fibres végétales.**
38. **L'Industrie du Papier**, par V. THOMAS, Professeur à la Faculté des sciences de Clermont-Ferrand.
39. **Les Matières plastiques artificielles**, par A. HELBRONNER, Docteur ès sciences, et E. VALLÉE.
40. **La Tannerie**, par L. PHILIPPE, Licencié ès sciences, Préparateur au Muséum d'Histoire Naturelle de Paris.

41. **Les Explosifs**, par E. CHARON, Docteur ès sciences, Chef des travaux de Chimie organique à la Faculté des sciences de l'Université de Paris.
 42. *a.* **L'Industrie des Produits pharmaceutiques : I. Produits minéraux**, par P. CARRÉ, Docteur ès sciences, Préparateur à l'Institut de Chimie appliquée de Paris.
 42. *b.* **L'Industrie des Produits pharmaceutiques : II. Produits organiques**, par P. CARRÉ.
 43. **Industries des Falsifications.**
 44. **Utilisation des Déchets industriels.**
-

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE

PUBLIÉE SOUS LA DIRECTION

du **D^r TOULOUSE**, Directeur de Laboratoire à l'École des Hautes - Études.

, Secrétaire général : **H. PIÉRON**, Agrégé de l'Université.

BIBLIOTHÈQUE DES INDUSTRIES CHIMIQUES

Directeur : **M. JUVÉNAL DERÔME**

Professeur agrégé des Sciences physiques au Collège Chaptal,

Inspecteur des Établissements classés.

L'EAU DANS L'INDUSTRIE

DU MÊME AUTEUR, A LA MÊME LIBRAIRIE

Ouvrage honoré d'une souscription des Ministères des Travaux Publics,
de la Marine, de l'Agriculture, etc.

CHIMIE ANALYTIQUE APPLIQUÉE

TRAITÉ
D'ANALYSE CHIMIQUE
INDUSTRIELLE, COMMERCIALE, AGRICOLE

PAR

Georges BOURREY

Ingénieur Chimiste
des Chemins de Fer de l'Etat,
Inspecteur de l'Enseignement technique,
Licencié ès Sciences,
Professeur et Chef de Laboratoire
à l'Ecole spéciale des Travaux Publics,
Membre de la Société
des Ingénieurs Civils de France.

Eugène MARQUET

Chimiste
au Laboratoire d'essais
des Chemins de Fer
de l'Etat,
Membre
de la Société des Ingénieurs Civils
de France.

Avec la Collaboration de Techniciens et Chimistes spécialistes.

PRÉCÉDÉ DES PRÉFACES

DE

M. C. MATIGNON

Professeur au Collège
de France.

M. L. LINDET

Professeur à l'Institut
National agronomique.

M. L. GUILLET

Prof. au Conservatoire
National
des Arts et Métiers.

*Un volume grand in-8° de 1000 pages, cartonné toile, avec 184 figures
et 52 photographes dans le texte. Prix 20 francs.*

L'EAU

DANS L'INDUSTRIE

APPLICATIONS — ÉPURATION

PAR

GEORGES BOURREY

Ingénieur Chimiste des Chemins de Fer de l'État
Inspecteur de l'Enseignement technique au Ministère du Commerce et de l'Industrie
Professeur et Chef de Laboratoire à l'École spéciale des Travaux Publics
Membre de la Société des Ingénieurs Civils de France
Licencié ès Sciences

PRÉFACE DE

M. MAX DE NANSOUTY

Ouvrage honoré d'une souscription du Ministre des Travaux Publics

Avec 57 figures dans le texte

PARIS

OCTAVE DOIN ET FILS, ÉDITEURS

8, PLACE DE L'ODÉON, 8

1909

Tous droits réservés.

PRÉFACE

En présentant aux lecteurs l'utile ouvrage de M. Bourrey intitulé *l'Eau dans l'Industrie*, nous croyons utile de mettre tout d'abord bien en évidence ceci : c'est que la question de *l'eau potable* n'y est envisagée à aucun moment et qu'il ne s'agit pas d'une œuvre concernant l'eau dans les points où elle touche à l'hygiène personnelle et à la salubrité des travailleurs.

Certes, cet aspect de la question est également fort intéressant ; mais il eût conduit à des développements tels, qu'un ouvrage spécial fût devenu nécessaire.

Considérons, en effet, qu'en se bornant à ce que l'on pourrait appeler *l'eau laborieuse*, M. Bourrey a déjà dû écrire un volume de près de 500 pages. Encore, dans les applications de l'eau à l'industrie comprises de cette façon, ne considère-t-il pas celles, si importantes à l'heure actuelle, de l'eau en mouvement agissant mécaniquement par son volume, par son poids, par sa pression ou par sa vitesse. Là aussi il y a une énorme accumulation de recherches et de résultats théoriques et pratiques.

L'Eau dans l'Industrie, telle que l'étudie l'auteur, est celle que l'on transformera en vapeur afin d'en faire le précieux ressort élastique qui permet de distribuer à volonté la chaleur nécessaire aux opérations et aux combinaisons industrielles, d'animer l'outillage des usines, d'actionner les puissants organes des machines de plus en plus perfectionnées.

Soit comme dissolvant, soit comme véhicule, l'eau entre,

de plus en plus, dans la composition de la majorité des produits fabriqués. Pour la suivre dans ses emplois multipliés et pour définir les conditions dans lesquelles elle doit s'y présenter en l'état actuel des connaissances scientifiques, il faut être tout à la fois chimiste et physicien : M. Bourrey est l'un et l'autre; la façon complète avec laquelle sont traités les chapitres qu'il a groupés pour écrire son livre montrent qu'il sait envisager chaque cas dans son ensemble et le traiter sans que le lecteur désireux de se documenter et de s'instruire ait à recourir en quoi que ce soit à d'autres ouvrages complémentaires ou accessoires.

A une époque encore récente, alors que l'industrie prenait son essor par l'acquisition de la machine à vapeur, on se préoccupait peu de la qualité des eaux : on n'avait pas à se préoccuper outre mesure du rendement thermique des appareils, et l'on avait tout le loisir d'épurer les produits fabriqués, d'ailleurs, en quantités relativement restreintes.

On plaçait assurément l'usine sur un point où il y avait de l'eau, et l'on perçait des puits pour s'en assurer l'approvisionnement suffisant. Pour la composition de cette eau, on s'en remettait aux traditions locales.

On s'aperçut bientôt, lorsque l'industrie se développa, lorsque les rivalités entre producteurs se manifestèrent et se chiffrèrent d'une façon rigoureuse par les bénéfices ou par les pertes, qu'il y avait des usines plus favorisées que d'autres au point de vue de l'eau et que la composition de cette eau avait une extrême importance.

Quel moyen d'y remédier ?

On n'installe pas toujours une industrie à l'endroit précis que l'on désire : l'emplacement attire l'usine.

Or, l'analyse chimique de l'eau remplaçant les traditions locales dont nous avons parlé et qui sont souvent inexactes, ou intéressées, a permis tout d'abord, dans certains cas, de renoncer résolument à l'installation d'une industrie sur un point où elle aurait manqué d'eau de bonne qualité qui

lui était essentielle, et d'aller chercher un peu plus loin les conditions de vitalité et de prospérité nécessaires.

Dans d'autres et multiples circonstances, cette même étude analytique de l'eau a montré qu'il était possible d'appliquer à la situation des remèdes techniques tels, que l'infériorité constatée entre un emplacement et un autre pouvait être compensée.

Ainsi, en ce qui concerne les chaudières à vapeur, les recherches faites sur la qualité des eaux et la mise en pratique qui en résulte des appareils épurateurs permet à des industries considérables de s'installer et de prospérer sur des points où antérieurement la production industrielle de la vapeur eût été véritablement impraticable. Les dépôts incrustants qui se forment dans les générateurs étaient une source d'ennuis perpétuels pour les industriels. La diminution de la puissance des chaudières était sensible, la consommation de combustible en était augmentée dans des proportions souvent fort onéreuses, il en résultait aussi des accidents graves.

Les chimistes et les ingénieurs qui ont proposé l'épuration préalable eurent, il faut en convenir, peu de succès au début.

Il semblait qu'ils voulussent faire étalage de science prétentieuse et conseiller un luxe inutile dans le fonctionnement. Lorsque l'on a vu quelle supériorité cette épuration donnait à ceux qui la pratiquaient sur leurs voisins, quelle prospérité en résultait pour les fabrications; lorsqu'enfin les associations de propriétaires d'appareils à vapeur ont unanimement conseillé l'étude et la pratique scientifique de l'épuration des eaux, les promoteurs de l'épuration ont eu gain de cause sur toute la ligne. On ne s'expliquerait pas, à l'heure présente, qu'un industriel sérieux et soucieux de ses intérêts ne soit pas renseigné à fond sur la qualité des eaux qu'il emploie, sur les moyens de corriger leurs défauts, de les clarifier, et sur la façon de les rendre inoffensives pour

le voisinage et pour les cours d'eau d'évacuation lorsque ces eaux laborieuses, après avoir joué le rôle de dissolvant ou avoir passé par la forme de vapeur, sont entrées dans la catégorie résiduaire. Sur ce dernier point, qui touche impérieusement à l'hygiène, la législation se charge, de plus en plus, de prescrire ce que des esprits négligents ne veulent pas prévoir et de le leur imposer.

Mais bornons ici ces considérations générales, destinées seulement, ainsi que nous l'avons dit en commençant, à indiquer que l'ouvrage de M. Bourréy est avant tout utilitaire. Son auteur eût pu, sans aucune difficulté et sans aucun embarras, faire un ou même plusieurs traités de science pure, car il est un de nos savants actuels les plus distingués. Il ne l'a pas voulu. Homme de laboratoire et connaissant toutes les ressources du laboratoire, c'est de là qu'il part dans toutes les circonstances qu'il envisage pour poser exactement le problème industriel, et pour le résoudre.

Son livre se divise en dix chapitres.

Après avoir exactement défini dans l'introduction, par un grand coup d'œil d'ensemble, le rôle de l'eau dans l'industrie, il étudie, dans les deux premiers chapitres, avec de nombreux exemples à l'appui, la composition des eaux, laquelle le mène directement à démontrer la nécessité de leur analyse chimique et à indiquer les meilleurs procédés d'analyse, ceux que la pratique a consacrés, sur la précision et l'efficacité desquels on peut compter. Puis, examinant le rôle de l'eau dans les différentes industries, il montre l'inconvénient matériel et grave des impuretés, inconvénient qui, ainsi que nous l'avons dit, peu apparent dans les industries à leur enfance, devient pour elles, lorsqu'elles grandissent et se développent, un perpétuel et ruineux danger. Ce chapitre est d'une excellente et utile technologie.

Le chapitre IV est consacré à l'étude de l'eau dans l'alimentation des générateurs à vapeur. Prenez les meilleurs

systèmes de chaudières, et il y en a, à l'heure actuelle, d'une rare perfection, tubulaires ou non; quel parti voulez-vous en tirer si vous en faites des appareils d'évaporation d'eaux chargées de sels et de boues? Comment espérer la durée des tôles et des tubes soumis constamment à des nettoyages qui leur imposent de véritables assauts matériels et qui augmentent ou aggravent la fatigue déjà contractée pendant le travail? Les chapitres suivants, jusqu'au chapitre IX, nous montrent la nécessité et la possibilité de réaliser pratiquement l'épuration, par les procédés chimiques ou physiques, la clarification et la filtration des eaux. Il n'est plus permis, lorsqu'on les a lus, de se soumettre, avec une sorte de résignation qui est souvent de la nonchalance, à l'emploi des eaux quelconques fournies par le terrain sur lequel on se trouve placé: ce serait de l'ignorance volontaire dont les diminutions de rendement et les pertes subies seraient le juste châtement.

Enfin, dans le dixième et dernier chapitre, nous trouvons l'étude des moyens d'épuration et d'utilisation des eaux résiduaires provenant des diverses industries par les procédés chimiques et biologiques. Si l'on désire le développement industriel si intimement lié au progrès de la prospérité générale, encore faut-il vouloir qu'il se produise sans empoisonnement des cours d'eau et des nappes souterraines; car alors, en créant des sources de richesse, on en ferait disparaître d'autres. On ne saurait donc supporter qu'une industrie quelconque rejetât au dehors des eaux usées sans les avoir rendues absolument inoffensives. Cela eût été impraticable alors que la chimie industrielle existait à peine: on ne pouvait demander aux fabricants de résoudre des problèmes d'épuration dont la solution paraissait impossible. Actuellement, tous les cas, on peut le dire, ont été étudiés, et des appareils fort simples permettent de pratiquer à peu de frais l'assainissement des eaux résiduaires; il n'est donc personne qui puisse se soustraire avec une excuse

valable à ces mesures de solidarité et de salubrité générale : le livre de M. Bourrey le démontre avec une remarquable compétence.

Nous pensons que la lecture de cet ouvrage intéressera tous les industriels et qu'elle sera pour eux préservatrice d'accidents, d'ennuis et de dépenses très variées. C'est ainsi qu'il faut à notre époque examiner les questions et les résoudre : la Science appliquée est la consécration nécessaire de la Science pure qu'elle fait estimer et admirer.

MAX DE NANSOUTY.

INTRODUCTION

DU RÔLE DE L'EAU DANS L'INDUSTRIE

Les eaux utilisées pour les besoins industriels sont de provenances diverses : eaux de pluie, de sources, de forages, de rivières, d'étangs ; mais, quelle que soit leur origine, ces eaux ne sont jamais pures et contiennent en suspension ou renferment en dissolution des matières organiques et minérales en proportions plus ou moins grandes, qui permettent rarement de les utiliser telles quelles.

Dans la plupart des industries, l'eau joue en effet un rôle capital : sous forme de vapeur elle distribue la force et le mouvement dans les usines et sur les voies de communication ; sous forme liquide elle sert à la fabrication d'un grand nombre de produits industriels, soit qu'on l'utilise comme dissolvant, comme véhicule, soit qu'elle entre dans la composition même des substances, ou qu'on l'emploie à extraire les matières solubles, à séparer et éliminer par lavage les impuretés qui souillent les corps.

Pour ces différents usages, les substances minérales et organiques qu'elle contient présentent des inconvénients plus ou moins graves, suivant les différentes industries. Si certaines d'entre elles peuvent se contenter d'eaux de qualité médiocre, il en est d'autres qui exigent une eau pure, c'est-à-dire peu chargée en matières dissoutes ; c'est ce qui explique qu'au temps où l'épuration des eaux industrielles n'était pas encore entrée dans la pratique, certaines usines situées dans des régions favorisées sous le rapport de la

qualité des eaux naturelles avaient acquis rapidement une supériorité par la valeur de leurs produits.

Aujourd'hui que l'analyse chimique a permis de se rendre compte du rôle que jouent dans l'eau les corps dissous et de l'influence néfaste qu'ils exercent dans un grand nombre d'industries, les manufacturiers se préoccupent à juste titre de la qualité des eaux qu'ils ont à leur disposition et reconnaissent unanimement la nécessité de les *corriger* ou de les *épurer* en leur faisant subir un traitement pratique et économique qui les rende propres aux usages industriels.

C'est ainsi qu'il est indispensable, pour l'alimentation des générateurs de vapeur des usines, des chemins de fer, de la marine, d'avoir une eau de bonne qualité, peu chargée en sels incrustants.

Si on n'a à sa disposition que des eaux calcaires ou séléniteuses, il est de toute nécessité d'avoir recours à la correction ou à l'épuration des eaux d'alimentation, sous peine de voir se produire des dépôts de sels calcaires (*incrustations*) provenant de la vaporisation de l'eau, et qui, suivant leur épaisseur, augmentent plus ou moins la dépense de combustible, en diminuant la puissance de vaporisation, et donnent naissance à des coups de feu, des brûlures de tôles, des déformations de chaudières et par suite à des explosions.

Si l'on veut se rendre compte de l'importance de ces dépôts incrustants, nous dirons que dans un générateur alimenté avec de l'eau de Seine, et consommant 1 000 kilogrammes de charbon par jour pour produire 8 000 kilogrammes de vapeur, il se dépose 0^{sr},26 de matières incrustantes par kilogramme de vapeur produite ; soit par jour :

$$8\,000 \times 0^{\text{sr}},26 = 2 \text{ kilogrammes ;}$$

et par mois :

$$2 \times 30 = 60 \text{ kilogrammes ;}$$

soit au bout d'un an :

$$60 \times 12 = 720 \text{ kilogrammes.}$$

Ces chiffres sont éloquentes et montrent que le seul moyen d'avoir des générateurs en bon état, capables de fournir une quantité régulière de vapeur, est d'alimenter les chaudières avec une eau naturellement pure, ce qui est rare, ou avec de l'eau soit corrigée dans la chaudière même, soit préalablement épurée avant son introduction.

Parmi les industries où le rôle de l'eau n'est pas moins important que dans l'alimentation du générateur de vapeur, il faut citer, au premier rang, les teinturerics, blanchisseries, lavages de laine, etc., où l'on ne doit faire usage que d'eaux contenant le moins possible de sels alcalino-terreux (calcium, magnésium), car chacun sait que ces sels décomposent le savon en l'empêchant de mousser et qu'il en faut d'autant plus pour obtenir une mousse persistante que la quantité de sels terreux dissous est plus forte.

On aura l'occasion de voir, dans la suite de cet ouvrage, que c'est précisément sur cette observation qu'est fondée l'*hydrotimétrie*, méthode d'essai des eaux imaginée par Boutron et Boudet pour déterminer rapidement les proportions de sels terreux contenus dans une eau.

On a calculé que la quantité de savon précipitée en pure perte avec une eau calcaire était de 100 grammes environ par degré hydrotimétrique et par mètre cube d'eau employé. Si une eau marque, par exemple, 30 degrés hydrotimétriques et que l'épuration chimique l'ait ramenée à 4 degrés hydrotimétriques, — soit par conséquent une différence de 26 degrés, — on a réalisé, pour une usine d'importance moyenne, usant par jour pour ses lavages 100 mètres cubes de cette eau, une économie de :

$$100^{\text{gr}} \times 26^{\text{gr}} \times 100^{\text{m}^3} = 260^{\text{kg}} \text{ de savon.}$$

Or l'épuration de cette eau, par un des procédés chimiques examinés plus loin, revient à peu près à un centime le mètre cube.

Cet exemple permet de se faire une idée des économies

réalisées par les industries faisant usage de savon, lorsqu'elles emploient de l'eau préalablement épurée ou corrigée.

L'épuration des eaux s'impose également pour les opérations du décreusage, de la teinture des soies en bain de savon, du mordantage du coton, car la formation de savons insolubles avec les eaux calcaires et magnésiennes entraîne non seulement une perte de savon, mais il se produit en outre des taches, des irrégularités de nuances qui nuisent à l'aspect des pièces travaillées.

L'eau pure est aussi indispensable dans les raffineries et sucreries, surtout depuis l'emploi des procédés basés sur la diffusion et l'osmose; dans les brasseries, les distilleries et nombre d'autres industries, où l'on verra que l'eau joue encore un grand rôle au point de vue de la marche de la fabrication et de la valeur des produits fabriqués.

Il est donc de toute nécessité de se rendre compte de la qualité des eaux industrielles, c'est-à-dire d'en connaître la composition : c'est l'objet de l'analyse chimique qui renseigne sur la nature et la teneur d'une eau en impuretés. Après avoir étudié l'analyse de l'eau, j'examine le rôle et les inconvénients de ses impuretés dans les différentes applications industrielles, en insistant particulièrement sur les eaux d'alimentation des générateurs de vapeur, dont l'étude présente un intérêt général dans toutes les industries.

Après avoir constaté les inconvénients et les désordres que présentent les eaux pour les divers usages industriels, il faut rechercher les moyens d'y remédier : je passerai alors en revue les différents procédés d'épuration, les uns basés sur des traitements chimiques destinés à transformer¹ ou à éliminer les sels nuisibles; les autres utilisant un phénomène physique, comme l'action de la chaleur, pour obtenir ce résultat.

En faisant l'étude complète des différents procédés et

¹ C'est plutôt à proprement parler une « correction » qu'une « épuration ».

appareils d'épuration, je me suis efforcé de montrer par un développement historique et critique comment, en passant par les multiples tentatives et les perfectionnements successifs, on est arrivé aux épurateurs actuels. Parmi ces derniers, je décrirai seulement ceux qui m'ont paru intéressants par quelque dispositif ingénieux, car les nombreux appareils épurateurs destinés au traitement des eaux industrielles procèdent tous des mêmes principes et ne diffèrent entre eux que par des détails de construction.

La clarification est inséparable de l'épuration ; une eau industrielle doit être débarrassée non seulement des substances nuisibles qu'elle renferme en dissolution, mais encore de celles qu'elle contient en suspension ; elle doit être à la fois pure (ou purifiée) et limpide. Dans certaines industries même, cette dernière qualité suffit ; les fabriques de papier ordinaire doivent, par exemple, faire usage d'eau sinon très pure, du moins très claire. Pour clarifier les eaux industrielles on peut procéder par décantation, mais plus généralement par filtration ; je décrirai donc les différents modes de filtration et les principaux types de filtres utilisés dans l'industrie.

Je terminerai l'étude des eaux industrielles par l'examen des eaux résiduaires, question de la plus grande importance qui touche à l'hygiène publique et intéresse au plus haut point les industriels, car elle est souvent une source de dépenses... et d'ennuis.

J'examinerai brièvement les différents procédés de purification et les divers modes de traitement que l'on doit faire subir aux eaux vannes des principales industries, pour ne pas rejeter à la rivière des eaux polluées susceptibles d'empoisonner les cours d'eau, comme cela se faisait trop souvent avant que des lois sévères en aient réglementé l'écoulement. L'évacuation sans traitement préalable des eaux résiduaires de certaines fabriques est en effet préjudiciable et à la salubrité publique et aux intérêts même des industriels dont les

usines placées en aval n'ont plus à leur disposition qu'une eau souillée, et le plus souvent inutilisable.

Le problème de l'épuration des eaux résiduaires n'est malheureusement pas définitivement résolu; l'épuration chimique, dans bien des cas, ne donne pas de résultats pratiques et économiques; l'épuration biologique ne s'applique qu'aux eaux résiduaires contenant surtout des matières organiques, provenant d'industries spéciales (féculeries, sucreries, etc.), et, par suite de la complexité et de la variété des eaux vannes, il est difficile, pour ne pas dire impossible, de trouver un traitement général susceptible de convenir à toutes les eaux résiduaires.

J'examinerai donc les principaux modes d'épuration proposés dans les différents cas, et j'insisterai particulièrement sur ceux qui peuvent être avantageux au point de vue de la récupération des produits utilisables que renferment les eaux résiduaires de certaines industries.

Par ce rapide aperçu d'ensemble, le lecteur a pu se rendre compte de la place que tient l'eau dans l'industrie, dont elle constitue pour ainsi dire la matière première indispensable. L'eau industrielle joue un rôle aussi important que l'eau potable, dont l'étude relève du domaine de l'hygiène, et on peut dire à juste titre que l'eau est aussi nécessaire aux besoins de l'industrie moderne qu'elle est indispensable aux besoins de la vie animale et végétale.

L'EAU DANS L'INDUSTRIE

CHAPITRE I

COMPOSITION DES EAUX INDUSTRIELLES

I. Différentes espèces d'eau employées dans l'industrie.

Les eaux qui servent aux usages industriels peuvent se classer suivant leur provenance en :

Eaux météoriques;

Eaux souterraines: eaux de forage, eaux de mine;

Eaux de source;

Eaux superficielles : eaux courantes (fleuves et rivières).

Aucune de ces eaux n'est *chimiquement pure*, c'est-à-dire exclusivement formée d'hydrogène et d'oxygène; elles contiennent toutes des substances dissoutes, gazeuses ou solides, qui proviennent des corps solubles avec lesquels l'eau a été en contact.

L'eau *pure* n'existe pas dans la nature : pour l'obtenir à l'état de pureté il faut la distiller, c'est-à-dire la faire passer de l'état liquide à l'état de vapeur et con-

denser la vapeur d'eau pour la ramener à l'état liquide : l'eau distillée ainsi obtenue, si l'opération a été bien conduite, est de l'eau chimiquement pure, c'est-à-dire ne renfermant aucun corps en dissolution.

Au point de vue industriel, la composition de l'eau naturelle présente une grande importance, car la présence des corps dissous dans une eau occasionne des inconvénients plus ou moins graves suivant les différents usages auxquels on la destine. La nature et la quantité des substances dissoutes décident si l'eau peut ou non être employée dans telle ou telle industrie¹.

Les corps que l'on rencontre dissous dans l'eau peuvent être des gaz, des substances minérales, des composés organiques.

Les corps qu'elle renferme le plus souvent sont parmi les gaz : l'anhydride carbonique, l'azote, l'oxygène, plus rarement l'hydrogène sulfuré ; — parmi les solides : des carbonates, des chlorures, des sulfates, des nitrates, des nitrites, etc., de potassium, de sodium, de calcium, de magnésium, de fer, de la silice, de l'alumine, etc.

Les eaux souterraines et les eaux de source sont les plus chargées en substances dissoutes, tandis que l'eau de pluie est celle qui en renferme le moins ; entre ces deux catégories se placent les eaux courantes (fleuves et rivières).

¹ Nous n'envisageons pas ici la composition de l'eau au point de vue des usages domestiques. On sait que pour reconnaître si une eau est potable, il faut non seulement en faire l'analyse chimique, mais encore l'analyse microbiologique. Nous ne nous occupons ici que de l'eau au point de vue industriel.

Pour l'analyse des eaux potables, voir BOURBEY et MARQUET, *Traité d'analyse chimique*. Paris, 1908.

Eaux météoriques. — Les *eaux météoriques* (pluie, neige) renferment, par suite de leur mode de formation même, les éléments qui se rencontrent dans l'atmosphère : gaz carbonique, acide azotique, acide azoteux, oxygène, azote.

Ces eaux dissolvent des quantités variables de ces différents gaz, suivant la composition de l'air ambiant, suivant aussi la température et la pression. La quantité des gaz dissous est souvent très faible dans ces eaux qui constituent les eaux naturelles les plus pures.

En dehors des corps gazeux, les eaux météoriques peuvent renfermer des sels tels que les sels ammoniacaux, des chlorures en plus ou moins grande quantité, suivant qu'elles ont été amenées ou non par les vents soufflant de la mer.

Enfin l'eau de pluie entraîne les matières organiques en suspension dans l'air, surtout dans l'atmosphère impure des grandes agglomérations.

Les eaux de pluie ne sont donc pas, comme on pourrait le croire, des eaux *pures* : par exemple, les eaux pluviales recueillies à Paris donnent jusqu'à 0 gr. 023 de résidu sec par litre (*Observatoire de Montsouris*) ; les eaux de pluie sont riches en matières organiques et, par le fait même, difficiles à conserver, par suite des transformations ultérieures des substances organiques qu'elles contiennent. Elles peuvent dès lors devenir impropres aux usages domestiques et même présenter des inconvénients assez graves dans certaines industries, comme nous le verrons par la suite.

Eaux souterraines. — Les *eaux souterraines* contiennent surtout en dissolution des sels minéraux,

tels que sulfates, chlorures, azolates, azotites, carbonates, silicates, etc., de potassium, sodium, magnésium, calcium, aluminium, fer. On y rencontre, en outre, des gaz, des combinaisons organiques dissoutes et des matières en suspension telles que l'argile, le sable, des matières organiques.

Les eaux de cette catégorie, dans leur parcours souterrain, exercent sur les terrains qu'elles traversent une action à la fois chimique (réaction), physique (dissolution), mécanique (désagrégation). Elles agissent surtout par le gaz carbonique, — qu'elles contiennent en forte proportion et qui provient des matières organiques qu'elles rencontrent, — sur les roches calcaires en particulier, qui se dissolvent aisément au contact d'une eau riche en anhydride carbonique.

Sans entrer dans des considérations géologiques hors du sujet que nous traitons, on peut dire que les eaux souterraines jouent un grand rôle dans l'alimentation des puits et des sources, qui varient avec la profondeur de la nappe souterraine qui les alimente. Les eaux de puits sont, en général, d'autant plus pures, qu'elles proviennent de plus grandes profondeurs.

Les eaux de puits sont souvent chargées en sels de chaux (carbonate et sulfate), qui les rendent médiocres, sinon impropres pour les usages industriels. Nous verrons plus loin comment on remédie aux inconvénients que présentent les eaux *calcaires*, c'est-à-dire chargées en carbonate de chaux (plus de 0 gr. 5 de CO_3Ca par litre), ou *séléniteuses*, c'est-à-dire chargées en sulfate de chaux (plus de 0 gr. 2 de SO_4Ca par litre).

Aux eaux souterraines se rattachent les *eaux de mine*,

qui sont en général très chargées. Elles proviennent des infiltrations plus ou moins lentes de l'eau à travers les différentes couches de terrain, dont elles dissolvent les constituants solubles. Ce phénomène de dissolution se complique parfois d'actions chimiques, telle qu'oxydation, dans les régions pyriteuses. des sulfures en sulfates, et mise en liberté d'acide sulfurique qui attaque en particulier les roches calcaires, donnant ainsi naissance à du sulfate de chaux. Les eaux de mine seraient impropres aux applications industrielles, si on voulait les utiliser telles quelles, car elles renferment de notables proportions de sulfates.

Dans le calcaire carbonifère, comme dans la région des Flandres, les eaux de forage présentent souvent une réaction alcaline, due au carbonate de soude qui prend naissance après départ de l'anhydride carbonique sous l'action de la chaleur.

Enfin les eaux souterraines peuvent accidentellement contenir des sels ammoniacaux (sulfate d'ammoniaque), par infiltration, provenant des usines à gaz, ou des matières organiques azotées employées comme engrais.

Ces eaux ammoniacales, que l'on rencontre dans les régions industrielles, présentent des inconvénients dans la plupart des cas, en particulier dans l'appréciation des éléments d'épuration par les méthodes ordinaires basées sur l'emploi de réactifs indicateurs colorés.

Eaux de source. — Les eaux de source ont une composition variable suivant la nature des terrains traversés. Elles proviennent des nappes souterraines et, après un parcours plus ou moins long à travers les roches de différentes natures, émergent à la surface du

sol. Il va de soi que les eaux de source qui proviennent, par exemple, des terrains granitiques n'auront pas la même composition que celles qui sortent des terrains calcaires.

Eaux superficielles. — Les eaux, après avoir émergé du sol sous forme de sources, accomplissent un parcours plus ou moins long à la surface de la terre.

Si la composition d'une eau de source dépend de la nature des terrains traversés dans son parcours souterrain, la composition des eaux superficielles, autrement dit des eaux courantes (fleuves et rivières), dépendra des roches avec lesquelles elle est en contact. Suivant la composition chimique de ces roches, elle s'enrichira à leurs dépens ou abandonnera une partie des corps qu'elle tenait en dissolution. Il pourra même s'établir de véritables échanges entre l'eau et la roche.

Le phénomène le plus caractéristique que présente une eau dans son parcours à la surface du sol est l'abandon de l'anhydride carbonique qu'elle tenait en dissolution, et à la faveur duquel elle avait pu dissoudre certaines substances salines, en particulier de notables proportions de carbonate de calcium. Celui-ci en effet se dissout aisément dans l'eau chargée de gaz carbonique CO_2 , en passant à l'état de bicarbonate, et, lorsque le gaz carbonique se dégage, il ne peut rester en dissolution et précipite.

Les eaux courantes ne proviennent pas exclusivement des sources, mais ont encore leur origine dans les eaux météoriques qui tombent à la surface du sol et contribuent à augmenter leurs propriétés dissolvantes, grâce au gaz carbonique qu'elles leur apportent.

C'est en effet le gaz carbonique ou anhydride carbonique, CO_2 , qui donne aux eaux naturelles leur activité chimique. Mais à mesure que les eaux accomplissent leur parcours à la surface du sol, elles abandonnent peu à peu, comme on vient de le voir, le gaz carbonique qu'elles tenaient en dissolution ; par suite certains sels, en particulier le carbonate de chaux, se déposent, et l'eau s'appauvrit en sels minéraux. En s'éloignant de leur source, les cours d'eau deviennent donc de moins en moins chargés en sels calcaires, puisque leur action dissolvante diminue par suite du départ du gaz carbonique, et d'autre part ces sels se déposent pour les raisons que nous venons d'indiquer. Par contre, l'eau s'enrichira en sels alcalins très solubles, et c'est ce qui explique qu'un cours d'eau s'enrichit en chlorure de sodium à mesure que son parcours augmente.

Les eaux superficielles contiennent, en outre, des matières en suspension qui proviennent des matériaux du sol entraînés mécaniquement : sable, argile, terre végétale, matières organiques, etc.

Ces matières en suspension troublent l'eau d'une façon plus ou moins marquée. Il est évident qu'une eau est d'autant moins claire, qu'elle contient plus de matières en suspension. Mais peu à peu ces matières se déposent, quand la vitesse du courant diminue, et en tombant au fond forment le limon. Une eau claire (transparente sous une épaisseur de 30 cm) donne moins de 10 grammes de limon par mètre cube. La composition du limon varie avec la nature des régions traversées : elle peut être calcaire ou argileuse

Les *eaux de mer* sont plus chargées en sels que les

eaux ordinaires, elles contiennent en dissolution des bromures, des iodures, des sulfates; mais elles contiennent surtout du chlore combiné (à l'état de chlorures) aux métaux alcalins (sodium et potassium) et aux métaux alcalino-terreux (magnésium et calcium). Une eau marine contient en moyenne 35 grammes environ de matières solides au litre, dont 30 grammes environ de chlorure de sodium. Aussi devra-t-on, pour les usages industriels, lui faire subir des traitements plus ou moins compliqués, mais toujours onéreux.

Nous avons examiné la composition des eaux naturelles, mais il y a lieu de tenir compte des modifications que peut subir la composition primitive d'une eau. Ces modifications sont dues le plus souvent à des matières provenant de résidus divers qui viennent se mélanger à l'eau et la rendent, dans bien des cas, impropre aux usages industriels. Il est évident qu'une eau peut être *naturellement* bonne et avoir été souillée par des eaux d'égout des villes ou des eaux résiduaires provenant d'établissements industriels. Cette question des eaux résiduaires est très importante, et nous aurons à nous en préoccuper dans le cours de cet ouvrage. La composition des eaux résiduaires varie avec l'industrie qui leur a donné naissance, et il y aura lieu, lorsque nous étudierons l'analyse des eaux, de rechercher et même de doser certains corps dont la présence dans une eau résiduaire peut donner lieu à des dispositions spéciales pour son évacuation.

II. Corps formant les impuretés de l'eau.

Nous avons vu que toutes les eaux naturelles renferment en dissolution des gaz et des produits solides (sels) en plus ou moins grande proportion.

Parmi les PRODUITS GAZEUX en dissolution dans l'eau, les plus importants sont l'air et l'anhydrique carbonique.

Comme l'air est principalement un mélange d'oxygène et d'azote, il en résulte que l'on rencontre ces deux gaz dissous dans l'eau suivant le coefficient de solubilité respectif de ces deux gaz, — un litre d'eau dissout 0 gr. 041 d'oxygène et 0 gr. 020 d'azote à la température de 0° et sous 760 mm. de pression. — Il est évident que la quantité dissoute diminue quand la température s'élève ou que la pression décroît.

D'autre part, comme l'air est formé de 1/5 d'oxygène et de 4/5 d'azote, on pourra en déduire le volume de chacun de ces deux gaz, que renferme un litre d'eau, soit :

$$0,041 \times \frac{1}{5} = 0^{\text{lit}}, 0082 \text{ d'oxygène,}$$

$$0,020 \times \frac{4}{5} = 0^{\text{lit}}, 0160 \text{ d'azote;}$$

ce qui fait au total 24 cm³ de gaz dissous par litre d'eau. Ces résultats, donnés par le calcul, ne concordent pas toujours avec ceux trouvés expérimentalement : l'eau en effet contient, comme nous le verrons par la suite, des matières organiques qui absorbent

l'oxygène de l'eau, et il y aura d'autant moins d'oxygène dissous qu'il y aura plus de matières organiques contenues dans l'eau examinée.

La flore des eaux a aussi une influence sur la proportion d'oxygène dans l'eau, qui dépend de l'équilibre des deux fonctions des plantes à chlorophylle : fonction respiratoire et fonction chlorophyllienne.

Quant à l'azote, il ne joue aucun rôle, et l'origine de sa présence dans les eaux provient non seulement de la dissolution de l'azote contenu dans l'air, mais aussi des composés oxygénés de l'azote et des matières organiques azotées.

L'*anhydrique carbonique* est un gaz que l'on rencontre en plus ou moins grande proportion. Il peut provenir de l'atmosphère et des phénomènes de combustion et de fermentation.

Il joue un rôle très important par l'action qu'il exerce sur certains sels ; il dissout en effet les carbonates et silicates alcalino-terreux, les oxydes de fer. Les sels, qui sont ainsi maintenus en dissolution à la faveur de l'anhydride carbonique dissous dans l'eau, se déposent lorsque, pour une cause quelconque (élévation de température, diminution de pression), l'anhydrique carbonique vient à être expulsé.

L'anhydride carbonique contenu dans les eaux joue un rôle capital dans les phénomènes géologiques (sources pétifiantes, stalactites, etc.). Au point de vue industriel, qui nous intéresse seul ici, nous examinerons ses effets dans l'alimentation des générateurs de vapeur et dans les diverses industries (savonnerie, teinturerie, etc.), par suite des dépôts alcalino-terreux

formés lors du départ du gaz CO_2 primitivement dissous.

Parmi les autres produits gazeux que l'on rencontre plus rarement dans les eaux, il faut citer l'*hydrogène sulfuré* ou gaz sullhydrique, qui provient de la dissociation des sulfures et polysulfures formés par réduction des sulfates sous l'action des matières organiques, soit encore des putréfactions qui peuvent se produire dans les eaux.

Les *produits solides* que l'on rencontre en dissolution dans les eaux sont surtout des sels alcalins et alcalino-terreux. Les principaux sont :

Le *carbonate de calcium*, CO_3Ca ; — le *sulfate de calcium*, SO_4Ca ; — le *carbonate de magnésium*, CO_3Mg ; — le *sulfate de magnésium*, SO_4Mg ; — les *chlorures de sodium*, NaCl , — de *magnésium*, MgCl_2 , — de *calcium*, CaCl_2 ; des *composés du fer*, des *matières organiques* et, plus rarement, de la *silice* à l'état libre ou combinée.

La *solubilité* de ces diverses substances est à considérer dans les applications de l'eau, par suite de l'influence qu'elles peuvent exercer dans les différentes industries.

Nous verrons plus loin quelle est l'importance de la solubilité des sels dans l'alimentation des chaudières à vapeur.

Le *coefficient de solubilité* des sels, c'est-à-dire le poids du corps dissous dans 100 gr. du dissolvant, — ou plus exactement le poids du corps dissous dans 100 gr. de la solution saturée, — varie avec la température. En général, le coefficient de solubilité croît avec

la température; pour certains sels, tels que le chlorure de sodium, la température influe peu sur la solubilité; pour d'autres, tel que le sulfate de calcium, il existe un maximum de solubilité.

Nous allons étudier successivement chacun des sels que l'on rencontre ordinairement dans les eaux naturelles.

— Le *carbonate de calcium*, CO^2Ca , corps très répandu dans la nature (calcaires), est un sel très peu soluble dans l'eau pure (exempte d'anhydride carbonique); mais il se dissout, au contraire, avec facilité dans l'eau chargée d'anhydride carbonique. Ce gaz transforme le carbonate neutre (CO^2Ca) insoluble en bicarbonate ou carbonate acide $(\text{CO}^2)^2\text{H}^2\text{Ca}$, sel qui au contraire est très soluble; il semble aussi d'autre part agir comme dissolvant, ce qui est probable, sur le carbonate neutre. L'anhydride carbonique paraît donc exercer une double action de transformation et de dissolution. Une solution saturée de gaz carbonique dissout 0 gr. 88 de carbonate de chaux CO^2Ca , par litre, à la température de 10°C .

Si l'on fait bouillir une telle solution, l'anhydride carbonique est chassé par l'ébullition: le bicarbonate soluble est décomposé et précipité à l'état de carbonate neutre, presque totalement insoluble. En réalité, une faible portion (0 gr. 034 de CO^2Ca par litre) reste en solution à l'état de sel neutre. C'est pour tenir compte de cette solubilité que, dans la *méthode hydrométrique*, que nous étudions à l'analyse des eaux, on fait subir une correction aux résultats trouvés expérimentalement.

Les dépôts auxquels donne naissance le carbonate de

chaux sont en général boueux et peu adhérents ; mais la présence d'autres sels, silicates, etc., peut modifier cet état ; nous y reviendrons lorsque nous nous occuperons des *incrustations* dans les générateurs de vapeur.

— Le *sulfate de calcium*, SO^4Ca , existe dans la nature à l'état hydraté (*gypse*). Il est peu soluble dans l'eau à la température ordinaire. On a fait de nombreuses recherches sur la solubilité de ce sel, mais les résultats n'on pas toujours été concordants.

Le sulfate de calcium présente un maximum de solubilité vers 35°C . A cette température, un litre d'eau en dissoudrait 2 gr. 12, tandis qu'au delà de 35° la solubilité diminue et n'est plus, à 100°C , que de 1 gr. 62 par litre.

Au point de vue industriel, nous admettrons que la solubilité du sulfate de calcium¹ diminue à partir de 40° et qu'à 150° (sous une pression de 4 atmosphères 7) le sulfate de calcium est totalement insoluble et se dépose sous forme de petits cristaux très durs qui présentent de graves inconvénients dans les générateurs de vapeur.

La solubilité du sulfate de chaux est augmentée par la présence d'autres sels : par les chlorures, en particulier le chlorure de magnésium, et par les nitrates.

Le sulfate de calcium est assez soluble dans la glycérine (1 %) et complètement insoluble dans l'alcool.

— Le *carbonate de magnésium*, CO^3Mg , se rencontre dans la nature sous forme de carbonate double de cal-

¹ BOYER-GUILLOX, *Revue de Mécanique*, 31 janv. 1901.

cium et de magnésium (dolomie). Il se comporte d'une façon analogue au carbonate de chaux, mais il se dissout plus facilement encore que ce sel, à la faveur de l'anhydride carbonique : à 13°C et sous une pression de 1 atmosphère, l'eau chargée de gaz carbonique dissout 28 gr. 4 de CO^3Mg par litre, et à 90° elle n'en dissout que 2 gr. 4. La pression influe aussi sur la dissolution : sous 1 atmosphère, 760 parties d'eau chargée de CO^2 dissolvent 1 partie de CO^3Mg , tandis que sous 6 atmosphères il ne faut plus que 76 parties d'eau chargée d'anhydride carbonique.

La solubilité du carbonate de magnésium est augmentée par la formation de sels doubles, par exemple avec les sels ammoniacaux. Lorsque le gaz carbonique est chassé par ébullition, le carbonate de magnésium se dépose, et les incrustations ainsi formées renferment en général des oxydes de magnésium hydratés, qui proviennent de la décomposition du carbonate à haute température.

Le *sulfate de magnésium*, SO^4Mg , se rencontre non seulement dans l'eau de mer, mais aussi dans les eaux douces, par suite de la double décomposition qui peut se produire entre le sulfate de chaux contenu dans l'eau et les sels de magnésium (carbonate). Il ne présente pas par lui-même de graves inconvénients et ne serait pas une impureté gênante dans les applications de l'eau, car ce sel est très soluble (32 % de SO^4Mg à 15 C et 72 % à 100°C) et existe en faible proportion dans les eaux ordinaires, s'il ne donnait naissance, par double décomposition avec les chlorures, à du chlorure de magnésium, et ne réagissait à chaud sur le carbonate de calcium avec formation de sulfate de chaux ; ces sels

présentent de graves inconvénients dans les générateurs de vapeur.

Le *chlorure de sodium*, NaCl , existe en proportions notables dans les eaux marines, et en moindres proportions dans les eaux douces. Il est presque aussi soluble à chaud qu'à froid ; à la température ordinaire, l'eau en dissout environ 36 parties pour 100. Nous reviendrons sur la solubilité du chlorure de sodium à propos de l'emploi de l'eau de mer dans l'alimentation des machines marines.

Le *chlorure de magnésium*, MgCl^2 , est très soluble dans l'eau ; mais il présente le grave inconvénient de se dissocier par la chaleur en magnésie et acide chlorhydrique. Ainsi, à 106° , le chlorure de magnésium hydraté, de formule $\text{MgCl}^2, 6\text{H}^2\text{O}$, se décompose en MgO et HCl . L'acide chlorhydrique qui se dégage produit des effets nuisibles dans les applications industrielles, en particulier, en attaquant le métal des chaudières. Le chlorure de magnésium en dissolution peut lui-même, lorsqu'il est en proportions notables, occasionner des *corrosions* sur lesquelles nous aurons l'occasion de revenir en détails.

Il faut noter que le chlorure de magnésium peut ne pas exister tout formé dans une eau, mais prendre naissance par double décomposition entre le sulfate de magnésie et les chlorures en dissolution dans l'eau. C'est pour cette raison que le sulfate de magnésie est considéré comme nuisible.

Le *chlorure de calcium* est un des sels les plus solubles dans l'eau ; il existe en faibles proportions dans

les eaux ordinaires, et ne présente pas d'inconvénients au point de vue industriel.

Il faut encore noter la présence, dans les eaux, de la *silice* et des *silicates*, qui dans les chaudières pourront donner avec les autres sels des incrustations très adhérentes de silicates alcalins. A ce point de vue, on n'a pas toujours apporté l'attention nécessaire à la présence de la *silice libre* dans les eaux, qui se rencontre du reste assez rarement.

Outre les sels minéraux que nous venons d'examiner, il existe dans l'eau des *matières organiques* en dissolution, qui peuvent présenter des inconvénients, comme on le verra, même pour les usages industriels.

Après avoir étudié la composition des eaux, au point de vue des propriétés physiques et chimiques des corps qu'elles renferment, nous allons traiter, dans le chapitre suivant, de l'*analyse des eaux*, c'est-à-dire des procédés employés pour reconnaître et doser les corps qui s'y trouvent en dissolution.

CHAPITRE II

ANALYSE DES EAUX INDUSTRIELLES

Les corps qui doivent surtout attirer l'attention lorsqu'on analyse une eau destinée à être employée dans les diverses industries, telles que : usines de produits chimiques, fabriques de couleurs, teintureries, sucreries, féculeries, brasseries, industries de la soie, etc., ou pour l'alimentation des générateurs de vapeur, sont les suivants : *acide sulfurique, chlore, acide azoteux, acide azotique, ammoniacque, calcium, magnésium, fer et matières organiques.*

Les autres éléments que l'on rencontre dans une eau sont moins importants dans la pratique industrielle. Aussi commencerons-nous par décrire une méthode rapide d'analyse des eaux industrielles, avant de donner l'analyse complète de l'eau qu'on n'effectue pas aussi couramment dans l'industrie.

Prélèvement des échantillons. — Le prélèvement des échantillons est une opération qui n'est pas sans importance, lorsqu'on veut être certain d'opérer l'analyse sur un échantillon moyen. Il y a lieu de

prendre de minutieuses précautions et de veiller en particulier à ce que des substances étrangères ne viennent pas accidentellement modifier la nature primitive de l'eau.

Lorsque c'est possible, l'échantillon ne doit être prélevé que par une personne compétente, qui doit d'abord se renseigner sur les circonstances locales avant de procéder au prélèvement.

Pour les eaux superficielles, il y a lieu de s'assurer si au-dessus du point où a lieu la prise d'échantillon, il n'est pas déversé d'eaux d'égout ou d'eaux résiduaires industrielles. Si des eaux résiduaires sont déversées dans le voisinage, il faut tenir compte de la composition de ces eaux.

Le prélèvement d'un échantillon moyen sur des *eaux résiduaires* présente des difficultés, car les eaux vanes de presque toutes les industries subissent de grandes variations aussi bien au point de vue de leur quantité qu'à celui de leur composition (voir plus loin : *Eaux résiduaires*).

Quand on prend un échantillon sur un cours d'eau classé, on doit déterminer le niveau de l'eau, les points d'étiage correspondant aux basses eaux, aux eaux moyennes et aux hautes eaux ordinaires, renseignements que l'on peut obtenir de l'Administration des Eaux.

Les eaux météoriques (pluie) sont ordinairement assez pures; mais, dans le voisinage de certaines fabriques, elles peuvent être souillées par des substances étrangères, des acides, par exemple.

C'est pour tenir compte de toutes les circonstances des prises d'échantillons des eaux de différente nature,

que le prélèvement doit être effectué par des personnes compétentes qui sachent observer toutes les particularités concernant aussi bien l'eau elle-même que l'industrie à laquelle elle est destinée.

Mode opératoire pour prélever une eau. — Comme *vases collecteurs*, on emploie des flacons de verre nettoyés avec soin aux acides et à l'eau distillée, des bouteilles de 1 litre, par exemple, que l'on ferme avec des bouchons de verre ou avec des bouchons de liège neufs paraffinés ou enveloppés de papier parchemin.

Il faut rejeter les bouteilles de grès, qui peuvent modifier la composition de l'eau (dureté) et sont plus difficiles à nettoyer que celles de verre.

Pour prélever un échantillon dans une source, un cours d'eau ou un réservoir, on y plonge le récipient lui-même, au-dessous de la surface du liquide, si cela est possible, et on la rince deux ou trois fois avec l'eau à prélever.

S'il faut se servir d'un vase intermédiaire, on veille à ce qu'il soit bien propre et bien rincé avec l'eau à analyser. Il faut éviter de recueillir l'eau à la surface ou d'entraîner les dépôts du fond.

Pour prendre un échantillon sur l'eau d'une pompe ou d'un robinet, on laisse couler l'eau qui a séjourné dans la pompe ou dans le tuyau de conduite, avant de recevoir le liquide dans le flacon.

Si l'échantillon représente l'eau d'une ville, il faut la prendre à un robinet placé sur la canalisation même et non à une citerne intermédiaire.

Dans tous les cas, on remplit complètement la bouteille avec l'eau à prélever, on la vide, on la rince plu-

sieurs fois avec cette eau, enfin on la remplit le plus complètement possible, et on la ferme hermétiquement.

Examen physique. — Avant de commencer l'analyse chimique, on doit examiner l'eau au point de vue de sa *réaction*, de son *odeur*, du *goût*, de l'*aspect* (coloration, trouble).

Matières en suspension. — Une eau, si limpide qu'elle paraisse, doit être *filtrée* avant l'analyse. On emploie à cet effet des filtres sans cendre (lavés aux acides).

Si, à première vue, on suppose que l'eau doit laisser un résidu pondérable, on filtre un volume d'eau connu (1 litre, par exemple) sur un filtre précédemment taré. Après dessiccation à l'étuve (à 100°) on pèse : on a ainsi, par augmentation de poids du filtre, la quantité de matières en suspension contenues dans 1 litre d'eau.

Nous allons étudier l'*analyse chimique des eaux* en commençant par la *méthode hydrotimétrique*, qui rend de grands services dans l'industrie, où elle présente l'avantage d'être rapide, tout en donnant des renseignements suffisants dans la plupart des cas.

I. Analyse des eaux par la méthode hydrotimétrique.

Principe de la méthode hydrotimétrique¹.

— Quand on agite vigoureusement un flacon à demi rempli d'eau distillée pure, l'air, plus léger que l'eau, s'en échappe aussitôt que l'agitation a cessé, sans l'apparition d'aucun phénomène.

Si l'on répète l'expérience avec la même eau, additionnée de glycérine ou de sucre, l'air reste en suspension dans le liquide dont il trouble la transparence, divisé en une infinité de petites bulles, qui s'élèvent peu à peu, avec une vitesse dépendant de la viscosité du milieu, et forment à la surface une mince couronne qui disparaît dès que l'ascension de l'air est complète.

Si, au contraire, on ajoute à l'eau distillée une minime quantité de savon ordinaire (par exemple, 1/10^e de gramme par litre), l'air, divisé par l'agitation, gagne rapidement la surface de l'eau, qu'il recouvre entièrement d'une *mousse* composée de bulles emprisonnées dans une gaine visqueuse, qui crèvent plus ou moins vite : c'est la mousse de savon.

L'épaisseur de cette mousse augmente avec la proportion de savon, si bien qu'il arrive un moment où tout le liquide est transformé en mousse.

Si on ajoute à une eau de source ou de rivière quelques décigrammes du même savon, l'eau blanchit, mais ne mousse pas par l'agitation, comme dans le cas où on opérait avec de l'eau pure.

¹ BOUTRON et BOUDET. Hydrotimétrie.

La différence entre les deux phénomènes s'explique de la façon suivante :

Les savons qui résultent de la combinaison des acides gras avec les oxydes métalliques peuvent se diviser, au point de vue de l'hydrotimétrie, en deux classes :

1^o *savons communiquant à l'eau la propriété de mousser* : ce sont les savons alcalins (de soude ou de potasse), qui constituent les savons ordinaires; ils sont *solubles dans l'eau*;

2^o *savons incapables de rendre l'eau mousseuse* : ce sont les savons non alcalins, tels que ceux de chaux, de magnésie, de baryte, de plomb, etc.

Supposons que le savon employé soit une combinaison de l'acide oléique, qui est un acide gras, avec la soude, par exemple; un tel savon, qui n'est autre chose que de l'oléate de soude, ne donnera pas de mousse avec l'eau pure, parce qu'il est *soluble*; mais si l'on opère avec une eau de source ou de rivière, renfermant un sel calcaire (du sulfate de chaux, par exemple), l'eau ne mousse pas, parce qu'il se fait une double décomposition entre le savon et le sel en donnant naissance à un savon calcaire (oléate de chaux), *insoluble* et, par suite, incapable de faire mousser l'eau.

Tant qu'il restera dans l'eau du sulfate de chaux non décomposé, la mousse ne se produira pas; mais lorsque tout le sulfate de chaux sera transformé en oléate de chaux insoluble, la plus petite addition de savon ordinaire (oléate de soude) provoquera une mousse persistante.

La quantité de savon employée pour obtenir la double décomposition est proportionnelle à la quantité de sels de chaux ou de magnésie contenus dans l'eau;

ce qui permettra, comme nous le verrons par la suite, d'évaluer les quantités de ces sels contenus dans une eau quelconque.

Indépendamment des sels de chaux et de magnésic, qui décomposent le savon, l'anhydride carbonique, dissous dans l'eau, exerce une action analogue mais plus lente, et la quantité de savon décomposé par le gaz carbonique *libre* est proportionnelle à la quantité de ce gaz dissous dans l'eau.

Les eaux *dures*¹ sont celles qui exigent une grande quantité de savon pour mousser. On pourra donc déterminer, par la quantité de savon employé pour obtenir l'apparition de la mousse dans une eau, le degré de *dureté* de cette eau et son rang ou *titre* dans une classification méthodique qui aurait pour point de départ l'eau pure ayant pour *titre* 0 *degré hydrotimétrique*.

Pratique de la méthode hydrotimétrique.

Les essais hydrotimétriques s'effectuent au moyen d'un flacon jaugé à 10, 20, 30 et 40 cm³, dit *flacon*

¹ La *dureté* est la propriété que possèdent les eaux de décomposer le savon en donnant naissance à un savon alcalino-terreux insoluble.

Une eau est dite *dure* quand elle contient une forte proportion de sels de calcium et de magnésium.

On appelle *dureté totale*, la dureté d'une eau qui n'a pas été chauffée.

On appelle *dureté permanente*, la dureté de l'eau après ébullition (l'eau étant ramenée au volume primitif avec de l'eau distillée). Elle correspond aux sels de calcium et de magnésium qui n'ont pas été précipités par ébullition.

La *dureté temporaire* est la différence entre la dureté totale et la dureté permanente. Elle correspond aux bicarbonates alcalino-terreux (de chaux et de magnésie), décomposés et précipités à l'état de carbonates neutres par l'ébullition.

hydrotimétrique (fig. 1) et d'une burette graduée spéciale dite *burette hydrotimétrique* ou *hydrotimètre* (fig. 2).

Chaque essai exige 40 cm³ (ou 40 gr.) d'eau que l'on mesure dans le flacon hydrotimétrique, qui porte des

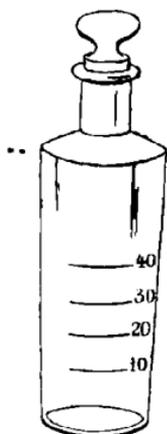


Fig. 1.
Flacon hydrotimétrique.

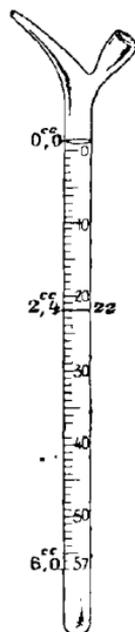


Fig. 2.
Burette hydrotimétrique.

traits circulaires indiquant les volumes qu'occupent 10, 20, 30, 40 cm³ d'eau.

La *burette hydrotimétrique* porte un trait circulaire marqué à la partie supérieure, qui indique le niveau que doit atteindre la liqueur titrée de savon (voir plus loin) pour que l'instrument soit rempli et prêt à servir. L'espace compris entre ce trait circulaire et le trait

marqué 0 correspond à la proportion de liqueur de savon nécessaire pour produire l'apparition de la mousse avec 40 cm³ d'eau distillée pure. Les divisions à partir du zéro représentent les *degrés hydrotimétriques*.

La composition de la liqueur de savon a été calculée de manière que chaque degré représente 1 décigramme de savon (0^{gr},106 exactement) neutralisé par 1 litre de l'eau soumise à l'expérience, et correspond soit à 0^{gr},0114 de chlorure de calcium, soit à 0^{gr},0103 de carbonate de chaux pour le même volume d'eau (voir tableau d'équivalents en poids de 1 degré hydrotimétrique pour 1 litre d'eau).

Le *degré hydrotimétrique* d'une eau indique immédiatement la proportion de savon qu'elle neutralise par litre, et par suite son état de pureté.

Outre ces indications, qui seraient insuffisantes dans la plupart des cas, la *méthode hydrotimétrique* permet de déterminer séparément la proportion de carbonate, sulfate, chlorure (de chaux et de magnésie) et de gaz carbonique, contenus dans l'eau à essayer.

Pour cela, on détermine successivement le degré hydrotimétrique :

1^o De l'eau naturelle, soit A ;

2^o De l'eau naturelle après élimination, par l'oxalate d'ammoniaque, de la chaux totale (carbonate et autres sels), soit B ;

3^o De l'eau naturelle après élimination, par l'ébullition, du carbonate de chaux et de l'anhydride carbonique : soit C ;

4^o De l'eau bouillie, après élimination, par l'oxalate d'ammoniaque, des sels de chaux autres que le carbonate précipité par ébullition, soit D.

Ces quatre déterminations constituent l'*analyse hydrotimétrique*, dont nous verrons à interpréter les résultats plus loin.

Mode opératoire. — Pour effectuer les essais hydrotimétriques, on se sert d'un matériel sommaire, qui constitue le *nécessaire hydrotimétrique*¹.

Il comprend :

Un *flacon hydrotimétrique* (fig. 1) ;

Une *burette hydrotimétrique* (fig. 2) ;

Un flacon de *liqueur hydrotimétrique*, solution alcoolique titrée de savon (voir p. 27) ;

Un *flacon d'eau distillée* ;

Un *flacon de réactif* (solution d'oxalate d'ammoniaque) pour la précipitation de la chaux ;

Une *pipette* divisée en dixièmes de cm^3 ;

Un *ballon jaugé* par un trait circulaire marqué sur le col ;

Une *lampe à alcool* avec support, pour maintenir le ballon au-dessus de la lampe ;

Un *entonnoir* de verre ;

Un *paquet* de filtres ;

Un *agitateur* ;

Un *thermomètre* ;

Un *flacon de réactif* (solution d'azotate d'argent) pour la précipitation des chlorures ;

Un *flacon de réactif* (solution d'azotate de baryte) pour la précipitation des sulfates ;

Deux *fioles jaugées* à 50 cm^3 .

¹ Nous avons décrit le nécessaire hydrotimétrique des *Établissements Poulenc*, établi d'une façon pratique pour les essais faits en dehors d'un laboratoire.

Liqueurs et réactifs nécessaires pour l'hydrotimétrie. — *Liquueur hydrotimétrique.* — La liqueur titrante de savon ou *liquueur hydrotimétrique* peut être préparée de deux manières.

La première, indiquée par Boutron et Boudet, inventeurs de la méthode hydrotimétrique, consiste à prendre 100 gr. de savon blanc de Marseille, desséché et coupé en menus morceaux, que l'on dissout à chaud dans 2 litres d'alcool à 90°, en ayant soin de munir le ballon d'un tube réfrigérant pour condenser les vapeurs d'alcool. Après dissolution complète, on filtre pour séparer les matières insolubles, et on ajoute à la solution filtrée 1 litre d'eau distillée pure. On agite et on laisse reposer pendant quarante-huit heures au moins dans un endroit frais. On filtre sur un linge : le caillot de savon en excès reste, et la liqueur, filtrée à nouveau sur papier, est prête pour l'usage. Reste à déterminer le titre de cette liqueur, comme on le verra plus loin.

Un autre procédé¹, plus rapide et même plus sûr, consiste à verser, dans un ballon jaugé de 1 litre :

30 cm³ ou 28 gr. d'huile d'amandes douces ou d'huile d'olive ;

10 cm³ de soude caustique à 36° Baumé ;

10 cm³ d'alcool à 90°-95°.

Puis on chauffe au bain-marie, en agitant le ballon de temps à autre, jusqu'à l'ébullition. On verse ensuite 800 à 900 cm³ d'alcool à 60° environ, et on agite jusqu'à dissolution complète du savon formé. Après refroidissement à la température ambiante, on complète le

¹ H. COURTONNE. *Instructions pratiques sur l'hydrotimétrie.*

volume jusqu'au trait de jauge, avec le même alcool à 60°. On agite pour rendre le liquide homogène; on filtre s'il y a lieu, et on recueille la liqueur claire dans un flacon sec, que l'on bouche hermétiquement.

Solution titrée de chlorure de calcium. — Cette solution sert à vérifier la liqueur hydrotimétrique préparée précédemment. On dissout dans 1 litre d'eau distillée soit 0^{sr},250 de chlorure de calcium pur et sec, soit 0^{sr},580 d'azotate de baryum, qui n'est pas déliquescent comme le chlorure de calcium.

Dans la pratique, on prend 0^{sr},029 d'azotate de baryum pur et sec, que l'on dissout dans 50 cm³ d'eau.

Titrage de la liqueur hydrotimétrique. — La liqueur hydrotimétrique, préparée comme il a été dit précédemment, doit avoir le titre normal, c'est-à-dire que 23 divisions = 22 degrés de la burette hydrotimétrique remplie de liqueur de savon sont neutralisés par 40 cm³ de la liqueur type d'azotate de baryum ou, ce qui revient au même, par 40 cm³ de la liqueur type calcique. Dans ce dernier cas, 22 degrés de la burette correspondent à 0^{sr},010 de chlorure de calcium, CaCl²; ce qui définit le titre normal de la liqueur titrante de savon.

Pour vérifier si la liqueur hydrotimétrique est au titre normal, on opère de la façon suivante :

On remplit la burette de liqueur de savon jusqu'au trait circulaire. On mesure exactement dans le flacon hydrotimétrique 40 cm³ de la liqueur type d'azotate de baryum ou de chlorure de calcium. On verse peu à peu, et par fractions, la liqueur hydrotimétrique dans le flacon, et on agite fortement après chaque addition.

Lorsque la mousse qui s'est formée par agitation a tendance à demeurer, on verse la liqueur goutte à goutte en agitant après chaque addition, et on s'arrête lorsque la mousse obtenue est persistante et occupe une hauteur environ égale à celle qui sépare deux traits du flacon.

Si la liqueur est normale, on a dû employer exactement 22 degrés de la burette pour obtenir la mousse persistante.

Si la liqueur est, au contraire, trop concentrée, c'est-à-dire si moins de vingt-trois divisions (c'est-à-dire moins de 22°) ont suffi pour atteindre le résultat, il est aisé de ramener la liqueur en la diluant avec de l'alcool à 60°, en calculant la quantité d'alcool à ajouter de la façon suivante :

Soit d le degré lu sur la burette, on aura à ajouter à un volume donné v de liqueur de savon la quantité d'alcool nécessaire pour que l'on ait un volume :

$$V = v \times \frac{22}{d}.$$

Soit par exemple $d = 20$ degrés, pour $v = 1\,000$ cm³ ; on aura un volume de liqueur normale égal à :

$$V = 1\,000 \times \frac{22}{20} = 1\,100 \text{ cm}^3.$$

Il faudra donc ajouter, à 1 000 cm³ de la liqueur trop forte, 100 cm³ d'alcool à 60°.

Dans le cas où la liqueur serait trop faible, on pourrait corriger les résultats par le calcul, en notant qu'ils devront être multipliés par le rapport $\frac{22}{d}$, d étant

le nombre de degrés lus sur la burette; mais il est préférable d'opérer avec une liqueur normale.

Réactifs. — Les réactifs employés dans l'analyse hydrotimétrique sont :

Le réactif pour la précipitation de la chaux, préparé en dissolvant 2 gr. d'oxalate d'ammoniaque dans 50 cm³ d'eau pure;

Le réactif pour le dosage des sulfates, préparé en dissolvant exactement 1^{gr},070 d'azotate de baryum pur et sec dans l'eau distillée et en en faisant un volume de 50 cm³;

Le réactif pour le dosage des chlorures, préparé en dissolvant, dans l'eau distillée, 1^{gr},395 d'azotate d'argent pur, fondu, et en complétant le volume à 50 cm³. On conserve cette solution, à l'abri de la lumière, dans des flacons jaunes.

Enfin l'eau distillée, qui sert soit à diluer, comme nous le verrons plus loin, les eaux trop dures pour être analysées directement, soit à préparer les réactifs, doit être pure, c'est-à-dire avoir pour titre hydrotimétrique 0.

Il ne faut pas croire qu'une eau, par le fait même qu'elle a été distillée, convient pour les essais hydrotimétriques.

Quand on distille rapidement 10 litres d'eau de rivière, titrant par exemple 20°, on obtient des résultats analogues à ceux-ci :

Le premier litre d'eau distillée titre 12°; le deuxième, 8°; le troisième, 3°.

Ce résultat est dû au gaz carbonique qui se dégage pendant la première phase de l'opération; c'est seule-

ment quand le premier tiers de l'eau a distillé qu'on peut être à peu près certain de recueillir de l'eau marquant 0 degré.

La vérification de l'eau distillée est donc nécessaire.

Pour faire cette vérification, on mesure dans le flacon hydrotimétrique 40 cm³ d'eau, on remplit la burette avec de la liqueur de savon jusqu'au trait circulaire, et on doit obtenir la mousse persistante avec le volume de liqueur compris entre le trait circulaire et le degré marqué 0 sur la graduation de la burette.

Dans le cas où l'eau distillée titrerait deux ou trois degrés, il faudra en tenir compte dans les calculs, comme nous le verrons plus loin, ou bien, ce qui est plus commode, chasser l'anhydride carbonique par ébullition prolongée pendant une demi-heure.

Note. — Certains papiers à filtres retiennent des sels de chaux solubles dont la présence fausserait les résultats des essais des liquides soumis à une filtration.

S'assurer que de l'eau distillée marquant 0° hydrotimétrique, passée et repassée plusieurs fois sur un filtre, ne gagne pas de degrés hydrotimétriques.

Précautions à prendre dans les essais hydrotimétriques. — 1° Pour faire les lectures des divisions de la burette et des pipettes, il faut avoir soin d'élever l'instrument, en le tenant verticalement, jusqu'à la hauteur des yeux : le trait de jauge circulaire doit apparaître alors comme un simple trait horizontal. On note alors la division affleurant au bas de la courbure qu'affecte le liquide, c'est-à-dire la division tangente au *ménisque* du liquide. En général, il faut toujours faire les lectures *en dessous du ménisque*.

2° Il faut en outre avoir soin de remplir la burette jusqu'au trait circulaire, et de ne faire les lectures qu'après avoir attendu que le niveau de la liqueur dans la burette soit devenu fixe.

La mousse persistante obtenue, il est bon de vérifier le résultat en versant, après avoir noté le degré, une nouvelle division; la mousse doit être plus abondante et persister plus longtemps. Cette précaution n'est pas superflue; car avec les eaux magnésiennes il se produit fréquemment, avant la fin réelle de l'opération, une fausse mousse qui pourrait faire croire que la réaction est terminée.

Analyse hydrotimétrique d'une eau.

Pour faire l'essai d'une eau, on en prend 40 cm³ dans un flacon hydrotimétrique, et l'on verse, comme précédemment, la liqueur de savon exactement titrée, jusqu'à ce que l'on obtienne, après agitation, une mousse persistante.

On appelle *titre hydrotimétrique* de l'eau le nombre de divisions de la burette qu'il faut employer pour produire une mousse persistante dans 40 cm³ d'eau. Ainsi la liqueur type de chlorure de calcium qui a servi à fixer le titre de la solution de savon a pour titre hydrotimétrique 22.

Lorsqu'en opérant comme il vient d'être dit, on trouve un titre hydrotimétrique supérieur à 30, l'essai est fait dans de mauvaises conditions; on recommence, en ne prenant plus que 20 cm³ d'eau à essayer et en ajoutant 20 cm³ d'eau distillée *pure* dans le flacon

hydrotimétrique ; le nombre de divisions trouvé cette fois doit être multiplié par 2, de façon à rapporter toujours l'essai à 40 cm³ d'eau.

Si on trouvait encore un nombre supérieur à 30, on recommencerait en ne prenant plus que 10 cm³ d'eau à essayer et 30 cm³ d'eau distillée ; on multiplierait alors par 4 le résultat obtenu, pour avoir le titre hydrotimétrique.

L'analyse hydrotimétrique consiste à prendre le degré hydrotimétrique :

1° *Sur l'eau naturelle ;*

2° *Sur l'eau, après élimination de la chaux par l'oxalate d'ammoniaque ;*

3° *Sur l'eau, après élimination, par l'ébullition, du gaz carbonique et du carbonate de chaux ;*

4° *Sur l'eau bouillie, après élimination, par l'oxalate d'ammoniaque, des sels de chaux autres que le carbonate de chaux, précipité par l'ébullition.*

1° Détermination du degré hydrotimétrique de l'eau naturelle. — On verse, au moyen de la burette, dans le flacon hydrométrique contenant 40 cm³ de l'eau naturelle à analyser, de la liqueur titrée de savon jusqu'à obtention de la mousse persistante.

Soit A le degré trouvé.

Si l'essai a été fait dans de bonnes conditions, la mousse doit être légère, régulière, avoir une hauteur à peu près égale à l'intervalle qui sépare deux traits circulaires du flacon d'essai, et elle doit persister au moins dix minutes.

Ces caractères ne peuvent être constatés que si l'eau, limpide avant l'essai, est devenue simplement opales-

cente, sans contenir en suspension des grumeaux de savon insoluble.

La présence de grumeaux indiquerait que l'eau est trop *dure* pour pouvoir être essayée directement.

On recommencerait alors l'essai, en mesurant dans le flacon hydrotimétrique, seulement 20 cm³ d'eau naturelle, et en complétant le volume de 40 cm³ avec 20 cm³ d'eau distillée pure, c'est-à-dire marquant 0 degré hydrotimétrique.

Si le degré trouvé est intermédiaire entre 20 et 25, la dilution $\frac{20}{40}$ est bonne.

Si le degré trouvé est inférieur à 20, recommencer l'épreuve en opérant sur 30 cm³ de l'eau naturelle, plus 10 cm³ d'eau distillée.

Si le degré trouvé est supérieur à 25, recommencer l'épreuve en opérant sur 10 cm³ de l'eau naturelle, plus 30 cm³ d'eau distillée.

Il y a avantage à ne pas dépasser 25°, mais à s'en rapprocher le plus possible, pour éviter d'avoir à multiplier les incertitudes des observations par un coefficient trop élevé, dans la correction des résultats.

Remarque. — Il faut noter qu'une eau titrant jusqu'à 35° n'a besoin d'être diluée que pour le premier essai (degré hydrotimétrique de l'eau naturelle), la réaction par l'oxalate d'ammoniaque et l'ébullition ramenant toujours le degré de l'eau à 25° au plus, qui est le degré limite convenable.

Pour effectuer dans de bonnes conditions la détermination du degré sur l'eau naturelle, il y a lieu d'opérer comme il suit :

— 40 cm³ d'eau à essayer et 0 d'eau distillée.
Coefficient de correction : 1,0.

Eaux titrant de 0° à 25°.

— 30 cm³ d'eau à essayer et 10 cm³ d'eau distillée.
Coefficient de correction : 1,33.

Eaux titrant de 25° à 34°.

— 20 cm³ d'eau à essayer et 20 cm³ d'eau distillée.
Coefficient de correction : 2,0.

Eaux titrant de 34° à 50°.

— 10 cm³ d'eau à essayer et 30 cm³ d'eau distillée.
Coefficient de correction : 4,00.

Eaux titrant de 50° à 100°.

Par cet essai préliminaire, on se rend compte d'une façon exacte de la dilution la meilleure de l'eau à analyser, pour faire l'essai dans de bonnes conditions.

Le tableau suivant montre que pour les eaux marquant :

	25° on prend 4 vol. d'eau naturelle, 0 vol. d'eau distillée.			
de 25° à 35°	—	3 vol.	—	1 vol.
de 35° à 50°	—	2 vol.	—	2 vol.
de 50° à 100°	—	1 vol.	—	3 vol.

Remarque. — Lorsque l'eau distillée qui sert à la dilution ne marque pas 0 degré hydrotimétrique, les degrés trouvés doivent être corrigés comme il est indiqué dans le tableau ci-dessous, où D représente le degré trouvé.

		EAU DISTILLÉE MARQUANT 2°	EAU DISTILLÉE MARQUANT 3°
Dilution.	Eau nat. : 40 Eau distill. : 0	$(D - 0) \times 1,00$	$D - 0 \times 1,00$
—	Eau nat. : 30 Eau distill. : 10	$(D - 0,5) \times 1,33$	$(D - 0,75) \times 1,33$

Dilution.	Eau nat. :	20	(D - 1) × 2,00	(D - 1,5) × 2,00
	Eau distill. :	20		
—	Eau nat. :	10	(D - 1,5) × 4,00	(D - 2,25) × 4,00
	Eau distill. :	30		

2° Détermination du degré hydrotimétrique sur l'eau après élimination de la chaux par l'oxalate d'ammoniaque. — On prend 100 cm³ d'eau naturelle, que l'on mesure exactement dans une fiole jaugée, et on ajoute 2 cm³ de la solution d'oxalate d'ammoniaque (voir *Réactifs*, p. 30).

On agite et on laisse reposer plusieurs heures, ou mieux jusqu'au lendemain. On filtre et on prend le degré sur 40 cm³ de l'eau filtrée et claire.

Soit B le degré trouvé.

3° Détermination du degré hydrotimétrique sur l'eau après élimination, par l'ébullition, du gaz carbonique et du carbonate de chaux. — On fait bouillir pendant une demi-heure 200 cm³ d'eau naturelle, mesurés dans une fiole jaugée ou dans le ballon jaugé du *nécessaire hydrotimétrique*.

Après refroidissement à la température ambiante, on rétablit le *volume primitif* (ici 200 cm³) avec de l'eau *distillée et bouillie*. Après avoir agité, on filtre et on prend le degré sur 40 cm³ de l'eau filtrée et claire.

On retranche 3 degrés du degré trouvé pour tenir compte du carbonate de chaux resté dissous, car celui-ci n'est pas complètement insoluble dans l'eau.

On a le *degré corrigé*, que nous désignerons par C.

4° Détermination du degré hydrotimétrique sur l'eau bouillie, après élimination, par l'oxalate d'ammoniaque, des sels de chaux

autres que le carbonate précipité précédemment par ébullition. — On prend exactement 100 cm³ de l'eau précédemment bouillie ramenée à son volume primitif et filtrée (§ 3), et on y ajoute 2 cm³ de la solution d'oxalate d'ammoniaque. On agite, on laisse reposer plusieurs heures ou mieux jusqu'au lendemain, on filtre, et sur l'eau filtrée et claire on prend le degré hydrotimétrique.

Soit D le degré trouvé.

Interprétation des résultats. — Les quatre degrés trouvés précédemment : A, B, C, D, vont permettre de calculer les proportions de sel alcalino-terreux et de gaz carbonique contenus dans une eau.

La première donnée, A, représente la somme des actions exercés sur le savon par l'*anhydride carbonique*, le *carbonate de chaux*, les *autres sels de chaux* (chlorure, sulfate) et les *sels de magnésie* contenus dans l'eau analysée.

La deuxième donnée, B, représente les *sels de magnésie*, l'*anhydride carbonique* restant dans l'eau après élimination de la chaux.

La troisième donnée, C, représente les *sels de magnésie* et les *sels de chaux* autres que le carbonate.

La quatrième donnée, D, représente les *sels de magnésie* contenus dans l'eau, et qui n'ont pu être éliminés ni par l'ébullition, ni par l'oxalate d'ammoniaque.

Prenons un exemple numérique, et supposons que l'on ait trouvé :

pour A : 24°,

pour B : 11°,

L'eau dans l'industrie.

3

pour C : $15^{\circ} - 3^{\circ}$ (pour la correction), ce qui fait 12° ,
pour D : 8° .

On a immédiatement, en retranchant D de B, le degré correspondant à l'*anhydride carbonique* contenu dans l'eau, puisque B représente les sels de magnésie et l'anhydride carbonique, et que D représente seulement les sels de magnésie; c'est-à-dire que l'on a :

$$B - D = 11^{\circ} - 8^{\circ} = 3^{\circ}.$$

D'autre part, C représente les *sels de chaux* autres que le carbonate, et les *sels de magnésie*, et D représente les sels de magnésie seuls. On a donc, en retranchant D de C, le degré correspondant aux *sels de chaux autres que le carbonate*; c'est-à-dire :

$$C - D = 12^{\circ} - 8^{\circ} = 4^{\circ}$$

En retranchant de A : l'anhydride carbonique, c'est-à-dire B — D (3° dans l'exemple choisi); plus les sels de chaux autres que le carbonate, c'est-à-dire C — D (4° dans l'exemple choisi); plus enfin les sels de magnésie, c'est-à-dire D (8° dans l'exemple choisi), on a le *carbonate de chaux*.

Ainsi, dans l'exemple choisi, on a :

$$24^{\circ} - (3^{\circ} + 4^{\circ} + 8^{\circ}) = 24^{\circ} - 15^{\circ} = 9^{\circ},$$

ou

$$(A + D) - (B + C).$$

En résumé, on a les résultats suivants pour l'exemple choisi :

<i>Anhydride carbonique.</i>	$3^{\circ} = (B - D),$
<i>Carbonate de chaux.</i>	$9^{\circ} = (A + D) - (B + C),$
<i>Autres sels de chaux.</i>	$4^{\circ} = (C - D),$
<i>Sels de magnésie . . .</i>	$8^{\circ} = (D).$

Au moyen du tableau ci-après, qui donne l'équivalent hydrotimétrique pour un litre d'eau, d'un certain nombre de corps que l'on rencontre dans les eaux, il est facile de traduire ces degrés en poids pour les sels et en volume pour l'anhydride carbonique en multipliant le chiffre des degrés observés pour chaque corps en particulier par le nombre correspondant à un degré hydrotimétrique de ce corps.

Ainsi, sachant que 1 degré hydrotimétrique correspond :

Pour l'anhydride carbonique à 0^{litre},005 de ce gaz ;
pour le carbonate de chaux, à 0^{gr},0103 de ce sel ;

Pour le sulfate de chaux, à 0^{gr},0140 de ce sel (c'est sous cet état que l'on évalue la teneur en sels de chaux autres que le carbonate) ;

Pour le sulfate de magnésie, à 0^{gr},0125 de ce sel (c'est sous cet état que l'on évalue les sels de magnésie) ; on multipliera le nombre de degrés obtenu pour chacun de ces corps par le nombre correspondant à 1 degré hydrotimétrique de ce corps.

En résumé : 1 degré hydrotimétrique d'anhydride carbonique représente 0^{litre},005 de ce gaz,

1 degré de carbonate de chaux correspond à 0^{gr},0103 de ce sel,

1 degré de sulfate de chaux représente 0^{gr},0140 de ce sel (c'est sous cet état que l'on dose les sels de chaux autres que le carbonate).

1 degré de sulfate de magnésie représente 0^{gr},0125 de ce sel (c'est à cet état que l'on dose les sels de magnésie).

Il suffit donc de multiplier le nombre de degrés obtenu pour chaque corps par le nombre correspondant à 1 degré hydrotimétrique de ce corps.

Le tableau ci-dessous donne la quantité correspondant à 1 degré hydrotimétrique pour chaque corps et par litre d'eau. En multipliant le degré obtenu, pour chaque corps, par le nombre correspondant dans le tableau, on obtient le poids de corps contenu dans 1 litre.

TABLEAU D'ÉQUIVALENTS EN POIDS DE 1 DEGRÉ HYDROTIMÉTRIQUE
PAR LITRE D'EAU, VALEUR EN GRAMMES
POUR 1 LITRE D'EAU DE 10° DES CORPS SUIVANTS :

Chaux.	1° = 0,0057 de CaO
Chlorure de calcium.	» = 0,0114 de CaCl ²
Carbonate de calcium.	» = 0,0103 de CO ³ Ca
Sulfate de calcium.	» = 0,0140 de SO ⁴ Ca
Magnésie.	» = 0,0042 de MgO
Chlorure de magnésium.	» = 0,0085 de MgCl ²
Carbonate de magnésium.	» = 0,0088 de CO ³ Mg
Sulfate de magnésium.	» = 0,0108 de SO ⁴ Mg
Chlorure de sodium.	» = 0,0120 de NaCl
Sulfate de sodium.	» = 0,0146 de SO ⁴ Na ²
Acide sulfurique.	» = 0,0082 de SO ⁴ H ²
Chlore.	» = 0,0075 de Cl
Savon ordinaire (à 50 % d'eau) . . .	» = 0,1061 de savon
Anhydride carbonique.	» = 0 litre 005 de CO ²

Remarque. — Pour évaluer grossièrement la quantité de sels terreux contenus dans un litre d'eau, il est commode de savoir que le degré hydrotimétrique d'une eau représente approximativement le poids en centigrammes de sels terreux.

L'analyse hydrotimétrique, telle que nous venons de l'exposer en détails, rend les plus grands services dans l'industrie : elle a l'avantage d'être rapide et suffisamment exacte pour la plupart des cas qui se présentent dans la pratique.

On peut, du reste, compléter les renseignements

qu'elle donne par les dosages suivants qui s'effectuent rapidement et permettent de déterminer les proportions de *sulfates* et de *chlorures* que renferme une eau, ce qui présente le plus souvent de l'intérêt pour les applications industrielles.

Dosage des sulfates. — On opère sur l'eau bouillie, dont on a déterminé le degré hydrotimétrique C obtenu sans correction, et on emploie pour le dosage le réactif contenant 1^{gr} , 070 d'azotate de baryte pur et sec dans un volume de 50 cm^3 , dont 1 cm^3 représente 20° hydrotimétriques.

Soit 16° le degré hydrotimétrique de cette eau ; on en mesure 40 cm^3 , auxquels on ajoute un volume de réactif correspondant à 16° , soit :

$$16 \times \frac{1}{20} = 0^{cm^3}, 8 ;$$

on agite quelques instants.

On obtient ainsi une liqueur représentant :

$$2 \times 16^\circ = 32^\circ.$$

C'est le degré que l'on trouve, si l'eau est exempte de sulfates. Si elle en contient, l'addition du réactif précipite les sulfates à l'état de sulfate de baryte insoluble, d'où un abaissement du degré hydrotimétrique proportionnel à la quantité de ce sel qui s'est formé.

On laisse déposer la liqueur un temps suffisant, — ce que l'on reconnaît aisément, — on filtre et on prend le degré sur 40 cm^3 de la liqueur filtrée.

Soit 24° le degré trouvé ; il y a donc eu perte de

$$32^\circ - 24^\circ = 8^\circ$$

qui représentent, suivant le tableau d'équivalents en poids de 1° hydrotimétrique :

$8^{\circ} \times 0,0082 = 0^{\text{sr}},0656$ d'acide sulfurique par litre

$8^{\circ} \times 0,0140 = 0^{\text{sr}},1112$ de sulfate de chaux —

$8^{\circ} \times 0,0108 = 0^{\text{sr}},0864$ — de magnésie —

Dosage des chlorures. — On emploie, pour précipiter les chlorures, le réactif contenant 1^{sr}, 395 d'azotate d'argent pur dans un volume de 50 cm³, et on opère exactement comme pour le dosage des sulfates.

La perte de degré multipliée par :

0^{sr},0075 donne le poids de chlore par litre d'eau,

0^{sr},0114 donne le poids de chlorure de calcium par litre d'eau,

0^{sr},0085 donne le poids de chlorure de magnésium par litre d'eau.

Conversion des degrés hydrotimétriques français, anglais, allemands.

Un degré hydrotimétrique équivaut :

En France, à 5 milligrammes 738 de chaux par litre ;

En Angleterre, à 7 milligrammes 986 de chaux par litre ;

En Allemagne, à 10 milligrammes de chaux par litre.

Pour convertir :

Un degré *français* en degré *anglais*, on multiplie un degré français par 0,72 ;

Un degré français en degré allemand, on multiplie un degré français par 0,57 ;

Un degré anglais en degré français, on multiplie un degré français par 1,39 ;

Un degré anglais en degré allemand, on multiplie un degré anglais par 0,79 ;

Un degré allemand en degré français, on multiplie un degré allemand par 1,74 ;

Un degré allemand en degré anglais, on multiplie un degré allemand par 1,25¹.

La sensibilité de la méthode hydrométrique est telle, qu'il est facile de déterminer le demi-degré, et même,

¹ Pour faire les essais hydrotimétriques, on peut se servir d'une burette graduée ordinaire et d'une liqueur titrée de savon quelconque.

En effet, soit n le nombre de cm^3 de liqueur de savon employés pour produire la mousse persistante avec de l'eau distillée et n' le nombre de cm^3 de la même liqueur de savon pour obtenir le même résultat avec l'eau à essayer. Le degré D correspondant, obtenu avec la burette hydrotimétrique, sera donné par la formule suivante :

$$D = \frac{22}{\frac{230}{24} n - 1} \left(\frac{230}{24} n' - 1 \right) - 1 ;$$

ou

$$D = \frac{115(22n' - n) - 252}{115 - n - 12} .$$

Si la liqueur de savon employée est normale, le nombre de degrés hydrotimétriques correspondant au nombre de cm^3 sera donné par la formule :

$$D = \frac{230}{24} n' - 1 ;$$

ou

$$D = 9,5833 n' - 1 .$$

Il suffit donc de multiplier le nombre de cm^3 versés au moyen de la burette ordinaire, diminué de 1 cm^3 , par le facteur 9,5833.

en prenant toutes les précautions indiquées, le cinquième de degré, ce qui correspond à une goutte de liqueur. On peut donc doser, à 2 ou 3 milligrammes près, la proportion des sels de chaux ou de magnésie contenus dans un litre d'eau.

Dans la pratique industrielle, on confie souvent les essais hydrotimétriques à un ouvrier intelligent chargé, par exemple, de surveiller l'épuration d'une eau.

Il est alors plus commode de remplacer le flacon de liqueur et la burette hydrotimétrique par un flacon compte-gouttes à surface, qui sert en même temps de réservoir de liqueur et d'hydrotimètre.

Une goutte de ce flacon correspond à 1° hydrotimétrique.

Le flacon compte-gouttes contient une liqueur alcoolique de savon spéciale, que l'on prépare de la façon suivante, indiquée par M. H. Courtonne¹.

Huile d'amandes douces et huile d'olives. . . .	103 gr.
Soude caustique à 36° Baumé. . . .	38 cm ³ = 50 gr.
Alcool à 90°—95°	38 cm ³ = 30 gr.

Pour les détails, voir préparation de la liqueur hydrotimétrique.

On vérifie la liqueur comme précédemment.

Si la liqueur est normale, il faut employer 23 gouttes pour obtenir la mousse persistante, la première goutte, qu'il y a lieu de retrancher dans tous les essais, représentant la proportion de liqueur nécessaire pour produire le phénomène de la mousse avec l'eau distillée.

¹ H. COURTONNE. *Instructions sur l'hydrométrie*, p. 42.

Remarque. — L'alcool employé pour la préparation de la liqueur doit marquer 60° : une différence même minime fausserait les résultats, car la valeur de la goutte dépend rigoureusement de la densité de la liqueur.

Pour réduire l'alcool à 90°-95° à marquer 60°, on se servira utilement du tableau suivant :

Degré centésimal (à 45° C) de l'alcool employé.	Eau à ajouter à 1000 cm ³ d'alcool.	Volume total (à 45° C) du mélange en cm ³ .
90	536 gr. ou cm ³	1500 cm ³
91	555 —	1517 —
92	573 —	1533 —
93	592 —	1550 —
94	611 —	1567 —
95	630 —	1583 —
96	645 —	1600 —

D'après l'essai hydrotimétrique, on peut classer les eaux en trois catégories :

1° *Eaux dont le degré hydrotimétrique est inférieur à 30°* : eaux propres à la boisson et aux usages domestiques ;

2° *Eaux marquant de 30° à 60°* : eaux impropres aux usages domestiques et à certaines industries ;

3° *Eaux dont le titre dépasse 60°* : impropres à tous les usages.

Mais la qualité d'une eau ne dépend pas seulement de la *quantité* des sels dissous, elle dépend aussi de la *nature* de ces sels. C'est ainsi qu'une eau, marquant un degré hydrotimétrique moins élevé qu'une autre, peut être plus mauvaise ou tout au moins aussi mauvaise.

Ainsi l'eau de la Vanne, qui titre 20°, est au moins aussi mauvaise pour l'alimentation des générateurs de

vapeur que les eaux de la Marne et de l'Oureq qui titrent 23°5 et 30°; elle est en effet plus riche en carbonate de chaux que ces dernières. « On commet donc, dit M. Bertrand, une grave erreur quand on remplace à grands frais une alimentation en eau de l'Oureq par de l'eau de la Vanne, sous prétexte que cette dernière est une eau de source potable et moins chargée de sels que la première. » On voit quels services l'analyse des eaux est en mesure de rendre dans une industrie scientifiquement exploitée, où les causes d'erreur seront le plus souvent évitées.

Avant d'utiliser une eau, il faudra donc connaître si la chaux se trouve seulement à l'état de bicarbonate; dans ce cas, l'eau peut être employée à l'alimentation des chaudières, son degré hydrotimétrique fût-il égal à 40°.

Si, au contraire, la chaux est combinée à l'acide sulfurique, et si en même temps le degré hydrotimétrique est élevé, celle-ci est impropre à bien des usages industriels, en particulier à l'alimentation des machines.

Telle eau sera bonne pour certaines applications si la *dureté* est due aux sels de *magnésie*, sera mauvaise si cette dureté est due aux sels de *chaux*, et inversement.

Tous ces renseignements, d'un intérêt capital dans l'industrie, nous sont fournis par l'*analyse hydrotimétrique*, qui rend ainsi les plus grands services, d'une façon simple et rapide.

Voici, à titre de documents, les *degrés hydrotimétriques* de quelques eaux, avec la quantité de savon décomposé par mètre cube.

Provenance.	Degré hydrotimétrique.	Quantité de Savon décomposé par m ³ .
Eau distillée	0°	0 kg. 000
Eau de pluie	3°,5	0 — 35q
Eau de la Garonne.	5°	0 — 50q
Eau de la Loire	5°,5	0 — 550
Eau du puits de Grenelle.	9°	0 — 900
Eau du Rhône	15°	1 — 500
Eau de la Seine (à Ivry)	17°	1 — 700
Eau de la Seine (à Chaillot)	23°	2 — 300
Eau de la Marne	23°	2 — 300
Eau de la Dhuis	24°	2 — 400
Eau de l'Oureq.	30°	3 — 000
Eau de Bellevillé.	128°	12 — 800

Nous avons étudié en détails l'*analyse hydrotimétrique*, qui a l'avantage de ne nécessiter qu'un matériel restreint, un mode opératoire facile, et de ne pas réclamer à la rigueur le concours d'un chimiste de profession.

Cependant, si les résultats qu'elle donne sont précieux, il est des cas fréquents où une analyse un peu plus complète de l'eau est nécessaire.

II. Méthode rapide pour l'analyse des eaux industrielles.

Cette méthode est presque aussi exacte et beaucoup plus rapide que l'analyse complète de l'eau, qui est rarement nécessaire et qui sera traitée plus loin, en détails.

Elle comprend :

- 1° L'analyse hydrotimétrique décrite précédemment ;
- 2° La détermination du résidu fixe ;
- 3° Le dosage du chlore ;
- 4° Le dosage de la matière organique totale ;
- 5° Les nitrates, dans certains cas,

1. Analyse hydrotimétrique. — Nous ne reviendrons pas sur l'analyse hydrotimétrique; nous rappellerons qu'on détermine les 4 degrés hydrotimétriques comme il est indiqué précédemment.

Les quatre résultats trouvés nous ont permis de calculer, comme nous l'avons vu :

L'anhydride carbonique;

Le carbonate de chaux;

Les sels de chaux (autres que le carbonate);

Les sels de magnésie.

2. Détermination du résidu fixe séché à 100° et de la perte de poids que ce résidu éprouve au rouge sombre (Résidu fixe). Recherche des nitrates. — Dosage de l'acide sulfurique. — Pour effectuer ces déterminations, il faut opérer ainsi :

1° On évapore au bain-marie 1 litre d'eau jusqu'à dessiccation complète. Le résidu est ensuite maintenu pendant 4 heures à la température de 100°, puis pesé à 1 milligramme près.

Sur le résidu on peut rechercher les nitrates, en y ajoutant un cristal de sulfate ferreux et 1 cm³ d'acide sulfurique pur : une coloration rose indique une quantité appréciable de nitrates.

La diphénylamine AzH(C⁶H⁵)² (0^{gr},1 de diphénylamine dans 10 cm³ d'acide sulfurique) donne une coloration bleue avec les nitrates. On reprend pour cela le résidu par un peu d'eau et on l'ajoute, goutte à goutte, à 1/2 cm³ de réactif placé sur une soucoupe.

2° Un autre litre d'eau est évaporé comme précédem-

ment, et le résidu desséché à 100°, puis pesé (les deux pesées du résidu doivent concorder).

Le *résidu fixe* ainsi obtenu est chauffé peu à peu jusqu'au rouge sombre, puis pesé après refroidissement. La différence entre la première pesée et la seconde donne le poids des matières organiques et des produits volatils.

Ce dernier résidu est alors dissous dans l'acide chlorhydrique étendu, puis traité par une solution de chlorure de baryum qui forme un précipité de sulfate de baryte, dont le poids, après dessiccation et calcination, permet de déterminer la quantité d'*acide sulfurique* anhydre SO^3 contenu dans l'eau. Il suffit de multiplier le poids de sulfate de baryte obtenu par 0,3433.

En effet, le poids moléculaire de l'anhydride sulfurique SO^3 étant 80 et celui du sulfate de baryte SO^4Ba étant 233, le poids d'anhydride sulfurique cherché x est au poids p de SO^4Ba comme 80 est à 233.

$$\frac{x}{p} = \frac{80}{233}; \quad \text{d'où} \quad x = p \times 0,3433.$$

Si l'on veut transformer ce poids en sulfate de chaux anhydre que contiendrait l'eau si la totalité de son acide sulfurique était combinée avec la chaux, il suffit de multiplier par 1,7. En effet, le poids moléculaire du sulfate de chaux anhydre étant 136 et celui de SO^3 étant 80, on a : X poids de SO^4Ca est au poids P de SO^3 comme 136 est à 80 ;

$$\text{d'où} \quad X = P \times \frac{136}{80} = P \, 1,7.$$

3. Dosage du chlore. — On évapore au bain marie 1 litre d'eau à analyser, jusqu'à réduction à 100 cm³, ou bien l'on prend directement 100 cm³ de l'eau à essayer; on ajoute 2 gouttes de solution concentrée de chromate jaune de potasse comme indicateur, et l'on dose le chlore à l'aide d'une solution titrée d'azotate d'argent déci-normal ($\frac{N}{10} = 17$ gr. de AzO^3Ag au litre), qu'on verse peu à peu, au moyen d'une burette graduée, en agitant le mélange pendant cette addition; dès que le chlore est totalement précipité à l'état de chlorure d'argent, la liqueur prend une coloration rougeâtre due à la formation de chromate d'argent. On s'arrête à la teinte faiblement rougeâtre. On lit sur la burette le nombre de centimètres cubes ou de dixièmes de centimètres cubes versés, on multiplie par 10 (pour rapporter à 1 litre d'eau dans le cas où on prend directement 100 cm³ pour l'essai), puis par 0,00355 pour avoir le résultat en chlore, ou par 0,00585 pour l'avoir en chlorure de sodium NaCl par litre.

4. Dosage de la matière organique totale. — On introduit 100 cm³ d'eau à essayer dans un ballon de 300 cm³ environ. et on ajoute un demi cm³ de lessive de soude (1 partie de soude caustique pour 2 parties d'eau) et 10 cm³ de solution titrée de permanganate de potasse (0^{gr},32 de MnO^4K au litre); on chauffe à l'ébullition pendant 10 minutes, on laisse refroidir à 50° ou 60°, on ajoute 5 cm³ d'acide sulfurique dilué (1 vol. de SO^4H^2 pour 3 volumes d'eau), puis 10 cm³ d'acide oxalique centi-normal (0^{gr},63 d'acide oxalique cristallisé par litre).

Quand le liquide est devenu incolore, on y fait couler goutte à goutte, en agitant, de la solution titrée de MnO^4K contenue dans une burette, jusqu'à coloration rose. On lit alors le nombre de centimètres cubes employé pour atteindre ce résultat, on le multiplie par 10 pour le rapporter au volume de 1 litre, puis par $0^{\text{sr}},00063$ pour le réduire en acide oxalique correspondant,

Exemple : Il a fallu, pour faire réapparaître la coloration rose, 4 cm^3 de solution de MnO^4K ; l'eau contient donc une quantité de matières organiques qui, évaluée en acide oxalique cristallisé par litre, est égale à

$$4,2 \times 10 \times 0,00063 = 0^{\text{sr}},0265.$$

Lorsque la quantité de permanganate employée pour la destruction de la matière organique est supérieure à 4 cm^3 , il faut recommencer l'essai et prendre 15 ou 20 cm^3 de la solution de MnO^4K au lieu de 10, en ayant soin d'augmenter la quantité de lessive de soude dans la même proportion et de mettre la quantité de liqueur oxalique correspondante, c'est-à-dire 15 ou 20 cm^3 .

Préparation de la liqueur titrée de permanganate. — On dissout $0^{\text{sr}},32$ de MnO^4K cristallisé et pur dans un litre d'eau à 15° C .

La solution d'acide oxalique correspondante s'obtient en dissolvant $0^{\text{sr}},63$ d'acide oxalique cristallisé pur dans un litre d'eau à 15° C .

Dans ces conditions, chaque centimètre cube de solution oxalique doit décolorer un même volume de solution de permanganate.

On le vérifie en prenant 20 cm^3 de la solution oxa-

lique auxquels on ajoute 2 cm³ d'acide sulfurique étendu, on chauffe à 60° C environ, puis on fait tomber la solution de permanganate contenue dans la burette, jusqu'à coloration rose permanente.

Si les deux liqueurs sont bien exactes, il doit falloir 20 cm³ de solution de MnO⁴K pour colorer 20 cm³ de liqueur oxalique.

S'il y en avait plus, ou moins, il faudrait faire la correction de la façon suivante :

Si, par exemple, il a fallu 19 cm³ 6 de MnO⁴K au lieu de 20 cm³ pour obtenir la coloration rose, et que dans l'analyse de l'eau on ait employé 3 cm³ 4 pour brûler la matière organique, on multipliera le chiffre trouvé

3,4 par le rapport $\frac{20}{19,6} = 1,0205$, ce qui donne 3 cm³ 47 de solution oxalique au lieu de 3 cm³ 4.

Si, au contraire, il avait fallu plus de permanganate, soit 21 cm³ par exemple, on multiplierait le chiffre trouvé 3 cm³ 4 par le rapport $\frac{20}{21} = 0,9524$, ce qui donnerait 3 cm³ 24 de solution oxalique; c'est ce dernier chiffre qu'on multiplierait par 10 et par 0,00063 pour avoir la matière organique, calculée en acide oxalique, par litre d'eau.

5. Recherche des nitrites. — La présence des nitrites dans une eau doit, en général, la faire rejeter pour l'alimentation, car elle indique la décomposition des matières organiques.

On recherche les nitrites de la façon suivante :

A 20 cm³ d'eau à essayer, filtrée dans un tube à essai, on ajoute 4 ou 5 gouttes d'acide sulfurique étendu de

2 volumes d'eau distillée, puis un demi-centimètre cube d'empois iodo-zincique (voir plus bas); on agite doucement : une coloration bleue indique la présence des *nitrites*. C'est une réaction très sensible : 1 mgr. d'azotite par litre donne une coloration bleue immédiatement ; avec 0,1 mgr. la coloration n'apparaît qu'au bout de 2 à 3 minutes, d'abord très légère, puis plus nette ; avec 0,05 mgr. elle n'est visible qu'au bout de dix minutes environ.

Préparation de l'empois iodo-zincique. — On prend 1 gr. d'amidon, 4 gr. de chlorure de zinc et 50 gr. d'eau distillée, on fait bouillir le mélange en ajoutant un peu d'eau pour remplacer celle qui s'évapore et en agitant jusqu'à dissolution. On ajoute ensuite 50 cgr. environ d'iodure de zinc sec et 100 à 150 cm³ d'eau chaude et on filtre. Le liquide filtré se conserve bien.

Cette série d'essais permet de juger suffisamment et rapidement de la valeur d'une eau en donnant les indications suivantes :

- 1) Le poids du résidu fixe à 100° C ;
- 2) Le poids des produits volatils au rouge ;
- 3) Le poids de l'acide sulfurique anhydre ;
- 4) Le volume de l'acide carbonique libre ;
- 5) Le poids de carbonate de chaux ;
- 6) Le poids des sels de chaux autres que le carbonate ;
- 7) Le poids des sels de magnésie ;
- 8) Le poids du chlore en chlorure de sodium ;
- 9) Le poids de matières organiques en acide oxalique ;
- 10) Absence ou présence des nitrates et des nitrites.

Nous allons maintenant étudier l'*analyse complète de l'eau*, qui s'effectue dans un laboratoire lorsque l'on veut se rendre compte de la composition et, par suite, des propriétés d'une eau en vue de ses applications industrielles.

Elle doit être confiée à un chimiste de profession, car cette analyse est longue et minutieuse. On peut se contenter fréquemment de rechercher et de doser un ou plusieurs éléments qui présentent seuls de l'intérêt pour l'usage auquel on destine l'eau à analyser.

III. Analyse complète des eaux.

RECHERCHES QUALITATIVES DES SUBSTANCES CONTENUES DANS LES EAUX

Les principaux éléments que l'on peut rencontrer dans une eau sont : le calcium, le magnésium, le potassium, le sodium et l'ammoniaque, qui existent à l'état de sels avec les acides carbonique, chlorhydrique, azotique, azoteux, sulfurique, sulfhydrique.

Si l'on suppose que l'eau à analyser puisse être contaminée par des infiltrations provenant de fosses d'aisance ou du déversement des eaux résiduaires industrielles, on y recherchera, outre les matières organiques et les nitrites : l'hydrogène sulfuré, l'ammoniaque libre et albuminoïde, les acides, les métaux (cuivre, zinc, plomb), les cyanures, etc.

Bases. — *Recherche des sels de calcium.* — L'eau contient des sels de chaux qu'il est facile de déceler en ajoutant à 100 cm³ d'eau à essayer quelques gouttes d'ammoniaque, puis quelques centimètres cubes de chlorure d'ammonium en solution et enfin 10 cm³ d'oxalate d'ammoniaque (à 10 ‰).

Il se forme un précipité blanc d'oxalate de chaux insoluble dans l'acide acétique, mais soluble dans les acides forts (HCl et AzO^3H). On peut aussi précipiter par l'oxalate d'ammoniaque en présence d'acide acétique.

Recherche des sels de magnésium. — Une fois le précipité d'oxalate de chaux déposé, on filtre et on ajoute, dans le liquide filtré et limpide, du phosphate de soude; on agite fortement au moyen d'un agitateur, et on laisse au repos pendant quelques heures. Dans le cas de présence de sels de magnésie, il s'est formé un précipité cristallin (cristaux caractéristiques) de phosphate ammoniaco-magnésien.

Recherche des sels alcalins : potassium, sodium. — On prend 100 cm^3 d'eau à essayer et on y précipite au moyen de la baryte tous les métaux lourds, excepté les alcalino-terreux et les alcalins. On filtre, et on ajoute, au liquide filtré, du carbonate d'ammoniaque qui précipite le reste des métaux. On filtre une seconde fois, on évapore le liquide à sec, on calcine pour chasser les sels ammoniacaux; le résidu ne contient plus que les métaux alcalins. On le redissout dans l'eau distillée faiblement chlorhydrique, et on recherche dans une portion le potassium (après avoir concentré) au moyen du chlorure de platine qui donne, avec les sels de potassium, du chloroplatinate de potasse cristallisant en tables hexagonales jaunes, reconnaissables au microscope. C'est la réaction la plus caractéristique des sels de potassium.

Sur une seconde portion, on recherche le sodium, après avoir concentré jusqu'à siccité, en ajoutant de l'acétate d'urane qui donne des cristaux jaunes tétraédriques d'acétate double d'urane et de sodium, ou par le pyroantimoniate acide de potassium de Fremy, qui donne, par agitation avec les sels sodiques, un précipité blanc.

Recherche de l'ammoniaque libre ou combinée. — On prend 100 cm^3 d'eau, on y ajoute 1 cm^3 d'acide chlorhydrique et on évapore doucement au bain de sable jusqu'à sic-

cité. On prend une portion du résidu et on y ajoute de la chaux pure (exemple d'ammoniaque) 1 gr. environ, dans un tube à essai, on chauffe et on place à l'extrémité du tube un papier de tournesol rouge, humide, qui bleuit s'il y a dégagement d'ammoniaque provenant de la décomposition des sels ammoniacaux.

On peut aussi rechercher l'ammoniaque au moyen du réactif de Nessler¹, qui donne une coloration brune ou jaune avec des traces d'ammoniaque (100 cm³ d'eau + 5 cm³ de réactif).

On peut aussi employer la réaction suivante, très sensible : on ajoute à 10 cm³ d'eau une solution d'iodure de potassium à 10 % (1 cm³), puis quelques gouttes d'hypochlorite alcalin (eau de javel) : il se produit un précipité noir avec des traces d'ammoniaque.

Acides. — *Recherche de l'acide carbonique libre ou combiné.* — L'eau contient des bicarbonates, de l'acide carbonique libre, que l'on reconnaît en ajoutant une solution de chaux limpide (eau de chaux) qui précipite l'anhydride carbonique CO² et les bicarbonates à l'état de carbonate neutre, précipité blanc soluble dans les acides chlorhydrique, azotique et dans un excès d'acide carbonique.

La solution alcoolique de campêche donne une coloration violacée avec les carbonates (carbonate de chaux...).

Recherche de l'acide chlorhydrique. — L'addition d'azotate d'argent à 50 cm³ d'eau légèrement azotique donne un précipité blanc de chlorure d'argent, soluble dans l'ammoniaque, insoluble dans l'acide azotique.

¹ Le réactif de Nessler, iodure double de mercure et de potassium en solution alcaline, se prépare en dissolvant à chaud 30 gr. d'iodure de potassium dans 30 cm³ d'eau. On y verse une solution à chaud de bichlorure de mercure jusqu'à ce que le précipité rouge d'iodure mercurique ne se dissolve plus. On filtre à chaud et on ajoute de la solution de potasse (80 gr. dans 100 cm³ d'eau). Après avoir complété à 500 cm³, on ajoute 2 cm³ de bichlorure de mercure et finalement on laisse déposer.

Recherche de l'acide azotique. — On peut rechercher la présence de l'acide azotique des nitrates par plusieurs procédés.

On évapore 1/2 litre d'eau jusqu'à dessiccation complète, on ajoute au résidu un cristal de sulfate ferreux et 1 cm³ d'acide sulfurique pur : une coloration rose indique une quantité appréciable de nitrates.

On place sur une soucoupe de porcelaine quelques gouttes de sulfate de diphénylamine (0^{sr}, 1 de diphénylamine dans 10 cm³ d'acide sulfurique concentré, exempt de produits nitreux) et on verse l'eau à essayer au moyen d'une pipette, goutte à goutte, sans mettre un excès d'eau ; il se produit une coloration bleue s'il y a des traces de nitrates.

On emploie aussi la brucine (0^{sr}, 1 dans 300 cm³ d'eau distillée), qui donne une coloration rouge avec les azotates ; on place quelques gouttes de l'eau à essayer, sur une soucoupe, à côté de quelques gouttes de brucine, et on verse goutte à goutte 10 cm³ d'acide sulfurique.

Recherche de l'acide azoteux. — La présence des nitrites dans une eau la rend suspecte pour la boisson.

Pour rechercher les nitrites, on prend 20 cm³ d'eau à essayer, on y ajoute 1 gr. d'acide sulfanilique $C^6H^4 < \begin{matrix} AzH^2 \\ SO^3H \end{matrix}$ et 1 gr. de 2 naphtylamine $C^{10}H^7AzH^2$, et on verse goutte à goutte 25 cm³ d'acide acétique : il se produit une coloration qui va du rose au rouge vif, d'autant plus rapidement que la proportion de nitrites est plus grande. Il s'est formé un composé azoïque rouge qui est le sel de l'azobeno-naphtylamine. Cette réaction est extrêmement sensible.

On peut aussi rechercher les nitrites par le procédé suivant : on ajoute, à 25 cm³ d'eau à essayer, 2 cm³ de réactif de Tromsdorff¹, et on verse goutte à goutte de l'acide sul-

¹ Le réactif de Tromsdorff ou empois iodo-zincique se prépare en prenant 1 gr. d'amidon, 4 gr. de chlorure de zinc et

furique au 1/10; il y a formation d'iode d'amidon qui colore le liquide en bleu.

Recherche de l'acide sulfurique. — La présence des sulfates se décèle au moyen du chlorure de baryum qu'on ajoute à 20 cm³ d'eau à essayer acidulée par quelques gouttes d'acide chlorhydrique; il se forme un précipité blanc de sulfate de baryum, insoluble dans les acides.

Recherche de l'acide sulfhydrique. — L'hydrogène sulfuré peut exister dans les eaux, à l'état libre ou combiné. Pour le mettre en évidence, il suffit d'ajouter à l'eau une solution d'acétate de plomb qui donne naissance à un précipité noir de sulfure de plomb.

Le nitroprussiate de soude donne, avec les eaux contenant des sulfures, une coloration violette assez fugace. L'hydrogène sulfuré libre ne donne pas cette réaction colorée; on le reconnaît à l'odeur et à ce que ses émanations colorent en noir le papier à l'acétate de plomb humide placé au-dessus d'un ballon qui contient l'eau à essayer renfermant de l'hydrogène sulfuré libre et que l'on chauffe légèrement.

Recherche de l'acide phosphorique. — On évapore 50 cm³ d'eau contenant 2 cm³ d'acide azotique, jusqu'à concentration à 10 cm³ environ; après refroidissement à 40° au maximum, on verse de la liqueur molybdique¹ et on agite; il se produit, dans le cas où il y a des phosphates, un pré-

50 gr. d'eau distillée; on fait bouillir le mélange en ajoutant un peu d'eau pour remplacer celle qui s'évapore et en agitant jusqu'à dissolution. On ajoute ensuite 50 centigr. environ d'iode de zinc sec et 100 à 150 cm³ d'eau chaude et on filtre. Le liquide filtré se conserve bien.

¹ On prépare cette liqueur en dissolvant à chaud 150 gr. de molybdate d'ammoniaque dans un litre d'eau distillée; on verse, après refroidissement, cette solution dans un litre d'acide azotique à 24° B ($d = 1,20$) en agitant pour éviter la formation d'un précipité. On chauffe lentement jusqu'à 80° C, on laisse refroidir. Après repos de quelques jours, on filtre sur coton de verre et on conserve en flacons bleus.

cipité jaune de phosphomolybdate d'ammoniaque soluble dans l'ammoniaque.

Recherche de la silice. — L'eau peut contenir des silicates; on évapore à sec 1 litre d'eau en présence de 10 cm³ de HCl, on reprend par l'eau acidulée, on filtre, on lave, on a la silice insolubilisée que l'on calcine; elle a l'aspect d'une poudre blanche analogue au sable et est volatilisée après plusieurs évaporations avec l'acide fluorhydrique.

Les eaux peuvent encore contenir des substances toxiques provenant du voisinage d'usines ou des récipients dans lesquels l'eau a séjourné plus ou moins longtemps. Citons parmi ces corps : le fer, le plomb, le cuivre, le zinc, l'arsenic, les sulfocyanures.

Comme ces corps sont en faibles proportions, il faut avoir soin de concentrer un grand volume d'eau.

Métaux. — **Recherche du fer.** — On fait bouillir 30 cm³ d'eau environ avec quelques gouttes de AzO^3H pour peroxyder les sels de fer. On ajoute, après refroidissement, quelques gouttes de sulfocyanure d'ammonium, il se produit une coloration rouge sang si l'eau contient du fer. C'est une réaction très sensible et qui décèle la présence de traces de sels de fer.

Recherche du plomb. — Ce métal toxique provient des conduites en plomb lorsqu'elles sont neuves. On caractérise le plomb par l'hydrogène sulfuré, qui donne un précipité noir de sulfure de plomb, insoluble dans le sulfhydrate d'ammoniaque; par l'iodure de potassium, qui, en solution ajoutée goutte à goutte, donne un précipité jaune d'iodure de plomb cristallisant facilement et soluble dans un excès de réactif et dans l'eau bouillante.

La réaction suivante, indiquée par M. Trillat, est de beaucoup la plus sensible.

Voici la manière de procéder :

On peut déceler le plomb en faisant la cendre d'une

substance à analyser, en présence de SO^4H^2 . Le résidu sec est oxydé à chaud par quelques gouttes d'hypochlorite de sodium; on chasse le chlore complètement par lavage ou calcination, et on ajoute directement le réactif préparé ci-dessous : on a une coloration bleue en chauffant. Cette réaction est très sensible.

On peut, par cette méthode, déceler le plomb dans les eaux de conduite en évaporant à sec quelques centimètres cubes d'eau.

Le manganèse donne la même réaction, on ne peut donc conclure à la présence du plomb qu'en l'absence de manganèse, que l'on recherche par la coloration rose qu'il donne avec le bioxyde de plomb et l'acide azotique. Du reste, la présence du manganèse est assez rare dans les eaux ordinaires.

Le réactif employé pour cette recherche s'obtient en dissolvant :

5 gr. de base tétraméthylée du diphenylméthane



dans 100 cm^3 d'eau distillée contenant 10 cm^3 d'acide acétique pur. Le réactif ne doit pas se teinter en bleu; la réaction n'a lieu qu'en milieu acétique, à l'exclusion des acides minéraux et du chlore, en présence du plomb à l'état de bioxyde PbO^2 .

Pour obtenir la base, on chauffe au bain-marie pendant une heure :

30 gr. de diméthylaniline pure.
 10 gr. de formaldéhyde.
 200 cm^3 d'eau.
 10 cm^3 d'acide sulfurique.

Après refroidissement, on ajoute un grand excès de soude, on chasse l'excès de diméthylaniline par un courant de vapeur d'eau pendant 10 minutes; par refroidissement, il

se forme des cristaux qu'on fait recristalliser dans l'alcool. (Rendement : 20 gr. environ.)

Recherche du cuivre. — On peut mettre en évidence des quantités minimales de *cuivre* par le ferrocyanure de potassium, qui donne un précipité rouge brun de ferrocyanure de cuivre, insoluble dans HCl.

Voici une autre réaction, indiquée par Bach, qui est bien plus sensible :

Le cuivre, en traces non décelables par le ferrocyanure, donne une coloration violacée intense avec la formaldéhyde.

On ajoute à 10 cm³ d'eau à essayer, 2 à 3 cm³ du réactif suivant :

Chlorhydrate d'hydroxylamine.	69 gr. 5
Aldéhyde formique du commerce	75 cm ³
Eau.	75 cm ³
(Chauffer pour dissoudre.)	

On alcalinise le liquide très nettement avec de la soude à 10 % ; la coloration *violette* monte assez lentement si la dilution est un peu grande.

Avec une solution de cuivre un peu plus concentrée, on obtient un liquide opaque vert foncé.

Recherche du zinc. — Ajouter de l'acide acétique et de l'acétate de soude, puis faire passer un courant d'hydrogène sulfuré qui précipite le zinc à l'état de sulfure blanc, car celui-ci ne se forme qu'en solution acétique ou ammoniacale.

Le carbonate de potasse donne, dans l'eau fortement concentrée, un précipité blanc de carbonate basique insoluble dans un excès de réactif.

Recherche de l'arsenic. — On évapore jusqu'à siccité un certain volume d'eau légèrement azotique, on ajoute au résidu un peu d'acide sulfurique et on calcine. On reprend par l'eau distillée et on introduit le résidu dans l'appareil de Marsh. On obtient ainsi de l'hydrogène arsénié, et l'anneau

noir formé dans le tube de l'appareil, traité par l'acide azotique et l'acétate d'argent, donne un précipité rouge brique d'arséniate d'argent ; avec l'hydrogène sulfuré on obtient un précipité jaune de sulfure d'arsenic.

Recherche des sulfocyanures. — Les sulfocyanures, dont la présence dans une eau peut provenir du voisinage des usines à gaz, sont toxiques. Pour les caractériser, on ajoute à l'eau, concentrée et filtrée, quelques gouttes de HCl et de solution de perchlorure de fer : la coloration rouge sang apparaît avec des traces de sulfocyanures.

Recherche des matières organiques. — On fait bouillir l'eau pendant quelques instants, avec quelques gouttes d'une solution de chlorure d'or : la présence des matières organiques sera décelée par une coloration brune, due à la précipitation d'or métallique.

Le permanganate de potassium en solution étendue et sulfurique est décoloré par les matières organiques ; mais d'autres substances, telles que l'hydrogène sulfuré, les azotites, les sels ferreux peuvent aussi produire cette réduction de MnO^4K .

ANALYSE QUANTITATIVE DES CORPS EN DISSOLUTION DANS L'EAU

Dosages des bases. — **1^o Dosage de la silice.** — On évapore à sec à température modérée (100° C) dans une capsule en porcelaine 500 ou 1 000 cm³ d'eau à analyser. On reprend le résidu par l'acide chlorhydrique, qui dissout tous les sels, sauf la silice. Après avoir étendu d'eau distillée, on filtre, on lave le résidu resté sur le filtre, à l'eau acidulée par HCl, puis à l'eau distillée. On sèche, on calcine et on pèse : on a ainsi le poids de silice SiO^2 contenu dans 500 ou 1 000 cm³ d'eau, selon la prise d'essai. On ramène toujours au litre.

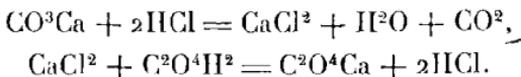
2° Dosage de la chaux. — Le liquide filtré, débarrassé de la silice, renferme la chaux et la magnésie.

Pour doser la *chaux*, on neutralise l'excès d'acide chlorhydrique par l'ammoniaque et à la liqueur ammoniacale on ajoute de l'oxalate d'ammoniaque, qui précipite la chaux à l'état d'oxalate de calcium. On filtre et on lave le précipité d'oxalate à l'eau chaude. On sèche, on calcine au rouge vif (au chalumeau) : l'oxalate de calcium se décompose en se transformant en chaux vive CaO , qu'on pèse rapidement après refroidissement. (Éviter, en opérant rapidement, que la chaux, corps hygroscopique, n'absorbe l'humidité de l'air.) Le poids p ainsi obtenu, multiplié par 0,7143, donne le poids de calcium contenu dans 500 ou 1000 cm^3 d'eau à analyser.

On rapporte dans tous les cas à 1 litre.

Dosage volumétrique de la chaux dans les eaux. — On évapore, dans une capsule de platine tarée, 100 cm^3 d'eau ; on dessèche le résidu à 160° et on pèse à poids constant. On obtient ainsi le *résidu fixe*. On concentre alors 500 cm^3 d'eau dans une capsule de porcelaine bleue, en présence de quelques gouttes de HCl , de façon à ramener le volume à 50 cm^3 environ. On rend la solution ammoniacale et précipite, à l'ébullition, la chaux par l'acide oxalique titré (solution de 10 gr. d'acide oxalique $\text{C}^2\text{O}^4\text{H}^2$, $2\text{H}^2\text{O}$ par litre), en ajoutant 30 cm^3 de la solution d'acide oxalique par $0^{\text{sr}}, 1$ de résidu fixe fourni par 500 cm^3 d'eau. On laisse reposer dix à douze heures, on filtre ensuite et lave complètement le précipité. Le liquide filtré est additionné de SO^4H^2 et de 3 à 4 gr. de sulfate de manganèse, puis chauffé à 60° et titré par MnO^4K .

Ce dosage est basé sur les réactions :



Calcul. — Comme on connaît l'équivalence des liqueurs

d'acide oxalique et de permanganate, on obtient ainsi le nombre de centimètres cubes d'acide oxalique non entrés en réaction; ce qui, par différence, donne le nombre de centimètres cubes qui ont réellement transformé la chaux en oxalate de chaux. Soit n ce nombre de centimètres cubes et t le titre de la liqueur oxalique, on aura :

$$\frac{\text{chaux CaO}}{\text{acide oxalique C}^2\text{O}^4\text{H}^2, 2\text{H}^2\text{O}} = \frac{x}{nt}$$

x exprimant la quantité de chaux contenue dans 500 cm³ d'eau.

3^o Dosage de la magnésie. — Le liquide débarrassé de la chaux contient les sels de magnésie. On évapore à sec, on calcine pour éliminer les sels ammoniacaux et on reprend le résidu par de l'acide chlorhydrique. On ajoute alors, pour éviter la précipitation des sels de fer et d'alumine, quelques grammes de nitrate d'ammoniaque qui les maintient en solution, et on ajoute de l'ammoniaque en excès et du phosphate de soude qui donne avec la magnésie le phosphate ammoniaco-magnésien $\text{PO}^4\text{MgAzH}^4$. On filtre, on lave à l'eau ammoniacale, on sèche et calcine.

Le phosphate $\text{PO}^4\text{MgAzH}^4$ se transforme par calcination en pyrophosphate $\text{P}^2\text{O}^7\text{Mg}^2$, composé bien défini, qu'on pèse. Le poids p multiplié par 0,2186 donne le *magnésium* pour 500 cm³ d'eau; le poids $p \times 0,3622$ donne la magnésie MgO . On ramène au litre.

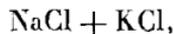
4^o Dosage des métaux alcalins (potassium et sodium). — Le liquide, qui ne contient plus ni chaux, ni magnésie, contient les sels de potasse et de soude que l'on veut doser.

Il faut, auparavant, éliminer l'acide phosphorique en dissolution provenant de la précipitation de la magnésie. On ajoute pour cela, au liquide concentré par évaporation, un lait de chaux qui précipite l'acide phosphorique à l'état de phosphate de chaux. Pour éliminer l'excès inévitable de la chaux, on ajoute, après avoir laissé déposer, une solution

de carbonate et d'oxalate d'ammoniaque en léger excès. La chaux se précipite, on filtre, on lave et on a soin de recueillir les eaux de lavage qu'on réunit au liquide filtré et qui contient les métaux alcalins. On évapore à sec, on calcine pour chasser les sels ammoniacaux qui gêneraient pour la recherche du potassium, on reprend le résidu final par de l'eau légèrement chlorhydrique et on a en solution les chlorures alcalins. On s'arrange de façon à faire avec cette solution 100 cm³ au moyen d'une fiole jaugée, et on prend 50 cm³ pour le dosage du *potassium* et 50 cm³ pour celui du *sodium*.

A) Pour doser les *sels de potassium*, on ajoute aux 50 cm³ de solution, dans une capsule, du chlorure de platine et on concentre au bain-marie; il se forme alors un précipité jaune de chloroplatinate de potasse PtCl⁶K². Après concentration suffisante en présence d'un excès de chlorure de platine, on laisse refroidir et on ajoute de l'alcool à 90°. On filtre le précipité sur filtre taré, on lave à l'alcool, on sèche à l'étuve à 100°, on pèse. Le poids *p* du précipité multiplié par 0,1610 donne la quantité de potassium contenue dans la moitié de la prise d'essai des 500 cm³ d'eau évaporée. On rapporte ensuite à 1 litre.

B) La deuxième portion de 50 cm³ est évaporée à sec avec 2 cm³ de HCl dans une capsule tarée. Le résidu, légèrement calciné, contient le sodium et le potassium à l'état de chlorures. On pèse ce résidu, et soit *p'* le poids trouvé de



on en retranche le poids *p* de potassium trouvé précédemment dans la première portion de 50 cm³ multiplié par 1,9103 pour le transformer en chlorure

$$p \times 1,9103 = \pi.$$

On connaît donc :

p' poids de la somme des chlorures NaCl + KCl dans la portion B,

π poids du chlorure de potassium dans la portion A.

On a :
$$p' - \pi = p'',$$

qui est le poids de chlorure de sodium contenu dans 50 cm³. Pour avoir le chlorure de sodium contenu dans les 500 cm³ de la prise d'essai, il suffit de multiplier par 2. On rapporte ensuite les résultats à 1 litre.

5° Dosage de l'ammoniaque albuminoïde ou azote organique. — L'ammoniaque peut exister dans les eaux soit à l'état d'ammoniaque *libre* ou *combinée*, soit à l'état d'ammoniaque *albuminoïde*, qui provient des matières organiques contenues dans l'eau et qu'on appelle encore *azote organique* à cause de son origine.

Mode opératoire. — On évapore au bain-marie 500 ou 1000 cm³ d'eau à essayer acidulée par l'acide sulfurique, jusqu'à réduction à un volume de 10 cm³ environ. On transvase alors le liquide dans un ballon à long col, on y ajoute 2 cm³ de SO⁴H² et une petite goutte de mercure ; on chauffe à l'ébullition jusqu'à décoloration complète. Après refroidissement, verser dans le ballon de l'appareil distillatoire, ajouter 5 cm³ de sulfure de sodium, saturer le liquide de soude ou de magnésic et distiller l'ammoniaque que l'on recueille dans l'acide sulfurique titré, comme il est indiqué au dosage de l'ammoniaque libre ou combinée. Le nombre de centimètres cubes d'acide déci-normal neutralisé est multiplié par 0,0014 pour évaluer le résultat en azote.

6° Dosage de l'ammoniaque libre ou combinée. — Pour doser l'ammoniaque libre ou combinée, on peut employer soit la *méthode de Schläsing*, soit la *méthode colorimétrique*.

1° Méthode de Schläsing. — Le principe consiste à distiller l'ammoniaque, qu'on reçoit dans une solution titrée d'acide sulfurique. L'essai terminé, on titre l'excès d'acide avec de la potasse titrée.

Mode opératoire. — On introduit dans le ballon 100 cm³ d'eau à analyser, on ajoute 6 à 8 gr. de magnésic pure et

calcinée et on adapte le ballon au serpentín. On chauffe progressivement, et l'ammoniac se dégage peu à peu.

On fait plonger l'extrémité du tube à dégagement dans un petit ballon contenant 20 cm³ d'une solution titrée d'acide sulfurique qu'on a dilués avec de l'eau distillée.

L'ammoniac qui se dégage neutralise, au fur et à mesure, l'acide sulfurique.

On chauffe le ballon à distiller jusqu'à ce qu'il ne se dégage plus de traces de gaz ammoniac (deux heures environ). On a soin d'éviter les absorptions qui pourraient se produire, et, à cet effet, il est bon de munir l'appareil d'un tube à dégagement effilé, muni d'un renflement qui empêche l'acide sulfurique d'être entraîné dans le réfrigérant.

Après refroidissement, on titre l'excès d'acide sulfurique qui n'a pas été neutralisé par l'ammoniac, au moyen d'une liqueur de soude titrée correspondant volume à volume à la solution d'acide sulfurique employée, et en prenant comme indicateur le tournesol ou la phthaléine.

Lorsque le virage est obtenu, on note le nombre de centimètres cubes n de solution titrée de soude versés et on en déduit que le nombre n de cm³ d'acide sulfurique neutralisés par l'ammoniac est :

$$N = 20 - n.$$

On emploie des solutions très faibles d'acide sulfurique et de soude, centi-normales par exemple, et l'on multiplie par le titre le nombre N ; on aura donc le poids d'ammoniac x :

$$x = N \times \theta,$$

θ étant le titre de la liqueur sulfurique. On multiplie par 10 pour ramener les résultats à 1 litre si la prise d'essai a été de 100 cm³, et on a finalement le poids d'ammoniac X contenu dans 1 litre de l'eau à essayer,

$$X = N \times \theta \times 10.$$

Si la liqueur employée est centi-normale, le poids de la

molécule d'ammoniac AzH^3 étant 17 gr., on a X la quantité d'ammoniac par litre d'eau :

$$X = \frac{N \times 10 \times 17}{100 \times 1000} = N \times 0^{\text{sr}},0017.$$

2° *Méthode colorimétrique par le réactif de Nessler* (V. ce réactif, p. 56). — L'ammoniaque donne, avec le réactif de Nessler, une coloration rouge d'autant plus intense qu'elle se trouve en plus grande quantité.

On établit une série de solutions types dont la teneur en ammoniaque est connue et on compare les colorations avec celles de l'échantillon d'eau à analyser.

C'est la méthode colorimétrique qui permet de déterminer rapidement par comparaison la proportion du corps à doser. On examine les teintes soit à l'œil nu, soit plus exactement au moyen d'appareils spéciaux appelés colorimètres.

La solution type se prépare en dissolvant $0^{\text{sr}},317$ de chlorhydrate d'ammoniaque par litre d'eau. Or $0^{\text{sr}},317$ de chlorhydrate d'ammoniaque correspond exactement à $0^{\text{sr}},10$ d'ammoniac, 1 cm^3 de cette liqueur titrée correspondra donc à $0^{\text{sr}},0001$ d'ammoniac (AzH^3).

Voici une manière fort simple pour opérer rapidement et directement sur l'eau à analyser :

On ajoute, à 100 cm^3 d'eau à analyser, quelques gouttes de solution de soude caustique et de carbonate de soude (à 30 %), on filtre et on recueille le liquide filtré et débarrassé ainsi des sels de chaux qui pourraient gêner la coloration avec le réactif de Nessler. On en prend 50 cm^3 , qu'on introduit dans un verre colorimétrique. D'autre part, on a disposé une série de types, en introduisant 1, 2, 3, 4 cm^3 de solution titrée de chlorure d'ammonium dans l'eau distillée, de façon à avoir une masse de 50 cm^3 de liquide. Cela fait, on introduit dans les verres colorimétriques con-

tenant les types et l'eau à essayer, 5 cm³ de réactif de Nessler, et on agite avec une baguette de verre.

Il se produit une coloration, on recherche parmi les types la coloration correspondante de l'eau à analyser.

Exemple : Si le type ainsi équivalent, comme teinte, à celle de l'eau à analyser contient n cm³ de solution titrée de chlorure d'ammonium, 1 cm³ correspond à 0^{es},0001 d'ammoniac et x (le poids d'ammoniac cherché, contenu dans l'eau à analyser) sera pour 50 cm³ :

$$x = n \times 0,0001,$$

et pour 1 000 cm³ (1 litre) :

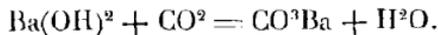
$$x = n \times 0,0001 \times 20.$$

Dosages des acides. — Les principaux acides que l'on peut avoir à doser dans les eaux sont les acides carbonique, chlorhydrique, azotique, azoteux, sulfurique, sulfhydrique.

1^o Dosage de l'acide carbonique. — L'acide carbonique peut exister dans les eaux à l'état libre et à l'état demi-combiné (non à l'état de carbonate).

Méthode de Pettenkofer. — Le principe de la méthode consiste à titrer, par l'acide oxalique, l'excès d'une quantité déterminée de baryum ou de calcium dans l'eau à analyser, pour précipiter l'acide carbonique libre.

On prend 100 cm³ d'eau à analyser qu'on introduit dans un flacon avec 3 cm³ de chlorure de baryum ou de calcium (en solution concentrée) et 2 cm³ de chlorhydrate d'ammoniac, enfin on ajoute 45 cm³ d'eau de baryte ou de chaux. On bouche le flacon et on agite fortement; après un repos de douze heures environ, l'acide carbonique à demi combiné est précipité à l'état de carbonate de baryte ou de chaux :



Le carbonate se dépose au fond du flacon, on décante la partie claire surnageante, on en prend 50 cm³ par exemple. Le liquide clair contient l'excès de baryte ou de chaux qu'on dose par l'acide oxalique.

On a préparé une liqueur titrée d'acide oxalique (28,86 au litre), de telle façon que 1 cm³ de la liqueur corresponde exactement à 1 milligramme d'acide carbonique. On a vérifié le titrage de la liqueur de baryte ou de chaux employée, au moyen de cette liqueur d'acide oxalique, sur une prise d'essai de 45 cm³.

On titre l'excès de chaux dans le flacon au moyen de la liqueur d'acide oxalique. Soit n le nombre de centimètres cubes d'acide oxalique qu'il a fallu verser pour précipiter toute la baryte ou toute la chaux contenue dans 50 cm³ (la précipitation est totale lorsque la liqueur surnageante ne se trouble plus par addition d'une goutte de réactif). Pour la totalité de la liqueur contenue dans le flacon (150 cm³ dans le cas présent), le nombre n sera multiplié par 3 et on aura :

$$\frac{n \times 150}{50} = 3n.$$

Dans l'essai préalable sur les 45 cm³ d'eau de chaux ou de baryte, il a fallu N d'acide oxalique ; donc $N - 3n$ représente l'acide oxalique correspondant à la chaux ou à la baryte précipitée par la liqueur oxalique.

Nous savons que cette liqueur oxalique a été titrée de façon à correspondre à 1 milligramme d'acide carbonique, nous pouvons en déduire le poids d'acide carbonique contenu dans les 100 cm³ d'eau à essayer renfermés dans le flacon (plus le réactif, ce qui donne un volume de 150 cm³) ; soit p ce poids cherché, on a :

$$p = N - 3n \quad \text{pour 100 d'eau à essayer,}$$

$$P = (N - 3n)10 \quad \text{pour 1000 cm}^3 \text{ d'eau à essayer.}$$

2^a Dosage de l'acide chlorhydrique (des chlorures).

— Le principe consiste à précipiter HCl par l'azotate d'argent

et à le doser soit gravimétriquement, soit volumétriquement.

La méthode volumétrique est la plus rapide et consiste à verser dans 100 cm³ d'eau à essayer, auxquels on a ajouté quelques gouttes d'une solution de chromate de potasse concentrée, une liqueur titrée d'azotate d'argent (45^r,79 d'azotate d'argent fondu par litre) contenue dans une burette graduée. Un centimètre cube d'une telle solution correspond à 0^{sr},001 de chlore (Cl.), ce qui a l'avantage de simplifier les calculs. La réaction est terminée lorsqu'une dernière goutte de AzO³Ag donne une coloration rouge brique due au chromate d'argent formé, qui ne se redissout plus dans le chlorure alcalin totalement précipité à l'état de chlorure d'argent.

Soit n le nombre de centimètres cubes versés pour atteindre ce virage, le poids de chlore contenu dans 100 cm³ d'eau sera :

$$p = 0,001 \times n \quad \text{dans 100 cm}^3 \text{ d'eau à analyser,}$$

$$P = 0,001 \times n \times 10 \quad \text{dans 1000 cm}^3 \text{ d'eau à analyser.}$$

Pour transformer le résultat en chlorure de sodium, il suffit de multiplier le poids de chlore par 1,650. On a ainsi la quantité de NaCl contenue dans 1 litre d'eau à analyser.

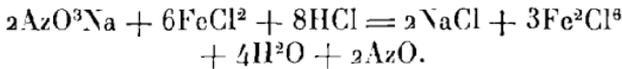
3^o Dosage de l'acide azotique (des nitrates). — Il y a plusieurs méthodes pour doser les nitrates. Nous indiquons la plus pratique.

Méthode de Schläsing. — Le principe consiste à réduire les azotates en bioxyde d'azote AzO (gaz) par le chlorure ferreux (FeCl²) en solution chlorhydrique. On recueille volumétriquement le gaz AzO et on en déduit le poids d'azotate de soude correspondant ou le poids d'acide azotique AzO³H.

Mode opératoire. — On évapore une assez grande quantité de l'eau à analyser (1 litre ou 2 litres) avec 1 gr. de soude caustique, et on concentre jusqu'à 25 ou 30 cm³.

On a, d'autre part, une solution titrée d'azotate de sodium

contenant 66 gr. de AzO^3Na par litre. Une telle solution dégage, comme le montre la réaction, 100 gr. de gaz AzO par 5 cm^3 de solution titrée d'azotate de soude :



On introduit dans un ballon (fig. 3) 50 cm^3 d'une solu-

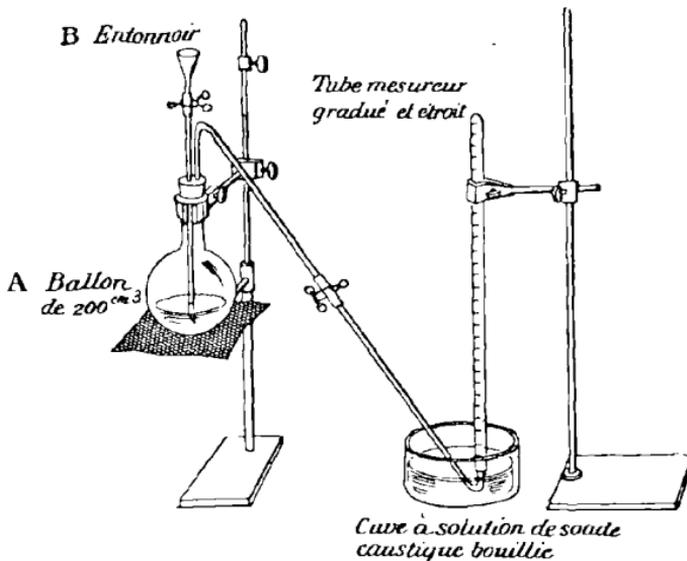


Fig. 3. — Dosage de l'acide azotique dans les eaux.
(Dispositif employé pour la méthode Schloesing.)

tion de protochlorure de fer obtenue en dissolvant dans l'acide chlorhydrique 100 gr. de pointes de Paris et en en faisant 1 litre. On ajoute à cette solution 40 cm^3 d'acide chlorhydrique dans le ballon A au moyen de l'entonnoir B, et on porte à l'ébullition pour chasser l'air du ballon. On place au-dessus du tube abducteur, dans la cuve à eau, une éprouvette à gaz graduée, remplie d'eau. On porte à l'ébul-

lition le liquide du ballon, et on introduit alors, par l'entonnoir à robinet, le résidu concentré de l'eau à analyser, en opérant en plusieurs fois et par petites portions. Le dégagement de bioxyde d'azote se produit, et l'éprouvette se remplit de gaz. On rince l'entonnoir à l'acide chlorhydrique, en maintenant l'ébullition dans le ballon. Lorsque tout dégagement gazeux a cessé et que le volume de gaz n'augmente plus dans l'éprouvette, on enlève celle-ci pour mesurer par la suite le volume de gaz recueilli.

On remplace l'éprouvette enlevée par une autre éprouvette et on procède de la même manière avec la solution type d'azotate de sodium, dont on introduit 5 cm³ par l'entonnoir à robinet sans changer le liquide du ballon provenant de l'opération précédente. Lorsque tout le bioxyde d'azote est recueilli dans l'éprouvette, on arrête l'opération et on porte la deuxième éprouvette à côté de la première dans une cuve profonde, ordinairement une éprouvette à pied de 0^m,60 de haut environ.

On s'arrange de façon que le niveau de l'eau, dans chaque éprouvette, soit le même qu'à l'extérieur, et on fait alors la lecture des volumes. Soit V le volume de bioxyde d'azote dans la première éprouvette (eau à analyser), V' celui dans la deuxième éprouvette provenant de la liqueur titrée de AzO³Na. On peut écrire la proportionnalité :

$$\frac{V}{V'} = \frac{x}{0,33}$$

car V' correspond au bioxyde d'azote dégagé par 5 cm³ de solution titrée, soit :

$$\frac{66 \text{ gr.} \times 5}{1000} = 0^{\text{sr}},33,$$

et on peut tirer de cette équation la valeur de x en azotate de sodium, soit :

$$x = \frac{0,33 \times V}{V'} \text{ de AzO}^3\text{Na.}$$

Comme on opère dans les mêmes conditions de température et de pression, il n'y a pas lieu de faire de corrections pour apprécier les volumes.

On peut tirer du résultat trouvé la valeur en acide azotique AzO^3H en multipliant le chiffre trouvé par 0,7411 ; on a, en désignant par P le poids de AzO^3H cherché pour une prise d'essai de 1 litre d'eau à analyser :

$$P = \frac{0,33 \times V \times 0,7411}{V'} \text{ par litre d'eau à analyser.}$$

4^e Dosage de l'acide azoteux (des nitrites). — La méthode colorimétrique, au moyen de réactifs virant en présence de l'acide azoteux, le réactif de Tromsdorff, par exemple, est la plus employée. Elle consiste à préparer un type de teneur connue en azotite alcalin et à comparer avec cet échantillon les colorations obtenues avec l'eau à analyser.

Mode opératoire. — Pour avoir une solution type d'azotite alcalin, on prend 0^{sr},406 d'azotite d'argent AzO^2Ag pur et sec que l'on dissout dans l'eau distillée ; on ajoute un léger excès de solution de chlorure de sodium : celui-ci, par double décomposition, précipite l'argent à l'état de chlorure insoluble, et l'azotite de soude formé est en solution dans le liquide surnageant. On décante la liqueur claire, on lave le précipité de chlorure d'argent, de façon à entraîner tout l'azotite alcalin, on réunit la liqueur de décantation et les eaux de lavage, et on complète le tout à 1 litre dans une fiole jaugée. Cette solution d'azotite de sodium correspond à 0^{sr},1 de Az^2O^3 par litre ou 0^{sr},0001 par centimètre cube.

Remarque. — On peut obtenir une liqueur type de titre plus faible en prenant 100 cm³ de la liqueur précédente, qu'on étend à 1 litre. On a alors 0^{sr},00001 de Az^2O^3 par centimètre cube.

La liqueur type une fois préparée, on opère de la façon suivante : on dispose une série de verres colorimétriques

(verres cylindriques permettant d'observer les colorations sous une même épaisseur) numérotés, sauf le premier, de 1 à 5 (ce qui fait en tout six verres). Dans le verre non numéroté on introduit 50 cm³ d'eau à analyser, et l'on ajoute 1 cm³ d'acide sulfurique (66° B) et 2 cm³ de réactif de Tromsdorff (ZnCl²ZnI² amidon; voir préparation de ce réactif, p. 57). L'acide azoteux provoque la formation d'iodure d'amidon, et il se produit une coloration bleue, que l'on compare à celle obtenue avec les types préparés comme suit : dans chacun des cinq verres numérotés 1, 2, 3, 4, 5, on introduit 1, 2, 3, 4, 5 cm³ de la solution titrée d'azotite préparée précédemment. On complète avec de l'eau distillée pour avoir un volume de 50 cm³, et on ajoute dans chaque verre 1 cm³ d'acide sulfurique à 66° B et 2 cm³ de réactif de Tromsdorff. Il se produit des colorations d'intensités différentes qu'on compare avec celle de l'eau à essayer, au moyen d'un colorimètre ou simplement à l'œil nu.

Soit n le nombre de centimètres cubes d'azotite de soude contenu dans le type de coloration correspondant à la coloration de l'essai fait avec l'eau à analyser, et soit 0^{sr},0001 la quantité d'anhydride azoteux Az²O³ correspondant à 1 cm³ de la liqueur type d'azotite de soude.

Le poids p d'acide azoteux contenu dans les 50 cm³ d'eau sera :

$$p = 0^{sr},0001 \times n \quad \text{pour } 50 \text{ cm}^3 \text{ d'eau à analyser,}$$

$$P = 0^{sr},0001 \times n \times 20 \quad \text{pour } 1 \text{ litre d'eau à analyser.}$$

Dosage des acides nitreux et nitrique. — Pour doser l'acide nitreux et l'acide nitrique qu'une eau renferme simultanément à l'état de sels, on peut employer la méthode basée sur la propriété que présentent des sels ferreux en solution neutre de décomposer les nitrites à l'exclusion des nitrates. Du volume de bioxyde d'azote AzO dégagé on déduit le poids de nitrite correspondant que renferme le volume

d'eau qui a servi de prise d'essai¹. On dose ensuite le nitrate.

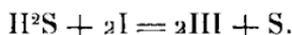
5° Dosage de l'acide sulfurique (des sulfates). — On prend 100 cm³ d'eau à analyser qu'on introduit dans un vase en verre de Bohême (Becher), on ajoute quelques gouttes d'acide chlorhydrique et on fait bouillir; l'on verse alors du chlorure de baryum en solution et on laisse à l'ébullition vingt minutes; l'acide sulfurique précipite à l'état de sulfate de baryte qui se rassemble au fond du becher. On filtre, on lave, on calcine, et du poids du précipité on déduit la quantité d'acide sulfurique en SO³.

Si on a pris 100 cm³ d'eau pour l'essai et qu'on ait obtenu un poids π de sulfate de baryte, on a, en désignant par p le poids de SO³ cherché :

$$p = \pi \times 0,3433 \quad \text{pour } 100 \text{ cm}^3 \text{ de l'eau à analyser,}$$

$$P = \pi \times 0,3433 \times 10 \quad \text{pour } 1 \text{ litre de l'eau à analyser.}$$

6° Dosage de l'acide sulfhydrique et des sulfures solubles. — Ce dosage est basé sur la réaction :



On prend 100 cm³ de l'eau à essayer, on ajoute un excès d'une dissolution de bicarbonate de soude, on agite le mélange et titre par l'iode en présence d'empois d'amidon comme indicateur.

Soit n le nombre de centimètres cubes d'iode employé, t le titre de la solution en iode, on a :

$$\frac{\text{H}^2\text{S}}{2\text{I}} = \frac{x}{nt}; \quad \text{d'où } x = nt \times 0,134.$$

x représente la quantité de H²S contenu dans 100 cm³ de l'eau à essayer.

On rapporte au litre.

¹ BOURREY et MARQUET. Mode opératoire du dosage des acides nitreux et nitrique, p. 324.

Dosages des métaux. — Nous avons vu que les eaux pouvaient contenir certains métaux plus ou moins toxiques. Il est donc utile d'en connaître les proportions qui peuvent s'y trouver.

1^o Dosage du plomb. — On évapore à sec 1 litre d'eau, on ajoute au résidu quelques gouttes de AzO^3H , on évapore et on calcine; les matières organiques sont ainsi détruites. On reprend le résidu calciné par de l'eau légèrement azotique, et on a ainsi en solution des sels de plomb. On y dose le plomb à l'état de sulfate.

2^o Dosage du cuivre. — Une méthode rapide et exacte consiste à évaporer à sec 500 cm^3 d'eau à analyser, et à reprendre par l'eau légèrement azotique.

Le liquide filtré est recueilli dans un verre colorimétrique et amené à un volume de 50 cm^3 en ajoutant de l'eau distillée; on ajoute alors 2 cm^3 d'ammoniaque qui donne naissance à une coloration bleue d'autant plus intense que l'eau est plus riche en cuivre.

Comme dans toute méthode colorimétrique, on compare la coloration obtenue avec celles des types de teneur en cuivre connue.

On prépare ces types en introduisant dans cinq verres colorimétriques 1, 2, 3, 4, 5 cm^3 d'une solution titrée d'azotate de cuivre renfermant $0^{\text{gr}},1$ de ce sel par litre.

On complète à 50 cm^3 et on ajoute 2 cm^3 d'ammoniaque. 1 cm^3 correspond donc à 0,001 d'azotate de cuivre.

On aura donc par litre un poids P de cuivre donné par la relation :

$$P = p \times 2,$$

où p est le poids de cuivre correspondant au type de même coloration que l'eau à essayer dont on a pris 500 cm^3 .

3^o Dosage du fer. — On peut doser le fer *gravimétriquement* dans une eau, en évaporant à sec 500 cm^3 de l'eau à analyser avec quelques gouttes de AzO^3H , en reprenant par

l'acide chlorhydrique, et en précipitant, par l'ammoniaque, le fer à l'état de sesquioxyde, qu'on sèche, calcine (le filtre à part) et pèse.

Soit p le poids de Fe^2O^3 obtenu, le poids P de fer contenu dans 1 litre d'eau à analyser sera donné par la relation

$$P = p \times 0,7 \times 2$$

par litre d'eau à analyser; 0,7 est le coefficient qui donne le fer quand on a l'oxyde Fe^2O^3 .

On peut aussi doser le fer *colorimétriquement* de la façon suivante : on évapore à sec, avec quelques centimètres cubes de AzO^3H , 500 cm^3 d'eau à essayer, on reprend par de l'eau azotique et on complète à 50 cm^3 dans un verre colorimétrique.

Les types ont été préparés dans cinq verres colorimétriques avec une solution titrée d'azotate de fer à 0⁸⁵, 1 par litre. On introduit dans chaque verre 1, 2, 3, 4, 5 cm^3 de cette solution, on complète à 50 cm^3 avec de l'eau distillée et on ajoute 2 cm^3 d'une solution de sulfocyanure d'ammonium à 10 0/0.

La coloration rouge sang qui se produit est d'autant plus intense qu'il y a plus de fer.

Si le type qui correspond à la teinte obtenue avec l'eau à analyser contient p de fer, on a le poids P de fer contenu dans 1 litre d'eau à analyser donné par la relation

$$P = p \times 2,$$

par litre d'eau à analyser.

Ces méthodes colorimétriques sont très rapides, mais elles demandent une grande habitude et des échantillons types bien faits; elles ne s'appliquent en outre qu'aux faibles quantités, et c'est pour cette raison que nous les avons appliquées à l'analyse des eaux, où les substances à doser sont en proportions minimales.

Dosage des matières organiques. — *Méthode par le permanganate de potasse.* — Le principe de cette méthode, que nous avons déjà employée pour l'analyse rapide des eaux, consiste, nous l'avons vu, à décolorer par réduction des matières organiques une solution de permanganate de titre connu. Du nombre de centimètres cubes de caméléon décolorés on déduit la quantité des matières organiques, que l'on exprime habituellement en acide oxalique.

C'est une méthode rapide, mais approximative, car les matières organiques agissent inégalement sur le permanganate, et des produits, tels que les nitrites, qui existent fréquemment dans les eaux, réduisent aussi le permanganate. Par contre, l'urée, qui existe aussi dans les eaux souillées, ne réduit pas le permanganate.

Nous décrivons cependant cette méthode très usuelle, mais nous ferons remarquer qu'elle donne en général des résultats un peu faibles.

Mode opératoire. — La solution de permanganate de potasse que nous employons doit, pour la commodité des calculs, donner pour un centimètre cube une équivalence de $0^{\text{sr}},0001$ d'oxygène (ou $0^{\text{sr}},000788$ d'acide oxalique). On dissout $0^{\text{sr}},395$ de MnO^4K au litre, mais il est bon de titrer au fil de clavecin (99,7 % de fer) la solution ainsi préparée pour la vérifier. ($0^{\text{sr}},056$ de fer pur correspond à 1 cm^3 d'une solution d'acide oxalique normale (63 gr. au litre) et à $0^{\text{sr}},008$ d'oxygène.)

A la solution titrée de permanganate correspond une solution d'acide oxalique que l'on prépare en dissolvant par litre $0^{\text{sr}},788$ d'acide oxalique $\text{C}^2\text{O}^4\text{H}$, $2\text{H}^2\text{O}$; les deux liqueurs titrées doivent se correspondre volume à volume.

Pour faire le dosage, on prend 200 cm^3 d'eau à analyser qu'on introduit dans une fiole à fond plat, on y ajoute 5 cm^3 d'une solution de soude caustique à 10 % et 10 cm^3 de la solution titrée de MnO^4K . On porte à l'ébullition un quart d'heure, et on laisse refroidir jusqu'à 60° environ; on ajoute

alors 5 cm³ d'une solution d'acide sulfurique au demi, et 10 cm³ de la solution titrée d'acide oxalique.

Comme il y a des matières organiques réductrices dans l'eau à analyser qui ont décoloré le permanganate en partie, il y a donc de l'acide oxalique en excès, qu'on dose en versant, au moyen d'une burette graduée, de la solution titrée de MnO⁴K jusqu'à ce que la coloration réapparaisse légèrement rose. Le nombre de centimètres cubes versés correspond à l'excès d'acide oxalique, excès provenant de l'action réductrice exercée par les matières organiques de l'eau sur les 10 cm³ de solution titrée de MnO⁴K versés au début.

Soit n le nombre de centimètres cubes versés pour obtenir la teinte rose; ce nombre $n \times 0,000788$ donne la matière organique en acide oxalique, puisque un centimètre cube de liqueur titrée de MnO⁴K correspond à 0^{sr},000788 d'acide oxalique C²O⁴H², 2H²O.

Pour 1 litre d'eau à analyser, on aura :

$$n \times 0,000788 \times 5,$$

puisqu'on a pris 200 cm³ d'eau pour l'essai.

Cette méthode, nous le répétons, est approximative.

Dosage des gaz dissous dans l'eau. — Un procédé pour doser les gaz dissous dans l'eau consiste à les extraire par la pompe à mercure; mais il faut opérer avec grands soins et avec des instruments parfaits, sans quoi les résultats sont entachés d'erreurs graves. C'est un procédé à employer plutôt dans les laboratoires de recherches que dans l'industrie. Il est préférable, à tous égards, d'employer le procédé d'extraction par ébullition, qui donne de très bons résultats.

Extraction des gaz par l'ébullition. — *Mode opératoire.* — On introduit l'eau à analyser dans un ballon d'environ 1 litre, dont on a déterminé le volume, en tenant compte de l'eau déplacée par le bouchon (fig. 4).

On remplit le ballon complètement avec de l'eau à essayer, sans agiter celle-ci au contact de l'air extérieur, et on introduit le bouchon, muni du tube à dégagement qui doit traverser le bouchon sans le dépasser. Le tube abducteur se remplit d'eau en général; si ce résultat n'était pas atteint, on y introduirait de l'eau bouillie, de façon à chasser tout l'air. L'extrémité du tube arrive dans la cuve à mercure

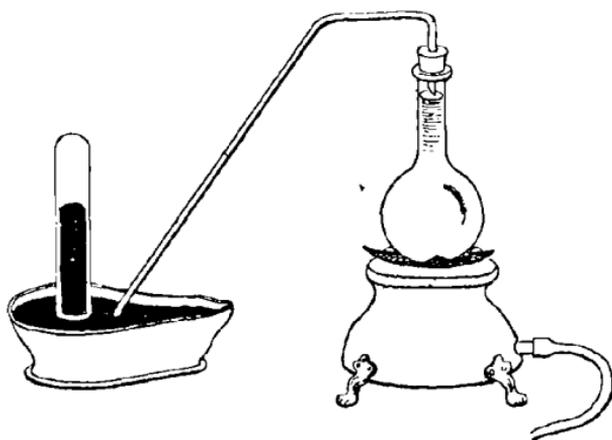


Fig. 4. — Extraction des gaz dissous dans l'eau.

au-dessous d'une éprouvette (de 200 cm³ environ) pleine de mercure, et l'on chauffe le ballon. L'eau se dilate, et une partie passe dans l'éprouvette, les gaz dissous commencent à se dégager à l'ébullition. On maintient l'ébullition jusqu'à ce que tout dégagement de gaz ait cessé, un quart d'heure environ, et on arrête l'opération. On laisse l'éprouvette refroidir et on lit le volume occupé par les gaz dans l'éprouvette graduée, en ayant soin de ramener le niveau du mercure dans un même plan à l'extérieur et à l'intérieur de l'éprouvette, après avoir desséché le contenu par l'introduction d'un morceau de ponce sulfurique. On note la pression

atmosphérique H , la température t de la cuve à mercure dans laquelle on a plongé l'éprouvette pour lui faire prendre la même température que la cuve, et on ramène le volume à la température de zéro et sous la pression de 760 mm. par la formule :

$$V_0 = \frac{V(H-f)}{(1+\alpha t)760},$$

où V désigne le volume lu à la température ordinaire ;

H est la pression atmosphérique du moment (en millimètres) ;

f , tension maxima de la vapeur d'eau à la température t (en millimètres) ;

t , température du moment en degrés C ;

α , coefficient de la dilatation des gaz = 0,00367.

Les gaz dégagés sont, en général, de l'acide carbonique, de l'oxygène et de l'azote, et leur somme est représentée par le volume V .

On fait pénétrer dans l'éprouvette une solution concentrée de potasse, et l'on agite pour faciliter l'absorption de l'anhydrique carbonique : la diminution de volume correspond à ce dernier gaz. On ramène le niveau du mercure dans un même plan à l'extérieur et à l'intérieur, on lit le volume V' , qui représente l'oxygène et l'azote.

On ajoute ensuite, au moyen d'une pipette courbe, un peu d'acide pyrogallique en solution concentrée ; la diminution de volume, après agitation, correspond à l'oxygène, et le gaz restant est de l'azote.

On fait une troisième lecture comme précédemment, on lit alors un volume V'' qui représente l'azote.

On a par suite :

V == volume total du gaz dissous dans l'eau ;

$V - V'$ == volume de l'anhydride carbonique ;

V'' == volume de l'azote restant ;

$V' - V''$ == volume de l'oxygène contenu dans l'eau.

On ramène tous ces volumes à la température de 0° et sous une pression de 760 mm. au moyen de la formule donnée plus haut; mais cette opération peut être négligée sans inconvénient, puisqu'on ne cherche qu'à déterminer des volumes proportionnels.

Remarques. — I. Il faut tenir compte de la température de l'eau, au moment du prélèvement, car la solubilité des gaz diminue quand la température augmente.

II. Il y a parfois d'autres gaz que l'O, l'Az, le CO²: ce sont l'hydrogène sulfuré, qu'on peut absorber par une pastille de phosphate de plomb, et le formène, que l'on doserait dans un eudiomètre. Ce sont des gaz que l'on rencontre rarement en proportions mesurables.

III. On cherche ordinairement le rapport de l'oxygène à l'azote ($\frac{32}{100}$ dans l'eau pure), qui peut renseigner sur la pureté d'une eau au point de vue des matières organiques qui absorbent l'oxygène et diminuent ce rapport; on peut ainsi juger de la pureté d'une eau.

Exemple :

Soit $V = 82$ divisions de l'éprouvette.

$$V' = 57 \quad \text{—}$$

$$V'' = 39 \quad \text{—}$$

$$\text{On a : CO}^2 = 82 - 57 = 25 \quad V - V'$$

$$O = 57 - 39 = 18 \quad V' - V''$$

$$\text{Az} \quad \quad \quad = 39 \quad V''$$

Le rapport du volume de l'oxygène au volume total de l'oxygène et de l'azote sera donné par la proportion

$$\frac{18}{18 + 39} = \frac{x}{100};$$

d'où $x = 31,6$.

Dosage de l'oxygène dissous. — La proportion d'oxygène dissous a une grande importance au point de vue de la qualité d'une eau; aussi est-il avantageux, pour éviter

toute cause d'erreur due au transport, d'opérer au moment du prélèvement même par l'une des méthodes suivantes :

1° *Méthode par l'hydrosulfite de soude. — Principe.* — L'oxygène libre contenu dans l'eau colorée par le bleu d'aniline, par exemple (bleu Coupier), transforme par oxydation l'hydrosulfite en bisulfite, qui est sans action sur la matière colorante.

L'hydrosulfite réduit une solution ammoniacale de sulfate de cuivre en la décolorant.

Mode opératoire. — On prépare l'hydrosulfite sur place au moment de faire le dosage, au moyen d'une solution saturée de bisulfite de soude qu'on réduit par le zinc (2 à 3 cm³ de solution bisulfitique dans un flacon de 125 cm³ avec du zinc). On agite et on introduit le réactif ainsi préparé dans une burette de 50 cm³, par aspiration, en plongeant l'extrémité inférieure de la burette dans le réactif.

On remplit, d'autre part, un bocal jaugé d'un litre avec de l'eau à analyser jusqu'au trait de jauge, sans agiter l'eau pour qu'elle ne dissolve pas d'air, et on y ajoute 1 cm³ de bleu Coupier après avoir placé un agitateur à large spirale. Immédiatement après, on verse goutte à goutte l'hydrosulfite au moyen de la burette, en mélangeant doucement avec l'agitateur, jusqu'à décoloration. Soit n le nombre de centimètres cubes écoulés pour obtenir ce résultat.

On titre aussitôt l'hydrosulfite en versant, dans un petit flacon de 125 cm³, 5 cm³ de solution de sulfate de cuivre ammoniacal (4^{gr},46 de sulfate de cuivre et de l'ammoniaque en quantité suffisante pour redissoudre le précipité, le tout complété à 1 litre) qui correspondent à 1 cm³ d'oxygène (à 0°C et 760 mm.) et en versant, au moyen de la burette, de l'hydrosulfite jusqu'à décoloration (il n'y a pas lieu de remplir la burette). Soit n' le nombre de centimètres cubes

versés :

$$\frac{n}{n'} = \frac{x}{1}.$$

x désignant la proportion d'oxygène dissous dans 1 litre d'eau à analyser, on a donc x la quantité cherchée $= \frac{n}{n'}$,

le poids d'oxygène $P = \frac{n}{n'} \times 0,0144$ dissous dans 1 litre d'eau.

Remarques. — I. Ne pas employer d'excès d'hydrosulfite dans le dosage de l'eau à analyser et dans le titrage de l'hydrosulfite, ce dont on s'assure en laissant exposés à l'air l'eau à essayer et le sulfate de cuivre ammoniacal qui doivent reprendre rapidement leur couleur.

II. La solubilité de l'oxygène dans l'eau varie avec la température; il faudra donc noter cette température pour pouvoir interpréter le résultat.

2° *Méthode par le sulfate ferreux* (*Observatoire de Montsouris*). — *Principe.* — Le sulfate ferreux en solution ammoniacale absorbe l'oxygène en milieu alcalin, tandis que le sel de fer se précipite à l'état d'hydrate de sesquioxyde; on acidifie pour le redissoudre. On dose l'excès de sel ferreux restant et on en déduit la proportion d'oxygène absorbé.

Mode opératoire. — On se sert d'une pipette (fig. 5) de 100 cm³, munie de deux robinets et portant, à l'extrémité supérieure, un tube entonnoir de 5 cm³ de capacité environ. On détermine une fois pour toutes le volume V compris entre les deux robinets.

On remplit cette pipette en la plongeant dans l'eau à analyser, les deux robinets étant ouverts. On ferme les deux robinets quand la pipette est remplie et on la place dans un support, de façon à ce que la partie inférieure plonge dans un vase contenant 2 cm³ d'acide sulfurique dilué de son volume d'eau. On verse dans le tube entonnoir 2 cm³ de potasse au 1/10 et on ouvre les deux robinets avec précaution, de manière à ne pas laisser pénétrer d'air tout en laissant rentrer la solution de potasse.

On referme les robinets, on essuie soigneusement l'entonnoir avec du papier buvard et on y verse 3 cm^3 d'une solution de sulfate de fer ammoniacal (35 gr. de sulfate double de fer et d'ammoniaque par litre).

On introduit ce liquide dans la burette, comme le précédent.

Pendant ces deux opérations il s'est écoulé 5 cm^3 d'eau; le volume sur lequel on opère est en réalité $V - 5$.

On laisse quelques secondes; au bout de ce temps tout l'oxygène de l'eau est absorbé. On redissout alors les oxydes de fer dans un excès d'acide, en évitant le contact de l'air, en opérant comme suit: on verse dans l'entonnoir 2 cm^3 d'un mélange à volumes égaux d'acide sulfurique et d'eau, et le robinet inférieur étant fermé, on ouvre le robinet supérieur; par suite des différences de densité, l'acide pénètre dans la pipette, dissout le précipité, et la liqueur redevient incolore au bout de quelques instants.

A ce moment, on transvase le contenu de la pipette et du verre dans un vase à précipité; on y ajoute les eaux de lavage et l'on y verse, avec une burette graduée, une dissolution étendue de MnO^4K , contenant environ 2 décigr. par litre, jusqu'à ce que l'on obtienne la teinte rose persistant quelques instants. Soit n le nombre de divisions obtenu. Si

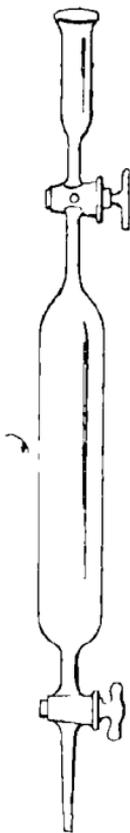


Fig. 5. — Pipette pour le dosage de l'oxygène dissous dans l'eau.

l'eau analysée ne contenait pas de matières organiques, il suffirait de connaître le nombre de divisions de permanganate correspondant à 3 cm^3 de la solution ferreuse et de retrancher de ce nombre celui obtenu dans l'essai précédent, pour en déduire le volume MnO^4K qui correspond à l'oxygène dissous dans l'eau analysée. Mais, comme l'eau contient des matières organiques sur lesquelles le permanganate agit, il faut en tenir compte en opérant ainsi : on prend un volume d'eau à analyser égal à celui de la pipette et on y ajoute 2 cm^3 de potasse au 1/10, 4 cm^3 d'acide sulfurique dilué de son volume d'eau et 3 cm^3 de la solution ferreuse ; on se trouve ainsi en liqueur acide, et la solution ferreuse n'est pas oxydée dans ce second essai ; on détermine le nouveau nombre de divisions n' de MnO^4K qu'il faut verser pour obtenir la teinte rose persistante. Le permanganate a agi sur les matières organiques comme dans le premier essai, la différence $n' - n$ représente le volume de MnO^4K équivalent à l'oxygène contenu dans l'eau à analyser.

Titrage de la liqueur de permanganate. — On dissout $0^{\text{r}},702$ de fil de clavecin ($0^{\text{r}},002$ d'impuretés sur 700) dans 50 cm^3 environ d'acide sulfurique pur étendu d'eau ; quand tout le fer est dissous, on complète à 1 litre avec de l'eau distillée bouillie et froide, pour ne pas oxyder le sel ferreux.

100 cm^3 de cette liqueur correspondent à $0^{\text{r}},010$ d'oxygène pour faire passer le fer de l'état de protoxyde à celui de sesquioxyde.

Il est bon, avant l'usage, de voir au moyen du sulfocyanure de potassium (quelques gouttes), qui donne avec les sels ferriques un précipité rouge sang, si la solution ferreuse n'a pas été oxydée. Dans ce dernier cas, il y aurait lieu de réduire le fer peroxydé au moyen de quelques fragments de zinc. On filtre, et sur un prélèvement de 20 cm^3 , on verse peu à peu de la solution de MnO^4K contenue dans une

burette graduée, jusqu'à coloration rose persistante : le nombre de divisions obtenu, multiplié par 5, équivaut à 10 milligr. d'oxygène.

Interprétation des résultats. — Soient N et N' les nombres de divisions de MnO^4K trouvés dans la première et la deuxième détermination ; N le nombre de divisions correspondant à 10 milligr. d'oxygène, et x le poids d'oxygène dissous dans le volume $V - 5$ donné par la relation :

$$\frac{n' - n}{N} = \frac{x}{10};$$

d'où $x = \frac{(n' - n)}{N} \times 10$ milligr.,

et le poids en milligrammes, dissous dans 1 litre, sera :

$$\frac{10000 (n' - n)}{N(V - 5)}.$$

On pourra en déduire le volume de cet oxygène à 0° et à 760 mm., en divisant le poids en milligrammes par 1,43.

Exemple. — Dans le titrage au permanganate, le nombre de divisions correspondant à 20 cm³ de la solution titrante de fer a été trouvé égal à 251, donc :

$$N = 251 \times 5 = 1255 \text{ divisions}$$

correspondant à 0^{sr},010 d'oxygène.

D'autre part, on a trouvé $n = 304$, dans la première opération où le sel ferreux a été mis en présence de l'eau alcalinisée, et dans la deuxième, en liqueur acide $n' = 419$.

Enfin $V - 5$ était égal à 91 cm³.

Un litre d'eau contenait donc en dissolution :

$$\frac{10000 (419 - 304)}{1255 \times 91} = 10 \text{ milligr. } 16,$$

ou $\frac{10,16}{1,43} = 7 \text{ cm}^3,1 \text{ d'oxygène.}$

Ce procédé n'est applicable que si l'altération de l'eau n'est pas trop grande, c'est-à-dire si l'eau n'est pas trop chargée en matières organiques.

Eaux résiduaires industrielles.

La composition des eaux résiduaires varie avec chaque industrie.

Suivant les industries qui leur ont donné naissance, on peut classer les *eaux résiduaires* d'après la nature des matières qui y prédominent : les unes sont chargées de *matières organiques*, les autres de *matières minérales*.

Parmi les *eaux renfermant des matières organiques*, il faut distinguer celles qui contiennent des *matières azotées* et celles qui n'en contiennent pas. L'azote organique se transforme, au cours de la putréfaction, en ammoniacque, corps que l'on trouve fréquemment dans les eaux résiduaires.

On peut aussi rencontrer dans les eaux résiduaires des substances organiques *non azotées*, en particulier dans celles qui proviennent des industries agricoles et qui peuvent renfermer de l'amidon, du sucre, des acides organiques, des corps gras.

Les matières organiques peuvent être à l'état dissous, ou en suspension. Les matières en suspension sont les plus aisées à éliminer, on y parvient en général par une clarification mécanique.

La teneur en matières organiques est importante à connaître, ainsi que celle en *chlore*; car cet élément, étant invariable, fournit un point de repère certain et par suite un terme de comparaison.

La détermination du résidu solide, de la perte par calcination, avec observation des phénomènes qui s'accomplissent pendant l'opération, le dosage de l'azote à différents états, et de l'hydrogène sulfuré peuvent aussi fournir, dans bien des cas, d'utiles renseignements.

Parmi les *eaux renfermant des matières minérales*, on peut distinguer les eaux résiduaires, contenant des sels alcalins ou alcalino-terreux; celles qui renferment des sels de métaux lourds, enfin celles qui contiennent des acides libres.

Les substances que l'on a le plus souvent à doser sont : le chlore, les acides sulfurique, sulfureux, azotique, les métaux alcalins, les métaux alcalino-terreux, le fer, l'aluminium, le zinc, le cuivre, l'ammoniaque.

On emploie, pour rechercher et doser ces différents corps, les méthodes que nous avons décrites précédemment à l'*analyse complète* de l'eau.

Il y a lieu de dire quelques mots de la *prise d'échantillon des eaux résiduaires*, qui présente certaines difficultés.

C'est une opération¹ délicate parce que les eaux résiduaires de presque toutes les industries subissent de grandes variations, tant au point de vue de leur composition centésimale qu'à celui de leur composition qualitative.

Avant d'effectuer le prélèvement d'un échantillon, il faut se renseigner sur toutes les particularités des trai-

¹ D'après le Dr J.-H. VOGEL (de Berlin). *Analyse chimique de Post et Neumann*, p. 28.

tements qui ont laissé les eaux souillées, sur les variations de quantité et de composition des eaux résiduaires résultant du mode de travail et sur la façon dont les eaux sont évacuées. On passe ensuite au prélèvement de l'échantillon.

Dans certains cas, on peut prélever l'échantillon dans un bassin collecteur. Ce cas se présente parfois dans les fabriques de chlorure de potassium et dans les industries dont les eaux résiduaires contiennent surtout des matières organiques.

Il faut alors prendre des échantillons en plusieurs points et à diverses profondeurs, puis les mélanger en général afin d'obtenir un échantillon unique. Il y a des cas où il vaut mieux, au contraire, ne pas mélanger les échantillons recueillis séparément, et où il est bon de doser dans chaque échantillon un élément caractéristique, tel que le *chlore*, par exemple. Si le titrage du chlore dans les différents échantillons donne des résultats à peu près semblables, on fait un mélange, à parties égales, de tous les échantillons, et l'on effectue les autres dosages sur l'échantillon moyen ainsi obtenu.

Les eaux résiduaires étant en général de composition variable, l'échantillonnage est beaucoup plus difficile.

Il est souvent nécessaire d'établir les variations qui se produisent dans la composition de ces eaux et les propriétés de chacune des eaux différentes produites dans une même industrie.

Ce point, dit le D^r Vogel, présente une importance toute particulière dans le cas, par exemple, où les eaux ont été déversées pendant un certain temps dans un

cours d'eau sans subir d'épuration suffisante et qu'il en est résulté des inconvénients, obligeant à cesser d'envoyer les eaux à la rivière. Il suffit souvent alors de soumettre à une épuration complète la portion des eaux résiduaires qui est la plus sujette à donner lieu à ces inconvénients, tandis que la majeure partie des eaux qui n'est pas nuisible peut être déversée directement dans le cours d'eau. Il faut aussi remarquer que l'eau contenue dans un bassin collecteur subit toujours une décomposition partielle, due aux matières organiques facilement altérables, tandis qu'il est souvent important de déterminer la composition d'une eau résiduaire dans l'état même où elle s'écoule, après avoir subi les différents traitements aux diverses phases de l'industrie envisagée.

On prélève, dans ce cas, différents échantillons à intervalles égaux et rapprochés (variant de quelques minutes à une heure) pour avoir des résultats certains. Le prélèvement doit porter sur une durée de vingt-quatre heures, si le travail se poursuit nuit et jour. Il est inutile d'ajouter que le prélèvement doit être effectué par une personne expérimentée, en laquelle on puisse avoir toute confiance.

Pour contrôler les installations d'épuration d'eaux résiduaires, il est indispensable d'examiner à plusieurs reprises des échantillons moyens d'eau épurée et d'eau résiduaire non épurée. Le dosage du chlore, lorsque celui-ci se trouve en quantité notable, donne des renseignements précieux sur la plus ou moins grande concentration de l'eau résiduaire.

Entre le prélèvement et l'analyse, les échantillons d'eaux résiduaires renfermant des matières putrescibles

peuvent subir une décomposition partielle qui fausserait les résultats.

Il y a lieu alors d'ajouter des antiseptiques à l'eau, dès qu'elle est prélevée. On y verse soit du chloroforme (5 cm³ par litre), soit de l'acide sulfurique pur (quelques centimètres cubes).

Dans le cas où on a à prélever un échantillon moyen d'une eau courante souillée par les eaux résiduaires, la question du prélèvement devient encore plus délicate.

Il faut commencer par se renseigner sur l'écoulement des eaux résiduaires, sur sa régularité, sa quantité, sa nature, etc.

Il faut ensuite déterminer en quel point de la rivière l'eau résiduaire mélangée avec l'eau courante constitue un mélange homogène. On peut obtenir ce résultat pour les cours d'eau peu importants, en colorant les eaux résiduaires avec de la fluorescéine. Le mélange de l'eau courante et de l'eau résiduaire peut être considéré comme homogène lorsque la coloration est uniforme. Il faut contrôler l'opération du prélèvement, en dosant dans les divers échantillons, pris en différentes profondeurs, un élément caractéristique, tel que le chlore; les résultats doivent être sensiblement concordants.

Nous n'insisterons pas davantage sur le prélèvement des échantillons d'eaux résiduaires, qui présente, comme on peut s'en rendre compte par ce qui précède, une réelle importance, puisque de l'échantillonnage dépend la valeur des résultats.

Pour ce qui est de l'*analyse* des eaux résiduaires, on examine d'abord la *réaction* de l'eau résiduaire, sa *limpidité*, sa *putrescibilité*.

On y dose, par les procédés que nous avons donnés

à l'analyse complète des eaux, les éléments suivants : l'azote, le chlore, l'oxygène, l'hydrogène sulfuré, les substances toxiques pouvant provenir des différentes usines, et variables avec l'industrie qui leur a donné naissance.

CHAPITRE III

USAGES INDUSTRIELS DE L'EAU ROLE ET INCONVÉNIENTS DES CORPS DISSOUS DANS LES DIVERSES INDUSTRIES

L'eau joue un rôle très important dans la plupart des industries : elle entre dans la composition des substances fabriquées, elle sert de dissolvant ou de véhicule ; on l'emploie pour extraire les corps solubles et pour éliminer les impuretés ; enfin, transformée en vapeur, elle sert à l'alimentation des chaudières et distribue sous cette forme la chaleur et le mouvement.

Pour que l'eau puisse convenir aux nombreuses industries qui en font usage, il faut qu'elle soit *pure*, ou tout au moins peu chargée en *impuretés* ; car les corps dissous dans l'eau exercent une action plus ou moins nuisible dans les diverses applications industrielles et présentent des inconvénients parfois très graves, qui peuvent compromettre une fabrication ou diminuer la valeur des produits.

Mais les usines ont assez rarement à leur disposition des eaux pures ; aussi doit-on se rendre compte avant tout de la composition d'une eau, et, d'après l'ana-

lyse, juger si elle peut être employée telle quelle, ou bien si elle a besoin d'être *corrigée* ou *épurée*.

Il est évident que les qualités requises pour une eau varient avec l'industrie qui en fait usage, car la présence de tel corps dissous peut être nuisible dans une fabrication et ne pas présenter d'inconvénients dans une autre.

C'est précisément le rôle des corps dissous et les inconvénients des impuretés dans les différentes industries, que nous allons examiner dans ce chapitre.

Nous passerons en revue les principales industries et nous étudierons, en généralisant le plus possible, le rôle que l'eau joue dans chacune d'elles.

Les eaux industrielles sont les eaux de sources, de rivière et de forage; leur composition varie, comme nous l'avons vu, quant à la nature et la quantité des substances qu'elles renferment. Certaines de ces substances présentent des inconvénients qui dépendent de leurs proportions dans l'eau utilisée, de l'usage auquel on la destine, et de la façon même dont on l'emploie.

Les industries où l'eau joue un rôle important sont nombreuses; nous envisagerons celles qui exigent des eaux de *bonne qualité*, c'est-à-dire exemptes d'impuretés pouvant présenter des inconvénients dans chacune d'elles, en laissant de côté *l'eau dans l'alimentation des générateurs de vapeur*, application très importante dont l'étude fait l'objet du chapitre IV.

I. De l'eau dans les teintureries, usines d'apprêts et de blanchiment.

L'eau joue un rôle capital dans les usines de teinture, d'apprêts, de blanchiment, qui réclament des eaux de bonne qualité, c'est à-dire contenant peu de matières terreuses en dissolution (sels de chaux et de magnésie) qui augmentent la dépense en mordants, diminuent la richesse des tons, la pureté des nuances, la vivacité des coloris, par suite de la combinaison des sels alcalino terreux aux matières colorantes, dont elles paralysent pour ainsi dire l'action.

Un dégraissage mal fait, par suite de la formation de savons calcaires produits par une eau de qualité médiocre, donne des irrégularités de nuances dues aux taches formées sur les étoffes par les savons calcaires adhérents, que des rinçages réitérés ne parviennent pas à éliminer.

C'est à ces savons calcaires qu'il faut attribuer les teintures altérées ou brunies et l'odeur rance particulière que les pièces travaillées acquièrent par le séjour en magasin.

La fixation des matières colorantes sur les fibres dépend de la température et de la pureté de l'eau employée.

L'eau froide dissout mal le savon, ce qui rend les rinçages difficiles en hiver. C'est pour cette raison que les teinturiers la font tiédir de façon à avoir une eau de température convenable.

Par contre, l'eau à température élevée, c'est-à-dire

supérieure à 30° C. a l'inconvénient de faire couler les couleurs.

L'eau doit être exempte de sels calcaires, de sels de fer, car les sels calcaires ont une action nuisible sur les matières colorantes en général; en particulier sur les

couleurs dérivées du triphénylméthane : $\text{H}-\text{C} \begin{array}{l} \nearrow \text{C}^6\text{H}_5 \\ \text{---} \text{C}^6\text{H}_5 \\ \searrow \text{C}^6\text{H}_5 \end{array}$

comme la fuchsine, le violet de Paris, le vert malachite, le bleu Victoria, les phtaléines du phénol, de la résorcine, du pyrogallol (éosine, fluorescéine), qui sont altérées par les sels dissous dans l'eau.

Dans d'autres cas, par contre, les sels de chaux ont une action favorable à la fixation de certains couleurs.

En général, les sels calcaires modifient les nuances, et, par suite, la présence des sels de chaux est préjudiciable dans les principales opérations de la teinturerie : telles sont les opérations du *décreusage*, la préparation des bains de savon, le *mordançage*, où les sels calcaires diminuent la force des bains en précipitant les mordants : sels d'alumine et de fer; le *garançage*, où la variation de teinte est plus ou moins marquée suivant les espèces de garance; le *dégraissage* et le *désuintage* des laines, où les eaux calcaires donnent naissance à des savons insolubles qui se fixent sur les fibres; la préparation des solutions tinctoriales, où les sels alcalino-terreux peuvent former des laques avec la matière colorante.

Les sels de fer contenus dans certaines eaux présentent de graves inconvénients en teinturerie; ils donnent,

avec différentes teintures, des laques, ils modifient les nuances claires en teinture et en impression, et forment des taches rouille ou jaunes sur les tissus soumis au blanchiment, dues à l'hydrate ferrique qui prend naissance avec les alcalis.

On peut dire que l'action des sels de fer est nuisible dans les industries de teinture, impression, blanchiment, où l'on doit faire usage d'eaux exemptes de ces sels.

II. De l'eau dans les blanchisseries, lavoirs, etc.

Ces industries ont intérêt à employer des eaux exemptes, autant que possible, de sels calcaires; car les eaux dures usent en pure perte des quantités plus ou moins considérables de savon.

Si on se rapporte à ce qui a été dit à propos de l'hydrotimétrie (voir p. 21), on sait que les sels calcaires contenus en dissolution dans l'eau neutralisent 106 gr. de savon ordinaire par mètre cube et par degré hydrotimétrique. Une eau *calcaire*, selon sa dureté, peut donc user jusqu'à 3 et 4 kilogrammes de savon par mètre cube¹.

Les eaux contenant soit des sels calcaires et magné-

¹ Ainsi les eaux suivantes exigent par mètre cube, avant de commencer à mousser (moment à partir duquel le blanchissage devient efficace), les quantités de savon :

Eau de pluie	350 gr.
Eau de la Garonne.	500 gr.
Eau de la Loire (Tours)	550 gr.
Eau du Rhône	1500 gr.
Eau de la Seine (Ivry).	1500 gr.
Eau de la Marne (Charenton)	2300 gr.
Eau du canal de l'Oureq	3000 gr.

siens qui donnent des savons insolubles (oléate de chaux ou de magnésie...), soit du chlorure de sodium qui précipite le savon, ne conviennent pas au lessivage et au lavage du linge. Une eau est bonne pour le savonnage quand elle ne titre pas plus de 22° hydrométriques. L'eau de puits est plus ou moins désavantageuse pour le savonnage suivant la nature des terrains traversés : l'eau des puits de Grenelle, par exemple, n'use que 900 grammes de savon par mètre cube, tandis que celle de Belleville en précipiterait plus de 12 kilos, ce qui la rend impropre à tout usage.

Les eaux ne doivent pas non plus contenir de matières en suspension, soit minérales soit organiques, qui font perdre aux *blancs* leur pureté et nécessitent le rinçage et l'azurage du linge, qui cependant reste encore sali malgré ces opérations.

Une bonne eau *naturelle* ou *épurée* s'impose donc dans les blanchisseries, lavoirs, pour obtenir de bons résultats; et l'épuration est bien préférable à l'emploi des lessives de carbonate de soude ajoutées aux eaux calcaires pour les corriger.

Cette correction des eaux par le carbonate de soude, faite le plus souvent sans élément d'appréciation, ne peut d'ailleurs conduire qu'à des résultats approximatifs et dangereux, en raison même du défaut de données précises dans l'évaluation de la quantité de sel de soude à employer. Un excès de sel peut entamer et brûler les pièces; une insuffisance occasionne un supplément de dépense de savon. De plus, le sel de soude entraîne la formation de précipités qui s'attachent sur les laines, la soie, les fibres végétales, s'y fixent et les rendent rudes et ternes.

III. De l'eau dans l'industrie du lavage des laines et des textiles.

La laine brute est imprégnée d'une substance grasseuse qu'on appelle le *suint*.

Le traitement des laines comprend deux opérations : le *désuintage* et le *dégraissage*, qui nécessitent de grandes quantités d'eau dont la composition peut modifier les propriétés de la laine.

Le *désuintage* comporte un lavage méthodique à l'eau tiède, qui a pour but de dissoudre les éléments solubles du suint.

Les solutions extractives évaporées donnent la potasse de suint (riche en CO^3K^2).

L'eau ordinaire suffit pour cette opération.

Le *dégraissage* a pour but d'éliminer les dernières traces de matières étrangères, et cette opération nécessiterait des eaux exemptes de sels calcaires qui précipitent le savon en pure perte. Il se formerait des savons calcaires insolubles, adhérant à la fibre, et que les rinçages ne peuvent enlever, et, le dégraissage ne se faisant pas complètement, on obtiendrait une laine difficile à travailler, perdant toute sa souplesse et qui, par suite de la diminution de la perméabilité des fibres, fixerait mal le mordant et les matières colorantes.

Pour la soie, le coton, le lin, le chanvre, les eaux calcaires présentent de graves inconvénients, car elles modifient la texture de la fibre.

Dans le *rouissage* des textiles tels que le lin et le chanvre, opération qui a pour but de séparer la fibre

textile de la partie ligneuse, il se produit une action biologique qui transforme la pectose du lin ou du chanvre en pectose soluble, sorte de fermentation diastatique qui nécessite une eau pas trop calcaire, mais assez cependant pour modérer le phénomène fermentescible.

Les eaux ferrugineuses colorent la fibre et doivent être, autant que possible, rejetées.

Dans le *dévidage* de la soie, les eaux calcaires altèrent la fibre, qui se recouvre de sels de chaux précipités.

Dans le *décreusage*, opération qui consiste à cuire la soie pour éliminer la matière étrangère (*grès*) soluble qui accompagne la soie pure, les sels calcaires sont défavorables à l'action de la teinture sur la soie, car ils donnent avec l'eau savonneuse, dans laquelle on cuit la soie, des savons calcaires insolubles qui adhèrent à la fibre et rendent difficile la fixation des matières colorantes.

Dans les essais de décreusage, lavage, etc., effectués sur les textiles dans les laboratoires, il est nécessaire d'opérer avec de l'eau pure, car les résultats varient avec l'eau employée.

IV. De l'eau dans l'industrie des savons.

En savonnerie, les lessives alcalines (soude ou potasse) réagissent sur les sels alcalino-terreux contenus dans les eaux et les précipitent à l'état de carbonate.

Les sels de magnésium et de calcium contenus dans les eaux occasionnent donc une dépense de lessives alcalines.

lines et donnent naissance à des carbonates alcalino-terreux, qui pourraient former, dans la masse saponifiée, des savons insolubles; d'où la nécessité d'employer une eau pure ou épurée pour avoir le moins possible de sels calcaires et magnésiens.

Dans l'opération de l'*empâtage*, combinaison des matières grasses avec les alcalis, la présence des sels tels que les chlorures, les sulfates, gênent cette opération et en diminuent le rendement.

Dans le *relargage*, au contraire, opération qui consiste à insolubiliser le savon formé dans les lessives alcalino salées (NaCl), les eaux contenant ces sels en dissolution ne présentent pas d'inconvénients.

Les sels de sodium, de potassium, de magnésium (chlorures, sulfates), gênent dans la préparation des lessives alcalines employées en savonnerie, car ils sont nuisibles à la bonne réussite de la manipulation fondamentale de la préparation des savons : l'*empâtage*.

Les eaux doivent donc être pures et non chargées de matières dissoutes (sels) ou de matières en suspension (débris organiques et autres).

V. De l'eau dans l'industrie des matières colorantes, des laques, des extraits et des produits chimiques.

Les couleurs naturelles et artificielles exigent, dans les diverses manipulations qu'on leur fait subir pour leur préparation, des eaux de bonne qualité, c'est-à-dire exemptes de sels, de matières organiques, qui souilleraient les produits obtenus.

Pour extraire les principes colorants, il est indispensable d'avoir des eaux le moins chargées possible, car les dissolutions évaporées après concentration s'enrichiraient des substances étrangères apportées par l'eau employée et qui pourraient soit ternir les couleurs, soit, ce qui est encore plus grave, se combiner à la matière colorante et compromettre la fabrication. C'est le cas de l'alizarine, par exemple.

Pour l'extraction des principes tannants, il est indispensable d'évaporer de grandes masses d'eau dont la concentration amènerait, comme précédemment, la précipitation des sels contenus dans l'eau, ce qui aurait une influence nuisible dans le tannage.

Les laques de nuances claires doivent être produites autant que possible au sein d'eaux exemptes de sels calcaires et magnésiens.

Enfin, la préparation des produits chimiques exige une eau qui ne vienne pas souiller, par les corps qu'elle contient en dissolution, le produit que l'on veut obtenir « chimiquement pur » ; aussi emploie-t-on l'eau distillée dans la majorité des cas, bien que le prix de revient en soit augmenté.

VI. De l'eau dans les papeteries et autres industries utilisant la cellulose.

L'industrie du papier exige une eau qui ne contienne pas trop de matières en dissolution ou en suspension.

Les eaux dont on fait usage doivent être claires, pour ne pas charger la pâte de matières gênantes ; aussi leur fait-on subir une filtration au travers des couches

de sable ou de gravier, ou simplement une décantation.

Elles ne doivent pas non plus contenir en dissolution des sels calcaires, qui seraient nuisibles pour la préparation des papiers fins (papiers à cigarettes, à filtrer, etc.); pour l'opération de l'encollage, car une partie de l'alun serait employée en pure perte, et les sels de chaux précipiteraient, non sur les fibres du papier, mais à l'état de savon calcaire, la résine de la solution de résinate employée pour l'encollage végétal.

Enfin les sels de fer contenus dans les eaux empêchent la fabrication des papiers blancs, ou colorés en nuances claires, car la coloration des oxydes ou des laques de fer change la teinte de la pâte à papier.

Dans la fabrication de la *soie artificielle*, les eaux calcaires compromettent le succès de l'opération et, dans celle du *celluloïd*, les eaux chargées de sels calcaires nuisent à la transparence du produit.

VII. De l'eau employée dans les tanneries, corroieries, mégisseries, chamoiseries.

Le travail des peaux nécessite de grandes quantités d'eau qui joue à la fois un rôle mécanique et chimique.

La première opération que l'on fait subir aux peaux est le *dépilage*, qui consiste à débarrasser les cuirs des poils au moyen de la chaux, mélangée ou non, avec du sulfure de sodium. Les peaux, pelanées par la chaux, sont malaxées dans l'eau, pour éliminer la chaux absorbée par le tissu dermique pendant la durée de la manipulation épilatoire. Or, si l'eau employée pour

faire disparaître toutes traces de chaux contient des bicarbonates, il est évident qu'au contact de la chaux il se formera du carbonate de calcium insoluble qui se trouvera déposé dans le tissu du cuir, rendu ainsi moins apte à subir l'action tannante.

Le tannage¹, ayant pour but d'incorporer à la peau des principes tannants qui transformeront la peau en cuir imputrescible, se fera mal en présence du carbonate de chaux, qui ralentira l'absorption du tannin en donnant naissance à du tannate de chaux nuisible à la qualité du cuir.

Les eaux contenant des sels de fer donnent, au contact des substances organiques, des produits plus ou moins complexes qui précipitent, en colorant le cuir; c'est ainsi que le tannin donnera une coloration noire analogue à l'encre avec les eaux ferrugineuses. Ces eaux sont mauvaises pour la tannerie, pour la mégisserie et la chamoiserie.

Pour obtenir des cuirs exempts de taches, d'une grande souplesse et d'une nuance bien uniforme, il faut donc employer des eaux pures ou épurées, afin d'éviter les inconvénients des sels dissous, qui compromettent le résultat des opérations.

VIII. De l'eau en photographie.

Les réactions chimiques exigent, nous l'avons vu à propos de l'industrie des produits chimiques, une eau chimiquement pure (eau distillée), ou tout au moins

¹ Dans le tannage au chrome, ces inconvénients ne se présentent pas comme dans le tannage aux extraits végétaux.

une eau de très bonne qualité, peu chargée en sels dissous.

Dans l'industrie photographique, l'eau joue donc un rôle important, et c'est de sa pureté que dépend en partie le succès des opérations.

Dans la préparation des émulsions, les eaux doivent être claires et contenir aussi peu que possible de sels calcaires, qui donnent des combinaisons insolubles et diminuent la sensibilité.

Les sels d'argent qui entrent dans la composition de la couche sensible, étant obtenus par double décomposition entre l'azotate d'argent et un sel de soude halogéné, il est à remarquer que l'eau contenant des chlorures peut réagir pour son propre compte en précipitant l'azotate d'argent à l'état de chlorure d'argent moins sensible.

Les eaux dites « sulfureuses » présentent encore de plus graves inconvénients, en donnant un précipité noir de sulfure d'argent.

Pour éviter tous ces inconvénients qui pourraient compromettre l'émulsion, on fait le plus fréquemment usage d'eau distillée, surtout pour les lavages de la couche sensible une fois préparée.

Dans le développement des négatifs, l'eau peut altérer les bains révélateurs et en diminuer le pouvoir réducteur par les substances plus ou moins oxydantes contenues en dissolution. Il est bon, en général, d'employer de l'eau bouillie, pour éliminer l'air et précipiter le carbonate de chaux qui est nuisible aux révélateurs à l'oxalate, au sulfate ferreux, etc.

Le lavage des négatifs doit se faire à l'eau pure ou même distillée, pour éviter que les sels en dissolution

dans l'eau ne réagissent sur les substances révélatrices dont est imprégnée la couche sensible, en formant des précipités incrustants dans la gélatine.

Dans le virage des positifs, l'eau doit être exempte de substances réductrices (matières organiques...), qui précipiteraient l'or contenu dans les bains employés.

IX. De l'eau dans l'industrie sucrière (Sucreries et Raffineries).

Les perfectionnements incessants apportés aux procédés de fabrication ont démontré que le choix de l'eau était d'une grande importance dans l'industrie sucrière. L'eau pure permet en effet d'obtenir, dans les raffineries et les sucreries, une prolongation du *pouvoir décolorant* et de la *puissance d'absorption* du noir animal, une économie de parchemins en *osmose* et une facile extraction du sucre à la *diffusion*.

Le *lavage du noir animal* destiné à la clarification doit se faire avec de l'eau exempte de sels qui, absorbés par le noir, lui feraient perdre rapidement son pouvoir décolorant. Pour revivifier le noir animal, il faut alors dissoudre les sels calcaires et magnésiens qu'il a absorbés, en le lavant avec de l'eau légèrement chlorhydrique, puis avec de l'eau pure.

Dans la *diffusion*, opération qui consiste à extraire le jus sucré des betteraves en utilisant le phénomène d'*osmose*, l'eau doit être aussi exempte de sels que possible, puisque ces sels se retrouvent dans les jus concentrés en proportion d'autant plus forte, qu'on a employé de plus grandes quantités d'eau. Ces sels sont

extrêmement nuisibles à la cristallisation des jus et diminuent notablement le rendement en entraînant dans les mélasses une grande quantité de sucre. Il ne faut donc pas employer des eaux corrigées par l'addition de sels aussi nuisibles que ceux que l'on veut transformer, et l'on utilisera de préférence les eaux de condensation.

L'*osmose* au travers des feuilles de parchemin a pour but d'enlever aux mélasses les sels qui gênent la cristallisation du sucre; les phénomènes d'*osmose* et d'*endosmose* se produiront d'une façon d'autant plus complète, que l'eau employée à extraire les sels des mélasses contient elle-même moins de sels. Par double courant, les matières salines de la mélasse sont éliminées en laissant la masse sucrée capable de cristalliser.

La paroi perméable qui sert à ces échanges peut, avec des eaux impures, s'obstruer plus ou moins, et, comme la porosité du papier parchemin diminue par ce fait même, la diffusion se fait mal; on est alors obligé de changer fréquemment le parchemin, sous peine de voir diminuer le rendement.

L'eau doit être débarrassée non seulement des sels calcaires, mais aussi des autres sels qui compromettent l'opération de l'*osmose*. C'est pourquoi il ne faut pas, sous prétexte de corriger l'eau, y introduire des sels qui sont aussi nuisibles que ceux que l'on veut éliminer. Tous les sels sont désavantageux pour les phénomènes de diffusion et d'*osmose*; aussi faut-il employer des eaux qui en soient dépourvues, comme celles provenant de la condensation de la vapeur des appareils de l'usine elle-même.

L'eau pure est donc indispensable dans les procédés modernes de la sucrerie, et l'on a pu se rendre compte

par l'exposé précédent que le bon fonctionnement des appareils : diffuseurs à triple effet et osmogènes, dépend, en grande partie, de la pureté de l'eau employée pour ces opérations les plus importantes de l'industrie sucrière.

X. L'eau en brasserie.

En brasserie, l'eau joue un rôle important non seulement par sa composition chimique, mais aussi par ses qualités bactériologiques.

Les substances minérales contenues dans l'eau ont une influence favorable ou défavorable, suivant la nature des sels dissous; mais, en général, l'eau devra être dépourvue de matières en suspension et contenir le moins possible de substances organiques qui compromettent gravement la fabrication en favorisant le développement des organismes plus ou moins nuisibles au travail de brasserie. C'est à ce point de vue que la question bactériologique des eaux intéresse au plus haut point le brasseur, qui doit se placer dans des conditions d'asepsie aussi parfaite que possible, — même dans les opérations accessoires telles que le lavage des cuves et des fûts, — pour obtenir de bons résultats.

La présence de tels ou tels éléments dans les eaux employées en brasserie présente des inconvénients plus ou moins graves, suivant les phases de la fabrication de la bière, qui comprend : le maltage, le brassage et la fermentation.

1) Les matières organiques sont nuisibles : elles favorisent le développement des organismes (moisissures...),

qui envahissent les grains lors de l'opération du trempage des orges et compromettent ainsi la germination des grains ou *maltage*, dont dépend le succès de la fabrication.

Dans le *brassage*, les matières organiques causent de même de graves désordres en paralysant partiellement ou totalement l'action de la levure.

Les matières organiques altèrent rapidement la bière et empêchent sa bonne conservation; il faudra éviter leur présence dans les récipients utilisés en brasserie.

On devra donc employer de l'eau aussi pure que possible au point de vue organique : une eau qui contient 0st,005 de matières organiques par litre est à rejeter. On peut se débarrasser des matières organiques contenues dans l'eau en les oxydant par le permanganate de potasse (10 gr. environ par mètre cube à l'ébullition); après filtration, on a une eau qui ne contient plus de matières organiques.

Les matières organiques azotées peuvent se transformer, par réduction, en ammoniaque et sels ammoniacaux ou, par oxydation, en azotites et azotates, sels qui sont nuisibles aux opérations (*maltage*, fermentation), soit qu'ils facilitent le développement des micro-organismes, soit qu'ils donnent naissance à des réactions chimiques au cours de la fabrication.

Il faut donc rechercher, dans les eaux utilisées en brasserie, la présence de l'ammoniaque libre ou combinée (voir analyse, p. 55) de l'acide azotique (azotates), et rejeter les eaux qui en contiendraient, car la présence des sels ammoniacaux et des azotates (ou azotites) entraîne de graves désordres dans la fabrication.

2) Les sels alcalino-terreux peuvent être nuisibles lorsqu'ils sont en excès; mais une eau d'une dureté moyenne (0^{gr},10 à 0^{gr},20 de sels alcalino-terreux par litre) donne, au contraire, de bons résultats dans le trempage des grains.

Les carbonates peuvent avoir diverses influences sur la fermentation (carbonate de chaux) ou sur l'action diastasique (carbonate de magnésie); ils peuvent même nuire à la bonne conservation de la bière, qui exige une certaine acidité, neutralisée dans ce cas par les sels calcaires. Il ne faut donc pas que ces sels soient en fortes proportions; en petite quantité ils peuvent être utiles, c'est ainsi que le sulfate de chaux donne à la bière des qualités appréciables (bon goût, conservation, coloration), et en effet les eaux séléniteuses ont été recherchées depuis longtemps pour la brasserie.

Les sels de fer qu'on rencontre dans les eaux, en proportions variables, sont nuisibles à la fabrication de la bière; ils la colorent, lui donnent mauvais goût, et peuvent diminuer l'activité de la diastase dans l'opération du brassage.

On élimine le fer des eaux ferrugineuses par oxydation et filtration du précipité d'hydrate ferrique formé.

En résumé, l'eau dont on doit faire usage en brasserie doit présenter les conditions suivantes : être fraîche, bien aérée, exempte de matières organiques et contenir peu de sels de chaux et de magnésie. En se plaçant dans ces conditions, on est sûr de ne pas se trouver en présence de complications au cours de la fabrication, complications qui sont dues à l'action complexe des éléments de l'eau au point de vue microbio-

logique. Les micro-organismes doivent être le moins nombreux possible, car les bactéries que l'on rencontre dans les eaux peuvent produire des accidents graves au cours de la fabrication ; aussi la bactériologie tient-elle une place importante dans l'industrie de la bière, et l'on peut dire que sa bonne fabrication dépend presque entièrement des conditions d'asepsie dans lesquelles se font les trois grandes phases de cette industrie : le maltage, le brassage, la fermentation, et on pourrait ajouter la conservation (stérilisation).

XI. L'eau en distillerie.

L'eau utilisée en distillerie doit présenter les mêmes qualités que celles que nous avons étudiées en brasserie.

Les conditions d'asepsie et de milieu favorable aux actions microbiologiques doivent être examinées avec peut être encore plus de soin que dans l'industrie de la bière : la levure, principalement, exige une eau exempte de matières organiques et de sels nuisibles à son développement (chlorure de calcium, sels de cuivre provenant des appareils). On opère dans un milieu neutre autant que possible, de façon à ce que la diastase produise son maximum d'effet, car la présence des acides (acétique, lactique) affaiblit considérablement l'action diastasique, et on doit se placer dans des conditions d'asepsie qui sont indispensables à la bonne marche de l'opération (stérilisation des mouts, des cuves, etc.).

La question biologique, d'une importance capitale en brasserie et en distillerie, mériterait un développement

plus considérable que celui que nous lui avons donné ici ; nous renvoyons aux ouvrages spéciaux pour l'étude si intéressante de ce sujet¹.

L'eau joue un autre rôle en distillerie : c'est celui de réfrigérant.

Les eaux chargées de sels peu solubles, ou devenant insolubles par départ de l'anhydride carbonique, finissent par se déposer sur les parois des appareils employés pour distiller les alcools.

Les bicarbonates de chaux, de magnésie, le sulfate de calcium, forment des dépôts sur le métal qui sépare l'eau de la vapeur à condenser, et cette croûte adhérente, mauvaise conductrice de la chaleur, empêche le refroidissement de se produire régulièrement, d'où l'obtention de produits de nature variable². Nous verrons, à propos des générateurs de vapeur, que le cuivre a une conductibilité de 100, la fonte de 63, les incrustations de 2 à 3 seulement ; il s'ensuit que 1 millimètre de dépôt empêche l'échange de chaleur de se faire entre les deux fluides, comme une paroi en cuivre de 2 cm. d'épaisseur ou une en fonte de 3 cm. (environ).

Le rendement de l'appareil est donc considérablement diminué quand on emploie des eaux contenant des sels calciques et magnésiens. La réfrigération doit être régulière, de façon à ce que le fractionnement des produits de distillation se fasse toujours de la même

¹ M. BÜCHELER, *Manuel de distillerie*. G. DEJONCHE, *Fabrication de l'alcool et de levures*. MOREAU et LÉVY, *Fabrication des bières*.

² On a remarqué que, dans la rectification, la proportion d'alcool « bon goût » variait avec l'état de propreté extérieure du métal de l'appareil.

manière, condition indispensable pour une bonne distillation; on utilisera donc, comme réfrigérant, de l'eau (naturelle ou épurée) exempte de sels incrustants.

L'eau a enfin un autre usage en distillerie : elle sert au *coupage* des alcools; on emploie généralement de l'eau distillée, car certains sels contenus dans l'eau ordinaire (sels alcalino terreux) peuvent précipiter, et certaines substances (matières organiques, ammoniacque, etc.) nuisent au goût, à la limpidité des alcools coupés avec des eaux impures.

XII. De l'eau dans la fabrication de la glace, des boissons et autres industries alimentaires.

Les eaux destinées à ces industries alimentaires doivent être évidemment *potables*.

La glace alimentaire doit être exempte de microbes pathogènes, c'est-à-dire que l'eau congelée naturellement ou artificiellement ne doit pas contenir de ces micro-organismes pathogènes qui résistent pour la plupart à l'action du froid; nous citerons en particulier le bacille d'*Eberth* (bacille typhique), qui ne perd pas sa virulence par congélation. Il est donc nécessaire de se servir d'eau stérilisée dans la fabrication de la glace.

L'eau devra donc être analysée, au point de vue chimique et au point de vue bactériologique, pour tous les usages alimentaires.

Outre la fabrication de la glace, l'industrie des boissons gazeuses (eaux de Seltz) devra employer des eaux

de bonne qualité au point de vue chimique, et exemptes de bacilles pathogènes, ce qu'on obtient en *stérilisant* les eaux par la chaleur ou par l'ozone (voir chapitre VII).

Il en sera de même pour la boulangerie, où une eau potable est indispensable, car les micro-organismes que contiendrait l'eau gêneraient les levures de fermentation en troublant le développement des ferments.

XIII. De l'eau dans les canalisations.

L'eau contient, nous l'avons vu, des matières en suspension et des substances en dissolution qui peuvent présenter des inconvénients plus ou moins graves pour les canalisations dans lesquelles elle circule et pour les réservoirs dans lesquels elle séjourne.

Les substances en suspension peuvent engorger les tuyaux et en diminuer le diamètre et, par suite, le débit; les matières dissoutes peuvent agir de la même façon lorsqu'elles précipitent et exercer en outre une action chimique sur la substance des conduites.

Les tuyaux de *fonte* s'oxydent rapidement si la canalisation se trouve alternativement vide et remplie, et cette oxydation se fait même avec l'eau distillée; elle est plus considérable avec les eaux chargées de sels comme l'azotate de potasse, l'azotate d'ammoniaque, qui favorisent l'oxydation. Pratiquement on ne se préoccupe pas de cette oxydation des conduites en fonte, car les eaux analysées pour l'alimentation des villes sont ordinairement de bonne qualité, et l'attaque du métal est relativement faible.

Les tuyaux de *fer* présentent les mêmes inconvénients

que la fonte : ils sont encore plus facilement attaquables, et pour éviter leur détérioration rapide on les revêt parfois de substances protectrices telles que le bitume, les vernis au goudron, etc.

Les tuyaux de *plomb* sont les plus usités pour les petites canalisations, et l'action des eaux sur le plomb constitue une question complexe qui a fait l'objet de nombreuses études.

L'eau pure attaque facilement le plomb, c'est un fait admis par tout le monde. L'eau pure attaque même le plomb plus aisément que les eaux chargées de sels (carbonates, etc.) ; car, si ceux-ci favorisent tout d'abord l'attaque, ils donnent rapidement naissance à du carbonate de plomb qui, en formant un enduit protecteur, empêche l'attaque ultérieure du métal.

Les matières organiques favorisent l'attaque du plomb.

Les eaux naturelles, qui circulent dans des tuyaux de plomb neuf, dissolvent des quantités notables de métal ($1/2$ mgr. par litre) ; mais peu à peu il se forme des incrustations de sels calcaires ou de sels de plomb, qui remplissent un rôle protecteur.

Néanmoins, comme l'action de l'eau sur le plomb dépend des éléments qui y sont contenus, on ne peut être fixé sur les quantités exactes de métal dissous dans l'eau qui a séjourné ou simplement circulé dans les canalisations en plomb. Pour éviter les accidents qui pourraient provenir de la présence de ce métal toxique, on a proposé de remplacer, pour les conduites d'eau potable, le plomb par le fer ou tout au moins par le plomb revêtu d'une couche d'étain.

Les conduites et réservoirs en *ciment* ne présentent

pas d'inconvénients, si ce n'est au début de leur mise en service, où l'eau se charge de chaux cédée par le ciment; mais cet inconvénient ne dure que quelques jours : les bicarbonates de chaux se dissocient, déposent leur carbonate neutre, de sorte que l'eau qui sort de la conduite de la Dhuis, après un parcours de 131 kilomètres, marque comme degré hydrotimétrique 20°,5, alors qu'à l'entrée elle marquait 23°.

Les conduites en *bois* (chêne, orme, etc.) doivent être enduites de goudron pour empêcher le bois de pourrir; mais, outre le prix élevé de ce traitement que l'on fait subir au bois, la présence du goudron donne à l'eau un goût désagréable. Aujourd'hui, du reste, les conduites en bois ne sont presque plus employées.

Nous n'insisterons pas sur cette question de la distribution des eaux, qui sort du cadre de cet ouvrage, et nous renvoyons pour ce sujet au traité de MM. Debauxe et Imbeaux¹.

¹ A. DEBAUXE et ED. IMBEAUX. *Distributions d'eau*.

CHAPITRE IV

DES EAUX D'ALIMENTATION DES GÉNÉRATEURS DE VAPEUR

La transformation de l'eau en vapeur est l'application industrielle de l'eau la plus importante. C'est grâce à la vaporisation que l'industrie moderne peut distribuer à son gré la chaleur nécessaire aux combinaisons chimiques, animer les rouages puissants des machines dont la force motrice est utilisée dans les usines ou comme moyens de transport.

La question de l'alimentation des générateurs à vapeur, qui de prime abord paraît si simple, est cependant une de celles qui préoccupent le plus l'industriel, car les nombreux désordres auxquels peut donner naissance l'eau qui entre dans une chaudière, pour s'y transformer en vapeur, nécessitent, pour la plupart des eaux, un traitement spécial destiné à apporter un remède à ces inconvénients.

Les eaux naturelles contiennent toutes des sels en dissolution, dont l'analyse nous a révélé l'existence. Elles en contiennent plus ou moins, et, suivant les proportions et la nature des sels dissous, elles sont bonnes

ou mauvaises pour l'alimentation des chaudières. Dans le cas où elles en contiennent peu, elles peuvent être employées sans inconvénients dans les générateurs de vapeur ; dans le cas où elles en contiennent des proportions notables, elles doivent être épurées ou corrigées, pour éviter les désordres plus ou moins graves auxquels elles donneraient naissance si on les utilisait telles quelles.

I. Des incrustations.

Quand on évapore une eau naturelle, les sels qui y sont dissous se déposent sur la paroi de la chaudière, sous forme de boues ou sous forme de dépôts plus ou moins adhérents, plus ou moins durs, plus ou moins épais, qui constituent les *incrustations*, désignées encore en terme de métier sous le nom de *tartre*.

Ces dépôts présentent de graves inconvénients : ils sont mauvais conducteurs de la chaleur, et par suite diminuent la vaporisation tout en augmentant la dépense de combustible.

En effet, la conductibilité variant avec la composition des incrustations, celles-ci peuvent diminuer dans des proportions considérables la quantité d'eau vaporisée pour une quantité donnée de charbon. Des expériences faites au Conservatoire des Arts et Métiers ont montré que dans une chaudière en bon état on vaporise 200 litres d'eau par heure avec 23 kilogrammes de charbon, tandis que dans une chaudière incrustée la vaporisation n'est plus que de 92 litres pour la même quantité de combustible. La quantité de chaleur, expri-

mée en calories, qui passe à travers une épaisseur de fer de 1 centimètre, est 10 fois plus grande que celle qui passe à travers la même épaisseur de tartre.

Si l'on compare les conductibilités calorifiques des principaux métaux utilisés dans la construction des générateurs à la conductibilité des incrustations calcaires surtout formées de carbonate de chaux et de sulfate de chaux, on constate que :

le pouvoir conducteur du cuivre est 100,	
— — de la fonte est 63,	
— — du fer est 42,	
— — des incrustations de CO^3Ca est	2,45,
— — des incrustations de SO^4Ca est	1,60.

Ces chiffres sont éloquents et montrent quelle quantité de chaleur perdue, et par suite de charbon brûlée en pure perte, entraînent les incrustations formées par les eaux à l'intérieur des générateurs de vapeur.

La dépense de combustible peut ainsi augmenter de 50 % pour une incrustation qui ne dépasse pas un centimètre, et il faut ajouter en outre les dépenses d'entretien pour le nettoyage et le piquage des chaudières, opérations onéreuses et pénibles, ayant pour but de gratter les dépôts (plus ou moins adhérents suivant les eaux) qui se sont formés sur la paroi interne des générateurs. Ces opérations, impossibles à effectuer dans les générateurs de forme compliquée dont l'emploi se généralise de plus en plus, ont en outre le désavantage de détériorer les tôles des chaudières et de les mettre rapidement hors de service.

Les incrustations présentent encore un inconvénient plus grave : elles peuvent donner lieu à des explosions. En effet, les dépôts adhérents, en augmentant d'épaisseur avec la durée de fonctionnement du générateur, forment des couches mauvaises conductrices de la chaleur, peu homogènes, qui par des dilatactions inégales peuvent se fissurer et livrer passage à l'eau, qui vient alors en contact avec la tôle portée au rouge : une volatilisation brusque se produit qui peut déterminer l'explosion de la chaudière : on a ce qu'on appelle un *coup de feu*.

Les incrustations peuvent aussi former des substances pulvérulentes qui sont entraînées dans les organes de la machine, cylindres par exemple, où elles rencontrent des huiles et graisses végétales ou animales qui, saponifiées, donnent naissance à un savon calcaire, nuisible au bon fonctionnement des organes de mouvement.

L'*entartement* des chaudières présente donc une série d'inconvénients plus ou moins graves, mais toujours préjudiciables à la conservation et au bon fonctionnement des générateurs ; aussi de tout temps a-t-on cherché à empêcher la formation de ces dépôts nuisibles à l'intérieur des générateurs.

On était alors obligé de nettoyer fréquemment les chaudières : on vidait celles-ci, et au moyen du burin on enlevait les plaques adhérentes. Cette opération longue et difficile, qui devait se renouveler assez souvent, surtout avec les eaux très chargées en sels (degré hydrométrique élevé), arrêtait le fonctionnement du générateur, détériorait les tôles, et était souvent incomplète, certaines parties de la chaudière ne pouvant être explorées et par suite nettoyées.

Pour éviter ces opérations coûteuses ou les rendre le moins fréquentes possible il est nécessaire d'employer, pour l'alimentation des chaudières, des eaux de bonne qualité, soit naturelles, soit après épuration et correction, ou bien encore d'éviter la formation des dépôts incrustants en cherchant à réaliser des dépôts boueux non adhérents.

La première méthode, qui est la meilleure à tous les points de vue, constitue l'épuration préalable des eaux servant à l'alimentation des générateurs, que nous étudierons longuement par la suite ; la seconde méthode consiste dans l'emploi de *désincrustants* ou d'*antitartants*, à l'intérieur même de la chaudière, pour éviter la formation de couches adhérentes aux parois du générateur.

Parmi les sels contenus dans l'eau, les uns sont sans inconvénients au point de vue de l'alimentation de générateurs de vapeur ; les autres, au contraire, sont nuisibles, et donnent naissance aux incrustations, c'est-à-dire au dépôt adhérent des sels incrustants.

Les sels incrustants des eaux naturelles sont : les *carbonates de magnésie* et de *chaux* (en dissolution à la faveur de l'anhydride carbonique contenu dans l'eau, à l'état de *bicarbonates*) ; les *sulfates de chaux* et de *magnésie*, et plus rarement la *silice*, qui donne des dépôts très durs de *silicates alcalins*.

Disons un mot de chacun de ces sels :

1° *Le carbonate de chaux* est abondamment répandu dans la nature (marbre, craie, etc.) ; c'est le carbonate neutre CO_3Ca , qui est peu soluble dans l'eau pure et dont les inconvénients seraient, par suite, négligeables,

si ce corps n'avait la propriété de se dissoudre dans l'eau chargée d'anhydride carbonique qui transforme le corps CO^2Ca en carbonate acide ou bicarbonate $(\text{CO}^3\text{H})^2\text{Ca}$, soluble dans l'eau.

Or l'ébullition chasse l'anhydride carbonique CO^2 qui était en dissolution dans l'eau, décompose le bicarbonate qui, perdant la moitié de son anhydride carbonique, repasse à l'état de carbonate neutre insoluble qui précipite : à une température de 150° le carbonate de chaux est totalement insoluble dans l'eau et se dépose.

A froid, l'eau *pure* en dissout seulement 3 centigrammes par litre.

Le dépôt de carbonate de chaux ne serait pas trop à redouter, car il est peu adhérent, si la présence des autres sels ne venait modifier cet état.

2° *Le carbonate de magnésie* se comporte comme le carbonate de chaux. Le carbonate neutre CO^2Mg est un peu plus soluble, et à une température assez élevée il peut donner naissance, par décomposition, à des oxydes de magnésie hydratés que l'on rencontre dans les incrustations.

3° *Le sulfate de chaux*, qui existe abondamment dans la nature (gypse), est le sel incrustant par excellence, car il donne des dépôts durs et fortement adhérents. Sa solubilité, qui varie avec la température, est maxima vers 35° (2 %) et va en diminuant jusque vers la température de 140 ou 150° , où elle devient nulle. Si on étudie la solubilité dans l'eau du sulfate de chaux SO^4Ca aux températures supérieures à 100° , ce qui est précisément le cas des générateurs à vapeur, on voit que :

A 103°, température qui correspond à peu près à 1 atmosphère, la solubilité de ce sel n'est que de 0,5 pour 100. Si on prend à l'aréomètre le degré de la solution, on trouve 12°,5.

A 115°-116°, qui correspond à une pression de 1^{atm},5 la solubilité n'est plus que de 0,27 %, et la solution marque 7° à l'aréomètre.

A 124°, température correspondant à 2 atmosphères, la solubilité diminue encore ; elle est de 0,14 %, et la solution marque 2°.

A 133° environ, la solubilité tombe à 0,02 ; et au delà vers 140° le sulfate de chaux est totalement insoluble et se précipite à l'état cristallisé. Il se redissout après refroidissement, suivant des proportions d'autant plus faibles que la température à laquelle il a été déposé est plus élevée. Le sel déposé à 105°, par exemple, met un temps considérable à se redissoudre dans l'eau relativement froide.

4° *Le sulfate de magnésium* existe surtout dans les eaux marines, mais aussi dans les eaux douces, où il prend naissance, par double décomposition, par l'action du sulfate de chaux sur le carbonate de magnésie hydraté.

Il est très soluble dans l'eau ; mais à chaud il forme, par réaction réversible, du carbonate de magnésium et du sulfate de calcium.

S'il était seul dans l'eau, il ne serait pas à redouter ; mais les actions qu'il exerce sur les autres sels le font ranger parmi les sels incrustants.

Outre ces sels, il existe encore d'autres composés minéraux que l'analyse chimique a décelés dans les

dépôts provenant de la concentration de l'eau par la chaleur. Aux carbonates de chaux et de magnésie, et au sulfate de chaux, il faut ajouter *la silice, l'alumine, l'oxyde de fer*, qui étaient en dissolution dans l'eau, et que l'on retrouve dans les incrustations.

Les autres substances minérales ne sont pas dangereuses, parce qu'elles sont indéfiniment solubles et ne se déposent pas par concentration; ce sont le sulfate de potasse, les azotates de potasse et de soude, les chlorures de sodium et de magnésium. Les chlorures présentent, par contre, une propriété désavantageuse pour les eaux d'alimentation des chaudières; c'est celle de se décomposer par la chaleur, surtout en présence des sels de magnésium, en acide chlorhydrique et hydrocarbonate de magnésie insoluble.

L'acide chlorhydrique ainsi dégagé est entraîné par la vapeur et attaque le métal du générateur en provoquant des *corrosions*.

La composition des incrustations varie suivant l'eau employée, et c'est l'analyse qui nous renseigne sur la nature et la quantité des sels incrustants.

Le sulfate de chaux est le sel le plus nuisible; c'est à sa présence qu'est due, dans la plupart des cas, la grande dureté des incrustations.

Il faut noter que la dureté diffère selon les circonstances dans lesquelles s'est faite la précipitation. La composition chimique varie aussi d'un point à un autre de la chaudière, par suite des inégalités de température que présentent les parois plus ou moins chauffées. Il va sans dire que les dépôts seront le plus abondants dans les parties du générateur qui auront été le plus exposées au feu.

La formation des incrustations dans les chaudières dépend donc de la composition de l'eau plus ou moins chargée en sels incrustants, mais aussi des conditions dans lesquelles se fait la précipitation. Lorsque celle-ci se fait lentement, le dépôt est cristallin et dur; si, au contraire, l'on porte rapidement l'eau à une température élevée, le dépôt est pulvérulent et présente un aspect d'autant moins cristallin, que la précipitation a été plus rapide. C'est pour cette raison que l'on a cherché à réaliser des dépôts pulvérulents, en utilisant des dispositifs produisant rapidement l'élévation de température de l'eau injectée dans les chaudières.

Si la formation des incrustations dépend de facteurs tels que la composition de l'eau et la température, l'aspect même de ces incrustations, leur texture, dépendent surtout de la composition chimique. Elles peuvent être grenues, poreuses, friables, stratifiées, claires ou foncées (du blanc au noir en passant par le jaune et le brun). Leur densité est aussi variable et peut renseigner sur la nature des incrustations.

L'épaisseur des dépôts varie non seulement avec la composition des eaux employées, mais aussi avec le régime du générateur. La couche de tartre atteint parfois une épaisseur de 4 à 6 centimètres, si l'on n'a pas soin de recourir au nettoyage fréquent des chaudières.

Si, par curiosité, on fait le calcul du poids des incrustations abandonnées dans une chaudière par l'eau de Seine, sachant que cette chaudière consomme une tonne de combustible pour 8 de vapeur et donne 0^{sr},26 de dépôt par kilogramme et par jour, on voit qu'en une journée on a un dépôt de $8000 \times 0^{\text{sr}},26 = 2$ kilos de substances déposées, et en un an $2 \times 30 \times 12 = 720$ kilos.

Or l'eau de Seine est une eau peu chargée, qui titre à peine 20° hydrotimétriques ; avec des eaux dures, pouvant donner jusqu'à 80° hydrotimétriques, on voit quelle quantité considérable de matières pourrait se déposer dans une chaudière à vapeur alimentée avec une telle eau. On comprend alors aisément de quelle importance est la nature de l'eau dans le fonctionnement des générateurs de vapeur.

Nous avons examiné précédemment l'analyse des eaux, nous allons indiquer ici la marche générale à suivre pour analyser une incrustation.

ANALYSE DES INCRUSTATIONS

1. Teneur en eau de combinaison. — 2 gr. de substance, placés dans une capsule de platine tarée, sont portés à l'étuve et maintenus à la température de 110° jusqu'à ce que le poids ne varie plus.

Les dernières pesées doivent être effectuées d'heure en heure.

La diminution de poids indique la proportion d'eau *hygroscopique* contenue dans les 2 gr. de substance. On multiplie par 50 pour rapporter à 100 gr.

2. Perte au feu. — La substance ainsi desséchée est ensuite calcinée fortement, pendant deux heures au moins, au contact de l'air, dans un moufle, jusqu'à ce que deux pesées consécutives soient concordantes.

La perte de poids constatée est désignée sous le nom de *perte au feu* ou *perte par calcination*. Elle représente : l'eau totale, les matières organiques et les autres éléments volatils (acide carbonique, etc.).

3. Dosage de la silice. — 2 gr. de la substance sont attaqués dans une capsule de porcelaine par 30 cm³ de HCl dilué au $\frac{1}{2}$, que l'on verse peu à peu, en ayant soin de recouvrir la capsule avec un entonnoir renversé pour éviter les projections.

On porte à l'ébullition pendant quelques minutes, et ensuite on évapore à sec sur un bain de sable à chaleur modérée, surtout vers la fin de l'opération.

On reprend par 10 cm³ de HCl au $\frac{1}{2}$, on fait digérer au bain de sable, on ajoute 30 cm³ d'eau et, après avoir laissé reposer pendant dix minutes, on filtre.

On lave le filtre et le résidu¹ avec de l'eau bouillante, jusqu'à ce que l'eau de lavage ne soit plus acide.

On dessèche le filtre dans une étuve à 105-110°, puis on l'introduit dans une capsule, de porcelaine ou de platine, tarée au préalable, et on calcine au moufle jusqu'à ce que les cendres du filtre ne présentent plus de parties charbonneuses.

L'augmentation de poids de la capsule tarée correspond à la quantité de silice contenue dans la prise d'essai; on multiplie par 50 pour rapporter à 100 gr.

4. Dosage du fer et de l'alumine. — Le liquide filtré et les eaux de lavage provenant du dosage de la silice sont concentrés par évaporation. On y verse ensuite 5 cm³ d'acide azotique et on porte à l'ébullition pendant quelques minutes pour peroxyder le fer.

On ajoute alors de l'ammoniaque jusqu'à odeur persistante, et on fait bouillir de nouveau.

¹ Ce résidu peut contenir outre la silice des impuretés insolubles provenant de l'emploi des désincrusters (aluminates de baryte), lorsque ceux-ci n'ont pas complètement accompli leur action.

Le fer et l'alumine précipitent ensemble; on laisse déposer pendant quelques instants et on filtre.

Le précipité resté sur le filtre est lavé plusieurs fois à l'eau bouillante, desséché à l'étuve à 105-110°, puis calciné dans une capsule tarée et pesé. L'augmentation de poids de la capsule donne la quantité de sesquioxyde de fer (Fe_2O_3) et d'alumine (Al_2O_3) contenue dans 2 gr. de substance.

On multiplie par 50 pour rapporter à 100.

5. Dosage de la chaux. — Le liquide filtré et les eaux de lavage provenant du dosage du fer et de l'alumine sont concentrés par évaporation. On y verse ensuite une solution d'oxalate d'ammoniaque à 10 o/o pour précipiter la chaux; on porte à l'ébullition et on laisse reposer pendant 12 heures pour permettre au précipité d'oxalate de calcium de se rassembler.

On filtre sur un filtre mouillé et on s'assure que la précipitation a bien été complète, en versant dans le liquide filtré quelques centimètres cubes de solution d'oxalate d'ammoniaque qui ne doivent pas produire le moindre louche si la quantité employée primitivement a été suffisante.

Le précipité et le filtre sont lavés plusieurs fois à l'eau bouillante, puis desséchés à l'étuve à 105-110°.

On détache ensuite aussi complètement que possible le précipité du filtre et on brûle ce dernier séparément. Les cendres du filtre sont ensuite réunies au précipité dans une capsule de platine tarée, et on calcine au rouge blanc pendant vingt minutes pour décomposer le précipité d'oxalate de calcium, qui est ensuite pesé rapidement à l'état de chaux vive.

L'augmentation de poids de la capsule tarée indique la quantité de chaux contenue dans la prise d'essai. On multiplie par 50 pour rapporter à 100.

6. Dosage de la magnésie. — Le liquide filtré et les eaux de lavage provenant du dosage de la chaux sont évaporés à sec dans une capsule de porcelaine de 1/4 centimètres de diamètre, puis calcinés d'abord avec précaution (pour éviter les projections), puis plus fortement jusqu'à disparition complète de fumées blanches, pour détruire les sels ammoniacaux.

On reprend par 5 cm³ de HCl, on étend d'eau, on filtre, on lave le filtre à l'eau bouillante en recueillant le filtrat et l'eau de lavage dans un verre à précipité. On ajoute de l'ammoniaque jusqu'à odeur persistante et on verse une solution concentrée de phosphate de soude. On agite vivement avec un agitateur en verre et on laisse déposer pendant 12 heures le précipité de phosphate ammoniaco-magnésien formé.

Au bout de ce temps, on filtre et on lave le filtre et le précipité avec de l'eau contenant un peu d'ammoniaque.

On dessèche à 105-110°, on détache le précipité du filtre, on brûle ce dernier séparément et on réunit les cendres du filtre au précipité dans une capsule de platine tarée, puis on calcine au moufle. Si le résidu calciné n'est pas complètement blanc, on l'humecte, après refroidissement, avec quelques gouttes d'acide azotique qu'on évapore en chauffant avec précaution, et on recommence jusqu'à obtention d'un résidu blanc que l'on pèse à l'état de pyrophosphate de magnésie.

Ce poids, multiplié par 0,3603, puis par 50, donne

la quantité de magnésie contenue dans 100 gr. de la substance analysée.

7. Dosage de l'acide sulfurique (en SO^3). — 2 gr. de la substance et 20 cm^3 de HCl étendu sont introduits dans une capsule de porcelaine de 1/4 cm de diamètre et portés à l'ébullition pendant 10 minutes. On évapore à sec au bain-marie, on reprend par 10 cm^3 de HCl étendu, on verse 40 cm^3 d'eau et on filtre.

Le filtre et le résidu sont lavés plusieurs fois à l'eau bouillante.

Le liquide filtré et les eaux de lavage, recueillis dans un matras, sont portés à l'ébullition. On y verse une solution de chlorure de baryum à 10 % et, après avoir maintenu l'ébullition pendant quelques instants, on laisse déposer pendant 12 heures le précipité de sulfate de baryte formé.

On décante avec précaution sur un filtre mouillé, puis on fait passer le précipité sur le filtre, et on lave à l'eau bouillante jusqu'à ce que quelques gouttes du liquide filtré ne donnent aucun louche avec une goutte de solution de nitrate d'argent.

On dessèche ensuite à l'étuve à 105-110°. On sépare le filtre du précipité, on brûle le filtre à part, on réunit ses cendres au précipité et on calcine le tout fortement au moufle dans une capsule de platine ou de porcelaine tarée.

L'augmentation de poids donne la quantité de sulfate de baryte obtenu, et on calcule le poids d'acide sulfurique (SO^3) correspondant, en multipliant le poids trouvé par 0,3432 puis par 50 pour rapporter à 100 gr. de substance.

8. Dosage de l'anhydride carbonique. — On emploie, pour ce dosage, un petit ballon à fond plat, de 60 cm³ de capacité, fermé par un bouchon à deux trous.

Dans l'un des trous passe un tube coudé, rempli de ponce sulfurique ou de chlorure de calcium desséché ; dans l'autre, un tube à boule dont la partie supérieure est terminée par un petit tuyau de caoutchouc pouvant être obturé au moyen d'une pince ; le tube, très fin, descend jusqu'au fond du ballon.

La boule a été remplie, par aspiration, d'acide chlorhydrique étendu de son volume d'eau, de sorte qu'en refermant la pince, l'acide ne peut s'écouler.

1 gramme de substance en poudre est introduit dans le flacon, que l'on bouche au moyen du dispositif ci-dessus indiqué, puis on pèse.

En desserrant un peu la pince, on fait tomber l'acide goutte à goutte sur la substance ; l'anhydride carbonique déplacé se dessèche dans le tube à ponce sulfurique et s'échappe au dehors. On agite de temps en temps, et vers la fin on chauffe légèrement.

On classe ensuite tout l'anhydride carbonique en ouvrant la pince et en aspirant, soit avec une trompe, soit avec la bouche.

L'appareil est ensuite, après refroidissement, porté sur le plateau de la balance, et la perte de poids constatée correspond à l'anhydride carbonique dégagé.

En multipliant le poids d'anhydride carbonique (CO²) par 2,2727, on obtient le *carbonate de calcium* correspondant à la totalité de CO².

Voici, à titre d'exemple, deux analyses d'incrustations, ainsi que celles des eaux qui leur ont donné naissance :

L'eau dans l'industrie.

4*

ANALYSES D'EAUX

	I.	II.
Silice	0,0114	0,0084
Alumine	traces	0,0022
Chaux	0,1536	0,0845
Magnésie	0,0180	0,0081
Acide sulfurique combiné	0,0162	0,0205
Acide carbonique combiné	0,1133	0,0638
Chlorure de sodium	0,0250	0,0336
Résidu salin	0,3795	0,2382
Matières organiques	0,0110	0,0297
Résidu total séché à 110°.	0,4235	0,2679
Degré hydrotimétrique	35°	19°

INCRUSTATIONS PRODUITES PAR LES EAUX
CI-DESSUS

	I.	II.
Eau	1,12	0,88
Perte au feu	2,52	7,02
Silice	16,36	8,14
Oxyde de fer et alumine	3,10	1,30
Chaux	30,20	40,96
Magnésie	7,02	6,62
Acide sulfurique combiné	10,54	4,93
Acide carbonique combiné	24,86	27,50
Cuivre ¹	0,32	0,12
Divers	3,66	2,53
Nature des incrustations	Lamelles grises, dures, peu adhé- rentes.	Dépôts boueux, sans adhé- rence.

¹ On rencontre fréquemment dans les incrustations de faibles quantités de cuivre provenant de la tuyauterie et de la robinetterie des générateurs. On dose cet élément par les procédés habituels de l'analyse quantitative.

Nous avons déjà entrevu précédemment les inconvénients dus aux incrustations produites dans les générateurs de vapeur; nous allons y revenir plus en détails, avant de chercher, comme nous le ferons plus tard, un remède à ces inconvénients souvent graves, toujours nuisibles au bon fonctionnement des appareils producteurs de vapeur.

1° *Dépense de combustible provenant de la diminution de puissance des chaudières.* — Le tartre est, nous l'avons vu, mauvais conducteur; donc une couche de tartre augmente non seulement l'épaisseur des parois, mais offre une certaine résistance au passage de la chaleur, résistance d'autant plus considérable que la couche est plus épaisse. La quantité de chaleur vraiment utile pour vaporiser l'eau diminuant par ce fait même, la quantité de vapeur produite diminue aussi, et le rendement devient mauvais.

Pour parer à cette diminution de puissance des générateurs de vapeur, le moyen peu économique qui s'impose est de forcer le feu en augmentant la consommation de combustible.

La dépense de charbon peut alors devenir double de celle que nécessiterait une chaudière non revêtue intérieurement des croûtes d'incrustations qui interceptent la chaleur. Le rendement, par kilogramme de charbon, en vapeur produite peut diminuer de 25 %.

2° *Détérioration des corps cylindriques et des faisceaux tubulaires.* — Outre la question économique que présente la dépense exagérée de combustible pour pousser les feux, il faut encore envisager les accidents qui

peuvent en résulter pour les tôles de chaudières et le métal des faisceaux tubulaires.

Le métal (tôle de fer, cuivre) qui constitue la paroi des corps cylindriques ou des tubes n'étant plus en contact direct avec l'eau, dont il est isolé par une couche protectrice de tartre, est soumis à des dilata-tions inégales qui peuvent entraîner des déformations et la brûlure des tôles.

En effet, le métal est surchauffé, et la paroi en con-tact avec le gaz du foyer est soumise à l'action énergique de ces gaz chauds provenant du combustible et qui sont plus ou moins oxydants et sulfurants, suivant la qualité du charbon employé. Le métal est brûlé et ne tarde pas, lorsque la chaudière est depuis quelque temps en service, à se boursoufler, se gondoler et crever.

Un autre accident aussi grave, — qui se produirait fréquemment si l'on n'employait pas divers procédés pour se débarrasser des incrustations, — est dû aux fis-sures qui peuvent se produire dans la couche de tartre recouvrant la paroi interne du générateur. En effet, si pour une cause quelconque la croûte incrustante vient à se détacher ou à se fendiller, le métal surchauffé se trouve brusquement au contact de l'eau, qui se volati-lise, entraînant le plus souvent l'explosion de la chaudière sous cette élévation subite de pression : les soupapes d'échappement ne suffisent pas à l'expulsion de l'excès de vapeur, et la chaudière *saute*.

Sans produire d'aussi graves accidents, les incrusta-tions diminuent, en tous cas, considérablement la durée des corps cylindriques et des faisceaux tubulaires. Elles entraînent l'usure du métal lors des nettoyages et des

piquages plus ou moins fréquents auxquels sont soumises les chaudières.

Aussi, les traitements que l'on fera subir à l'eau en vue de son épuration sont économiques; car, en supprimant les incrustations dangereuses, ils prolongeront la durée des appareils qui seraient rapidement mis hors de service.

Nous citerons, comme exemple, le cas des locomotives qui, alimentées avec de l'eau pure ou épurée, fournissent un parcours de plus de 200000 kilomètres, tandis que les faisceaux tubulaires des machines alimentées avec des eaux non épurées doivent être remplacés après un parcours ne dépassant pas 140000 kilomètres. Les lavages des machines deviennent en outre moins fréquents, et la quantité de combustible ne dépasse pas les limites prévues pour des chaudières en bon état¹.

3° *Corrosions*². — Les eaux d'alimentation peuvent encore détériorer les parois des chaudières par l'action des éléments qu'elles contiennent en dissolution (solides et gaz) en donnant naissance aux *corrosions* que nous examinerons plus loin.

Par ce qui précède, on peut se rendre compte de l'importance qu'on doit attacher à la qualité de l'eau d'alimentation des chaudières à vapeur.

Si l'on veut éviter tous les inconvénients que nous avons passés en revue : dépense de combustible, mise

¹ Note sur l'épuration de l'eau d'alimentation des locomotives par MM. Carcenat et Derennes, ingénieurs au Chemin de fer du Nord.

² Voir l'étude des corrosions, p. 166.

hors de service rapide des corps cylindriques et des faisceaux tubulaires, explosions et coups de feu, brûlures des tôles et corrosions, il faut alimenter les générateurs avec des eaux naturellement pures ou épurées, ou bien encore empêcher, comme nous allons le voir, la formation des dépôts *incrustants* au sein même de la chaudière.

L'épuration préalable des eaux d'alimentation est assurément le meilleur moyen de prévenir les incrustations; mais c'est un moyen assez coûteux, tout au moins au point de vue de l'installation des appareils. Aussi dans l'alimentation des chaudières à vapeur, on emploie encore un autre moyen, moins efficace, qui ne nécessite aucune installation spéciale, et donne néanmoins des résultats satisfaisants sans atteindre pour cela les résultats excellents que donne l'épuration préalable : c'est l'introduction, dans les chaudières, de substances *désincrustantes* ou *tartrifuges*.

II. Des désincrustants.

Les *désincrustants*¹ sont des substances que l'on introduit dans les eaux des générateurs de vapeur pour combattre les incrustations; ils agissent soit mécanique-

¹ Il y aurait lieu de distinguer les *désincrustants* des *antitartrants* ou *tartrifuges*. Les *désincrustants* désignent plus exactement les substances destinées à détruire le tartre déjà formé dans un générateur, tandis que les *antitartrants* ou *tartrifuges* sont destinés à empêcher la formation de ce tartre. Les premiers jouent le rôle de palliatif, les seconds celui de préventif; mais dans la pratique on confond ordinairement désincrustants et antitartrants, car ces produits, souvent identiques, remplissent le même office.

ment, soit chimiquement, souvent des deux façons à la fois.

Les substances désincrustantes ont pour effet d'empêcher la formation du tartre, et de donner des dépôts boueux, qu'un simple lavage ou grattage de la chaudière peut enlever sans recourir au *piquage*, si nuisible à la bonne conservation des chaudières.

Les substances qui agissent mécaniquement sont des matières inertes que l'on introduit dans les générateurs et qui empêchent la formation de couches compactes adhérentes. On n'emploie plus beaucoup aujourd'hui ces désincrustants, qui, sous la forme de corps solides, usaient non seulement les parois, mais pouvaient être entraînés hors de la chaudière et nuire au bon fonctionnement des organes de la machine.

Parmi les substances agissant mécaniquement, nous citerons le verre pilé, l'argile, le talc, les rognures de pommes de terre, etc.

Ces corps agissent comme matières inertes provoquant des phénomènes d'action mécanique, mais peuvent avoir aussi une action sur les sels alcalino-terreux contenus dans les eaux.

Nous n'insisterons pas sur l'emploi des agents mécaniques qui est à peu près abandonné aujourd'hui, et nous passerons à l'étude des désincrustants chimiques.

Les désincrustants qui agissent *chimiquement* sont des produits minéraux ou organiques.

Les désincrustants salins sont à base de sels de soude, tels que la soude et le carbonate de soude, tannates alcalins ; ou à base de sels de baryum, tels que la baryte et l'aluminate de baryum.

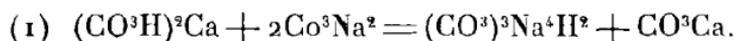
Les désincrusters organiques ont pour but d'introduire, dans la formation même des dépôts, un corps organique qui peut être décomposé par la chaleur au contact du métal chauffé et détacher ainsi l'incrustation de la paroi.

Il est à remarquer que l'on peut combattre les incrustations de deux manières différentes : ou bien en augmentant la solubilité des sels incrustants, ou bien en transformant, par double décomposition, ces sels en d'autres qui ne possèdent pas le pouvoir incrustant. De nombreuses substances organiques ou minérales ont été préconisées pour atteindre l'un ou l'autre de ces buts.

C'est ainsi que l'hyposulfite de soude, le chlorhydrate d'ammoniaque, les tannates alcalins, les matières sucrées, la glycérine, augmentent la solubilité des sels alcalino-terreux, tandis que le carbonate de soude, l'aluminate de baryte, le silicate de sodium, etc., donnent naissance à des sels non incrustants. Nous allons étudier spécialement les substances minérales et organiques les plus employées comme désincrusters.

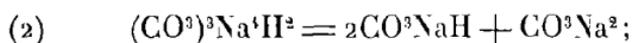
1° *Soude et carbonate de soude.* — La soude, réagissant sur le bicarbonate de chaux contenu dans l'eau, donne naissance à du carbonate de chaux CO^3Ca et à du carbonate de soude CO^3Na^2 , qui peut réagir à son tour sur les sels alcalino-terreux.

Le carbonate de soude agit sur les sels incrustants en précipitant le bicarbonate de chaux $(\text{CO}^3\text{H})^2\text{Ca}$ en solution dans l'eau à la faveur du gaz carbonique :

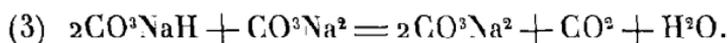


Le sesquicarbonat $(\text{CO}^3)^3\text{Na}^4\text{H}^2$ se décompose à son

tour pour donner du carbonate de soude CO^3Na^2 :

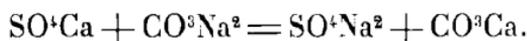


mais le bicarbonate CO^3NaH est décomposé dans l'eau à l'ébullition, et on a finalement :



Le carbonate de calcium se trouve ainsi précipité et le carbonate de soude régénéré. Une faible quantité de carbonate de soude introduite une fois pour toutes suffit donc à accomplir le cycle des réactions et à précipiter de grandes quantités de carbonate de chaux.

Le carbonate de soude n'agit pas seulement sur le bicarbonate de chaux, mais aussi sur les autres sels contenus dans l'eau : avec le sulfate de chaux il se forme du carbonate de calcium qui précipite, et on obtient du sulfate de soude soluble :



De même, le chlorure de calcium intervient dans la réaction avec le carbonate de soude, pour donner du chlorure de sodium et du carbonate de chaux qui précipite :



Les sels de magnésium donnent des réactions analogues.

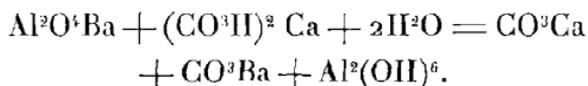
La présence des sulfates entraîne donc une dépense de réactif (CO^3Na^2), car celui-ci n'est plus régénéré, comme dans le cas des bicarbonates.

On calculera la quantité de carbonate de soude à introduire dans une chaudière pour un temps donné en se basant sur la quantité de sulfate de calcium et de

sulfate de magnésium contenue dans l'eau employée pour alimenter le générateur. C'est l'analyse qui nous donne ces renseignements, et c'est sur les résultats trouvés que nous tablerons pour introduire la quantité de réactif le plus justement possible, pour ne pas en mettre un excès qui pourrait être nuisible.

2° *Aluminate de baryte.* — On emploie beaucoup, actuellement, l'*aluminate de baryum* comme désincrustant, malgré son prix assez élevé, car il a l'avantage de précipiter à la fois le bicarbonate et le sulfate de calcium.

Si nous donnons à l'aluminate de baryum la formule $\text{Al}^2\text{O}^4\text{Ba}$, la réaction qui se produit avec le bicarbonate de calcium peut se représenter de la façon suivante :



Il se forme donc du carbonate neutre de calcium et du carbonate de baryum qui précipitent, et il ne se produit pas de réaction secondaire; mais le carbonate de baryum formé agira partiellement sur le sulfate de calcium pour le précipiter à l'état de sulfate de baryum :



Il est donc nécessaire, pour obtenir la précipitation totale du sulfate de calcium, d'ajouter une nouvelle quantité d'aluminate de baryum en proportion avec le sulfate de calcium contenu dans l'eau.

Le sulfate de calcium, en réagissant alors sur l'aluminate de baryum, donne du sulfate de baryum et de

l'aluminate de calcium, puisqu'on ne se trouve pas en milieu acide :



Pour déterminer la quantité de solution d'aluminate de baryum (à 5°B) qu'il est nécessaire d'employer pour l'épuration de l'eau d'alimentation des générateurs, on peut se baser sur deux données : le nombre de tonnes de charbon brûlées journellement, ou bien le nombre de mètres cubes d'eau consommés par jour.

1° Supposons un générateur de 100 chevaux, consommant environ 1 kilogramme de combustible par cheval-heure, soit à peu près 1000 kilog ou une tonne par journée de dix heures :

Avec une eau moyennement chargée (20° hydrotimétriques), on emploiera 2 kilogr. de solution d'aluminate de baryum par tonne de charbon consommée.

2° Si l'on ne connaît que le nombre de mètres cubes d'eau consommés journellement, on procède ainsi :

En multipliant par 10 le degré hydrotimétrique de l'eau à épurer, on obtiendra le nombre de grammes de solution d'aluminate de baryum à employer par mètre cube d'eau vaporisé.

Il arrive parfois que cette dose soit trop forte; mais dans certains cas, par exemple pour les eaux très chargées en sulfates, c'est-à-dire dont le degré permanent (degré obtenu après ébullition pendant une demi-heure) est supérieur au quart du degré hydrotimétrique total, il y a lieu de l'augmenter en ajoutant autant de fois 10 grammes de solution d'aluminate qu'il y a de différence entre ce quart et le degré permanent.

Exemple : Le degré hydrotimétrique total est 24.

Le quart est $\frac{24}{4} = 6$.

Le degré permanent est 12.

$$12 - 6 = 6.$$

La quantité de solution d'aluminate à employer sera : $(24 + 6) \times 10 = 300$ grammes par mètre cube d'eau.

Dans le cas inverse, on retranchera au lieu d'ajouter.

On ne perdra pas de vue que les doses ainsi déterminées (par la consommation de charbon ou d'eau) conviennent à l'eau vaporisée dans une chaudière neuve ou complètement détartrée.

Si la chaudière ne se trouve pas dans ces conditions, on devra veiller à ce qu'il y ait toujours un excès d'aluminate de baryum, même en fin de journée. On s'en assure en recueillant un demi-verre d'eau et en y ajoutant quelques gouttes d'acide sulfurique. S'il y a tant soit peu d'aluminate en excès, on obtiendra un léger précipité de sulfate de baryte.

Dans le cas contraire, on augmentera progressivement la quantité d'aluminate jusqu'au double s'il y a lieu.

On devra aussi procéder à des purges ou courtes extractions répétées le plus souvent possible (tous les jours, ou au moins tous les quatre ou cinq jours), tant que les boues extraites contiendront des grains ou des parcelles de tartre détaché provenant de l'action désincrustante de l'aluminate sur les incrustations qui se trouvaient préalablement dans la chaudière.

Lorsque cette période de détartrage est terminée, c'est-à-dire quand les boues sont devenues complète-

ment blanches et ne contiennent plus de grains de tartre, on emploie les doses normales.

Nous avons représenté les phénomènes par des formules de réaction ; en réalité, c'est une pure interprétation théorique, et dans la pratique les phénomènes ne répondent pas à ces équations : à la vérité, on n'est pas fixé sur les réactions qui ont lieu, mais l'essentiel est que ce produit donne de bons résultats. Il a le défaut de coûter un peu cher et d'être employé en quantités notables ; aussi doit-il être introduit dans les chaudières en quantités calculées d'après le degré hydrotimétrique de l'eau employée.

L'aluminate de baryte n'est pas un produit chimiquement pur : il contient, outre l'alumine et la baryte, de la silice, des carbonates, de l'eau, car on l'obtient en calcinant, sur la sole d'un four, un mélange de bauxite (alumine hydratée naturelle) et de withérite (carbonate de baryum naturel) et de charbon. On obtient ainsi ce qu'on appelle des *frittes*, dont une partie est soluble dans l'eau, et c'est cette solution¹ contenant l'aluminate et marquant environ 5°B qui agit comme désincrustant. Cette solution se carbonate à l'air et s'altère rapidement ; de plus, la présence du sel de baryum les rend toxiques, ce qui n'a pas d'inconvénients pour l'alimentation des chaudières, mais pourrait en avoir au point de vue de la potabilité, surtout s'il y a un excès de réactif qui n'a pas réagi. Les solutions obtenues par épuisement d'une partie de frittes pour dix parties

¹ Nous faisons usage, aux *Chemins de fer de l'État*, de cette solution d'aluminate de baryte dans l'eau d'alimentation des machines.

d'eau environ doivent être utilisées en doses proportionnées aux impuretés de l'eau : on peut déterminer approximativement la quantité de grammes d'aluminate à employer par mètre cube d'eau vaporisée, en multipliant par 10 le degré hydrotimétrique. Mais l'usage renseignera mieux sur la dose exacte à employer dans chaque cas.

Nous donnons à titre de document la composition d'un échantillon de frites d'aluminate de baryte :

Silice	4,30
Baryte	54,69
Alumine	37,40
Anhydride, carbonique et divers . .	3,61
	<hr/>
	100,00

Préparation de la solution d'aluminate de baryum.

— Dans 500 litres d'eau on verse 50 kilogrammes de frites d'aluminate, et on porte le mélange à la température de 100°, au moyen d'un jet de vapeur et en agitant continuellement pendant une heure, à l'aide d'un malaxeur.

On laisse reposer jusqu'à refroidissement, puis on décante le liquide surnageant le résidu insoluble.

Cette solution refroidie doit marquer 5°B.

Elle s'altère facilement au contact de l'air ; il est indispensable de la conserver dans des récipients hermétiquement fermés.

On peut, du reste, éviter la préparation de cette solution en l'achetant prête pour l'emploi et au degré voulu.

D'après M. Arth, la solution commerciale marquant 5° B contient, au début, 12^{gr},6 d'alumine et 23^{gr},3

de baryte par litre. Ces quantités ne correspondent pas à un rapport moléculaire simple.

Quoique conservé dans un flacon bien bouché, le liquide présente au bout d'un certain temps un dépôt blanc d'alumine et de baryte légèrement carbonatée. Ce dépôt blanc continue à se former, et *il en résulte qu'on ne peut garder cette solution intacte même à l'abri de l'air.*

Quant au mode d'action, M. Arth¹ a fait réagir à l'ébullition pendant 20 minutes une quantité connue d'une solution titrée d'aluminate de baryte commerciale, sur un volume connu d'une solution titrée de sulfate de chaux *pur*. Il a recueilli le précipité sur un filtre et l'a analysé. Ses observations sont les suivantes :

L'aluminate de baryte ne réagit pas comme le veut la théorie.

En aucun cas, on n'a pu constater dans le précipité l'absence complète *d'acide sulfurique soluble dans l'acide chlorhydrique dilué, et toujours il y a de la chaux dans le liquide filtré.* Il se produit donc toujours un équilibre et non une réaction totale. Il est impossible de calculer à l'avance la dose de Al^2O^3Ba nécessaire pour l'épuration.

En résumé, il est réellement possible de précipiter une quantité donnée de sulfate de chaux avec une dose théoriquement insuffisante d'aluminate de baryum ; *mais le liquide obtenu après l'opération n'est jamais totalement exempt de composés solubles.*

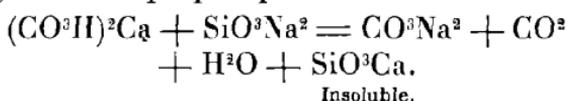
Ces expériences s'appliquent à l'aluminate de baryte vendu en solution ; quant au produit vendu en fritte,

¹ *Bulletin de la Société Chimique de Paris*, XXVII, p. 164.

le titre en matières solubles est généralement peu élevé, et diminue beaucoup avec le temps, par suite d'une rétrogradation semblable à celle de la solution.

L'emploi de l'aluminate de baryte comme désincrustant nous a donné des résultats satisfaisants, aux Chemins de fer de l'État; mais cependant ce produit n'a pas été exempt de critiques, et nous devons mentionner notamment celles de M. Arth¹, reprises par M. Chevalet² dans une note sur l'emploi de l'aluminate de baryte pour l'épuration des eaux d'alimentation des générateurs de vapeur, et que nous avons résumée précédemment.

3° *Silicate de soude*. — On a proposé ce sel comme désincrustant, car il transforme les bicarbonates en silicates gélatineux qui précipitent



Le carbonate de soude formé agit pour son compte sur le bicarbonate de chaux, qui reste en solution dans l'eau.

Le silicate de soude agit aussi sur les sulfates, qu'il transforme en sulfate de soude soluble et en silicate de chaux ou de magnésie insolubles.



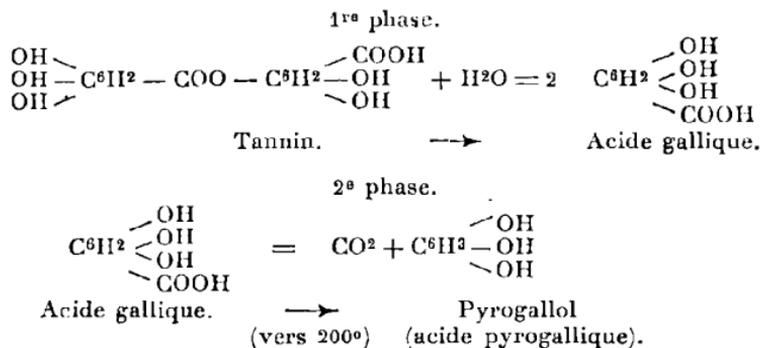
On emploie, dans l'industrie, des lessives de silicate à 35° Baumé, qu'on introduit pour un temps donné dans la chaudière, en quantités calculées d'après les proportions de sels incrustants contenus dans l'eau analysée.

¹ *Bulletin de la Société chimique*, XXVII, p. 164. Paris.

² Note sur l'emploi de l'aluminate de baryte par M. Chevalet, ingénieur à Troyes. 1905.

Les désincrustants que nous allons examiner maintenant agissent en augmentant la solubilité des sels alcalino terreux. A ce groupe appartiennent :

Le tannin et les tannates alcalins. — Le tannin ou acide digallique, combiné ou non à un alcali, s'hydrate au contact de l'eau, et comme le tannin est un éther de l'acide gallique, il se décompose en acide gallique. Cet acide gallique, par la chaleur, se dédouble à son tour en acide pyrogallique et anhydride carbonique d'après les réactions :



On obtient alors des tannates, gallates, pyrogallates de calcium et de magnésium :

Au tannin se rattachent les désincrustants provenant de *bois* divers, qui contiennent des substances tannantes, et qui donnent naissance à des composés alcalino-terreux non adhérents à la paroi des chaudières.

Ce sont des décoctions de copeaux de bois (campêche, québracho, châtaignier et autres), ou les copeaux eux-mêmes, qui, introduits dans les chaudières, agissent par les principes qu'ils contiennent.

Il est préférable d'employer les liquides désincrustants obtenus par ébullition, pendant plusieurs heures, de la sciure de ces bois avec un alcali (soude ou carbonate de soude). Ces décoctions sont introduites alors dans les générateurs en quantités calculées d'après le cubage de l'eau et le degré hydrotimétrique.

Les désincrustants organiques provenant des bois de teintures sont à peu près complètement abandonnés aujourd'hui et sont remplacés par des produits minéraux, tels que l'aluminate de baryte.

Nous citerons cependant, à titre de renseignements, les principaux désincrustants à base de tannin, et leur mode de préparation utilisé sur divers réseaux de chemins de fer français.

À l'État, on faisait usage d'un liquide composé de copeaux de bois de campêche et de carbonate de soude (130 kilos de bois, 150 kilos de CO_3Na^2 dans 1000 litres d'eau). On employait, par mètre cube d'eau et par degré hydrotimétrique, 20 gr. environ de ce liquide, et la quantité nécessaire pour le volume d'eau déterminé était introduite dans l'eau de la chaudière et des soutes.

À l'Ouest, on faisait bouillir de la sciure de québracho (24 kilogrammes) avec de la soude caustique (12 kilogrammes) pour 100 litres d'eau. Après trois heures d'ébullition on décantait et on épuisait le résidu par une nouvelle quantité d'eau. Les deux liquides mélangés marquaient 12° B environ et étaient introduits dans la chaudière, à raison de 250 gr. par mètre cube d'eau d'alimentation.

À l'Est, on faisait usage d'un liquide composé de carbonate de soude (10 kilos), d'extrait de châtaignier

(12 kilos), d'eau (78 litres). Ce produit contient environ 30 % de tannin.

Tous ces liquides agissent par le tannin qu'ils contiennent.

Calcul des doses des réactifs désincrustants. — Les réactifs chimiques employés comme désincrustants dans l'eau d'alimentation des générateurs de vapeur ne doivent pas, pour donner de bons résultats, être mis au hasard, mais en proportions calculées ou déterminées par l'expérience d'après la quantité d'eau et celle des sels incrustants qui y sont contenus.

Il sera donc indispensable, pour doser à bon escient le réactif à ajouter dans la chaudière, de connaître : le degré hydrotimétrique de l'eau employée, le modèle de générateur employé, la quantité de combustible consommé par jour, ainsi que la puissance du moteur et sa durée de fonctionnement par jour et par mois.

Avec ces renseignements on ne risque pas de mettre un excès de réactif désincrustant ou de ne pas en mettre assez. On introduit la dose de réactif tous les mois, pour éviter des frais de manipulation, au moyen d'aspirateurs spéciaux, ou en usant de la bêche alimentaire, des injecteurs, des graisseurs à doubles robinets, etc. Mais, en général, c'est par tâtonnements qu'on arrivera à de bons résultats, car les réactions théoriques indiquées ne représentent pas toujours tous les phénomènes qui se produisent entre l'eau et le réactif chimique utilisé. C'est par des essais successifs qu'on arrive à bien conduire l'opération.

Il est, par contre, évident que les proportions de réactifs à employer pour combattre les incrustations sont

en raison des sels incrustants contenus dans l'eau et doivent varier suivant la nature de l'eau.

Pour opérer dans de bonnes conditions, il est donc nécessaire de connaître la composition de l'eau à épurer et la composition du désincrustant employé.

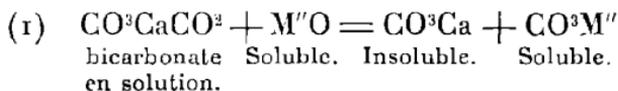
Nous ne nous occuperons pas des désincrustants de composition inconnue, répandus à profusion dans le commerce, et qui ne doivent, dans tous les cas, être utilisés qu'après plusieurs essais pratiques permettant de déterminer les conditions de leur emploi.

Mais un grand nombre de substances connues et définies peuvent être utilisées pour parer aux inconvénients causés par la présence du carbonate et du sulfate de calcium.

Ce sont les sels des métaux alcalins : carbonates, oxalates, chromates, bichromates, silicates, aluminates de potassium et de sodium, ou encore les oxydes des métaux alcalino-terreux : oxydes de calcium, de magnésium, de baryum, et l'aluminate de baryum.

Nous prendrons, comme premier exemple, le cas d'une eau calcaire, c'est-à-dire contenant principalement du carbonate de chaux :

Lorsqu'on opère la désincrustation d'une eau calcaire au moyen d'un des oxydes des métaux alcalins ou alcalino-terreux, il se produit la réaction suivante :



dans laquelle M'' représente un métal divalent.

On voit que l'acide carbonique en excès est saturé

par le réactif (oxyde alcalin ou alcalino-terreux) et qu'il y a formation et précipitation du carbonate de calcium.

Les poids moléculaires des diverses substances minérales désincrustantes (oxydes et sels) permettent de déterminer les quantités de réactifs qu'il est nécessaire d'employer.

Pour simplifier les calculs, on peut, à l'aide du tableau ci-dessous, chercher la quantité de réactif à employer pour désincruster une eau calcaire. Il suffit de multiplier le poids du carbonate de calcium contenu dans l'eau par le nombre correspondant trouvé dans ce tableau, en ayant soin, dans la pratique, d'augmenter un peu la dose de réactif, les nombres ci-dessous représentant les oxydes et les sels anhydres.

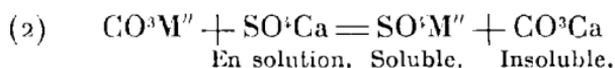
	Carbonate.	Oxalate.	Oxyde.	Silicate.	Aluminate.	Chromate.	Bichromate.
Sodium . . .	1,06	1,34	0,62	1,22	6,60	1,625	2,63
Potassium . .	1,38	1,66	0,94	1,54	6,92	1,945	2,95
Magnésium .	"	"	0,40	"	"	"	"
Calcium . . .	"	"	0,56	"	"	"	"
Baryum . . .	"	"	"	"	7,51	"	"

Supposons qu'il s'agisse de désincruster une eau contenant non seulement du carbonate de calcium, mais aussi du sulfate de calcium (eau séléniteuse) et que l'on ait d'abord employé, pour combattre le carbonate de calcium, une des substances indiquées dans le tableau ci-dessus.

Il faut maintenant, pour se débarrasser du sulfate de calcium, considérer les deux cas qui peuvent se présenter, suivant la substance qu'on aura employée pour se débarrasser du carbonate.

1° Pour combattre le carbonate de calcium, on a utilisé, par exemple, un des réactifs suivants : *carbonate, silicate, aluminat, oxyde de potassium ou de sodium*.

La réaction indiquée ci-dessus nous montre que la précipitation du carbonate de calcium a pour conséquence la formation d'un carbonate correspondant soluble qui peut réagir à son tour sur le sulfate de calcium contenu dans l'eau et produire la précipitation du carbonate de calcium insoluble :



D'après les réactions (1) et (2), une molécule de la substance employée comme réactif pour le carbonate de calcium forme une molécule de carbonate correspondant soluble, qui, à son tour, précipite une molécule de sulfate de calcium.

Un certain rapport existe donc entre le sulfate de calcium et le carbonate de sodium pour obtenir une désincrustation complète; mais tant qu'il y aura formation de carbonate soluble $\text{CO}^3\text{M}''$, il y aura précipitation du sulfate de calcium, et la désincrustation se trouvera limitée par le rapport des poids moléculaires du sulfate de calcium et du carbonate de calcium :

$$\frac{\text{SO}^4\text{Ca}}{\text{CO}^3\text{Ca}} = \frac{136}{100} = 1,36;$$

rapport que M. de la Coux désigne sous le nom de *coefficient d'incrustation*.

Il suffit donc, pour désincruster une eau au moyen d'un des réactifs énumérés ci-dessus, d'établir le rapport qui existe entre les quantités de sulfate de calcium

et de carbonate de calcium contenues dans cette eau (quantités déterminées par un essai hydrotimétrique) et de comparer ce rapport au coefficient d'incrustation : 1,36

Si le rapport $\frac{\text{SO}^4\text{Ca}}{\text{CO}^3\text{Ca}}$ est *inférieur* à 1,36, il est inutile d'ajouter de nouvelles quantités de réactif et on se bornera à calculer, d'après le tableau ci-dessus, les quantités de substances qu'il est nécessaire d'introduire dans l'eau, comme on l'a indiqué pour le carbonate de calcium.

Si le rapport $\frac{\text{SO}^4\text{Ca}}{\text{CO}^3\text{Ca}}$ est *supérieur* à 1,36, le sulfate de calcium est en excès, et une partie seulement de ce sulfate sera précipitée par la réaction secondaire.

Il faudra donc précipiter cet excès de sulfate de calcium par un des réactifs suivants : *carbonate de potassium, de sodium, de magnésium* ou *chlorure de baryum*, dont on déterminera la quantité à employer par le calcul suivant :

Le poids de sulfate de calcium précipité par le carbonate de calcium qui se forme par la réaction secondaire s'obtient en multipliant par 1,36 le poids de carbonate de calcium contenu dans l'eau,

Donc, si nous désignons par P le poids total de carbonate de calcium contenu dans l'eau,

$P \times 1,36$ indiquera la quantité totale de sulfate de calcium précipité.

Si nous désignons par p le poids total du sulfate de calcium contenu dans l'eau, il restera encore à précipiter une quantité de sulfate de calcium égale à :

$$p - (P \times 1,36),$$

et pour cela on emploiera l'un des réactifs indiqués plus haut, après en avoir déterminé la quantité nécessaire en multipliant le poids de sulfate de calcium par le multiplicateur correspondant :

	Multiplicateurs,
Carbonate de potassium.	1,001
Carbonate de sodium	0,779
Carbonate de magnésium	0,617
Chlorure de baryum.	1,529

En résumé, si on représente par m le multiplicateur de chaque réactif, la quantité de réactif à introduire dans l'eau pour précipiter le sulfate de calcium sera donnée par la formule :

$$(p - 1,36 P) m.$$

2° Pour précipiter le carbonate de calcium, on a employé l'un des réactifs suivants : *oxalate de potassium ou de sodium, chromate, bichromate de potassium ou de sodium* ou, enfin, *aluminat de baryum*.

Nous supposons, comme dans le cas précédent, que l'eau contient, en plus du carbonate de calcium, une quantité notable de sulfate de calcium (eau séléniteuse).

L'emploi de l'un des réactifs énumérés ci-dessus ne produisant pas de réaction secondaire, il suffira, pour précipiter le sulfate de calcium, d'ajouter dans l'eau (en plus de la substance introduite dans cette eau pour combattre le carbonate de calcium) une quantité du même réactif calculée en multipliant le poids de sulfate de calcium contenu dans l'eau par le multiplicateur correspondant :

	Multiplieateurs.
Oxalate de potassium	1,220
— de sodium.	0,985
Chromate neutre de potassium	1,430
— — de sodium	1,194
Bichromate de potassium	2,169
— de sodium	1,933
Aluminate de baryum.	5,521

Avant de terminer ce qui est relatif aux incrustations et désincrustants, nous allons analyser l'étude de M. Wickersheimer sur la vaporisation¹ et l'emploi d'un désincrustant désigné sous le nom de *William's*.

Le phénomène de l'ébullition² de l'eau consiste dans le dégagement de la vapeur, c'est-à-dire dans l'ascension des bulles de vapeur moins denses que le liquide au sein duquel

¹ WICKERSHEIMER, *la Vaporisation*.

² Nous rappelons ici quelques propriétés de la vapeur d'eau.

On appelle *point d'ébullition* la température à laquelle l'eau se met à se transformer en vapeur en bouillant; ce point est de 100° c. pour une pression atmosphérique de 760^{mm} de mercure et augmente avec la pression que supporte la vapeur, mais suivant une loi inconnue; à la pression de 5 kilogrammes il est de 150°, et de 5 à 10 kilogrammes il augmente à peu près de 5° par kilogramme de pression.

La vapeur reste saturée tant qu'elle demeure en contact avec une partie de l'eau qui lui donne naissance; la pression de cette vapeur ne dépend que de sa température, et non pas, comme celle des gaz, du volume qu'elle occupe; si à température constante on diminue ce volume, de la vapeur se condense; mais si l'on augmente ce volume, il se forme de la vapeur, et la pression ne varie pas.

La *chaleur totale de vaporisation* de l'eau est la chaleur nécessaire pour porter de 0° à t° 1 kilogramme d'eau, sous la pression de saturation correspondant à t°, puis pour vaporiser ce kilogramme d'eau toujours sous cette même pression.

Elle augmente avec la pression; elle est, par exemple, de 637, 661 calories à 1, 5, 10 atmosphères.

elles prennent naissance. La vitesse de dégagement des bulles ne dépend que de la différence des densités du liquide et de la vapeur ; par conséquent, plus le liquide sera dense, plus la vitesse de dégagement sera grande. Si donc on ajoute à l'eau des sels solubles (chlorure de calcium, par exemple), ceux-ci augmentent la densité de l'eau ; mais la solution saline bout d'autant plus haut qu'il y a une plus grande quantité de sels dissous, c'est-à-dire que la solution est plus concentrée. - Il résulte de ce retard à l'ébullition que la vitesse du dégagement des bulles est d'autant plus grande que la quantité de chaleur cédée par ces bulles est plus considérable, enfin que le volume des bulles est plus petit : d'où il résulte pratiquement que la vapeur est plus sèche, et que sa puissance mécanique est plus grande.

L'eau tenant en dissolution des matières salines présente l'avantage de donner une ébullition plus régulière, évitant les graves inconvénients des entrainements d'eau dus aux soubresauts de l'eau en ébullition : c'est le *primage*, qui se produit fréquemment dans les locomotives.

La vaporisation du liquide salin, au contraire, sera plus régulière, plus rapide, et la vapeur formée plus sèche ; ce qui entraîne un accroissement de puissance mécanique, par suite une diminution de combustible.

Dans la pratique, on alimente les générateurs de vapeur avec des eaux naturelles plus ou moins chargées de sels, mais contenant toujours peu de sels, surtout après l'ébullition qui en précipite la majeure partie. Une eau naturelle présentera les mêmes inconvénients qu'une eau exempte de sels : mauvais rendement provenant d'une vaporisation moins active, ébullition irrégulière, et par suite *primage*.

Si les eaux salines sont avantageuses, c'est à condition que les sels qu'elles contiennent soient très solubles ; car nous avons vu que, dans les chaudières, les sels peu solubles se précipitent à toute température, donnant naissance aux *incrustations*.

Ces incrustations entraînent, comme on sait, de nombreux et graves inconvénients qu'on a cherché à éviter, autant que possible, par l'emploi de désincrustants.

Le désincrustant désigné sous le nom de *William's* est, d'après M. Wickersheimer, un composé de tannin et de matières mucilagineuses de la tannerie additionné de chlorure de baryum.

Ce produit, ajouté à l'eau de la chaudière, a une double action physique et chimique. Le chlorure de baryum précipite les sulfates à l'état de sulfate de baryte insoluble, que les matières mucilagineuses du produit enrobent et empêchent ainsi d'adhérer à la tôle.

Ces mêmes matières pectiques enrobent les autres sels insolubles : le carbonate de chaux provenant de la décomposition du bicarbonate par la chaleur et le tannate de chaux qui résulte de l'action du tannin contenu dans le produit sur les sels de chaux.

Il se forme ainsi, au sein de l'eau, des sortes de laques qui, en suspension dans le liquide, sont entraînées par les courants produits à l'intérieur des chaudières.

Les matières mucilagineuses du *William's* agissent sur le tartre des parois de la chaudière, en s'introduisant dans les fissures qui se produisent dans la croûte incrustante par suite des dilatations inégales et le détachent. Il faut avoir soin d'introduire le produit par petites portions pour éviter les entraînements d'eau qui pourraient provenir du dégagement gazeux (CO^2) résultant de l'action du tannin sur les carbonates. On emploie ordinairement, par mètre cube, 5 kilogrammes de ce désincrustant qu'on introduit dans la chaudière en deux ou trois fois, c'est-à-dire en deux ou trois jours.

Le *William's*, dont les principaux constituants sont le tannin (40 gr. par kilog.), le chlorure de baryum (260 gr. par kilog.), est employé non pas en quantités calculées d'après les proportions des éléments contenus dans l'eau,

mais en quantités déterminées par l'expérience; car ce produit agit surtout comme agent physique en formant des laques enrobant le sel minéral incrustant.

Les boues formées sont extraites chaque jour, et M. Wickersheimer recommande de faire cette extraction journalière au moment de l'arrêt du travail, lorsque l'ébullition subit un ralentissement avant d'arriver à l'arrêt complet: les boues se précipitent ainsi vers les parties déclives de la chaudière et sont aisément expulsées sous la pression même de la vapeur encore contenue dans la chaudière.

Par ce mode opératoire on obtient des tôles propres, d'une façon économique, puisqu'on emploie le réactif non pas en quantités calculées d'équivalent à équivalent, mais en proportions bien inférieures aux quantités théoriques.

Les avantages réels que présente cette méthode de désincrustation des chaudières ont été contrôlés par les expériences de M. Wickersheimer, et voici comment l'auteur a opéré pour se rendre compte de la régularité de l'ébullition de l'eau contenant le produit William's:

« J'ai pris trois ballons d'environ 1 litre de capacité chacun. Dans l'un, j'ai versé un peu plus de 1 litre d'eau de Seine; dans le second, j'ai versé une dissolution de chlorure de calcium au dixième; enfin, dans le troisième, de l'eau prise à une chaudière industrielle en marche en traitement depuis longtemps, contenant par conséquent du William's et du chlorure de calcium aux doses habituelles, et les boues provenant des précipitations opérées par les réactifs dans l'eau d'alimentation. Ces boues, absolument impalpables, étaient couleur chamois, comme elles le sont d'ordinaire dans une chaudière désincrustée.

« On avait mis préalablement au fond des ballons de petits morceaux de papier, dont les évolutions feraient apparaître le mouvement de circulation au moment de l'ébullition produite dans chaque ballon par un bec Bunsen au gaz de la ville.

« Dans le ballon d'eau douce, l'ébullition a été tumultueuse, ainsi qu'elle l'est toujours, et par soubresauts qui faisaient crever à la surface de grosses bulles ayant quelquefois plus de 3 centimètres de diamètre.

« Quant aux papiers, ils manifestaient les évolutions les plus irrégulières, témoignant des oppositions qui se produisaient entre les courants. Le troisième ballon présentait un phénomène tout différent.

« L'ébullition avait une allure plus régulière, et des bulles plus petites semblaient toutes de même dimension ou à peu près. Quant aux fragments de papier, ils suivaient des trajectoires régulières et constantes... Le deuxième ballon avait une allure intermédiaire se rapprochant beaucoup plus du troisième que du premier...

« Ces expériences, que chacun peut répéter, sont très probantes et témoignent de l'effet bienfaisant de la densité sur la vaporisation, effet bien plus efficace encore lorsque le sel qui la procure est additionné de William's.

« Une autre remarque que j'ai faite, c'est que le col du premier ballon et la partie de la surface au-dessus du plan d'eau étaient recouverts intérieurement d'une épaisse buée, tandis que le second n'avait qu'une buée légère par places et que, dans le troisième, le verre du ballon était complètement diaphane et sec au-dessus du plan d'eau.

« La vapeur produite est plus sèche, car l'ébullition régulière ne donne plus naissance à des entrainements d'eau, comme dans une ébullition tumultueuse. »

D'après les expériences effectuées par M. Wickersheimer, il résulte que l'addition du *William's* précipite le sulfate de baryte, tandis que le bicarbonate de chaux, précipité par la seule ébullition, est attaqué à la surface par le tannin et met en liberté de l'anhydride carbonique, qui facilite le dégagement des bulles de vapeur. Les particules solides tombent au fond et, s'accolant aux bulles d'air, favorisent la formation des bulles de vapeur. La bulle entraîne

vers la surface la petite particule solide qui tombe de nouveau lorsque la bulle de vapeur s'est dégagée, et ainsi de suite. Ce phénomène détruit la couche immobile qui existe au contact de la surface chauffée et s'oppose à la vaporisation ; ainsi se trouve agitée perpétuellement la masse d'eau en contact avec la surface de chauffe : la vaporisation devient plus active grâce au mouvement de circulation régulier, et est d'autant plus avantageuse que la pression est plus élevée.

La dissolution du chlorure de calcium augmente d'une part la densité de l'eau et retarde l'ébullition ; le *William's* agit d'autre part comme désincrustant, et de ces deux actions combinées résulte une meilleure vaporisation de l'eau dans les générateurs de vapeur.

M. Wickersheimer conclut que le *William's* préserve les chaudières des incrustations et réalise une économie de combustible, et il ajoute :

« L'emploi combiné du *William's* et de la densité par les dissolutions salines constitue un procédé nouveau pour la vaporisation dans les chaudières industrielles.

« L'emploi du tannin n'est pas nouveau, et il y a déjà fort longtemps qu'on a reconnu qu'en se fixant sur les carbonates il forme des laques qui ne s'agglomèrent pas. On a également essayé depuis longtemps des matières mucilagineuses, et si on y a renoncé, c'est parce qu'elles rendaient les eaux mousseuses, favorisaient ainsi les entraînements d'eau. Enfin, l'effet du chlorure de baryum sur les sulfates solubles est connu depuis plus longtemps encore. L'emploi séparé des matières composant le *William's* ne répond donc à aucune idée nouvelle ; mais la réunion de ces produits est la réalisation empirique de principes depuis longtemps connus. »

Nous avons vu que, dans ce procédé de vaporisation, on ajoutait à l'eau du produit *William's* et des chlorures solu-

bles. Cette addition de chlorures à l'eau paraît paradoxale, puisqu'on admet généralement que les chlorures (surtout le chlorure de magnésium) sont nuisibles aux tôles des chaudières. Nous avons vu que le chlorure de magnésium se dissociait, par la chaleur, en acide chlorhydrique qui attaquait le métal de la paroi du générateur de vapeur ; nous avons vu aussi que le chlorure de baryum donnait, avec le sulfate de magnésie contenu dans l'eau, du chlorure de magnésium et du sulfate de baryte, ce qui augmente le dégagement d'acide chlorhydrique.

Or le *William's* contient du chlorure de baryum, et il semble qu'il devrait donner lieu à cet inconvénient ; M. Wickersheimer affirme qu'il n'en est rien, ayant constaté que, dans les chaudières où l'on emploie le *William's*, le papier de tournesol ne rougit pas ; il n'y a donc pas d'acide en liberté, et le liquide est alcalin, ce qui prouve évidemment que tout le chlore a été fixé ; et le métal n'est pas attaqué. La vapeur dégagée était neutre, il n'y avait donc pas d'acide chlorhydrique mis en liberté.

Ces résultats sont très appréciables, et les expériences que M. Wickersheimer a exécutées sur une chaudière industrielle ont, paraît-il, confirmé les essais de laboratoire : l'attaque des tôles a été absolument nulle.

Une conséquence inattendue de l'étude précédente, c'est l'emploi du chlorure de sodium substitué au chlorure de calcium pour augmenter la densité de l'eau. Outre l'avantage d'employer un sel moins cher, on voit de suite la possibilité d'employer l'eau de mer pour alimenter les machines sans redouter les graves inconvénients que présente cette eau employée dans les machines marines.

Les locomotives pourraient à la rigueur faire usage d'eau contenant du chlorure de sodium ; mais, comme les locomotives entraînent beaucoup d'eau, le sel se déposerait facilement dans les organes de la machine (cylindres, tiroirs, robinets...) en y occasionnant des grippages. Avec

le chlorure de calcium, au contraire, sel déliquescent et difficilement cristallisable, ces inconvénients ne sont pas à craindre. On pourrait donc obtenir une économie de combustible dans les locomotives, en augmentant la densité (le détartrage étant complet) au moyen du chlorure de calcium et en faisant usage du désincrustant *William's*.

En résumé, cette méthode économique de vaporisation par le produit désincrustant *William's* et l'augmentation de densité de l'eau par les chlorures, que *Wickersheimer* a étudiée au point de vue théorique et pratique, présenterait les avantages suivants : augmentation de puissance des générateurs, vaporisation plus active, économie de combustible et de matériel, suppression des corrosions des tôles de chaudière.

Ces avantages résulteraient de l'accélération de la circulation de l'eau dans les générateurs, de la préservation des tôles contre tout dépôt et toute attaque ; de la facilité de création et de dégagement des globules de vapeur, qui est plus abondante et plus sèche.

Cette méthode est basée sur des phénomènes physiques et chimiques : augmentation de la densité de l'eau, formation de laques enrobant les sels nuisibles, suppression de dégagement acide provenant de la dissociation des chlorures.

Si, au point de vue théorique, cette méthode est séduisante, nous croyons savoir qu'elle n'a pas donné les résultats qu'on en attendait dans la pratique industrielle. Nous tenions cependant à analyser l'étude de *M. Wickersheimer* sur la vaporisation, qui est intéressante à plus d'un point de vue.

Nous n'insisterons pas davantage sur les désincrus-

tants¹, remèdes qui peuvent rendre des services dans certains cas, mais dont l'emploi ne peut remplacer l'épuration préalable qui doit leur être préférée toutes les fois que celle-ci peut être installée avec de bons appareils et pratiquée dans de bonnes conditions de fonctionnement. Mais, comme l'épuration préalable nécessite des installations plus ou moins coûteuses et une surveillance spéciale lorsqu'on fait usage de réactifs chimiques, certains industriels ont recours de préférence aux désincrustants soit pour enlever, soit pour empêcher la formation du tartre dans les chaudières. A ce sujet il y a lieu de remarquer que, dans les chaudières où il existe déjà des incrustations, l'emploi d'un désincrustant (aluminate de baryte, par exemple) produit ce qu'on appelle le coulage des joints, déterminé par la disparition des incrustations sous l'action du désincrustant employé; cet inconvénient, causé seulement par de bons désincrustants, cesse après nettoyage et réfection des joints.

Si les incrustations présentent de graves inconvénients dans les générateurs, elles ne sont pas les seules causes; nous l'avons vu, de la détérioration des chaudières, et les altérations chimiques du métal désignées sous le nom de *corrosions* y contribuent pour une large part.

¹ Il existe un nombre considérable de produits désincrustants vendus dans le commerce sous des noms divers. Il va de soi que nous ne pouvons les énumérer ici, ce qui du reste ne présenterait aucun intérêt, la composition de ces produits n'étant presque jamais indiquée et les avantages qu'ils présentent étant souvent médiocres.

III. Des corrosions.

Les eaux altèrent plus ou moins le métal des chaudières suivant les réactions chimiques qui y prennent naissance.

Les eaux naturelles sont en général corrosives, pour des causes diverses qui agissent, en général, simultanément. L'eau contient du chlorure de magnésium, qui a, nous l'avons vu, la propriété de se décomposer par la chaleur en hydrocarbonate de magnésium et en acide chlorhydrique qui se dégage avec la vapeur. Cet acide attaque le métal des corps cylindriques et des faisceaux tubulaires, qui peut être rongé d'une façon plus ou moins régulière, suivant les endroits où la décomposition s'effectue.

D'autre part, le gaz carbonique¹ et l'oxygène qu'elles renferment en dissolution sont susceptibles de produire des corrosions, même en l'absence de matières salines ou acides qui exercent une action corrosive plus ou moins énergique.

¹ Cushman rejette la théorie d'après laquelle la présence de l'acide carbonique serait nécessaire à la corrosion; Dunstan a montré en effet que l'oxygène et l'eau suffisent à attaquer le fer. La seule hypothèse acceptable est l'hypothèse électrolytique énoncée par Whitney, reprise par Cushman: la corrosion est un phénomène électrolytique ayant pour siège le fer lui-même, et elle sera d'autant plus faible que le fer sera plus pur et plus homogène, c'est-à-dire renfermant aussi peu que possible de métaux étrangers, qui se différencient du fer au point de vue électrochimique. Nous ne développerons pas ici la théorie électrolytique, qui est très controversée; nous tenions cependant à la signaler comme une tentative intéressante pour expliquer la corrosion du fer. (Voir HINRICHSSEN, *Stahl und Eisen*, XXVII, 1583-1585-1907, et S. CUSHMANN, *Iron Age*.)

Les eaux, par la présence des corps qui y sont dissous, peuvent être à la fois incrustantes et corrosives, comme les eaux de mine ou les eaux de mer ; et ces eaux incrusto-corrosives présentent un double inconvénient dans l'alimentation des générateurs de vapeur.

En général, la corrosion du fer semble plus difficile que celle de l'acier, et en particulier la présence de tel ou tel métal semble favoriser ou retarder la corrosion. Ainsi on a remarqué que les aciers au chrome, ou au nickel, se rouillent plus difficilement que l'acier ordinaire.

Les corrosions intérieures produites dans les générateurs de vapeur (par opposition aux corrosions extérieures produites par les agents atmosphériques) sont ordinairement localisées, et peuvent se présenter en des endroits différents, suivant la forme de la chaudière.

On distingue plusieurs sortes de corrosions :

Les *corrosions en pustules*, formées de cavités circulaires, renfermant de l'oxyde de fer et des sels, provenant de l'attaque des tôles par points, on désigne parfois cette altération sous le nom de *gréilage* ;

Les *corrosions par surfaces*, où toute la surface des tôles est attaquée.

Les corrosions de la première catégorie se rencontrent généralement dans les endroits où la tôle est le moins chauffée et où l'eau n'est pas agitée par l'ébullition ; les corrosions de la seconde catégorie se produisent, au contraire, de préférence dans les tôles exposées directement au feu.

Il faut aussi signaler la corrosion qui se produit lorsque les pièces sont soumises à des flexions alternatives, dans les fentes déterminées par ces efforts de

flexion (c'est le cas des plaques tubulaires de locomotives) ou bien à des actions mécaniques provenant du choc des outils dans l'emboutissage ou le nettoyage des chaudières.

Ces corrosions, dues à l'oxydation par l'oxygène de l'air dissous dans l'eau ou de celui entraîné par l'injecteur, comme l'ont montré les expériences de MM. Scheurer-Kestner et Meunier-Dollfus, sont très préjudiciables à la conservation des chaudières et ont été l'objet de nombreuses recherches.

Pour prouver que la corrosion était bien due à l'oxygène de l'air dissous dans l'eau, MM. Scheurer-Kestner et Meunier-Dollfus remplirent trois flacons de 10 litres : le premier, avec de l'eau exempte de sels calcaires, mais très aérée ; le second, avec de l'eau calcaire aérée et contenant de l'anhydride carbonique ; le troisième, avec de l'eau distillée bouillie.

Dans chaque flacon, ils placèrent des barres de fer bien nettoyées et polies, et au bout de plusieurs semaines ils examinèrent chaque flacon. Ils constatèrent que le premier flacon à eau non calcaire, mais aérée, présentait des phénomènes d'oxydation (la barre était rouillée). Lorsque tout l'oxygène disponible dans le flacon fut consommé, l'oxydation cessa, et la barre, nettoyée et remise dans le même flacon, resta brillante sans altération. Le deuxième flacon, à eau calcaire et aérée, présenta les mêmes phénomènes d'oxydation, mais plus lents, entravés par la présence des sels calcaires. Enfin, le troisième flacon, rempli avec de l'eau distillée privée d'air, laissait la barre brillante indéfiniment.

D'autres expériences ont été exécutées par le pro-

fesseur Crau-Calvert, de Manchester, pour se rendre compte des phénomènes d'oxydation du fer en présence de l'eau, et il arriva à cette conclusion qu'une eau contenant de l'air et de l'anhydride carbonique en dissolution donne toujours lieu à l'oxydation des tôles.

Les corrosions sont plus ou moins intenses suivant la composition chimique de l'eau, suivant la nature du métal de la chaudière, suivant aussi le régime du générateur de vapeur.

Au point de vue des causes déterminant l'attaque, on ne constate pas toujours l'acidité dans les corrosions, car le métal peut se dissoudre sous l'action de certains sels contenus dans l'eau, dont l'activité dissolvante est encore accrue par la température élevée de la chaudière.

Mais les altérations et corrosions, quelle que soit leur origine, sont toujours préjudiciables, car elles détériorent les tôles de la chaudière, et mettent rapidement le générateur hors de service.

Il n'est pas pratiquement impossible de supprimer les corrosions; nous verrons qu'on peut les atténuer dans de grandes proportions, lorsqu'on s'est rendu compte des causes qui leur donnent naissance dans un cas déterminé.

Il y a lieu de remarquer que les corrosions du fer et de l'acier sont les plus répandues. Le cuivre, au contraire, se corrode très rarement, et dans ce cas la corrosion n'est pas due exclusivement à une action chimique, mais surtout à une action mécanique provoquant des fissures dans le métal.

Comme l'action corrosive des eaux varie avec leur composition, nous allons examiner brièvement l'action des substances corrosives en solution dans l'eau.

Il est évident que les *eaux acides* (acides chlorhydrique, sulfurique) attaquent le fer énergiquement : les réactions qui se produisent donnent naissance à des sels éminemment corrosifs (chlorures et sulfates ferriques), qui se dissocient, pour ainsi dire, sous l'influence de la vapeur d'eau, en acides libres qui attaquent de nouveau le fer.

Les *eaux* contenant des matières salines peuvent déterminer des corrosions, suivant la nature des sels dissous.

Parmi les *chlorures*, nous avons vu que le chlorure ferrique avait une action corrosive.

Le *chlorure de magnésium* présente aussi de graves inconvénients.

En effet, le chlorure de magnésium $MgCl^2$ se décompose, à température peu élevée, en magnésie et acide chlorhydrique qui agit comme nous l'avons vu précédemment.

Certains sels, pris isolément, ne présentent aucun inconvénient, mais peuvent en présence d'autres sels donner naissance à des sels nuisibles. C'est ainsi que le sulfate de magnésie, par double décomposition avec les chlorures, met de l'acide chlorhydrique en liberté.

Le *chlorure de sodium* corrode le fer, surtout en présence de vapeur d'eau et de silice, car dans ces conditions il se forme encore de l'acide chlorhydrique libre.

Les *sulfates* peuvent donner naissance à des corrosions lorsqu'ils donnent, par décomposition à haute température, de l'acide sulfurique libre, qui attaque les tôles des chaudières ; tels sont le sulfate ferrique, le sulfate d'aluminium.

Les *sulfates alcalins* exercent des influences corrosives même à froid, comme l'ont montré les expériences de M. Petit, et cette action corrosive est augmentée à la faveur du gaz carbonique, qui du reste a la propriété, en pareil cas, de favoriser l'action de tous les sels.

Certains *sulfures* se dissocient à haute température, en mettant en liberté de l'hydrogène sulfuré, qui peut, dans certains cas, subir une oxydation et se transformer en acide sulfurique.

Les *nitrites* peuvent se décomposer en mettant en liberté de l'acide azotique (nitrate ferrique) ou en donner par réaction avec d'autres sels, et exercer ainsi simultanément des actions corrosives. Dans le cas où il existerait dans l'eau des chlorures et des nitrates, l'eau régale qui prend naissance exerce une action corrosive dangereuse.

Les *eaux de mer* et les *eaux de mine*, chargées en sulfates et en chlorures (sodium, magnésium, calcium, etc.), présentent une activité corrosive et incrustante particulière.

Le traitement de ces eaux doit avoir pour but d'empêcher l'action nuisible de ces sels, chlorures et sulfates.

Dans le cas des machines marines¹, où on a recours à l'eau de mer pour compenser les pertes d'eau douce, la première précaution à prendre est d'éviter les dépôts de sel marin, en prenant le degré de concentration de l'eau de mer que l'on soumet à la vaporisation, et, sitôt le degré de concentration atteint où le sel va se déposer,

¹ V. Étude spéciale sur les corrosions, DE LA COUX, *l'Eau dans l'Industrie*, p. 497.

on évacue l'eau de concentration; c'est le régime des extractions. Pratiquement, on se rend compte de la concentration de l'eau du générateur en en prélevant, au moyen d'un robinet, une quantité suffisante dans une éprouvette disposée à cet effet et contenant un pèse-sel dit saturomètre gradué spécialement (à la température de 95° C), et dont les indications indiquent la concentration et le degré de salure en se reportant à des tables spéciales. Aussitôt que le pèse-sel marque 3°, on procède au régime des extractions.

Pour faire des extractions périodiques, on détermine au moyen de formules¹ la proportion entre le poids à extraire et celui de la vapeur formée dans l'intervalle de deux purges.

Par le régime des extractions, on arrive à éliminer en grande partie le sel marin; mais, à 140°, le sulfate de chaux se dépose en produisant des incrustations d'autant plus considérables que les extractions sont plus fréquentes, et, d'autre part, le chlorure de magnésium se dissocie en acide libre qui attaque les parois de la chaudière.

Aussi, pour éviter les *incrustations* et les *corrosions* qui se produisent dans le générateur, même avec le régime des extractions, a-t-on cherché à introduire dans la chaudière des substances capables de diminuer, sinon de supprimer les inconvénients des eaux incrusto-corrosives.

A ce point de vue nous mentionnerons :

Le *zinc*, qu'on introduit dans le générateur et qui

¹ V. formules pour le régime des extractions. DE LA COUX, *l'Eau dans l'Industrie*, p. 140.

reporte l'action corrosive de l'eau sur ce corps au lieu de la laisser s'exercer sur le fer. Il y a, en outre, une action électrogène qui préserve le fer de l'oxydation.

La *chaux*, qui, introduite dans les générateurs, atténue les corrosions, mais augmente les incrustations.

Le *carbonate de calcium*, avantageux dans le cas des chaudières alimentées par les eaux de mine (Le Châtelier). Il se produit les réactions suivantes : les sulfates de fer et d'alumine sont décomposés, et les oxydes de fer et d'aluminium sont précipités ; l'acide sulfurique est saturé en formant du sulfate de chaux. Le sulfate de magnésium n'est pas décomposé comme par la chaux, ce qui évite la formation de sels magnésiens corrosifs. De plus, le carbonate de chaux très ténu atténuerait, paraît-il, la cristallisation du sulfate de chaux.

La *soude* et la *potasse* empêchent les actions corrosives de se produire, mais sont, par contre, d'un emploi onéreux.

Le *carbonate de soude* est un des meilleurs remèdes, car il combat à la fois les incrustations et les corrosions : il précipite totalement à chaud les sels de magnésie, corps très corrosifs ; il précipite aussi les sels de fer et d'alumine, les oxydes métalliques, le sulfate de calcium. Son emploi est à recommander à tous égards, et son prix modique en fait le réactif le plus précieux dans le traitement des eaux incrusto-corrosives.

La *baryte* donne aussi de bons résultats et agit à la fois sur les sels incrustants et corrosifs, mais son prix est plus élevé que celui du carbonate de soude.

Une autre cause de corrosions est due aux eaux con-

tenant des *matières grasses* animales ou végétales, utilisées pour la lubrification des machines ¹.

Dans l'industrie on emploie fréquemment les eaux provenant des condenseurs qui sont plus ou moins chargés d'huiles et de graisses animales ou végétales ayant servi à lubrifier les cylindres.

La décomposition des matières grasses saponifiées par la chaleur met en liberté de la glycérine et des acides gras qui, entraînés par la vapeur, pénètrent dans la chaudière en attaquant rapidement les parois.

Les corps gras ont un double désavantage : d'abord ils donnent naissance à des mélanges de sels et de graisses non saponifiées, qui favorisent la surchauffe des tôles, et ensuite ils agissent par leurs acides gras, qui ont une action énergique sur le métal de la chaudière. Il se produit en quelque sorte une saponification avec formation de savon oléocalcaire se décomposant en acide oléique, qui corrode les tôles des générateurs : on admet qu'il se forme de l'oléate de fer, et M. Wartha, professeur à Budapest, a trouvé en effet la présence d'oxyde de fer et d'acide oléique dans les dépôts des *réchauffeurs*.

¹ *Détermination de l'huile dans les eaux de condensation.* On chauffe 1 ou 2 litres d'eau, suivant la teneur en huile (1 litre s'il y a plus de 0,9^e, 1 d'huile par litre) sans atteindre l'ébullition avec 5 cm³ d'une solution de perchlore de fer préparée en dissolvant 10 gr. de fer dans 200 cm³ de HCl qu'on oxyde par AzO³H, et on étend à 1 litre. On ajoute ensuite un excès d'ammoniaque, et l'on fait bouillir deux minutes; puis on filtre sur du papier qui a été traité par l'éther. On lave à l'eau chaude le précipité qui contient toute l'huile, on le sèche à 100°, on le traite par l'éther dans un appareil à extraction; on évapore ensuite le produit de l'extraction, et on pèse l'huile. (*Chem. News*, XCII, 108, 1905).

De nombreuses expériences ont été faites pour se rendre compte de l'action corrosive des *eaux grasses* ; il en résulte que les tôles sont attaquées par l'acide oléique d'autant plus facilement que dans la chaudière la pression est plus forte, c'est-à-dire que la température est plus élevée.

On a cherché à éviter l'action corrosive si rapide des eaux grasses, qui peut mettre en peu de temps une chaudière hors de service. On a préconisé l'emploi de la *chaux*, qui neutralise l'acide oléique ; de la *soude*, qui donne de moins bons résultats et coûte plus cher.

Quand, dans l'industrie, on emploie l'eau des condenseurs ou des *retours de vapeur* pour échauffer l'eau qui alimente le générateur, il serait bon de saponifier ces corps gras par la chaux et d'éliminer les savons insolubles formés ; mais ce procédé est peu pratique, et dans la marine, par exemple, on se contente de retenir le plus de graisses possible par filtration à travers une masse d'éponges.

Les inconvénients que présentent les huiles végétales et animales n'existent plus avec les huiles minérales employées pour le graissage. Cependant si ces huiles, provenant du résidu des pétroles, ne produisent pas de corrosions, elles peuvent, étant entraînées dans la chaudière, donner naissance à un enduit adhérent qui peut occasionner la surchauffe des tôles. Il faut donc éviter les entraînements d'huile minérale, et pour cela on a employé divers procédés, entre autres celui qui consiste à intercaler sur la conduite d'eau un filtre à éponge pour retenir les corps étrangers.

Nous verrons que, dans les appareils épurateurs utilisant la vapeur d'échappement des machines fixes, on

sépare, par des dispositifs appropriés, les matières grasses entraînées par la vapeur.

Il est donc nécessaire d'employer, pour l'alimentation des générateurs de vapeur, des eaux pures ou épurées, si l'on veut éviter les désordres corrosifs.

L'eau n'est pas la seule cause des corrosions le *combustible*, suivant sa composition chimique, peut aussi attaquer les chaudières. Le soufre, qui existe fréquemment dans les charbons, joue un rôle néfaste ; car il peut, par oxydation pendant la combustion, se transformer en acide sulfurique qui corrode les tôles des générateurs.

Le métal des chaudières se détériorant rapidement sous l'action des eaux incrusto-corrosives (dans les machines marines en particulier), on a cherché à augmenter la résistance du métal à la corrosion en modifiant les compositions. Certains aciers résistent plus que d'autres ; mais de la composition chimique on n'a pu tirer jusqu'ici de conclusions générales, et pour se rendre compte de la valeur d'un acier pour générateurs de vapeur, on effectue des essais pratiques de résistance à la corrosion au moyen de solutions acides ; l'examen des figures de corrosion ainsi obtenues peut donner de précieux renseignements sur la résistance du métal essayé.

Pour résumer ce qui est relatif aux corrosions dans les générateurs de vapeur industriels ou marins, nous dirons que l'air, l'eau et le combustible sont les trois facteurs de la formation des corrosions dans les chaudières.

Pour éviter les désordres dus aux corrosions, il

faut donc faire usage de charbons aussi exempts de soufre que possible, alimenter avec de l'eau de bonne qualité, c'est-à-dire contenant le moins possible de substances corrosives; éviter les entraînements des matières grasses servant à la lubrification des machines, même si on emploie des huiles minérales (neutres et non sulfurées), car celles-ci peuvent donner avec les substances minérales des enduits corrosifs présentant de graves inconvénients.

IV. Nettoyage et vidange des générateurs.

Lorsque la chaudière est sensiblement refroidie, on procède à la vidange, puis on ouvre les trous d'homme pour que l'air circule à l'intérieur de la chaudière.

On pique et on brosse les tôles pour les débarrasser des boues et du tartre; ce piquage est plus ou moins fréquent, suivant la nature de l'eau d'alimentation, le type et la marche du générateur. Il faut employer, pour le piquage, des marteaux à angles arrondis et ménager autant que possible les rivures.

On a imaginé récemment de petits marteaux frappeurs automatiques, mus par la vapeur ou l'air comprimé, qui, introduits à l'intérieur des tubes à eau ou des tubes à feu, les nettoient rapidement sans les détériorer, grâce à la fréquence des coups qui brisent l'incrustation et la détachent.

A cette catégorie d'appareils appartient l'appareil *Dean* (fig. 6), qui est d'un usage pratique et donne de bons résultats pour le nettoyage des faisceaux tubulaires.

Il faut remarquer que l'expérience seule fixe l'intervalle qui doit s'écouler entre deux nettoyages de la chaudière, car même avec de l'eau préalablement épurée, et à plus forte raison si l'on fait usage de désincrustants, il faut effectuer à dates fixes le nettoyage des chaudières.

Il est recommandable de procéder chaque jour à des extractions des dépôts boueux produits par l'emploi

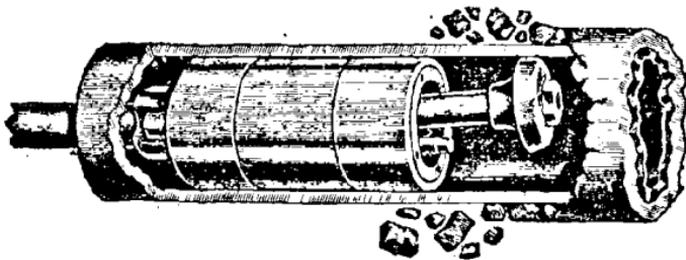


Fig. 6. — Appareil « Dean » dans un tube à feu.

des désincrustants pour l'épuration intérieure. On ne doit jamais laisser une chaudière en chômage sans la nettoyer aussitôt après l'arrêt.

On a préconisé un procédé de vidange à froid qui supprime les incrustations. Ce procédé, applicable aux générateurs dont l'eau de vidange s'écoule sans pression, consiste à refroidir complètement les générateurs avant de les vider et à râcler la boue avant sa solidification sous forme d'incrustation.

Pratiquement, on laisse le générateur au repos pendant quelques jours (huit jours suffisent pour un générateur isolé), jusqu'à refroidissement complet. On procède alors à la vidange, qu'il convient de fractionner de

façon que, pour chaque corps vide, le nettoyage intérieur soit terminé dans un délai de moins d'une demi-heure après la fin de la vidange.

On racle les boues au moyen de râbles vers les orifices de vidange, et lorsque chaque corps est vide, on termine, au moyen de racleurs à main, l'enlèvement des dépôts restant sur les tôles.

Pour les corps tubulaires, on lave les tubes à la lance et on gratte les tôles à l'aide d'instruments à main, ou d'appareils automatiques comme celui représenté (fig. 6).

Lorsque ce nettoyage est exécuté rapidement, les dépôts humides n'ont pas le temps de sécher et ne peuvent, par suite, devenir adhérents; les chaudières ainsi entretenues ne sont jamais incrustées.

Pour les chaudières de locomotives, on opère le lavage toutes les semaines, soit à froid, soit à chaud.

Le lavage à froid nécessite le refroidissement de la chaudière, ce qui demande de vingt-quatre à trente heures; mais dans les cas où on veut économiser du temps, on effectue le lavage à chaud.

Il va de soi que l'intervalle entre deux lavages dépend du type, de l'effort de la machine, de la nature de l'eau d'alimentation; on peut dire qu'en général le lavage s'effectue après un parcours variant de 1 000 à 1 800 kilomètres¹, suivant les conditions ci-dessus (type de la machine, nature de l'eau, etc.).

On pratique assez rarement des extractions sur les

¹ On admet qu'une machine (de trains express) vaporise 100 litres d'eau en chiffre rond par kilomètre, ce qui fait, pour un parcours journalier de 280 km., une dépense de 20 m³ d'eau.

locomotives, sauf avec les eaux de mauvaise qualité, pour lesquelles il est nécessaire d'évacuer les boues avant l'arrivée au dépôt où s'effectue le lavage.

Pour augmenter la durée des locomotives, tout en diminuant les réparations des chaudières, on pratique depuis quelque temps, aux États-Unis, le lavage à chaud des chaudières et leur remplissage par de l'eau chaude après nettoyage.

Le lavage et l'alimentation à chaud diminuent notablement les écarts de température qui se produisent pendant le refroidissement et la mise en pression, quand on emploie le nettoyage à froid, et présentent l'avantage de réduire le temps d'immobilisation des locomotives, qui n'est plus que de six heures environ.

CHAPITRE V

EXAMEN CRITIQUE DES RÉACTIONS SERVANT DE BASE A L'ÉPURATION CHIMIQUE

Les procédés chimiques employés pour l'épuration des eaux consistent, à proprement parler, non à épurer l'eau, mais à la *corriger*, en y ajoutant des substances qui transforment les sels nuisibles et déterminent, par double décomposition, la précipitation des impuretés à éliminer.

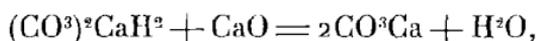
Il est évident que la substance chimique, que l'on introduit ainsi dans l'eau, ne devra pas entraîner d'actions nuisibles, car dès lors le remède serait pire que le mal. Il faudra donc tenir compte des réactions secondaires qui peuvent se produire entre les corps introduits comme agents épurants et les sels en dissolution dans l'eau; d'où nécessité de connaître exactement la composition de l'eau à corriger.

Les agents chimiques employés pour la correction des eaux ont tous pour but d'éliminer les impuretés les plus dangereuses, c'est-à-dire les sels alcalino-terreux (carbonates et sulfates de calcium et de magnésium).

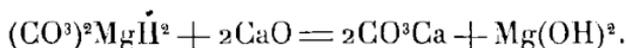
Nous allons passer en revue les réactifs susceptibles de conduire à ce résultat.

Des réactifs pouvant être utilisés pour l'épuration chimique.

Chaux. — La chaux à l'état d'hydrate CaO , H^2O , contenue dans l'eau de chaux ou le lait de chaux, sature l'anhydride carbonique libre dissous dans l'eau et l'anhydride carbonique demi-combiné des bicarbonates. Cette saturation provoque la précipitation des bicarbonates de chaux à l'état de carbonate neutre :



et celle du bicarbonate de magnésie, à l'état de magnésie hydratée, provenant de la décarbonatation du sel de magnésie par la chaux :



La quantité de chaux à ajouter pour *corriger* une eau ne devra pas être mise au hasard, car un excès de chaux rendrait l'eau plus nuisible qu'auparavant. Aussi est-il préférable d'employer, à la place d'un *lait de chaux* à teneur en chaux incertaine et variable, de l'*eau de chaux*, dont il est facile de déterminer la teneur en chaux. On se base pratiquement sur ce fait que de l'eau dans laquelle on a agité de la chaux contient, après décantation, quand elle est absolument claire, 1 gr. environ de chaux pure en dissolution par litre. Pour s'assurer qu'elle a bien cette teneur, on en prend un échantillon de 40 cm^3 , qu'on étend à 400 cm^3 avec de l'eau distillée ; on reprend 40 cm^3 de cette solution, et on doit obtenir, par titrage avec la liqueur normale de savon, 20 degrés hydrotimétriques, en opérant comme il est indiqué p. 28.

L'eau de chaux étant préparée dans ces conditions,

pour faire un essai d'épuration on prélève 1 litre de l'eau que l'on veut essayer, et on y ajoute autant de fois 5 cm³ d'eau de chaux qu'il y a de degrés en carbonates déterminés par l'analyse hydrométrique. Cette quantité correspond à 0^{es},005 de chaux pour chaque degré hydrométrique. Ce chiffre a été donné par de nombreux essais, et c'est celui qu'il est préférable d'adopter, bien qu'il soit légèrement inférieur à la moyenne de ceux qu'indiquent les réactions chimiques.

Nous verrons, quand nous étudierons les appareils relatifs à l'épuration chimique, les dispositifs employés pour préparer l'eau de chaux ou le lait de chaux.

La précipitation des carbonates calcaires par la chaux est fort longue; pour obtenir une précipitation rapide, il est bon d'introduire la totalité de la chaux nécessaire à l'épuration dans les trois quarts du volume d'eau à épurer et d'ajouter, après agitation, le dernier quart de l'eau restant : la séparation s'opère bien dans ces conditions et demande huit heures environ.

La *chaux* n'élimine que les carbonates alcalino-terreux; aussi, pour les autres sels nuisibles, associe-t-on à la chaux d'autres corps qui réagissent sur les sulfates alcalino-terreux, comme le carbonate de soude (V. plus loin).

*Magnésie*¹. — L'emploi de la magnésie repose sur la précipitation des bicarbonates alcalino terreux à l'état de carbonates insolubles.

On a remarqué, en effet, que si on fait bouillir une eau contenant des bicarbonates de chaux et de magné-

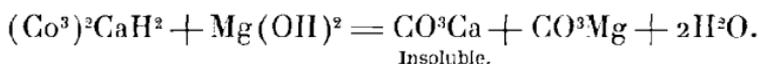
¹ Procédé préconisé par Bohlig et Heyne.

sie et du sulfate de chaux, il se forme, sur les parois du vase, une croûte cristalline adhérente, formée de sulfate de chaux et de carbonate de chaux.

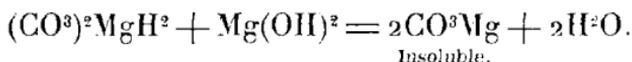
Le bicarbonate de magnésie se transforme, par l'ébullition, en hydrate de magnésie insoluble, qui, se déposant en même temps, contribue à durcir et à augmenter le dépôt qui se forme sur les parois du récipient.

On a constaté que si on fait bouillir une solution de bicarbonate de magnésie, au bout de peu de temps toute la magnésie est mise en liberté à l'état de magnésie hydratée, et, au lieu d'adhérer et de s'agglomérer, elle reste en poudre fine en suspension dans le liquide.

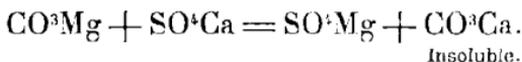
Si on fait réagir de la magnésie hydratée sur du bicarbonate de chaux, il se forme du carbonate de chaux et du carbonate de magnésie :



Quand on traite du bicarbonate de magnésie par de la magnésie hydratée, la réaction, très longue à froid, donne rapidement à chaud :



Le carbonate de magnésie formé réagit à son tour sur le sulfate de chaux et le précipite à l'état de carbonate neutre :



Ces différentes réactions permettent de débarrasser une eau de la *chaux* qu'elle renferme à l'état de bicarbonate et de sulfate. La précipitation du sulfate de

calcium est subordonnée, comme on peut le voir, à la formation du carbonate de magnésium ¹.

Il restera, après la réaction, si le bicarbonate est en excès par rapport au sulfate, ce qui est le cas général, du bicarbonate de magnésie et du sulfate de magnésie. En portant le liquide à la température de 80°C, le bicarbonate de magnésie se décomposera en donnant naissance à de la magnésie hydratée, qui se maintient en suspension dans le liquide et n'adhère pas aux parois du récipient. Il ne restera donc en solution dans l'eau qu'une quantité de sulfate de magnésie correspondant au sulfate de chaux.

Au commencement de l'application de ce procédé à l'épuration des eaux destinées à l'alimentation des

¹ Il y a donc, dit M. de la Coux, une limite à cette précipitation, qui dépend des conditions de la formation de ce carbonate neutre de magnésium.

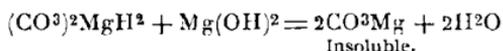
Plusieurs cas peuvent se présenter, suivant la composition de l'eau :

1° L'eau contient du bicarbonate de chaux et du sulfate de chaux;

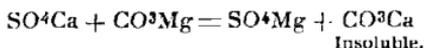
2° L'eau contient du bicarbonate de chaux, du bicarbonate de magnésie et du sulfate de chaux.

1° Dans le premier cas, la précipitation du sulfate de chaux ne se produit d'une façon complète que si le sulfate de chaux contenu dans l'eau est en excès sur le bicarbonate de calcium.

2° Si l'eau contient du carbonate de magnésium d'après la réaction :



la précipitation d'une molécule de carbonate neutre de magnésie en solution dans l'eau entraîne la formation de deux molécules de carbonate neutre de magnésie, qui précipitent deux molécules de sulfate de chaux d'après la réaction :



générateurs on effectuait la réaction à froid, disent MM. Gaillet et Huet¹, en se basant précisément sur la précipitation du bicarbonate de magnésie à l'état d'hydrate de magnésie, poudre non adhérente sur les parois des chaudières. Mais on ne tarda pas à trouver de graves inconvénients à cette poudre, légèrement caustique et très fine, qui était facilement entraînée dans les organes des machines. On songea à faire bouillir l'eau avant son introduction dans les chaudières, de manière à laisser déposer cet hydrate de magnésie avant son emploi.

Nous donnons ci-dessous, d'après MM. Gaillet et Huet, la teneur en chaux et en magnésie d'une eau avant et après épuración, à chaud et à froid :

		à chaud	à froid	
<i>Avant purification.</i>	{ Chaux . . .	171 gr.	183 gr.	} par
	{ Magnésic .	33 gr. 5	32 gr.	
<i>Après purification.</i>	{ Chaux . . .	12 gr. 5	7 gr.	} mètre cube.
	{ Magnésic .	163 gr.	130 gr.)	

A *froid*, on a *diminué* la proportion de chaux, par mètre cube, de 158 gr. et *augmenté* celle de magnésic de 129 gr. 1/2.

A *chaud*, on a diminué la proportion de chaux, par mètre cube, de 176 gr., et augmenté celle de magnésic de 98 gr.

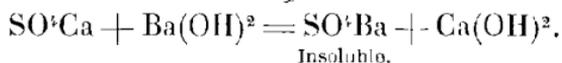
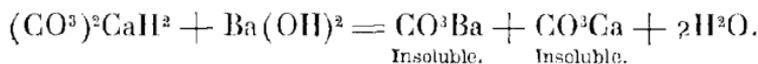
L'épuration par la magnésic n'a pas donné les résultats qu'on en attendait, malgré le prix de revient avantageux de la matière première. De plus, si la magnésic qui reste dans l'eau se trouve à l'état de sulfate de magnésic, ce sel non incrustant n'en est pas moins

¹ *Étude sur les eaux industrielles.* Lille, 1884.

dangereux, par suite des réactions secondaires auxquelles il peut donner naissance. C'est ainsi qu'avec les chlorures contenus dans l'eau il peut se former de l'acide chlorhydrique, provenant de la dissociation du chlorure de magnésium, et qui est extrêmement nuisible dans les générateurs de vapeur (Voir *Corrosions*).

Dans les industries où l'on fait usage de savons, les sels de magnésie forment des combinaisons magnésiennes avec les savons, ce qui présente un grave inconvénient.

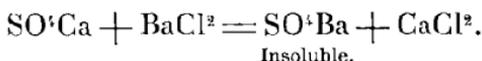
Baryte et sels de Baryum. — Les procédés d'épuration par la baryte ou par les sels de baryum sont basés sur l'*insolubilité* dans l'eau du carbonate et du sulfate de baryum. Si on ajoute, dans une eau ordinaire, de la baryte, on a les réactions suivantes :



On obtient du carbonate de baryum insoluble et du carbonate de chaux également insoluble ; et il ne resterait rien dans l'eau épurée après décantation et filtration, si cette eau ne renfermait que du bicarbonate de chaux. Mais comme l'eau contient fréquemment du sulfate de chaux, il se forme du sulfate de baryum totalement insoluble, et de la chaux caustique est mise en liberté ; une partie restant dissoute, dans la proportion de 1 gr. par litre, rend l'eau alcaline.

L'eau ainsi traitée est donc impropre à l'alimentation des générateurs de vapeur et ne peut être employée dans les industries qui font usage de savons.

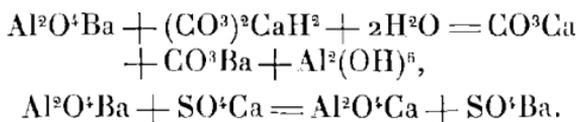
Pour éviter ces graves inconvénients, on a pensé à ajouter du *chlorure de baryum* en quantité juste suffisante pour précipiter le sulfate de chaux d'après la réaction :



Le sulfate de baryum se dépose, et le chlorure de calcium reste en dissolution.

Mais le chlorure de calcium est encore préjudiciable aux chaudières¹, et pour les industries qui emploient le savon, le chlorure de calcium joue exactement le même rôle que le sulfate de chaux qui existait dans l'eau avant le traitement.

On a aussi essayé l'emploi de sels de baryum, tel que l'*aluminat de baryte*, qui précipite à la fois les carbonates et les sulfates. Si on donne à l'aluminat de baryum la formule hypothétique $\text{Al}^2\text{O}^4\text{Ba}$, on a les réactions :



L'aluminat de baryte n'est guère usité comme agent épurant; on l'emploie plutôt comme désincrustant (Voir *Désincrustants*).

Le *carbonate de baryum* a été aussi proposé², à cause de sa double action comme sel de baryum et comme

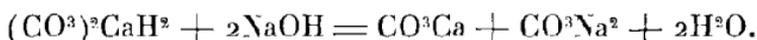
¹ A 150°, le chlorure de calcium se dissocie en acide chlorhydrique et en chaux, l'eau de la chaudière devient alcaline, et l'acide chlorhydrique entraîné provoque des corrosions.

² *Société des Ingénieurs civils*, octobre 1870. ASSELIN.

carbonate ; mais ce corps a l'inconvénient d'être faiblement soluble dans l'eau et de coûter assez cher, comme tous les sels de baryum même en employant le carbonate de baryte provenant des sucrateries.

Leur emploi est donc désavantageux pour les applications industrielles qui réclament surtout des produits peu coûteux ; ils sont en outre toxiques, ce qui présente un autre inconvénient.

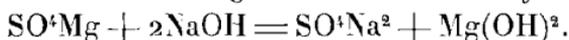
Soude et potasse caustique. — Ces bases réagissent sur les sels calcaires suivant les réactions :



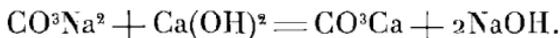
Le carbonate de sodium CO^3Na^2 soluble réagit à son tour sur le sulfate de chaux contenu dans l'eau, pour donner du carbonate d'après la réaction :



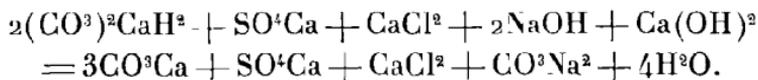
Avec le sulfate de magnésic, la soude ou la potasse précipitent le sel de magnésie sous forme d'hydrate :



On remplace la soude caustique par le carbonate de soude, lequel, en présence de chaux, donne naissance à du carbonate de chaux et à de la soude caustique :

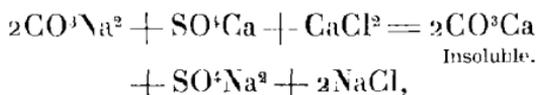


En ajoutant de la soude ou de la potasse caustiques au lait de chaux ou à l'eau de chaux, on élimine les sulfates de calcium et de magnésium et le chlorure de calcium, comme on peut s'en rendre compte par les réactions suivantes :



Insoluble.

Le carbonate de soude CO^3Na^2 formé réagit à son tour sur les sulfates de chaux ou de magnésie et sur le chlorure de calcium, d'après la réaction :



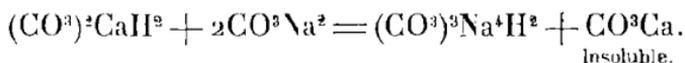
et il reste en solution des sels alcalins (SO^4Na^2 et NaCl), qui ne présentent pas en général d'inconvénients.

L'épuration par la chaux et la soude combinées donne de bons résultats. C'est un procédé déjà ancien; mais il a l'avantage d'être simple, économique et de donner, lorsqu'il est appliqué judicieusement, les meilleurs résultats. Nous aurons l'occasion d'y revenir plus loin en détail.

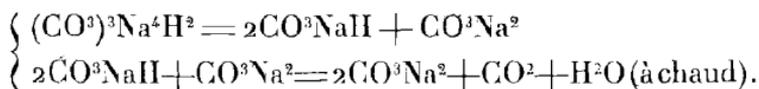
L'emploi du carbonate de soude présente l'avantage de substituer aux alcalis caustiques un produit plus maniable et moins coûteux, tout en donnant les mêmes réactions.

Carbonates alcalins : carbonate de soude. — L'emploi du carbonate de soude pour la *correction* des eaux est basé sur les réactions suivantes :

1° Le carbonate de soude précipite le *bicarbonate de chaux* en se transformant en sesquicarbonatc de sodium soluble :

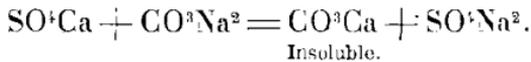


Le sesquicarbonatc se décompose en donnant naissance aux deux réactions simultanées :



Le carbonate de soude est *régénéré* et le carbonate de chaux précipité.

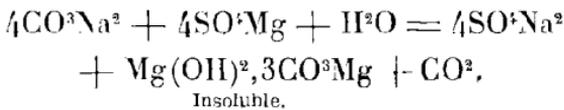
2° Le carbonate de soude transforme le *sulfate de chaux* en carbonate de chaux qui précipite, et il se forme du sulfate de soude :



3° Le carbonate de sodium agit encore sur le chlorure de calcium, en donnant naissance à du chlorure de sodium et à du carbonate de chaux.

Avec les sels de magnésie, la réaction à froid donne un précipité de composition mal définie (hydrate et carbonate), et, à chaud, un hydrocarbonate de magnésie, c'est-à-dire une combinaison d'hydrate et de carbonate; mais, dans aucun cas, on n'obtient le carbonate de magnésie CO^3Mg , comme on a souvent l'habitude de l'indiquer à tort dans les formules de réaction relatives à l'épuration par le carbonate de soude.

Voici, du reste, la réaction qui se produit à chaud :



Le précipité, insoluble dans l'eau, se redissout sous l'action de l'anhydride carbonique.

Ces réactions n'ont pas lieu à froid; il faut, pour que la réaction soit complète, que la température soit voisine de 70°. Si l'eau ne contient que des bicarbonates de chaux et de magnésie, l'épuration peut se faire à froid.

Les conditions les plus avantageuses pour ce mode

d'épuration sont les suivantes, d'après MM. Gaillet et Huet :

Quand l'eau à épurer contient du bicarbonate de chaux en quantité juste suffisante pour que le sesquicarbonat de soude formé se transforme totalement en sulfate de soude par son action sur le sulfate de chaux, l'épuration est aussi satisfaisante que possible, car il ne reste dans l'eau épurée que du sulfate de soude, sel qui n'est pas nuisible dans la plupart des cas.

Mais, en général, la proportion de bicarbonate de chaux est de beaucoup supérieure à celle des sulfates. Dans ce cas, quand après addition d'une dose convenable de carbonate de soude dans l'eau à épurer, on a précipité toute la chaux contenue dans l'eau, il reste, comme nous l'avons vu d'après les réactions, du sesquicarbonat de soude, — qui se transforme, par élévation de température, en carbonate neutre, — du sulfate de soude et du chlorure de sodium. Ces sels (sulfate de soude et chlorure de sodium) ne présentent pas d'inconvénients dans la plupart des cas. Il n'en est pas de même du carbonate de soude qui, dans les générateurs, par exemple, peut produire la corrosion des tôles, de la robinetterie, etc.

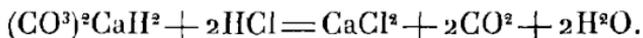
Dans certaines industries, telles que la teinturerie, ce sel serait aussi très nuisible; par contre, dans celles utilisant les savons, il ne présente pas d'inconvénients.

Le procédé d'épuration par le carbonate de soude seul n'est pas d'un emploi général, nous verrons plus loin qu'on l'emploie presque toujours associé à la chaux.

Acides. — L'emploi des acides, en particulier l'acide

chlorhydrique, a pour but de transformer les sels incrustants en sels solubles.

Cette correction repose sur la transformation des bicarbonates en chlorures, en ajoutant dans un volume d'eau déterminé une quantité théorique d'acide :



Après ce traitement, l'eau doit être *neutre* au tournesol.

Ce procédé présente des inconvénients :

1° Il est pratiquement difficile d'employer exactement la quantité d'acide chlorhydrique nécessaire à la décomposition des bicarbonates, et l'excès d'acide chlorhydrique entraînera les accidents les plus graves dans les générateurs de vapeur.

2° La formation de chlorures solubles facilement dissociables donnera naissance à de l'acide chlorhydrique libre.

3° Le sulfate de calcium n'est pas éliminé, et, quoique très soluble dans les conditions réalisées dans les chaudières, il n'en reste pas moins un sel incrustant.

4° Les sels alcalino-terreux n'étant pas éliminés, mais simplement transformés, les inconvénients de ces sels subsistent dans les industries qui emploient le savon.

Dans le but d'éviter le premier inconvénient, résultant de l'excès d'acide chlorhydrique dans les eaux, on a fait passer l'eau acidulée sur du carbonate de baryte naturel; il se formait du chlorure de baryum avec l'acide libre en excès, d'après la réaction :



Le chlorure de baryum formé réagissait à son tour sur le sulfate de chaux contenu dans l'eau, en donnant la réaction suivante :



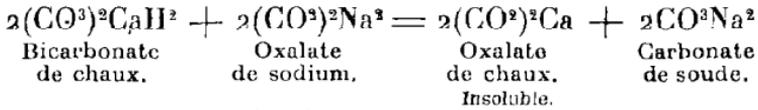
Le sulfate de baryte est bien insoluble, mais le chlorure de calcium soluble subsiste avec tous ses inconvénients. Ce procédé, qui à première vue paraissait devoir donner les meilleurs résultats, en a donné de bien médiocres dans la pratique.

En effet, l'action de l'acide chlorhydrique sur le carbonate de baryte se fait très lentement à froid, et, pour que la réaction soit efficace, il faut opérer à une température voisine de 70° C, ce qui est difficile à réaliser pratiquement. D'autre part, le sulfate de baryte précipité à froid se dépose difficilement, la décantation est par suite très lente, et la filtration, qu'on serait tenté d'employer, se fait dans de très mauvaises conditions.

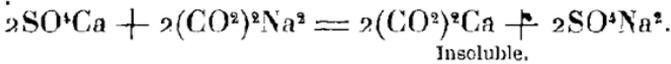
Pour les raisons que nous venons d'exposer, l'épuration chimique, basée sur l'emploi des acides, même associés au carbonate de baryte, a été rapidement abandonnée.

Il existe encore d'autres réactions qu'on a cherché à utiliser pour la correction des eaux. Les sels qu'on a employés sont :

Les *oxalates alcalins*, en particulier l'*oxalate de sodium*, qui donne, avec les sels de chaux en dissolution dans l'eau, un précipité d'oxalate de calcium complètement insoluble. Il donne, avec le bicarbonate de chaux par exemple, la réaction suivante :



ou avec le sulfate de chaux :



L'eau contient donc, après traitement, des sels alcalins, en particulier du carbonate de soude. Le carbonate de soude formé peut réagir sur les sels de magnésie, qui sont ainsi précipités à l'état de carbonate de magnésie.

La précipitation de la chaux par l'oxalate se fait mal à froid, le précipité se formant et se déposant lentement, et il est nécessaire de faire une filtration.

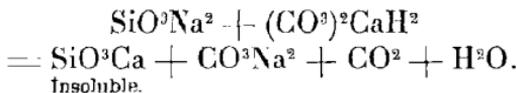
Le procédé est, de plus, onéreux; aussi a-t-on cherché à régénérer l'oxalate de sodium, en recueillant l'oxalate de chaux déposé dans les cuves de décantation et en le traitant à l'ébullition par le carbonate de soude, qui donne la réaction suivante :



Cette régénération de la solution d'oxalate de sodium diminue considérablement le prix de revient, quand l'opération est faite avec soin; mais ce procédé ne peut être pratique au point de vue industriel, car il réclame des manipulations longues et compliquées, et il a, en outre, le désavantage de charger l'eau en sels nuisibles.

On a encore essayé :

Le *silicate de soude*, qui donne avec les sels alcalino-terreux un précipité blanc gélatineux de silicate de chaux, d'après la réaction :



Le carbonate de soude ainsi formé peut réagir à son tour sur les sels de chaux.

Le silicate a été surtout essayé comme *désincrustant*.

On a aussi proposé d'autres sels : les *chromates*, qui précipitent les sels de chaux ; les *sels d'alumine*, en particulier, le sulfate d'alumine, les *phosphates* et les *sels de fer*, qui ont la propriété de donner avec la chaux un précipité volumineux d'hydrates de fer ou d'alumine, en formant ainsi des *laques* qui se précipitent facilement et englobent les matières insolubles (*matières organiques en suspension*), d'où une clarification rapide de l'eau.

Les *sels de fer* ont le désavantage de donner un hydrate de fer soluble dans l'eau alcaline, et nous avons vu que les eaux contenant du fer présentent de graves inconvénients dans les blanchisseries, papeteries, etc.

Le *sulfate d'alumine* ne présente pas cet inconvénient.

Nous venons de faire l'examen critique des diverses substances chimiques que l'on a proposées pour l'épuration ou, plus exactement, pour la correction des eaux industrielles.

Il y a lieu de remarquer que l'on ne s'est pas contenté d'employer chaque substance isolément, et que l'on a cherché si, en combinant l'action de plusieurs substances et en les employant simultanément, on n'obtiendrait pas de meilleurs résultats.

C'est précisément en combinant l'action de la *chaux* et de la soude, ou du *carbonate de soude* qui coûte moins cher et qui donne de meilleurs résultats, qu'on

est arrivé à avoir une méthode satisfaisante, la meilleure et la plus économique que l'on ait encore trouvée jusqu'ici.

Ce procédé, déjà ancien, n'est qu'un perfectionnement du procédé à la chaux imaginé par *Clark*.

Procédé d'épuration basé sur l'emploi simultané de la chaux et de la soude. — Le procédé de *Clark* consistait primitivement à traiter l'eau par un *lait de chaux*¹ en quantité déterminée; mais la teneur en chaux est incertaine, et son emploi exige un sérieux contrôle d'épuration; aussi a-t-on remplacé le *lait de chaux* par l'*eau de chaux*, que l'on additionne d'une quantité convenable de soude caustique en solution.

L'emploi de l'*eau de chaux* est, en effet, plus rationnel, car il permet de se rendre compte d'une façon suffisamment exacte de la quantité de chaux employée pour

¹ La chaux employée pour préparer le *lait de chaux* (tout aussi bien, du reste, que l'*eau de chaux*) doit être grasse, de bonne qualité. Pour éviter qu'elle s'altère à l'air, il faut, ou bien l'enfermer hermétiquement pour l'empêcher de se carbonater sous l'action de l'anhydride carbonique de l'air, ou bien, ce qui est plus pratique, l'éteindre rapidement en l'arrosant avec de l'eau.

Le *lait de chaux* employé doit être aussi homogène que possible, d'où nécessité de l'agiter sans cesse pendant l'épuration. Le lait de chaux doit se trouver en excès de 20 à 50 p. 100 sur la quantité théorique, en raison de la plus ou moins bonne qualité de la chaux, qui contient des *incuits* et des quantités de chaux caustique variant de 60 à 90 p. 100; de plus, une partie de la chaux reste incorporée dans le dépôt de carbonate de calcium formé.

Dans le cas où on emploie trop peu de chaux, l'épuration est incomplète; dans le cas où on en emploie un excès, on obtient une eau alcaline dangereuse dans beaucoup d'applications. Malgré ces graves inconvénients, certains industriels continuent à employer le lait de chaux.

l'épuration. L'eau mise en contact avec un excès de chaux vive, en dissout environ $1^{\text{st}},3$ par litre. Pratiquement, pour préparer l'eau de chaux, on en prend 2 gr. par litre. On peut calculer ainsi le volume d'eau de chaux à ajouter à une eau donnée, pour employer la quantité de chaux, CaO , nécessaire à son épuration.

Un des inconvénients de l'eau de chaux est précisément dû à la faible solubilité de la chaux, CaO , dans l'eau; car les volumes de réactif employés peuvent être considérables, surtout dans les appareils à fonctionnement intermittent, où il faut préparer à la fois de grands volumes d'eau de chaux.

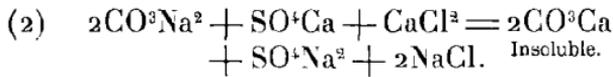
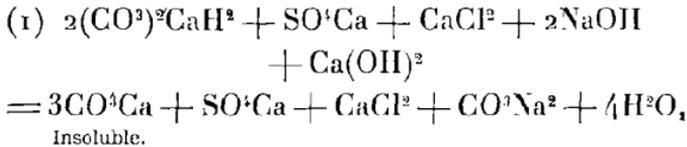
Si on compte en moyenne 5 litres 5 d'eau de chaux par mètre cube d'eau à épurer et par degré hydrotimétrique (en carbonates), et si le degré atteint 10° ou 20° , ce qui est fréquent, la quantité d'eau de chaux à préparer peut atteindre le dixième et même le cinquième du volume de l'eau à épurer, ce qui est considérable.

Nous verrons que, dans les appareils à fonctionnement continu, la préparation de l'eau de chaux se fait d'une façon continue, et cet inconvénient est beaucoup diminué.

De l'action de la chaux sur les sels alcalino-terreux, il en résulte que la chaux précipite le bicarbonate de calcium à l'état de carbonate neutre, et le bicarbonate de magnésie à l'état de magnésie hydratée provenant de la décarbonatation du sel de magnésie par la chaux, mais ne précipite ni les sulfates, ni les chlorures alcalino-terreux.

Il faut alors avoir recours à la *soude caustique* (ou à la potasse caustique), qui élimine les sulfates alcalino-terreux et le chlorure de calcium, en donnant naissance

à du carbonate de soude qui réagit sur les sulfates de calcium et de magnésium et sur le chlorure de calcium d'après les réactions suivantes :



Il ne reste donc, dans l'eau épurée après ce traitement, que du sulfate de soude et du chlorure de sodium, sels qui ne présentent pas d'inconvénients dans la plupart des applications industrielles de l'eau.

Les proportions de réactifs à ajouter à l'eau à épurer doivent être calculées, comme nous le verrons plus loin, de façon à ce que l'eau épurée ne soit pas alcaline, ce qui entraînerait de graves inconvénients. En effet, l'eau peut être alcaline soit par un excès de *soude*, ce qui rendrait l'eau *trop légère* et donnerait lieu à des entraînements de vapeur, soit par un excès de *chaux* qui produirait des incrustations dans les chaudières et des savons calcaires dans les industries utilisant le savon.

Mais si l'épuration est bien conduite et sérieusement contrôlée, le procédé basé sur l'emploi simultané de la *chaux* et de la *soude* est un des meilleurs modes d'épuration.

On remplace universellement aujourd'hui la *soude caustique*, d'un prix assez élevé, par la *soude* ou *carbonate de soude*, produit bien défini, plus maniable, coût-

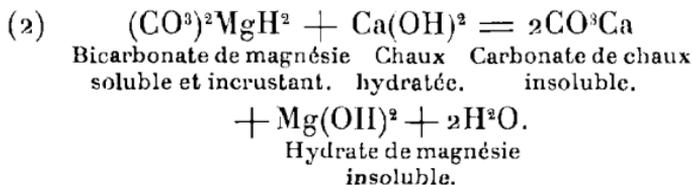
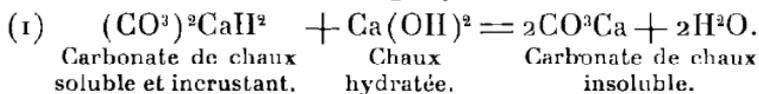
tant moins cher¹, et donnant absolument les mêmes résultats.

Il est, en effet, indifférent d'employer la soude caustique ou le carbonate de soude, car les réactions chimiques sont en réalité les mêmes, puisque la soude caustique (NaOH) donne du carbonate de soude (CO³Na²), sans cesse régénéré au contact des bicarbonates.

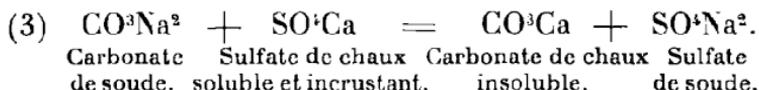
L'emploi de la soude caustique diminue seulement la dose de chaux, puisqu'elle exerce, comme celle-ci, une action caustifiante.

Il faut environ 11 gr. de sel Solvay par mètre cube et par degré hydrotimétrique (en sulfate) pour épurer une eau, et le triple lorsqu'on emploie les cristaux de carbonate de soude hydraté.

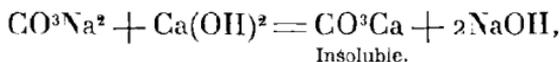
Nous avons examiné précédemment les réactions que donnent la chaux et le carbonate de soude avec les sels en dissolution dans l'eau. Les réactions suivantes mettent en évidence les actions provoquées simultanément dans l'eau par la *chaux* et le *carbonate de soude* sur les différents sels nuisibles qui y sont contenus.



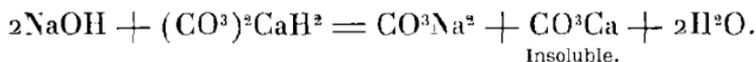
¹ Le carbonate de soude sec ou sel Solvay, qui est du carbonate de sodium (CO³Na²) presque pur, coûte actuellement 14 fr. les 100 kilogrammes.



Mais la chaux $\text{Ca}(\text{OH})^2$ réagit sur le carbonate de soude CO^3Na^2 en donnant du carbonate de chaux et de la soude caustique :



et la soude ainsi formée réagit sur le bicarbonate de chaux pour régénérer le carbonate de soude :



On voit, par ces réactions, que le carbonate de soude est sans cesse régénéré, et que le procédé d'épuration par la chaux et le carbonate de soude est en somme identique, au point de vue des réactions, à celui par la chaux et soude caustique.

Le procédé utilisant simultanément la chaux et le carbonate de soude est, à l'heure actuelle, malgré toutes les tentatives, le seul à la fois pratique et économique, et consiste, comme nous venons de le voir, à saturer par l'addition de *chaux* l'acide carbonique libre et demi-combiné des bicarbonates, et à précipiter les sels de magnésie à l'état d'hydrate insoluble, par l'addition de *carbonate de soude* à précipiter les sels de chaux restant en dissolution, le carbonate de soude transformant les sulfates en carbonates qui précipitent.

On emploie la *chaux*, non pas à l'état de lait dont la teneur serait trop incertaine, mais à l'état d'eau de chaux, qui, pratiquement après décantation, contient environ 1 gr. de chaux pure en dissolution par litre. On

mettra 5 cm³ d'eau de chaux par litre d'eau à épurer et par degré hydrotimétrique (en carbonate).

Le *carbonate de soude* est employé soit sous forme de sel Solvay, soit sous forme de cristaux. On en introduit 12 gr. (sel Solvay) par m³ et par degré hydrotimétrique en sulfate. Si on emploie les cristaux de carbonate de soude, ce qui est moins avantageux, il faut en mettre à peu près le triple (33 gr. exactement).

On peut calculer le prix de revient de l'épuration par la chaux et le carbonate de soude, d'une eau qui marque par exemple 13° hydrotimétriques en carbonate et 7° en sulfate.

Comme il faut 5 gr. environ de chaux (CaO) ou, ce qui revient au même, 5 litres d'eau de chaux par mètre cube et par degré hydrotimétrique en carbonates ;

Comme il faut, d'autre part, 12 gr. environ de carbonate de soude (sel Solvay) par mètre cube et degré hydrotimétrique en sulfate,

On doit employer pour l'eau à épurer, prise comme exemple :

$$13^{\circ} \times 5 \text{ lit.} = 65 \text{ lit. d'eau de chaux par mètre cube.}$$

$$7^{\circ} \times 12 \text{ gr.} = 84 \text{ gr. de carbonate de soude Solvay.}$$

Si nous tablons sur un prix de 14 fr. les 1 000 kilog. pour la chaux vive et de 14 fr. les 100 kilog. pour le carbonate de soude Solvay, on voit que l'épuration d'un mètre cube de l'eau à épurer nécessite une dépense de réactifs égale à 0 fr. 0081 pour la chaux + 0 fr. 0117 pour le carbonate de soude (Solvay); ce qui fait, au total, 0 fr. 0198 par mètre cube.

Pour épurer un mètre cube de l'eau que nous avons

choisie comme exemple, il faudra donc dépenser environ 2 *centimes* (au maximum).

Nous avons examiné les différentes réactions, plus ou moins avantageuses, pour corriger ou épurer les eaux. Il nous faut indiquer maintenant :

1° comment on peut calculer les quantités de réactifs nécessaires pour l'épuration d'une eau, autrement dit, déterminer les éléments d'épuration ;

2° comment on peut contrôler la marche de l'épuration.



CHAPITRE VI

ESSAIS DES EAUX INDUSTRIELLES EN VUE DE LA DÉTERMINATION DES ÉLÉMENTS D'ÉPURATION ET DU CONTRÔLE DE LA MARCHÉ DE L'ÉPURATION

Lorsqu'on a en vue soit l'épuration chimique des eaux industrielles, soit la désincrustation des chaudières à vapeur, il importe tout d'abord de savoir quelles sont les impuretés que contient l'eau que l'on veut utiliser, et ensuite de connaître les proportions de ces impuretés, pour pouvoir déterminer la nature et la quantité des réactifs à employer comme agent d'épuration ou de désincrustation.

Les méthodes d'analyses que nous avons exposées en détails nous renseignent parfaitement à ce sujet ; mais elles ont l'inconvénient d'être encore longues et de nécessiter des chimistes expérimentés pour être effectuées dans de bonnes conditions.

Aussi allons-nous indiquer quelques procédés relativement simples, permettant de calculer les quantités de réactifs nécessaires à l'épuration et de contrôler la marche de l'épuration, en se rendant compte, à tout

moment, du degré d'épuration de l'eau et en vérifiant si les doses de réactifs employés sont convenables. Ces méthodes simplifiées n'ont pas pour but de remplacer l'analyse chimique proprement dite, mais seulement de déterminer, pour une eau donnée, les éléments de son épuration et d'en contrôler les résultats.

I. Manière de formuler une analyse d'eau.

Pour formuler une analyse d'eau¹, il est avantageux de compter d'une part les éléments basiques et de l'autre les radicaux acides, sans faire naturellement aucune hypothèse sur le groupement des éléments. Il est préférable d'évaluer les divers éléments, non en grammes, mais en valences, c'est-à-dire en unités chimiques.

Exprimons en millivalences par litre les éléments basiques. Le calcium et le magnésium étant bivalents, on a :

$$\frac{\text{Ca}}{2} = x, \quad \frac{\text{Mg}}{2} = y, \quad \text{alcalins} = z.$$

Somme des valences basiques = $x + y + z$.

Désignons de la même manière les éléments acides :

Co^3 (bicarbonates) = x'

$$\frac{\text{SO}^4}{2} = y'$$

$\text{Cl. AzO}^3 = z'$

Somme des valences acides = $x' + y' + z'$

¹ A. TAVEAU. *Épuration des eaux d'alimentation de chaudières et désincrustants*, p. 24.

On doit avoir :

$$x + y + z = x' + y' + z'$$

puisqu' les éléments acides sont combinés en les saturant aux éléments basiques, la somme est la somme des valences salines de l'eau.

Il y a lieu d'ajouter l'acide carbonique libre

$$\frac{\text{CO}^3\text{H}^2}{2} = x''.$$

Si on évapore l'eau, on obtient le résidu fixe, ou résidu minéral, que nous avons exprimé en grammes ; nous l'exprimerons ici, non plus en poids, mais en valences, c'est-à-dire par la somme :

$$x + y + z = x' + y' + z'.$$

La somme $x + y$ représente ce que nous avons appelé la dureté de l'eau, qui correspond au degré hydrotimétrique.

Tout revient donc, dans cette méthode, à un changement d'unité ; nous exprimons les résultats d'analyse non plus en poids, mais en valences, comme le montre l'exemple suivant :

RÉSULTATS EN POIDS D'UNE ANALYSE D'EAU ÉQUIVALENTS

Calcium	Ca	0 ^{gr} ,2828	Ca = 20
Magnésium	Mg	0 ^{gr} ,0821	Mg = 12
Sodium	Na	0 ^{gr} ,2960	Na = 23
Ac. carbonique	CO ²	0 ^{gr} ,0855	CO ² = 30
Ac. sulfurique	SO ⁴	1 ^{gr} ,0632	SO ⁴ = 48
Chlore	Cl	0 ^{gr} ,3142	Cl = 35,5
	Total	<hr/> 2 ^{gr} ,1238	

En appliquant les principes exposés précédemment, c'est-à-dire en divisant le poids obtenu de la substance par son équivalent chimique, nous aurons, d'un côté les valences basiques, de l'autre les valences acides.

ÉLÉMENTS BASIQUES	ÉLÉMENTS ACIDES
$\frac{\text{Ca}}{2} = \frac{282,8}{20} = 14,14$	$\text{CO}^3 = \frac{85,5}{30} = 2,85$
$\frac{\text{Mg}}{2} = \frac{82,1}{12} = 6,84$	$\frac{\text{SO}^2}{2} = \frac{1063,2}{48} = 22,15$
$\text{Na} = \frac{296,0}{23} = 12,87$	$\text{Cl} = \frac{314,2}{35,5} = 8,85$
$\text{Total} = 33,85$	$\text{Total} = 33,85$

On a ainsi mis en évidence les éléments basiques et les éléments acides, dont la somme représente les valences salines, par litre d'eau.

Supposons maintenant que nous voulions épurer une telle eau à l'aide de la chaux et du carbonate de soude.

Les éléments qui interviennent sont représentés par :

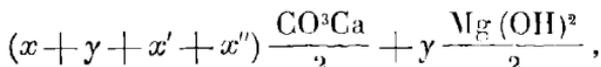
$$x \left(\frac{\text{Ca}}{2} \right) \quad y \left(\frac{\text{Mg}}{2} \right) \quad x' (103) \quad \text{et} \quad x'' \left(\frac{\text{CO}^3\text{H}^2}{2} \right).$$

On devra donc ajouter à l'eau en question :

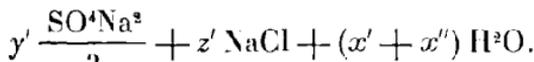
$$(x'' + x' + y) \frac{\text{Ca}(\text{OH})^2}{2} \quad (\text{de chaux}),$$

$$(x + y - x') \frac{\text{CO}^3\text{Na}^2}{2} \quad (\text{de carbonate de soude}),$$

ce qui donne, après réaction :



qui se précipitent, tandis que restent dissous :



La somme des valences, après réaction et décantation ou filtration, est :

$$y' + z' = x + y + z - x'.$$

qui est constituée par des sels de soude.

Pour connaître les quantités de réactifs à employer, on multiplie les chiffres obtenus par le poids moléculaire de ces réactifs.

On devra donc employer :

$(x'' + x' + y) 37^{\text{gr}}$ de chaux vive par mètre cube
et :
 $(x + y - x')$ 53^{gr} de carbonate de soude par mètre cube.

II. Calcul des éléments d'épuration des eaux industrielles.

I. **Méthode Léo Vignon et Louis Meunier**¹.
— Cette méthode a pour but de déterminer rapidement et très facilement :

1° la quantité de chaux nécessaire à la saturation intégrale de l'acide carbonique libre ou demi-combiné contenu dans les eaux, et à doser exactement cet acide ;

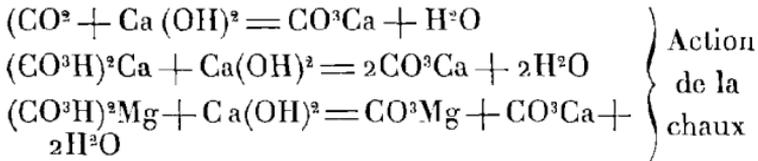
¹ VIGNON et MEUNIER, *Moniteur scientifique*, juillet 1899. — C. R., 13 mars 1899.

2° la quantité de carbonate de soude nécessaire à la transformation intégrale des chlorures et sulfates de calcium et de magnésium.

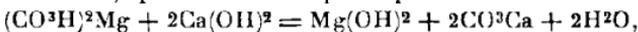
La détermination des quantités de chaux et de carbonate de soude est indispensable lorsque l'on a en vue, soit l'épuration chimique des eaux industrielles, soit l'emploi du carbonate de soude comme agent de désincrustation des chaudières à vapeur.

L'épuration chimique des eaux industrielles s'effectue sur les eaux dont le degré hydrotimétrique dépasse une certaine limite, variable avec les industries. Elle consiste à saturer, par la chaux, l'acide carbonique libre ou demi-combiné, et à précipiter les sels de calcium et de magnésium à l'état de carbonate de calcium et d'hydrate de magnésie.

Les réactions, d'après MM. Vignon et Meunier, semblent donc pouvoir être exprimées sensiblement par les équations suivantes ¹ :

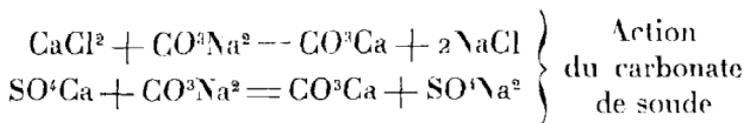


¹ MM. Vignon et Meunier admettent que l'action de la chaux sur le bicarbonate de magnésium donne naissance à du carbonate de magnésium CO^3Mg . Nous admettons, pour les raisons indiquées précédemment, que la réaction qui se produit est celle-ci :



car le carbonate de magnésium CO^3Mg ne peut exister en présence d'un excès de chaux qui donne la réaction :





$n\text{MgCl}^2 + n\text{CO}^3\text{Na}^2 + \text{H}^2\text{O} = \text{carbonate basique de magnésium} + 2n\text{NaCl} + \text{CO}^2$

$2n\text{SO}^4\text{Mg} + n\text{CO}^3\text{Na}^2 + \text{H}^2\text{O} = \text{carbonate basique de magnésium} + 2n\text{SO}^4\text{Na}^2 + \text{CO}^2.$

Or le carbonate de calcium est un peu soluble dans l'eau ; l'hydrocarbonate de magnésium l'est davantage. Il en résulte que si l'on remarque l'état de dilution des liqueurs qui réagissent, les réactions précédentes ne sont jamais complètes lorsqu'on effectue industriellement la purification ; la limite que l'on atteint varie avec le temps pendant lequel la réaction se poursuit, avec les proportions relatives et absolues des différents sels dissous dans l'eau, et avec la température à laquelle s'effectue la purification.

Il est donc impossible d'établir une méthode d'essai des eaux devant subir l'épuration chimique, en se plaçant dans les conditions industrielles, puisque ces conditions ne sont jamais constantes, même avec un appareil déterminé ; car, dans ce dernier cas, le temps de l'épuration variant chaque fois suivant les besoins de l'usine, l'influence du temps se fait sentir dans de très notables proportions.

Aussi, à la suite d'un grand nombre d'essais effectués avec des liqueurs titrées des différents sels contenus dans l'eau, les auteurs ont-ils renoncé à déterminer exactement les quantités de carbonate de sodium et de chaux qui réagissent effectivement dans la purifica-

tion industrielle d'une eau déterminée, et se sont posé le problème suivant, qu'ils ont résolu d'une façon simple et rapide :

Étant donné une eau industrielle, déterminer :

1° la quantité totale d'acide carbonique libre ou demi-combiné contenu dans cette eau, et, par suite, la quantité totale de chaux nécessaire pour la saturer intégralement ;

2° la quantité totale de carbonate de soude nécessaire pour transformer intégralement les chlorures et sulfates de calcium et de magnésium en carbonates de calcium et de magnésium ¹.

Nous obtiendrons ainsi des nombres limites, mais fixes, nous donnant une valeur exacte de la qualité de l'eau, au point de vue de l'industrie à laquelle elle est destinée.

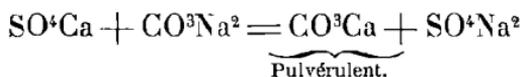
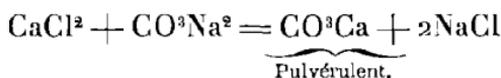
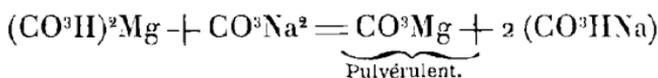
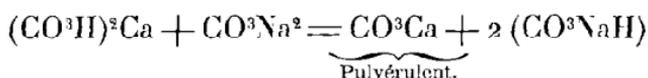
Ce problème analytique a été résolu par MM. Vignon et Meunier de la façon suivante : ils introduisent dans le milieu réagissant un liquide susceptible d'insolubiliser les carbonates de calcium et de magnésium, sans précipiter cependant les sels dissous dans l'eau, de manière à obtenir de suite une réaction totale ; ce liquide est l'alcool en dilution convenable. L'insolubilisation complète des carbonates permettait l'emploi de la phtaléine du phénol, comme réactif, qui n'était plus ainsi colorée par les bicarbonates solubles, et on pouvait en outre faire le titrage à froid.

Détermination de la quantité de carbonate de soude

¹ Il ne peut pas se former dans ces conditions de carbonate de magnésie CO^3Mg , pour les raisons que nous avons indiquées p. 191.

à employer comme agent épurant ou désincrustant. — Pour diminuer autant que possible l'incrustation des chaudières alimentées par des eaux chargées de sels minéraux, on peut soit leur faire subir une épuration chimique préalable, soit ajouter directement dans la chaudière du carbonate de soude.

Le carbonate de soude donne, avec les sels minéraux de l'eau portée à l'ébullition à l'intérieur de la chaudière, la série de réactions suivantes :



$n\text{MgCl}^2 + n\text{CO}^3\text{Na}^2 + \text{H}^2\text{O} =$ carbonate basique de magnésie $+ 2n\text{NaCl} + \text{CO}^2$

$n\text{SO}^4\text{Mg} + n\text{CO}^3\text{Na}^2 + \text{H}^2\text{O} =$ carbonate basique de magnésie $+ n\text{SO}^4\text{Na}^2 + \text{CO}^2$

Le bicarbonate CO^3NaH qui a pris naissance se décompose à l'ébullition, et on a finalement :



de telle sorte que le carbonate est régénéré et qu'il suffit de l'introduire, une fois pour toutes, dans l'appareil.

Le carbonate de soude réellement consommé est celui qui correspond aux chlorures et aux sulfates de calcium et de magnésium. Mais, dans ce cas, les différentes

réactions sont complètes, car l'eau, qui est éliminée par l'ébullition, abandonne dans la chaudière tous les sels, qui finissent par atteindre une concentration suffisante pour entrer complètement en réaction avec le carbonate de soude.

De cette étude générale, faite par MM. Vignon et Meunier, il résulte qu'il faut doser :

- 1° l'acide carbonique libre ou demi-combiné ;
- 2° la quantité de carbonate de soude nécessaire à la transformation des chlorures et des sulfates de calcium et de magnésium après élimination des carbonates de ces mêmes métaux.

Les méthodes analytiques suivantes vont nous permettre de doser : 1° l'acide carbonique *libre* ou *demi-combiné* ; 2° le carbonate de soude nécessaire à la transformation des chlorures et des sulfates.

1° *Dosage de l'acide carbonique libre ou demi-combiné.*

Principe. — L'acide carbonique libre ou demi-combiné possède la propriété de décolorer la liqueur rouge obtenue par le mélange d'eau de chaux et de solution alcoolique de phénolphtaléine.

L'action de l'eau de chaux sur l'acide carbonique libre ou demi-combiné est complète et beaucoup plus rapide si la réaction s'effectue dans une solution contenant 50 % d'alcool, en raison de l'insolubilité du carbonate de chaux en milieu alcoolique.

Réactifs. — On emploie une solution titrée d'hydrate de chaux, qu'on prépare en introduisant 10 grammes de chaux vive bien blanche, éteinte au préalable avec un peu d'eau, dans un flacon de deux litres qu'on remplit d'eau distillée et bouillie. Après avoir laissé reposer, on

obtient une solution claire qui contient $1^{\text{st}},8$ de $\text{Ca}(\text{OH})^2$ par litre, à la température de 15° .

Comme indicateur, on se sert d'une solution alcoolique de phénolphthaléine obtenue en dissolvant 5 grammes de phtaléine du phénol dans 100 cm^3 d'alcool à 93° ; on filtre après une heure de digestion.

L'alcool employé pour le titrage sera bouilli avant d'effectuer le dosage (alcool à 93° et neutre).

Mode opératoire. — 1° On introduit, dans une éprouvette de 100 cm^3 bouchée à l'émeri, 5 cm^3 d'eau distillée récemment bouillie dans une capsule (de nickel de préférence). Compléter le volume à 100 cm^3 avec de l'alcool à 93° bouilli et froid. Ramener l'éprouvette à la température ordinaire et ajouter 10 gouttes de solution de phénolphthaléine, et verser 1 cm^3 d'eau de chaux au moyen d'une burette graduée. On a ainsi le type auquel on comparera le dosage.

2° Introduire, dans une seconde éprouvette identique, 50 cm^3 d'eau à analyser; compléter le volume à 100 cm^3 avec de l'alcool bouilli; ramener l'éprouvette à la température ordinaire, ajouter 10 gouttes de phénolphthaléine, et verser à l'aide d'une burette graduée, en agitant de temps en temps, la solution d'eau de chaux jusqu'à coloration persistante identique à celle du type.

Soit n le nombre de cm^3 employés; le volume d'acide carbonique V libre ou demi-combiné en cm^3 par litre d'eau (ou en litres par m^3) est donné par la formule :

$$V = \frac{n \times 1,8 \times 22 \times 1000}{50 \times 37 \times 1,977}$$

$$= \frac{n \times 1,8 \times 1000}{50} \times 0,3 = n \times 10,8.$$

2° *Dosage du carbonate de soude nécessaire à la transformation des chlorures et des sulfates.*

Principe. — Les sulfates et chlorures de calcium et de magnésium dissous dans l'eau sont totalement et rapidement transformés en carbonates par une solution de soude, si l'on a préalablement additionné l'eau de son volume d'alcool.

La phénolphtaléine, d'autre part, est colorée par le carbonate de soude, mais non par les sulfates et chlorures de calcium et de magnésium dans les conditions précédentes. Il en résulte que l'on pourra déterminer dans une eau la quantité de carbonate de soude nécessaire à la transformation des chlorures et sulfates de calcium et de magnésium, en opérant, dans les conditions précédentes, à l'aide d'une liqueur titrée de carbonate de soude.

— *Réactifs.* — La solution titrée de carbonate de soude contient 1^{er} de CO_3Na^2 par litre d'eau distillée bouillie.

On emploie, comme indicateur, la solution de phénolphtaléine.

Mode opératoire. — 1° On prépare un type en introduisant, dans une éprouvette de 100 cm^3 graduée et bouchée à l'émeri, 50 cm^3 d'eau distillée bouillie; on complète le volume à 100 cm^3 avec de l'alcool à 93° bouilli, on ajoute à froid 10 gouttes de phénolphtaléine et 3 cm^3 de solution titrée de carbonate de soude. On obtient ainsi un type d'intensité suffisante.

2° D'autre part, on introduit dans une capsule (de nickel) 50 cm^3 d'eau à analyser, et on porte doucement à l'ébullition quelques minutes, on verse dans une éprouvette graduée semblable à la première, on rince à l'eau distillée qu'on ajoute dans l'éprouvette, on complète

le volume à 100 cm³ avec de l'alcool à 93° bouilli, et on ajoute 10 gouttes de phénolphthaléine. On laisse refroidir à la température ordinaire.

On verse alors la solution titrée de carbonate de soude, à l'aide d'une burette graduée, jusqu'à coloration identique à celle du type.

Soit n le nombre de cm³ versés, on a la quantité de carbonate de soude nécessaire pour la transformation des chlorures et des sulfates contenus dans un mètre cube d'eau, donnée par la formule :

$$\frac{n \times 1000 \times 1000}{50 \times 1000} = 20 n^{\text{gr}}, \text{ de } \text{CO}^3\text{Na}^2.$$

Ayant ainsi déterminé par l'analyse les quantités de chaux et de carbonate de soude nécessaires pour épurer une eau, il suffit d'interpréter les résultats suivant la méthode de MM. Vignon et Meunier.

La quantité de chaux destinée à l'épuration sera par mètre cube [si on a trouvé, par exemple, après essai que 50 cm³ de l'eau examinée nécessitent n cm³ d'eau de chaux (à 1^{gr},8 au litre)] :

$$\frac{n \times 1000 \times 1000 \times 1,8}{50 \times 1000} = 36 n \left\{ \begin{array}{l} \text{grammes de chaux} \\ \text{éteinte Ca(OH)}^2 \end{array} \right.$$

$$\text{ou } 36 n \times \frac{28}{37} = 27,24 n \left\{ \begin{array}{l} \text{grammes de chaux} \\ \text{vive CaO} \end{array} \right.$$

Ce qu'on peut exprimer d'une autre manière, en disant qu'il faut, par litre de CO² 2^{gr},5 de chaux vive CaO.

La quantité de carbonate de soude est, comme on l'a vu plus haut, de 20 n grammes par mètre cube d'eau

(n étant le nombre de cm^3 de solution de CO^3Na^2 titrée pour 50 cm^3 de l'eau à essayer).

On a donc ainsi les quantités théoriques de réactifs nécessaires à l'épuration chimique d'une eau. En pratique, il y a lieu de réduire ces quantités, suivant la température, la durée, etc. C'est par tâtonnement qu'on arrive à de bons résultats.

En général, une eau sera bien épurée quand 50 cm^3 de cette eau épurée ne se colorent pas par 10 gouttes de phénolphtaléine à l'ébullition.

Nous avons vu qu'on employait le carbonate de soude directement, pour l'eau d'alimentation des chaudières, sans épuration préalable.

Pour déterminer la quantité de carbonate de soude correspondant aux bicarbonates, il suffit de savoir que $4^{\text{sr}},76$ de CO^3Na^2 correspondent à un litre d'acide carbonique. Si V est le volume en litres de l'acide carbonique contenu dans un litre d'eau à essayer, déterminé d'après l'essai précédent, on devra employer, par mètre cube d'eau, un poids de carbonate de soude CO^3Na^2 égal à :

$$P = V \times 1000 \times 4,76 = 4760 V \text{ grammes}$$

Ce poids est ajouté une fois pour toutes et proportionnellement au volume d'eau contenu dans la chaudière.

La quantité de carbonate de soude correspondant aux chlorures et aux sulfates a été déterminée comme pour l'épuration chimique ; elle est égale à $20 n$ par m^3 d'eau.

On a ainsi la quantité totale de carbonate de soude qu'il faut ajouter comme désincrétant dans la chau-

dière, quand l'eau d'alimentation n'a pas subi l'épuration chimique au préalable.

2. **Méthode Derennes.** — Une autre méthode, plus pratique, due à M. Derennes ¹, permet d'évaluer rapidement la quantité de réactifs à employer (chaux et carbonate de soude) pour épurer une eau industrielle ; elle consiste à titrer alcalimétriquement les bases alcalines et terreuses libres ou en combinaison que contient l'eau à essayer.

Principe de la méthode. — Les alcalis et les carbonates acides ou neutres donnent, avec un indicateur coloré tel que le méthylorange (ou hélianthine), une coloration jaune, qui vire au rouge avec les acides libres (SO_2H^2 par exemple). D'autre part, les alcalis libres et les carbonates neutres donnent, avec un autre indicateur, tel que la phtaléine du phénol en solution alcoolique, une coloration rouge vif. Les bicarbonates, au contraire, ne colorent pas la phénolphtaléine.

Donc, si on titre avec une solution titrée d'acide sulfurique une solution alcaline (colorée par quelques gouttes de phtaléine), on a la teneur en alcali du liquide essayé.

Si on fait le même essai, toujours en présence de la phtaléine, sur une dissolution de carbonate neutre, la quantité d'acide qui a réagi lorsqu'on obtient la décoloration, est la moitié de la quantité qu'il faudrait pour saturer tout l'alcali combiné : cela tient à la transformation, par l'anhydride carbonique, des carbonates en bicarbonates ou carbonates acides qui, comme nous le savons, n'ont pas d'action sur la phtaléine.

¹ E. DERENNES, *Étude sur l'épuration des eaux.*

En faisant usage de ces deux indicateurs : l'hélianthine et la phtaléine, on peut doser l'alcali combiné soit à l'état de carbonate, soit à l'état de bicarbonate, comme on peut s'en rendre compte par l'exemple suivant :

100 cm³ de la solution alcaline, additionnés de quelques gouttes d'hélianthine, ont demandé n cm³ d'acide sulfurique (liqueur titrée étendue) pour passer du jaune au rose.

100 cm³ de la même solution, additionnés cette fois de quelques gouttes de phtaléine, ont nécessité n' cm³ du même acide sulfurique titré pour que la teinte rouge disparaisse et que le liquide devienne incolore.

On peut en déduire les résultats suivants, selon les différents cas :

1^{er} cas. Si la solution n'est pas colorée par la phénol-phtaléine, c'est qu'il n'y a pas d'alcali caustique ou de carbonate neutre, et $n' = 0$. Il n'y a que des bicarbonates, en quantité correspondant à n .

2^e cas. Si $n' = n$, il n'y a que de l'alcali caustique.

3^e cas. Si $n' = \frac{n}{2}$, il n'y a que du carbonate, en quantité $n = 2n'$.

4^e cas. Si $n' > \frac{n}{2}$, il y aura $2n' - n$ d'alcali caustique, et par suite $n - (2n' - n)$ ou $2(n - n')$ de carbonate neutre.

5^e cas. Si $n' < \frac{n}{2}$, il y aura $2n'$ de carbonate.

On voit donc que, suivant les valeurs trouvées pour n et pour n' , on a les proportions d'alcali, de carbonate et de bicarbonate dans l'eau examinée.

La méthode de M. Derennes est appliquée pratiquement de la façon suivante :

On se sert comme réactifs :

1°) d'eau de chaux obtenue en saturant 3 litres d'eau par 100 grammes de chaux éteinte. Après repos, la liqueur claire a une composition à peu près constante, et 100 cm³ de cette eau de chaux correspondent à 46 cm³ d'une liqueur d'acide sulfurique décimormal.

2°) d'acide sulfurique décimormal (contenant, par litre, 4^{gr},9 d'acide SO²H²) ;

3°) d'une liqueur normale de carbonate de soude (contenant, par litre, 53 gr. de CO³Na² pur et sec) ;

4°) de réactifs indicateurs : méthylorange (1 gr. par litre) et phénolphtaléine en solution alcoolique (3 gr. pour 100 gr. d'alcool à 90°).

La détermination des quantités de chaux et de soude nécessaires à l'épuration s'effectue de la façon suivante :

On traite un certain volume de l'eau à épurer par une quantité de chaux A, en excès sur celle qui est présumée nécessaire à l'épuration. Après réaction, on mesure par un essai alcalimétrique la quantité de chaux en excès *a*.

A — *a* représente la quantité de chaux nécessaire pour le volume d'eau sur lequel on a fait l'essai.

L'essai au méthylorange et celui à la phénolphtaléine doivent donner les mêmes résultats.

Pour déterminer la quantité de carbonate de soude, on traite une certaine quantité de l'eau à épurer par un excès A de chaux, puis par une quantité B de carbonate de soude, assez grande pour qu'il y en ait un

excès. Après réaction, on titre au méthylorange; soit a' la quantité d'acide employé, $B - a'$ est la quantité de soude nécessaire pour le volume d'eau à essayer. Le titre en méthylorange doit être sensiblement plus élevé que le titre à la phénolphtaléine.

Essai. — Voici le mode opératoire pour faire l'essai :

1°) Prendre le titre de l'eau de chaux sur 5 cm³ au moyen de la solution décimale d'acide sulfurique et du méthylorange comme indicateur.

2°) Mettre dans un flacon d'un litre et demi 1000 cm³ de l'eau à essayer et ajouter 400 cm³ d'eau de chaux. Agiter et, après repos pendant 3 à 4 heures, on mesure 50 cm³ du liquide clair.

3°) Titrer ces 50 cm³ au moyen de la liqueur décimale d'acide sulfurique et de la phénolphtaléine comme indicateur. On fait une première lecture.

Pour faire la vérification, on ajoute 2 gouttes de méthylorange, le liquide devient jaune; on ajoute 2 à 3 gouttes d'acide sulfurique déci-normal, le liquide doit virer au rouge. On fait une nouvelle lecture.

On doit trouver au moins 1 cm³ pour qu'il y ait un excès de chaux; s'il n'en est pas ainsi, ou s'il y a une différence sensible entre les deux nombres obtenus, il y a manque de chaux.

Comme on a fait l'essai sur 5 cm³, il faut, pour avoir l'excès de chaux sur un litre, multiplier le

résultat obtenu par : $\frac{1000 + 400}{50} = 28$.

Si les 400 cm³ étaient insuffisants, on recommencerait de la même façon en ajoutant cette fois

600 cm³; le résultat devrait être alors multiplié

$$\text{par : } \quad 1000 \div \frac{600}{50} = 32.$$

Pour déterminer la quantité de carbonate de soude à employer, on met dans un flacon 500 gr. de l'eau déjà traitée par la chaux, et on ajoute 20 cm³ de la solution titrée de carbonate de soude. On agite, et après repos (2 ou 3 heures), on titre 50 cm³ du liquide clair au moyen de l'acide sulfurique déci normal et du méthylorange. On multiplie le résultat trouvé par :

$$\frac{520}{50} = 10,4.$$

On a ainsi l'alcalinité sur 500 cm³; en la retranchant des 20 cm³ employés, on a le carbonate de soude nécessaire à l'épuration pour 500 cm³, et pour un litre on multiplie par 2 le chiffre trouvé.

S'il y a une quantité de carbonate de soude suffisante, le titre au méthylorange dépasse le titre à la phénolphtaléine.

Dans le cas contraire, il y a manque de carbonate de soude, et on recommence en ajoutant de la solution titrée de CO³Na².

La proportion de réactifs à employer ayant été déterminée, il reste à *contrôler* le résultat de l'épuration.

On peut épurer une eau soit à l'aide de la chaux, soit avec la chaux et le carbonate de soude simultanément.

1^o) Dans le cas de l'épuration au moyen de la chaux seule, on prend le titre alcalimétrique de l'eau au méthylorange sur une prise d'essai de 50 cm³.

Le titre, rapporté au litre, ne doit pas dépasser 0^{cm³},6.

Si le titre est plus élevé, c'est qu'il y a trop ou pas assez de chaux; s'il y a trop de chaux, une goutte de l'eau épurée donne, avec le papier jaune de curcuma, une tache plus ou moins rouge. On se rend compte aisément de la quantité de chaux en trop ou en moins par la quantité d'acide titré qu'il faut ajouter pour arriver à la teinte rose.

2°) Dans le cas où on emploie simultanément la chaux et le carbonate de soude, on procède de la manière suivante :

On ajoute à l'eau épurée un excès de chaux A et un excès de carbonate de soude B , pour précipiter toute la chaux en excès; on laisse reposer, on décante, on titre à la phénolphtaléine et au méthylorange.

Soient n et n' ces deux titres; si l'épuration a été bien faite, l'eau contiendra A d'hydrate de chaux et $B - A$ de carbonate de soude; on devra donc trouver :

$$2n - n' = A$$

$$n' = B.$$

Si nous envisageons les différents cas, nous avons le tableau :

$A > 2n - n'$ il manque $A - 2n + n'$ de chaux.

$A < 2n - n'$ il y a excès de $2n - n' - A$ de chaux.

$B > n'$ il manque $B - n'$ de carbonate de soude.

$B < n'$ il y a excès de $n' - B$ de carbonate de soude.

On effectue les essais de la même façon que pour déterminer les réactifs à employer pour l'épuration, en rapportant toujours au litre les titres alcalimétriques

trouvés. Des résultats obtenus, on déduit les modifications à apporter au dosage des réactifs pour l'épuration des nouvelles quantités d'eau à traiter.

Exemple du calcul des doses de réactifs épurants. — *Titration de l'eau de chaux employée comme réactif.*

5 cm³ de cette eau de chaux, additionnés de méthylorange, ont viré au rouge après y avoir versé goutte à goutte 2^{cm}³,3 de solution déci-normale d'acide sulfurique (à 4^{gr},9 SO³H² par litre).

1000 cm³ de solution déci normale d'acide sulfurique correspondent à 2^{gr},8 de chaux.

Les 2^{cm}³,3 de solution acide employés correspondent donc à :

$$\frac{2,3 \times 2,8}{1000} = 0^{\text{gr}},00644 \text{ de chaux,}$$

d'où on déduit que 5 cm³ d'eau de chaux contiennent 0^{gr},00644 de chaux,

et que 400 cm³ d'eau de chaux contiennent 0^{gr},5152 de chaux.

Détermination de la quantité d'eau de chaux nécessaire pour épurer 1 litre d'eau.

1 litre de l'eau à épurer a été traité par 400 cm³ d'eau de chaux titrée ci-dessus.

Après agitation, puis repos pendant 4 heures, on a prélevé 50 cm³ du liquide clair, auxquels on a ajouté une goutte de phtaléine pour colorer en rouge.

Ces 50 cm³ de liquide ont exigé 2^{cm}³,7 de solution déci-normale d'acide sulfurique pour faire disparaître la coloration rouge.

On a ajouté ensuite au même liquide 2 gouttes de méthylorange qui l'ont coloré en jaune.

Il a fallu ajouter, pour obtenir de nouveau la coloration rouge, $0^{\text{cm}^3},3$ d'acide sulfurique déci normal.

Par conséquent, $2^{\text{cm}^3},7 + 0^{\text{cm}^3},3$ d'acide sulfurique déci-normal ont été employés pour saturer la chaux *en excès* contenue dans 50 cm^3 du liquide.

Pour calculer la quantité de chaux en excès contenue dans 1 litre, on multiplie d'abord 3 cm^3 par :

$$\frac{1000 + 400}{50} = 28$$

puisqu'on a traité 1000 cm^3 d'eau par 400 cm^3 d'eau de chaux, ce qui porte le volume du liquide à 1400 cm^3 et qu'on a prélevé 50 cm^3 de ce mélange :

$28 \times 3 = 84 \text{ cm}^3$ de solution d'acide sulfurique déci-normale correspondent donc à la quantité de *chaux en excès* pour 1 litre d'eau.

La solution déci-normale d'acide sulfurique ($4^{\text{gr}},9$ par litre) sature volume à volume une solution déci-normale de chaux ($2^{\text{gr}},8$ par litre),

84 cm^3 de solution déci-normale d'acide sulfurique ont donc saturé :

$$0^{\text{gr}},0028 \times 84 = 0^{\text{gr}},2352 \text{ de chaux en excès.}$$

Or, d'après le titrage de l'eau de chaux employée comme réactif, on sait que les 400 cm^3 d'eau de chaux ajoutés contiennent $0^{\text{gr}},5152$ de chaux.

Il a donc été employé :

$$0^{\text{gr}},5152 - 0^{\text{gr}},2352 = 0^{\text{gr}},280$$

de *chaux nécessaire* pour l'épuration de 1 litre d'eau.

Si l'on préfère, pour plus de facilité dans la mesure

du réactif, déterminer le *volume* d'eau de chaux nécessaire, on l'obtiendra par le calcul suivant :

$$\frac{400 \times 0,280}{0,5152} = 217^{\text{cm}^3},4 \text{ d'eau de chaux.}$$

Détermination de la quantité de carbonate de soude nécessaire pour épurer 1 litre d'eau.

On a prélevé 500 cm³ de l'eau déjà traitée par un excès de chaux, et on y a ajouté 20 cm³ de la solution normale de carbonate de soude Solvay (à 53 gr. de CO²Na² par litre).

Après agitation, puis repos pendant 4 heures, on a prélevé 50 cm³ du liquide clair, que l'on a additionnés de méthylorange et dans lesquels on a versé goutte à goutte 16^{cm}^3},6 de solution déci-normale d'acide sulfurique pour obtenir la coloration rouge.}

Soit 1^{cm}^3},66 de solution normale d'acide sulfurique.}

Pour calculer la quantité de carbonate de soude employée *en excès*, on multiplie ce nombre par :

$$\frac{500 + 20}{50} = 10,4$$

puisqu'on a traité 500 cm³ d'eau par 20 cm³ de carbonate de soude, ce qui porte le volume du mélange à 520 cm³, dont on a prélevé 50 cm³.

10,4 × 1,66 = 17^{cm}^3},26 d'acide sulfurique normal correspondant à la quantité de carbonate de soude employée en excès.}

Les solutions normales d'acide sulfurique et de carbonate de soude se satisfont volume à volume, il a donc fallu :

20 — 17,26 = 2^{cm³},74 de solution de carbonate de soude pour épurer 500 cm³ d'eau,

et

2,74 × 2 = 5^{cm³},48 pour 1000 cm³ ou 1 litre d'eau.

Pour connaître le *poids* de carbonate de soude employé, il suffit d'effectuer le calcul suivant :

$$\frac{5,48 \times 53}{1000} = 0^{\text{sr}},290$$

de carbonate de soude nécessaire pour épurer 1 litre d'eau.

3. **Méthode Declercq et Verbièse.** — MM. Declercq et Verbièse¹ ont établi une méthode de contrôle de l'épuration des eaux, basée :

- 1° sur la détermination du degré hydrotimétrique ;
- 2° sur un essai alcalimétrique avec la phtaléine ;
- 3° sur un essai alcalimétrique avec le méthylorange.

Les liqueurs titrées et les vases gradués nécessaires pour ces essais sont établis de manière à donner aux titres trouvés une valeur équivalente à celle des degrés de la méthode hydrotimétrique Boutron et Boudet.

La prise normale d'essai est de 100 cm³, et l'unité de division des burettes et pipettes graduées est de un dixième centimètre cube.

Les liqueurs ont une concentration équivalente à 200° hydrotimétriques Boutron et Boudet.

Essai hydrotimétrique. — On procède à la détermination du degré hydrotimétrique pour apprécier la dureté de l'eau, c'est à dire la proportion des sels sus-

¹ DECLERCQ ET VERBIÈSE, *Bulletin de la Société industrielle du Nord de la France*, n° 108.

ceptibles de précipiter les savons alcalins pour former des savons insolubles de *chaux* et de *magnésie*.

Essais alcalimétriques. — Ces essais ont pour but de déterminer la proportion des sels à réaction alcaline contenus dans l'eau après l'épuration.

On verse pour cela une solution titrée d'acide sulfurique jusqu'à disparition de la coloration rouge produite par la phthaléine du phénol, qui colore en rouge les solutions alcalines et ne donne aucune coloration avec les solutions acides ou neutres.

La réaction acide est constatée par l'hélianthine ou méthylorange (ou orangé Poirrier n° 3), qui colore en jaune les solutions alcalines et vire au rose avec les solutions acides.

La réaction alcaline est produite par les bases : potasse, soude, et par les terres alcalines : chaux, magnésie, baryte, qui colorent la phthaléine en rouge lorsqu'elles sont à l'état libre ou à l'état de monocarbonates, et la laissent incolore lorsqu'elles sont à l'état de bicarbonates ou de sulfates.

L'hélianthine, en présence de ces bases, ne se colore en rose que lorsqu'on les a saturées par de l'acide ajouté en excès.

Donc, en procédant à un titrage alcalimétrique en présence de phthaléine comme indicateur, on obtient la décoloration de l'eau lorsque tous les alcalis sont transformés en sulfates ou en bicarbonates.

Les alcalis caustiques seront d'abord transformés en sulfates et exigeront pour cela une quantité d'acide sulfurique équivalente à leur propre teneur.

Les carbonates seront transformés en sulfates et bicarbonates avec une quantité d'acide qui ne corres-

pondra qu'à la moitié de leur propre équivalent, parce que, au fur et à mesure que l'acide transforme le carbonate en sulfate, l'acide carbonique mis en liberté se porte sur une quantité équivalente de carbonate pour le transformer en bicarbonate.

En procédant ensuite à la détermination du titre alcalimétrique avec l'hélianthine comme indicateur, la coloration rose n'apparaîtra que lorsque la totalité des alcalis : caustiques, carbonatés ou bicarbonatés, aura été transformée en sulfates et qu'on aura employé pour cela un excès d'acide sulfurique.

Ces principes étant posés, on procède de la façon suivante pour vérifier si l'épuration de l'eau est complète après avoir employé les quantités *strictement nécessaires* de réactifs. Dans ce cas, l'eau épurée ne doit plus contenir que la proportion soluble des carbonates (4° environ) sans excès de chaux caustique ni de carbonate de soude.

Si nous représentons le titre hydrotimétrique par TH,

Si nous représentons le titre alcalimétrique à la phtaléine par TA,

Si nous représentons le titre alcalimétrique complet à l'hélianthine par TAC,

Nous obtiendrons entre ces titres les relations suivantes :

$$(1) \quad \text{TH} = \text{TAC}$$

et

$$(2) \quad \text{TA} = \frac{\text{TAC}}{2}.$$

1° $\text{TH} = \text{TAC}$, parce que tous les sels de chaux et

de magnésie qui donnent le titre hydrométrique sont à l'état de carbonates, qu'il n'y a plus de sulfates et que le carbonate de soude ne se trouve pas en excès.

Si $TH > TAC$, l'eau contient encore des sulfates; le carbonate de soude a été ajouté en quantité insuffisante.

Si $TH < TAC$, l'eau contient des alcalis autres que les sels de chaux et de magnésie, c'est-à-dire du carbonate de soude en excès.

2° $TA = \frac{TAC}{2}$ parce que, tous les alcalis étant à l'état de monocarbonates, le titre alcalimétrique à la phthaléine (TA) a été obtenu avec une quantité d'acide sulfurique égale à la moitié de son équivalent total, comme il a été indiqué ci-dessus.

Si $TA > \frac{TAC}{2}$, l'eau contient un alcali caustique, c'est-à-dire de la chaux en excès.

Si $TA < \frac{TAC}{2}$, l'eau contient encore des bicarbonates, c'est à dire que la chaux a été ajoutée en quantité insuffisante.

En résumé, le maximum d'épuration est atteint lorsque $TH = TAC$ et qu'en même temps $TA = \frac{TAC}{2}$.

A ce moment, TAC représente une certaine quantité de carbonates calcaires qui n'ont pu être précipités, par suite de leur solubilité, à la température où s'effectue l'épuration.

Lorsque l'épuration est imparfaite, il peut se présenter les quatre cas suivants :

:

Il y a *manque de chaux* lorsque TA est inférieur à $\frac{TAC}{2}$.

Il y a *excès de chaux* lorsque TA est supérieur à $\frac{TAC}{2}$.

Il y a *manque de carbonate de soude* lorsque TH est supérieur à TAC.

Il y a *excès de carbonate de soude* lorsque TH est inférieur à TAC.

Deux des quatre cas ci-dessus peuvent se présenter simultanément, et il peut se produire, pour un même échantillon d'eau, qu'il y ait manque de chaux et excès de carbonate de soude, lorsque TA est inférieur

à $\frac{TAC}{2}$ et qu'en même temps TH est inférieur à TAC.

Pour être certain de n'avoir ni incrustations ni dépôts, il faut toujours que le titre hydrotimétrique (TH) de l'eau épurée soit aussi faible que possible et que le titre alcalimétrique complet (TAC) lui soit au moins égal.

Note sur la précipitation des sels de magnésie par l'action de la chaux et du carbonate de soude. — MM. Declercq et Verbièse ont remarqué que si une eau contenant des sels de *magnésie* est traitée par la chaux et le carbonate de soude en employant la méthode précédente de dosage des réactifs pour l'épuration des eaux calcaires, on obtient les équations : $TH = TAC$, $TA = TAC$

ce qui indique, d'une part, que les sulfates et chlorures ont été transformés en carbonates par une dose de carbonate de soude équivalente aux sulfates et chlorures et, d'autre part, que les bicarbonates ont été également transformés en carbonates par une quantité de chaux correspondant à l'acide carbonique libre, ou combiné aux carbonates.

Mais, si l'opération a été faite à la température ordinaire, les trois titres : TH, TA et TAC restent très élevés, bien que tous les sels à bases terreuses aient été transformés en monocarbonates. Une partie de ces monocarbonates reste soluble, généralement dans la proportion de 8 à 9° (TH).

Or la solubilité du carbonate de chaux, à froid, correspond à 3° hydrotimétriques; donc la solubilité du carbonate de magnésie, dans les mêmes conditions, est de 5 à 6° hydrotimétriques, et l'analyse de l'eau ainsi traitée confirme ces données.

Dans certaines eaux de la région du Nord, où les puits profonds sont nombreux, l'alcalinité totale TAC de l'eau naturelle est supérieure à sa dureté TH, à cause de la présence d'une certaine quantité de carbonates alcalins (principalement du carbonate de soude) dissous dans ces eaux.

On ne peut donc employer le carbonate de soude pour le traitement de ces eaux, ni obtenir l'équation :

$$\text{TH} = \text{TAC}$$

puisque TAC est déjà supérieur à TH.

MM. Declercq et Verbièse ont seulement cherché à

obtenir :

$$\text{TA} = \frac{\text{TAC}}{2},$$

et ont constaté, après l'avoir obtenu, que TH correspondait encore à 8 ou 9°, les eaux en question étant presque toujours à la fois *alcalines, calcaires et magnésiennes*.

Après avoir obtenu :

$$\text{TH} = 9^{\circ}; \quad \text{TA} = 9^{\circ}; \quad \text{TAC} = 18^{\circ};$$

$$\text{Causticité} : 2\text{TA} - \text{TAC} = 0,$$

une légère addition de chaux a donné :

$$\text{TH} = 9^{\circ}; \quad \text{TA} = 10^{\circ}; \quad \text{TAC} = 18;$$

$$\text{Causticité} : 2\text{TA} - \text{TAC} = 2,$$

ce qui indique que la chaux ajoutée a caustifié un peu de soude.

En augmentant encore la dose de chaux, les résultats ont été les suivants :

$$\text{TH} = 7^{\circ}; \quad \text{TA} = 9^{\circ}; \quad \text{TAC} = 16^{\circ};$$

$$\text{Causticité} : 2\text{TA} - \text{TAC} = 2,$$

puis $\text{TH} = 3^{\circ}; \text{TA} = 8^{\circ}; \text{TAC} = 12^{\circ};$

$$\text{Causticité} : 2\text{TA} - \text{TAC} = 4.$$

La chaux ajoutée a d'abord caustifié un peu de soude; puis, probablement à cause de la faible solubilité de la magnésie dans un milieu contenant de la soude caustique, la chaux a réagi sur le carbonate de magnésie pour former du *carbonate de chaux* et de *l'hydrate de magnésie* insoluble.

CHAPITRE VII

APPAREILS POUR L'ÉPURATION CHIMIQUE A FROID

Les appareils pour l'épuration chimique procèdent tous des mêmes principes : *introduction* au sein de l'eau à épurer, ou plus exactement à *corriger*, de réactifs arrivant au fur et à mesure des besoins pour transformer les substances nuisibles en substances inoffensives ; *décantation* ou clarification de l'eau dans un réservoir de capacité appropriée et cloisonné intérieurement de différentes façons, suivant les systèmes, pour retenir les dépôts ; *filtration* pour achever la clarification, en débarrassant l'eau des dernières matières en suspension.

On peut classer les nombreux appareils employés pour l'épuration chimique en *appareils à fonctionnement non automatique*, et en *appareils à fonctionnement automatique*.

Les *appareils non automatiques* sont à fonctionnement soit *intermittent*, soit *continu*.

Les *épurateurs automatiques* opèrent l'épuration d'une façon *continue* et au fur et à mesure des besoins.

Parmi les *appareils non automatiques*, les appareils

intermittents ont le défaut d'exiger des emplacements considérables pour un volume d'eau à épurer un peu important; c'est pour remédier à cet inconvénient qu'on a imaginé les appareils non automatiques continus (Bérenger et Stingl, Gaillet et Huet, etc.).

Enfin les appareils non automatiques ou à préparation manuelle ont été détrônés à leur tour par les *épérateurs automatiques* qui opèrent l'épuration d'une façon continue et au fur et à mesure des besoins. Ils ont l'avantage d'être moins encombrants, d'exiger peu de main-d'œuvre et de fonctionner régulièrement; à ce dernier point de vue, ils n'ont pas toujours été exempts de défauts.

Les appareils automatiques ont acquis, ces derniers temps, une grande faveur auprès des industriels et sont les plus répandus actuellement; nous verrons plus loin les avantages et les critiques qu'ils comportent.

L'épuration chimique se fait ordinairement à froid; mais, dans certains cas, on peut aussi faire l'épuration à chaud ¹.

Pour se rendre compte de la valeur des principaux systèmes d'appareils actuellement en usage dans l'épuration chimique à froid, il est nécessaire d'envisager l'étude des épérateurs à la fois au point de vue historique et critique. On comprendra mieux ainsi la genèse et les progrès réalisés dans les appareils employés actuellement pour l'épuration chimique des eaux industrielles.

¹ L'épuration *par la chaleur* s'effectue dans les appareils qui utilisent en général la vapeur d'échappement des chaudières, et que l'on désigne sous le nom d'*épérateurs réchauffeurs*, de *détarteurs*, etc. (Voir chapitre VIII.)

L'épuration, pour être complète, exige généralement deux opérations successives : la *précipitation* ou la *correction* des sels nuisibles et la *séparation* des précipités formés, ainsi que des matières étrangères que l'eau peut contenir en suspension : fer, sable, limon, débris organiques, végétaux ou minéraux, etc.

La précipitation et la correction des sels dissous s'opère au moyen de *réactifs* choisis suivant la composition de l'eau à épurer, et mélangés à cette dernière dans des proportions que détermine une analyse préalable.

Le réactif le plus économique et le plus généralement employé est la *chaux*. Viennent ensuite, par ordre d'importance : le carbonate de soude, la soude caustique, les sels de fer et d'alumine, les sels de baryte, les oxalates alcalins, etc. (Voir p. 182.)

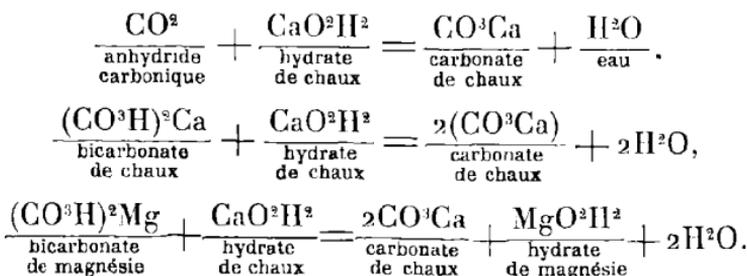
Les moyens employés pour doser ces réactifs proportionnellement au volume d'eau à épurer sont nombreux et varient suivant le degré de solubilité des produits épurants.

I. Dosage des réactifs.

Dosage de la chaux. — C'est un chimiste anglais, Cavendish qui, paraît-il, remarqua et signala le premier que l'addition de la chaux, dans certaines eaux, précipite une grande partie des bicarbonates de chaux et de magnésie. En 1876, le professeur écossais Clark généralisait définitivement l'emploi de la chaux en expliquant son effet et en précisant à quelles qualités d'eaux et dans quelle proportion elle devait être ajoutée.

La chaux n'a d'action, en effet, que sur l'acide car-

bonique libre ou demi-combiné aux bicarbonates de chaux et de magnésie, comme le montrent les réactions suivantes :



Il résulte de ces réactions que la chaux doit nécessairement être employée en quantité exactement proportionnelle à la teneur des eaux à épurer en acide carbonique libre et demi-combiné, car un manque de chaux aboutirait à une épuration forcément incomplète, tandis qu'un excès s'ajouterait, sous forme de chaux caustique dissoute, à l'eau à traiter, en risquant de la rendre plus calcaire qu'avant son épuration.

Les divers procédés préconisés pour doser la chaux se ramènent aux trois moyens suivants :

L'emploi direct ;

La dissolution préalable ;

La saturation.

1^{er} moyen : Emploi direct. — La chaux, additionnée d'eau pour en faire un *lait de chaux*, ou simplement éteinte et réduite en poudre, est versée directement dans l'eau à épurer, en même temps que les autres réactifs nécessaires. C'est cette méthode, la plus simple, qui fut employée dans les procédés Clark (1766) ; dans

les premières installations de la Compagnie du chemin de fer du Nord (gare de Fives Lille en 1860, gare de Douai en 1862, gare d'Hazebrouck en 1867, gare d'Amiens, etc.); dans les procédés Bérenger et Stingl (premier brevet de 1869), Dujardin (1876), Maignien (1884), etc.

Ce dernier procédé, qui se distingue un peu des précédents et indique une des premières tentatives d'appareils automatiques, mérite une description spéciale.

PROCÉDÉ MAIGNIEN (fig. 7). — La chaux, réduite en poudre et mélangée au besoin de carbonate de soude et d'alun, est contenue dans un récipient cylindrique A, au fond duquel un petit *transporteur à vis* B, actionné par une roue à augets C, mise elle-même en mouvement par l'eau à épurer, fait tomber *graduellement* la poudre épurante dans l'eau à corriger amenée à l'épurateur en passant par la roue à augets.

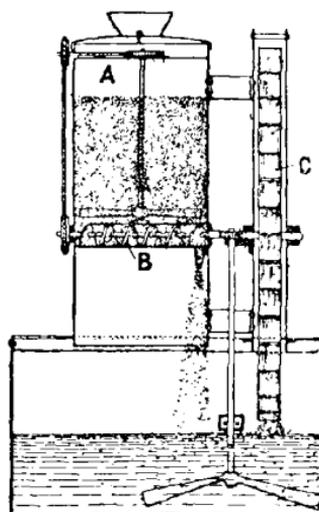
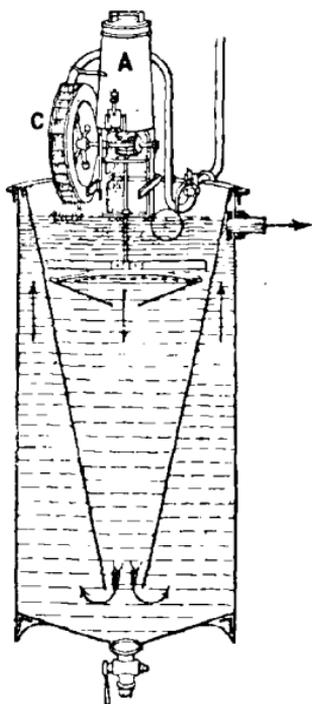
2^e moyen : Dissolution préalable. — La chaux et les autres réactifs, après avoir été pesés ou mesurés, sont versés dans une cuve en tôle et entièrement dissous, soit par un brassage à la main, soit par un barbotage d'air comprimé ou de vapeur, de façon à former une solution épurante plus ou moins concentrée, qu'on laisse ensuite clarifier par le repos pour l'ajouter, en proportion voulue, à l'eau à épurer.

Pour ne pas être interrompu, ce service nécessite au moins deux réservoirs servant alternativement. Après avoir brassé l'une des cuves, on la laisse décanter pendant que la seconde fournit la solution de réactif nécessaire; cette dernière épuisée, on la remplace immédiatement par l'autre, remplie entre temps.

Épurateur Maignien.

Vue d'ensemble de l'appareil.

Détail du distributeur de réactif¹



Légende.

- A - Récepteur contenant le réactif en poudre
- B - Transporteur à vis faisant tomber la poudre de réactif dans l'eau à épurer
- C - Roue à auge(s) actionnant le transporteur à vis.

Fig. 7. — Épurateur Maignien.

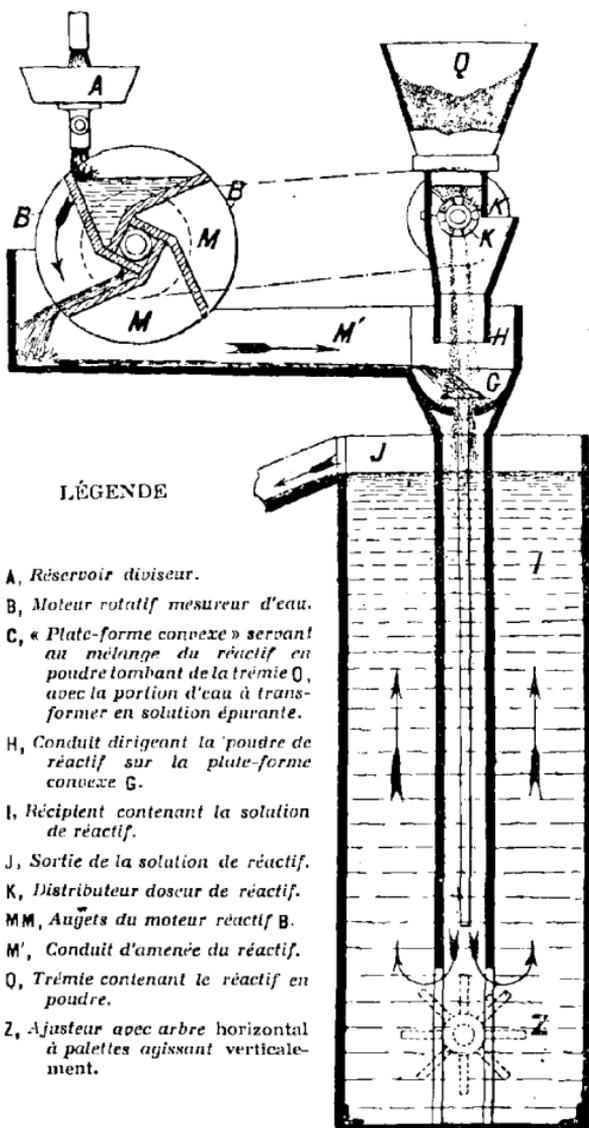
A cette méthode appartiennent les procédés Bérenger et Stingl (2^e brevet de 1871), Demailly (1873), Bérenger et Stingl (3^e brevet de février 1874), Le Tellier (juin 1874), John Hénder Porter, plus connu sous le nom de système Porter Clark (juillet 1881), Pischler et Sedlacek (juillet 1882), Gaillet et Huet (octobre 1882), Cunières (18 décembre 1885), Moison (22 décembre 1885), etc.

Les appareils Cunières et Moison ont besoin également d'une description complémentaire ; car ces inventeurs ont, comme Maignien, cherché à doser automatiquement la chaux et les autres réactifs en poudre nécessaires à la préparation des dissolutions de réactifs.

DISSOLVEUR CUNIÈRES (18 décembre 1885) (fig. 8). — L'eau à épurer est amenée dans le réservoir A, d'où elle se déverse dans les augets d'un moteur rotatif compteur d'eau B. En même temps que chaque auget accomplit son versement, le distributeur K laisse tomber une partie déterminée de chaux en poudre sur une petite plateforme convexe G, où vient la rencontrer, pour se mélanger avec elle et la dissoudre, la portion d'eau à transformer en solution épurante arrivant par le conduit M'.

En cas de besoin, explique l'inventeur dans le mémoire descriptif de son brevet, un malaxeur Z à palettes horizontales peut être placé dans le bas de la cuve I, pour remettre en suspension dans le liquide les particules de chaux qui atteignent le fond de la cuve sans être entièrement dissoutes.

La solution de réactif sort par le haut de la cuve I, pour se mélanger à l'eau à épurer.



LÉGENDE

- A, Réservoir diviseur.
- B, Moteur rotatif mesureur d'eau.
- C, « Plate-forme convexe » servant au mélange du réactif en poudre tombant de la trémie Q, avec la portion d'eau à transformer en solution épurante.
- H, Conduit dirigeant la poudre de réactif sur la plate-forme convexe G.
- I, Récipient contenant la solution de réactif.
- J, Sortie de la solution de réactif.
- K, Distributeur doseur de réactif.
- MM, Augets du moteur réactif B.
- M', Conduit d'amenée du réactif.
- Q, Trémie contenant le réactif en poudre.
- Z, Ajusteur avec arbre horizontal à palettes agissant verticalement.

Fig. 8. — Dissolveur Cunières.

DISSOLVEUR MOISON (22 décembre 1885) (fig. 9). — Voici la description que M. Moison donne de son appareil :

« S'il convient d'employer des réactifs peu solubles dans l'eau, comme la chaux, nous construisons un appareil dans lequel se prépare la dissolution à mesure du besoin. A défaut de force motrice disponible, l'eau à épurer arrive sur un moteur hydraulique B, qu'elle met en marche.

« La chaux et les réactifs pulvérisés sont *dosés* en les mettant dans une trémie au fond de laquelle se trouve un cylindre P, ayant deux petites cavités *t* et *t'*, d'une contenance déterminée suivant la nature de l'eau à traiter. Un basculeur oscillant, mû par l'eau à épurer, fait tourner le cylindre P. La cavité qui se trouve en dessus, étant remplie de réactif, le laisse tomber en tournant dans la gouttière *r*. Par le même mouvement, la cavité *t'* est mise en présence du réactif et, à son tour, jette une dose dans la gouttière, et ainsi successivement. De la gouttière *r* et de l'entonnoir *n*, le réactif glisse dans le tube H, où il est mélangé à l'eau par l'agitateur I à palettes JJ, mis en mouvement par le moteur B et les roues intermédiaires FF. »

La méthode de *dissolution préalable* marque un progrès sur la précédente, en ce sens que la dissolution facilite la distribution des réactifs proportionnellement aux quantités d'eau à épurer, qu'elle active les réactions chimiques grâce à la forme extrêmement divisée sous laquelle les réactifs sont employés, et qu'elle permet enfin de séparer et de retenir dans les *bacs à réactifs*, ainsi qu'on désigne les récipients dans lesquels se pré-

Dissolveur Moison.

Légende.

- A - Conduit. d'arrivée d'eau à épurer
- B - Moteur hydraulique.
- C - Gouttière partiellement, en deux parties l'eau amenée par le conduit A.
- D - Compartiment. du balancier hydraulique recevant la partie d'eau à épurer
- D' - Compartiment. du balancier hydraulique recevant la partie d'eau à transformer en solution de réactif
- E - Récepteur. contenant les réactifs en poudre
- E' - Récepteur. recevant la partie d'eau à épurer
- E'' - Récepteur. recevant la partie d'eau à transformer en solution de réactif
- FF - Roues intermédiaires.
- G - Récepteur. contenant la solution de réactif
- H - Tube dans lequel s'opère le mélange des réactifs en poudre avec la partie d'eau à transformer en solution de réactif.
- I - Arbre vertical muni de palettes distribuées sur toute la hauteur du Dissolveur et armé inférieurement de larges ailettes LL.
- JJ - Palettes mobiles distribuées sur toute la hauteur du récepteur G.
- KKK - Palettes fixes distribuées sur toute la hauteur du récepteur G.
- LL - Ailettes inférieures
- M - Conduit. amené dans le tube H la partie d'eau à transformer en solution de réactif.
- N - L'entonnoir recevant le mélange des réactifs en poudre et de la partie d'eau à transformer en solution de réactif
- OO - Cloisons verticales fixes
- P - Cylindre servant au dosage et à la distribution des réactifs en poudre contenus dans la tige tt.
- R - Conduit. recevant le surplus de l'eau à épurer et de la solution de réactif
- T - Gouttière dirigant les réactifs empoussiés dans l'entonnoir N.
- tt - Cavité du cylindre mesurant P de remplissant et se vidant à tour de rôle dans la gouttière T

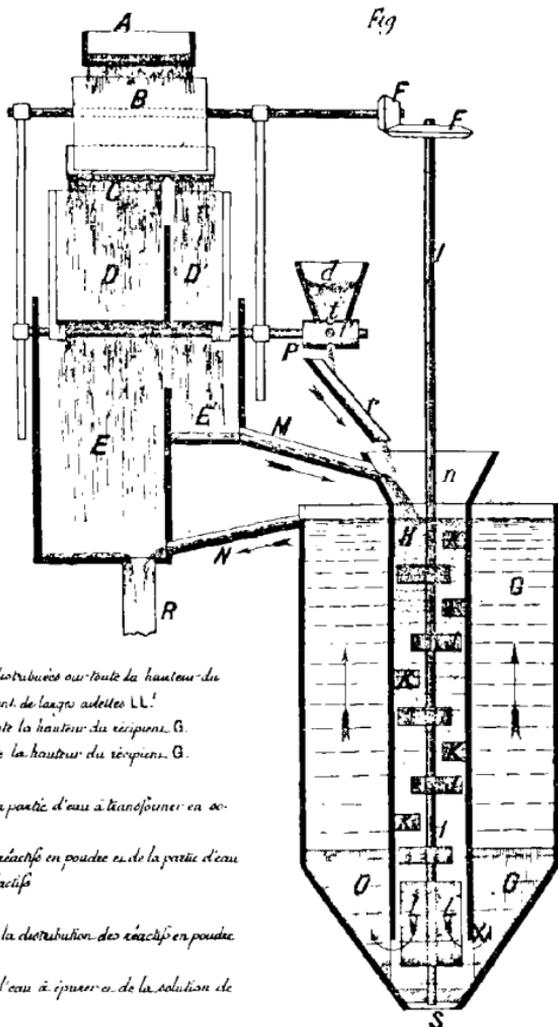


Fig. 9. — Dissolveur Moison.

parent les solutions, les impuretés insolubles mélangées aux produits épurants.

3^e moyen : Saturation. — Cette méthode se distingue nettement de la précédente par la suppression du *dosage* de la chaux. Celle-ci, au lieu d'être tamisée, pulvérisée, mélangée aux autres réactifs et versée d'une façon continue dans la solution épurante à préparer, est introduite d'avance, à l'état brut (en lait ou en pierres), en excès, en une seule fois et à intervalles très espacés (toutes les vingt-quatre heures, par exemple) dans l'intérieur du préparateur-saturateur.

La raison de l'inutilité du *dosage* de la chaux dans la méthode par *saturation* s'explique par ce fait que le point de saturation est naturellement *invariable*, de sorte qu'un volume déterminé d'eau saturée d'un réactif quelconque contient toujours, en *dissolution*, un poids constant de ce réactif.

C'est ainsi que l'eau mise en présence d'une masse de chaux, même en grand excès, n'en peut dissoudre que 1^{er},25¹ par litre, quels que soient la durée du contact du liquide et du réactif ou le système de mélange employé pour favoriser la dissolution.

Partant de cette observation, on peut obtenir exactement, sans aucun dosage préalable, un poids déterminé de chaux, simplement en agitant convenablement de l'eau avec de la chaux en excès et en prenant, après décantation du mélange, un volume correspondant de liquide clarifié, qui n'est autre que de l'eau saturée de chaux : 1 litre d'eau de chaux saturée, si l'on veut

¹ Dans la pratique, on peut prendre pour les calculs, approximativement 1 gramme.

1^{er},25 de chaux ; 10 litres, si l'on veut 12^{es},50 ; des fractions de litres si l'on veut des fractions de grammes, etc.

Ce n'est qu'en se basant sur ce phénomène de la saturation qu'on est parvenu à ajouter à l'eau à épurer le poids de chaux strictement nécessaire à sa correction.

La chaux, en effet, étant toujours naturellement mélangée de sable, de cailloux, d'incuits, etc., et, d'autre part, chargée d'une quantité extrêmement variable d'humidité qu'elle absorbe à l'air, il est pratiquement impossible de la doser exactement en la pesant ou en la mesurant directement, ce qui montre le défaut capital et l'insuccès fatal de tous les systèmes procédant d'un mode quelconque de mesurage ou de dosage préalables de la chaux à employer.

SATURATEUR LE TELLIER (addition de brevet du 24 mars 1875) (fig. 10). — Le plus ancien saturateur connu est celui décrit dans le brevet Le Tellier du 24 mars 1875. Il se compose d'un récipient cylindrique B, surmonté d'un réservoir A, dont le fond est muni d'une tubulure C descendant vers la partie inférieure du cylindre B.

La chaux est introduite d'avance dans le cylindre B.

L'eau à épurer, amenée dans le cylindre A, se divise en deux parties : l'une sort par la tubulure latérale E, c'est l'eau à épurer ; l'autre, destinée à être transformée en *eau de chaux saturée*, descend par la tubulure C dans le fond du récipient cylindrique, remonte par *infiltration* à travers la chaux qui remplit le fond de l'appareil, s'en sature et sort *presque claire*, dit l'inven-

teur, par la tubulure latérale D, pour se mélanger à l'eau à épurer.

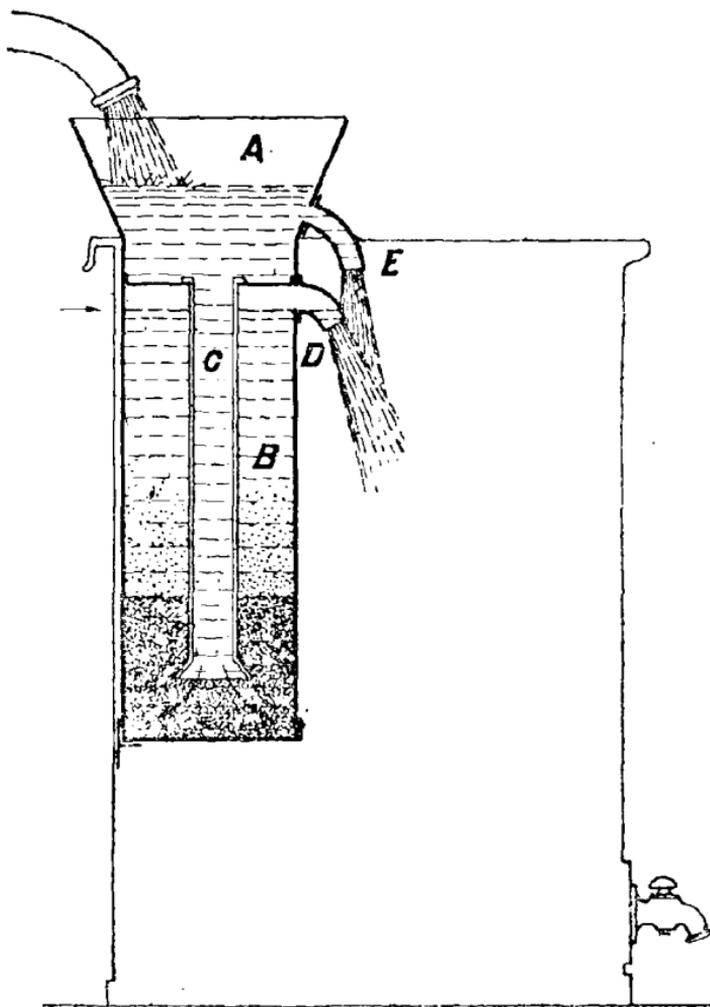
Cet appareil, trop rudimentaire pour donner un résultat quelconque, ne reçut aucune application industrielle.

Il est facile de comprendre, en effet, que l'eau à saturer, au lieu de remonter en s'infiltrant régulièrement à travers toute la masse de la chaux, ne peut manquer de s'y creuser un chemin ou *trouée*, qu'elle suit dès lors constamment sans plus se trouver suffisamment en contact avec le réactif à dissoudre pour arriver à s'en saturer.

D'un autre côté, du moment que la solution de réactif ne sort pas absolument claire du préparateur, c'est-à-dire entraîne avec elle, soulevées par la poussée du courant ascensionnel, des particules plus ou moins abondantes de chaux en suspension, on perd inévitablement le bénéfice du *dosage par saturation*, puisqu'à la teneur maxima en chaux dissoute s'ajoute, après coup, une quantité éminemment variable de chaux en suspension.

Enfin, par l'effet du tassement de la masse de la chaux, notamment après chaque arrêt, il y a encore à compter avec les obstructions partielles ou totales du conduit amenant l'eau à saturer, et, en conséquence, avec les variations de débit de la solution de réactif, nouvelle cause de l'irrégularité de l'épuration.

C'est toujours avec la préoccupation de remédier à l'un ou à l'autre de ces trois inconvénients principaux : trouées de l'eau à travers la masse du réactif, entraînements de particules de chaux, obstructions partielles ou totales du conduit amenant l'eau à saturer, qu'on a,



LÉGENDE

A, Distributeur. — B, Saturateur. — C, Conduit amenant la partie à saturer de chaux au fond du saturateur. — D, Tubulure de sortie d'eau saturée de chaux. — E, Tubulure de sortie de distribution d'eau à épurer.

Fig. 10. — Saturateur Le Tellier.

par la suite, préconisé, avec plus ou moins de succès, les dispositions de saturateurs décrites ci-après :

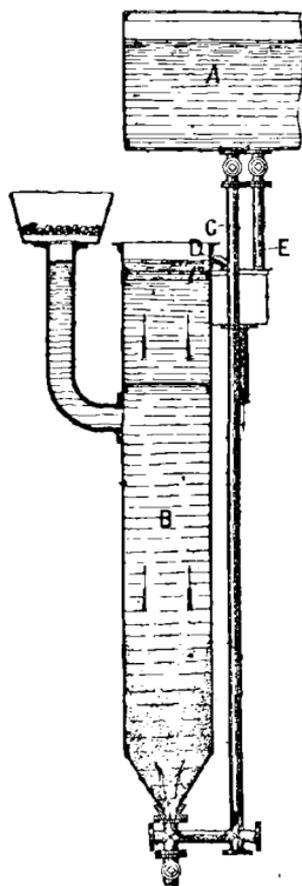
PRÉPARATEUR DE RÉACTIF GAILLET et HUET (octobre 1882) (fig. 11). — Le préparateur Gaillet et Huet présente une grande analogie avec le saturateur Le Tellier. Comme ce dernier, il comprend principalement un récipient cylindrique B, tenant lieu de préparateur de réactif proprement dit, surmonté également d'un réservoir A, ayant pour fonction de distribuer : par la tuyauterie C, la portion d'eau à transformer en solution de réactif; par la tuyauterie E, le volume proportionnel d'eau à épurer.

Comme dans l'appareil primitif de Le Tellier, l'eau à saturer dissout le réactif dont elle doit se charger en s'infiltrant simplement à travers une masse de chaux contenue, jusqu'à une certaine hauteur, dans le fond du saturateur, puis poursuit son mouvement ascensionnel en se clarifiant partiellement, et sort finalement par la tubulure latérale D, pour se mélanger avec l'eau à épurer.

Le saturateur Gaillet et Huet, pour les mêmes raisons qui firent renoncer au saturateur Le Tellier, demeura inexploité.

SATURATEUR A. DERVAUX (avril 1888) (fig. 12). — Cet appareil, basé sur le même principe que les saturateurs précédents (saturation par infiltration), s'en distingue essentiellement par sa forme, qui est conique, très aiguë à la partie inférieure et évasée à la partie supérieure, disposition ayant le double but : d'empêcher les trouées par la simple suppression du fond plat, ou trop fai-

Préparateur de réactif Gaillet & Huet.



Légende.

- A - Distributeur
- B - Préparateur de réactif
- C - Conduit amenant au fond du Préparateur la partie d'eau à transformer en solution de réactif
- D - Échappatoire de sortie de la solution de réactif
- E - - - - de distribution d'eau à épuiser

Fig. 11. — Préparateur de réactif Gaillet et Huet.

blement incliné, servant naturellement de base aux talus de chaux, et d'enrayer les *entraînements* par la réduction progressive de la vitesse ascensionnelle de l'eau saturée, réduction de vitesse correspondant à l'élargissement graduel du chemin offert à la solution de chaux au cours de sa clarification.

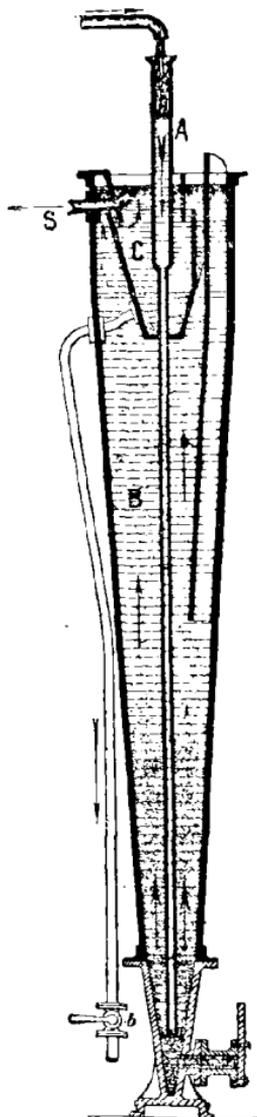
Ce saturateur, d'une conception plus pratique que les précédents et en même temps d'une construction très économique, obtint immédiatement un succès appréciable. Mais l'expérience fit constater qu'à côté de certains avantages, cet appareil conservait encore de graves défauts.

Si la chaux ne trouve pas effectivement, avec la forme aiguë du fond du saturateur, l'assise nécessaire à son dépôt immédiat, elle n'en finit pas moins, après une certaine période de fonctionnement, par se coller, en croûtes de plus en plus épaisses, contre la paroi conique; d'où réduction de la section du saturateur et entraînements de chaux chaque jour plus fréquents, en dépit des dimensions de plus en plus considérables données à l'appareil, et malgré le récipient *déjecteur* C prévu pour retenir et expurger, dans la mesure du possible, la chaux entraînée.

D'autre part, l'exiguïté du fond du saturateur, si elle remédie à un inconvénient, en favorise un autre, en augmentant les dangers d'*obstruction* du conduit amenant l'eau à saturer.

Avec certaines qualités de chaux, les tassements, principalement aux arrêts, ont pour effet de convertir toute la masse du réactif en un bloc compact qu'on ne peut réussir à délayer que par une agitation prolongée à l'aide d'un rable, travail qui, on le comprend, devient

Saturateur A. Dervaux



Légende.

- A - Conduit d'entrée d'eau à saturer.
- B - Saturateur.
- b - Robinet de purge du Déjecteur.
- C - Déjecteur servant à nettoyer les chaux carbonées.
- S - Tubulure de sortie de l'eau de chaux saturée.

Fig. 12. — Saturateur A. Dervaux.

alors une sujétion continuelle pour l'ouvrier surveillant la marche de l'épurateur.

Un défaut de surveillance, dans ce cas, entraînerait infailliblement l'obstruction totale du conduit d'eau.

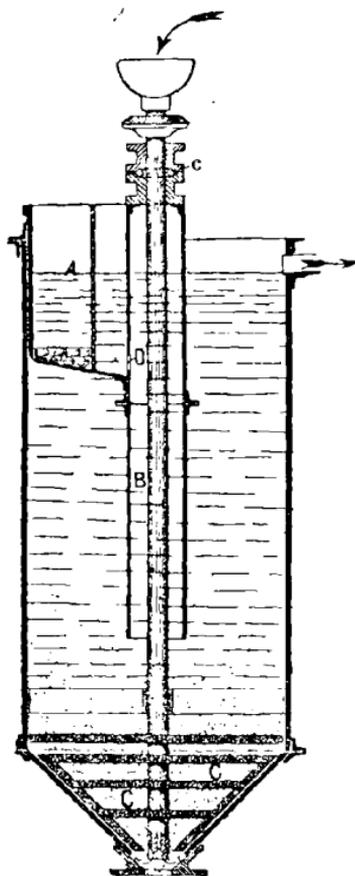
D'autre part, en raison de l'inclinaison du fond, les pierres et les graviers viennent précisément se rassembler à l'endroit même où débouche le tuyau d'arrivée d'eau, d'où inégalités constantes dans le débit de l'eau de chaux saturée et dans l'épurateur.

Enfin, un autre désavantage de tous ces saturateurs cylindriques, coniques, cylindro-coniques, etc., est qu'ils exigent un excès de chaux relativement considérable pour produire sûrement de l'eau de chaux régulièrement saturée; ce qui entraîne, à la longue, un surcroît de dépense assez élevé.

SATURATEUR AUTOMATIQUE A MALAXEUR II. DESRUMAUX (1888) (fig. 13). — Ce saturateur est conditionné de façon à éviter les inconvénients que présentent les appareils précédents, en vue :

1° D'obtenir automatiquement la saturation par *malaxage*, en plaçant dans l'intérieur du saturateur un arbre à palettes, disposé de telle sorte qu'il puisse être pratiquement actionné par le seul poids de l'eau à épurer arrivant à l'épurateur. A cet effet, l'arbre du malaxeur est vertical et monté sur pivot ou suspendu par un coussinet à billes, de façon à réduire les frottements au minimum. D'autre part, pour vaincre aisément la résistance occasionnée par la consistance spéciale, bien connue, de la chaux en pâte, les palettes sont étroites et uniquement prévues dans la partie inférieure de l'appareil où se maintient tout le chargement de

Saturateur automatique à malaxeur H. Desrumaux.
 Addition de Brevet du 26 Juillet 1897



Legende.

- A - Récipient "Chaque Laiton"
- B - Conduy. central à fins descendre le "eau" en
 dans le case de malaxage.
- C - Pense de malaxage
- c - Couvres à billes supportant l'arbre de
 malaxage
- ce - Arbre vertical armé inférieurement de palette
 agissant horizontalement
- O - Organe metant en communication le récipient
 extérieur l'atmosphère avec la case de ma-
 laxage.

Fig. 13. — Saturateur H. Desrumaux.

chaux, c'est-à-dire au seul endroit où elles ont un effet utile.

2° D'enrayer les *entraînements*, car avec l'agencement des palettes rassemblées inférieurement et agissant dans le sens horizontal, les particules de chaux qui, malgré leur poids spécifique sensiblement supérieur à celui de l'eau, ne peuvent que difficilement lutter contre la poussée des courants liquides traversant constamment, de bas en haut, le saturateur, se trouvent très efficacement placées sous l'influence dominante de la poussée horizontale que leur impriment les palettes du malaxeur. Elles sont entraînées mécaniquement dans le sillage de ces dernières, et se maintiennent tout naturellement dans le fond de l'appareil.

3° D'empêcher, grâce à l'effet du malaxage continu, les *trouées* de l'eau à travers la masse de la chaux, principal écueil des saturateurs précédemment décrits.

4° De recevoir intérieurement, en une fois, à l'état brut (en lait ou en pierres), la charge de chaux nécessaire pour une assez longue période de marche (douze ou vingt-quatre heures, par exemple).

5° D'éviter radicalement l'*obstruction*, même partielle, du conduit amenant l'eau à saturer, en utilisant, comme tube d'arrivée d'eau à saturer, l'arbre de malaxage qui, dans ce but, est creux.

Dans ces conditions, la rotation continuelle de l'arbre-tube, pendant le fonctionnement, empêche constamment la chaux d'y adhérer, même à la suite d'arrêts prolongés.

6° D'assurer enfin la régularité de la saturation et l'épuisement de la chaux employée, en faisant déboucher le conduit amenant l'eau à saturer *en dessous des palettes*, de façon à augmenter la durée du contact du liquide à saturer avec le réactif à dissoudre, en obligeant l'eau à traverser entièrement, en remontant, la masse de la chaux emmagasinée dans la partie inférieure de l'appareil, ce qui facilite en même temps le fonctionnement du malaxeur, par suite du délayage constant de la matière pâteuse dans laquelle manœuvrent les palettes.

Voici le fonctionnement de ce saturateur (fig. 13) :

La chaux brute, c'est à dire non épierrée, est versée, toutes les douze ou toutes les vingt-quatre heures, dans un récipient extincteur tamiseur A. Cette chaux, immédiatement et entièrement noyée, se convertit en bouillie que l'on fait descendre, lorsque le moment du chargement journalier est arrivé, dans la caisse de malaxage, en ouvrant la vanne à crémaillère du fond de l'extincteur-tamiseur. Quant aux cailloux et aux incuits, ils sont retenus dans le récipient extincteur par une cloison verticale en tôle perforée.

L'eau à saturer, amenée dans le godet qui termine supérieurement l'arbre-tube B, suit ce conduit et sort à la partie inférieure de la caisse de malaxage qu'elle traverse en remontant et où, par le mouvement des palettes, elle se sature de chaux.

Continuant son mouvement ascensionnel, l'eau de chaux, au sortir de la caisse de malaxage, est arrêtée par une série de cloisons verticales rayonnantes, se clarifie en se déchargeant de l'excès de chaux momentanément entraînée, qui retourne dans le fond du satura-

teur, et sort finalement *claire et saturée* par une rigole horizontale partant d'un compartiment mélangeur, dans lequel elle se réunit à l'eau brute tombant de la roue à augets.

Le *saturateur automatique H. Desrumaux* résoud si pratiquement et si complètement toutes les difficultés du problème du dosage de la chaux par saturation, qu'il est resté, bien que datant déjà de 1888, le prototype de tous les saturateurs aujourd'hui employés sous les noms les plus divers, et que l'on rencontre dans de nombreux appareils¹. Nous en décrirons quelques types dans la suite de cet ouvrage.

Dosage des réactifs dissous. — On a vu précédemment que, dans les deux méthodes par *emploi direct* et par *dissolution préalable*, les autres réactifs éventuellement nécessaires et employés simultanément avec la chaux sont toujours mélangés à celle-ci et dosés, par conséquent, en même temps que la solution de chaux. L'emploi des saturateurs, qui ne peuvent servir qu'à doser séparément la chaux, devait conduire à la recherche des moyens pratiques pour mesurer également le carbonate de soude, la soude caustique, le sulfate d'alumine, le perchlorure de fer, etc.

Tous ces réactifs étant suffisamment solubles dans l'eau, on s'est contenté, à l'origine, de les dissoudre dans des réservoirs placés directement sur l'épurateur et reliés chacun avec des petits bacs régulateurs munis de soupapes à flotteur maintenant dans ces bacs un niveau invariable.

¹ BURON, PULINX, P. GAILLET (1897), KENNICOTT, DECLERCO, LANGUMIER, MONTUPET, etc.

Les bacs régulateurs étaient pourvus de robinets qu'il fallait ouvrir ou fermer, tous à la fois, dès que l'eau affluait ou cessait d'affluer à l'épuration, ce qui exigeait une surveillance constante, déréglait l'épuration quand les robinets n'étaient pas remis exactement à leur point de repère, etc.

Pour éviter cette surveillance et ces inconvénients, M. Desrumaux imagina de supprimer les bacs régulateurs et de rendre automatiques l'ouverture et la fermeture des écoulements de réactifs, en prenant les solutions épurantes au moyen d'un *flotteur-régulateur* (fig. 14), dans lequel elles pénètrent sous charge inva-

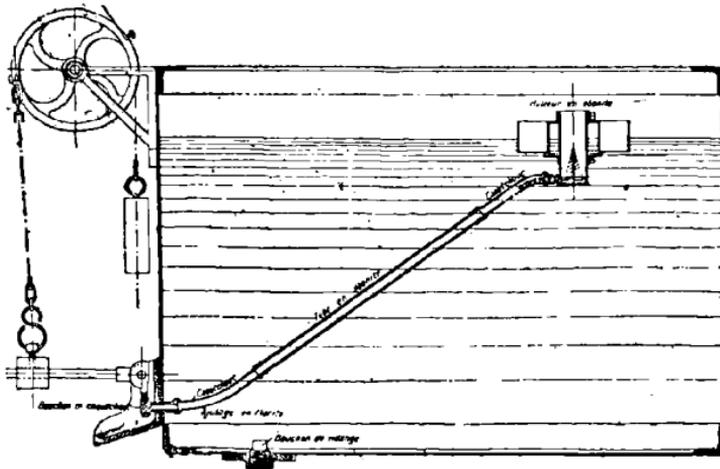


Fig. 14. — Réservoir à réactifs avec flotteur-régulateur (système H. Desrumaux).

riable par un orifice percé sur le tube central du régulateur. Ce tube central, relié par une tubulure latérale à un conduit de décharge flexible, étant maintenu par

le flotteur annulaire à une distance toujours égale du niveau du liquide, la pression de ce dernier, au-dessus de l'orifice d'écoulement, reste effectivement constante.

Le tube central du flotteur régulateur peut être élevé ou abaissé à volonté, selon que l'on veut réduire ou augmenter le débit des réservoirs à réactifs ; on le fixe à la hauteur voulue au moyen de vis de pression.

Ces flotteurs-régulateurs, entièrement construits en ébonite, sont absolument inattaquables par les réactifs acides ou alcalins.

M. Desrumaux obtint ainsi l'écoulement constamment régulier des solutions de réactifs sans recourir à l'emploi des robinets à flotteur, dont les organes toujours délicats et sujets à se détériorer rapidement dans les solutions acides ou alcalines réclament des soins tout particuliers, pour ne fonctionner, en fin de compte, que d'une manière assez peu satisfaisante.

Ces flotteurs-régulateurs ne sont toutefois applicables, comme les bacs régulateurs d'ailleurs, que dans le cas où l'eau brute arrive en quantité régulière à l'épurateur.

Or, s'il est aisé de régulariser, à l'aide d'un trop-plein ou d'une soupape à flotteur, le débit de l'eau brute tant qu'il reste supérieur à celui de l'épurateur, on conçoit qu'il n'en est plus de même quand le débit de l'eau affluente diminue en dessous de celui auquel l'appareil est normalement réglé.

Dans ce dernier cas, les solutions de réactifs, dont l'écoulement demeure invariable et régulier, se trouvent forcément en excès, d'où nouvelle cause d'irrégularité d'épuration, indépendamment d'une dépense en pure perte de produits épurants.

C'est pour obvier à ces inconvénients que M. H. Desrumaux combina ses *doseurs automatiques*.

Ainsi que le représentent les figures 15 et 16, le réservoir à réactifs est divisé en autant de compartiments

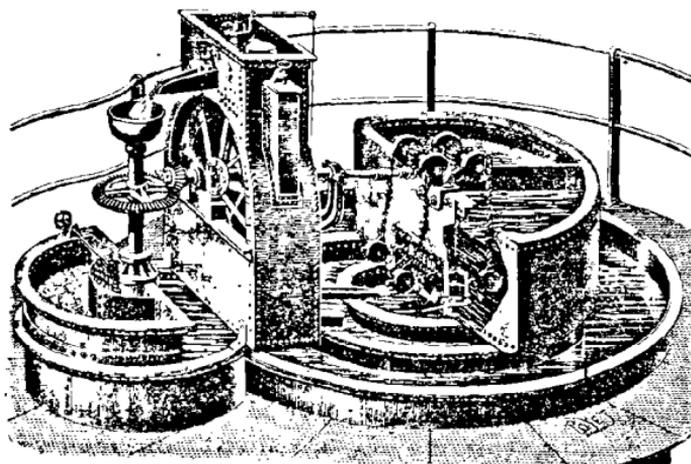


Fig. 15. — Doseur automatique (système H. Desrumaux).

qu'il y a de solutions épurantes à distribuer, et chaque compartiment est muni d'un doseur automatique.

Chaque doseur automatique comprend essentiellement un petit compartiment mesureur A percé de deux orifices d'écoulement de diamètre quelconque, suffisamment grands pour écarter tout danger d'obstruction, et servant : l'un au remplissage du doseur, l'autre à sa vidange.

Les deux orifices opposés de chaque doseur se ferment au moyen d'obturateurs à contrepoids équilibrés, actionnés par l'intermédiaire de roues dentées et

de vis sans fin, au moyen de la roue hydraulique commandant déjà l'arbre de malaxage du saturateur d'eau de chaux.

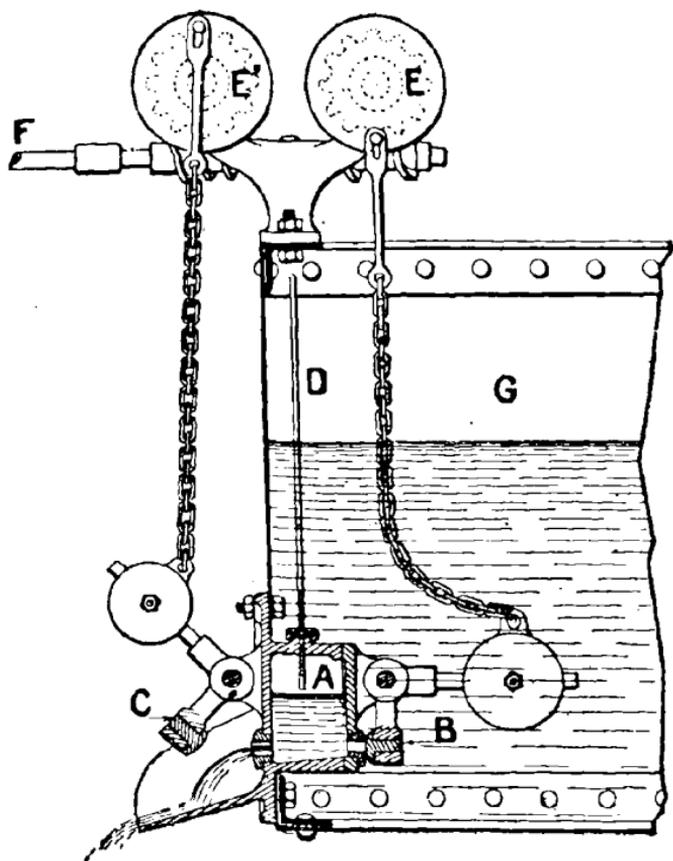
En conséquence, chaque doseur se remplit et se vide alternativement un nombre de fois proportionnel au nombre de tours de la roue à augets, et chaque fois de la même quantité, quel que soit le niveau de la solution dans le réservoir à réactifs G.

La commande des obturateurs B et C, s'ouvrant à tour de rôle pour le remplissage et la vidange des doseurs, s'effectue de manière à produire la fermeture de chaque obturateur avant l'ouverture de l'obturateur correspondant. Dans ces conditions, dès que l'eau a cessé d'affluer à l'épurateur, la roue à augets s'arrête, et l'écoulement des solutions de réactifs s'interrompt aussitôt.

Pour régler le débit des solutions, soit d'après leur concentration, soit d'après la capacité du réservoir à réactifs, soit enfin d'après le nombre d'heures d'une journée de marche variant d'une usine à l'autre ou suivant les saisons, il suffit de faire descendre plus ou moins profondément le tube d'échappement d'air D, vissé sur la partie supérieure de chaque doseur, dans le but d'en limiter à volonté le remplissage.

Dès que le liquide pénétrant à l'intérieur du doseur afflue à l'extrémité du tube D, il ferme du même coup l'échappement de l'air et empêche la solution de s'élever plus avant dans le compartiment mesureur.

Ce système de réglage, extrêmement sûr, permet de faire varier à l'infini le débit du réservoir, que l'on peut faire fonctionner, selon les besoins, pendant 12 heures, 24 heures, plusieurs jours.



A. Doseur. — B, Obturateur ouvrant et fermant l'orifice d'entrée de la solution de réactifs dans le Doseur. — C, Obturateur ouvrant et fermant l'orifice de sortie de la solution de réactifs contenue dans le Doseur. — D, Tube capillaire d'échappement d'air vissé sur le Doseur et permettant d'en limiter à volonté le remplissage. — EE', Disques de commande des obturateurs. Ces disques sont solidaires de roues dentées, engrenant avec les vis sans fin de l'arbre de la roue hydraulique. — F, Arbre de la roue hydraulique. — G, Réservoir à réactifs.

Fig. 16. — Doseur automatique (système H. Desrumaux).

II. Décantation.

L'addition, à l'eau épurée, de l'eau de chaux saturée et des solutions épurantes diverses, donne immédiatement naissance à des réactions qui la troublent et lui donnent un aspect laiteux : c'est la précipitation des sels dissous qui se produit.

Pour obtenir de l'eau épurée, une fois les réactions chimiques achevées, il reste à séparer les précipités formés et, en même temps, toutes les autres matières étrangères en suspension. Cette séparation s'obtenait autrefois au moyen de filtres ; mais ces appareils présentaient des inconvénients d'autant plus nombreux que le mode de filtration était plus efficace. On les abandonna pour les remplacer par de grands réservoirs en tôle, en bois ou en maçonnerie, dans lesquels l'eau traitée séjournait jusqu'à complète clarification. Ce procédé assez sûr exigeait malheureusement de vastes emplacements et nécessitait, à de fréquents intervalles, la vidange et le curage des bassins par suite de l'abondance des boues déposées.

C'est dans le but de parer à ces multiples inconvénients et d'aider, en même temps, à la clarification et à l'élimination des dépôts produits, que l'on eut recours à des appareils de décantation fonctionnant d'une manière continue.

Le procédé de décantation continu le plus simple consiste à faire traverser de bas en haut, par l'eau à clarifier, un récipient de forme quelconque dont la section est calculée pour que la poussée, due à la vitesse

d'ascension du liquide agissant sur les particules solides en suspension, soit inférieure à l'action de la pesanteur qui les sollicite en sens inverse.

Dans ces conditions, il est évident que les précipités formés tendront constamment à se déposer et se déposeront effectivement, d'autant plus rapidement même, que leur décantation sera favorisée par l'ascension successive de nouvelles couches à clarifier, dont les précipités viendront s'unir aux précédents, les grossir et en accélérer la chute.

On peut donc construire des décanteurs d'après ce principe, pourvu toutefois de ne pas dépasser un débit déterminé au delà duquel on serait obligé d'employer des récipients trop volumineux, qu'il est plus pratique et plus économique de remplacer par des dispositifs combinés pour produire une rapide décantation sans être trop encombrants : ce sont les *décanteurs* proprement dits.

DÉCANTEUR BÉRANGER ET STINGL (1876) (fig. 17). — Ce décanteur se compose d'une série de récipients cylindriques que l'eau en traitement traverse l'un après l'autre, en se dépouillant progressivement des précipités dont elle est chargée.

L'eau pénètre dans le premier corps cylindrique en descendant par un conduit central; elle remonte ensuite lentement dans l'espace compris entre le tube central et l'enveloppe cylindrique et déborde finalement dans une goulotte supérieure, d'où elle est dirigée vers un deuxième cylindre, où elle suit le même trajet, et ainsi de suite jusqu'à clarification complète.

Quant aux précipités, ils s'accumulent dans le fond

des corps cylindriques, d'où on les expulse en ouvrant les robinets de purge.

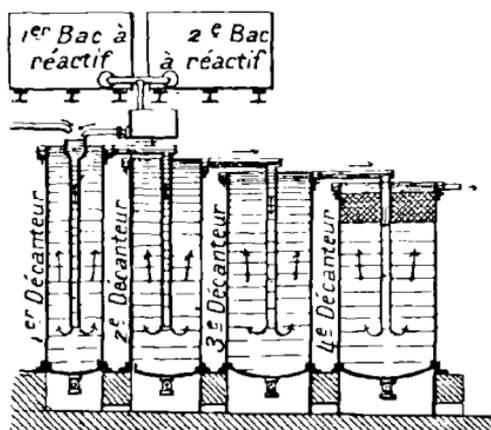


Fig. 17. — Appareil Béranger et Stingl (Brevet, nov. 1876).

DÉCANTEUR DUJARDIN (1876) (fig. 18). — Ce décan-

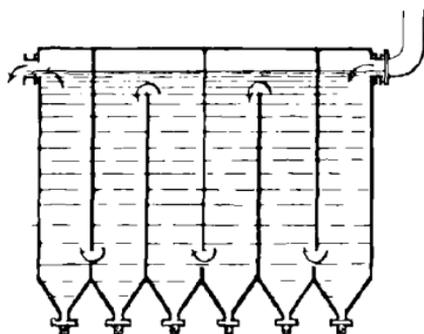


Fig. 18. — Décanter Dujardin (Brevet, oct. 1876).

teur, dont on ne connaît aucune application, est établi sur le même principe que celui de MM. Béranger et

Stingl, dont l'exécution présentait trop de difficultés. Le décanteur Dujardin, beaucoup plus simple, a une section rectangulaire et il est partagé, par un certain nombre de cloisons verticales, en plusieurs compartiments de décantation que l'eau traverse alternativement de haut en bas et de bas en haut.

DÉCANTEUR PICHLER ET SEDLACEK (premier brevet de 1881) (fig. 19). — L'épurateur Béranger et Stingl présentait l'inconvénient d'être fort encombrant. Pour remédier à cet inconvénient, MM. Pichler et Sedlacek imaginèrent de loger l'un dans l'autre les décanteurs de MM. Béranger et Stingl. L'eau additionnée de réactifs se déverse dans un tuyau central, remonte dans le premier décanteur, en déborde pour redescendre dans le fond du deuxième décanteur qu'elle traverse à son tour, toujours de bas en haut, et passe ainsi successivement dans le troisième, puis dans le quatrième décanteur.

DÉCANTEUR PICHLER ET SEDLACEK (deuxième brevet de 1882) (fig. 20). — Ce décanteur, également constitué d'un récipient unique, se distingue par les particularités suivantes :

1° Le décanteur est disposé verticalement de façon à tenir un emplacement relativement restreint.

2° Les compartiments de dépôts sont superposés, au lieu d'être placés côte à côte.

3° Les cloisons de séparation sont entrecroisées, de façon à contrarier la marche du liquide s'élevant dans l'appareil et à l'obliger à suivre un chemin sinueux.

4° Les cloisons de séparation sont inclinées de

Décanteur Pichler-Sedlacek
Brevet de 1881

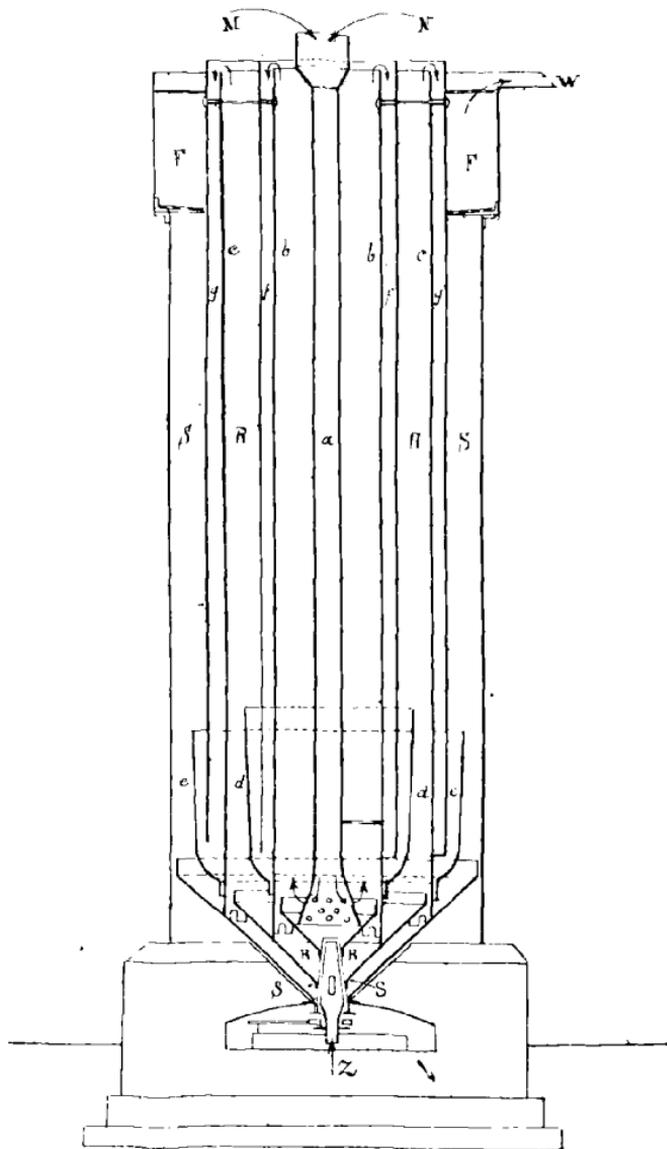


Fig. 19. — Décanteur Pichler-Sedlacek (Brevet, 1881).

manière à faire glisser les dépôts vers les robinets de purge.

5° Les robinets de purge sont placés exactement les

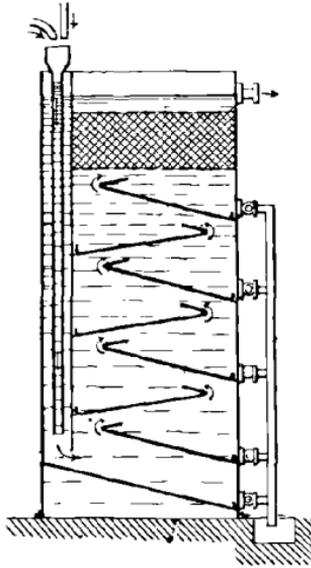


Fig. 20. — Décanteur Pichler-Sedlacek (Brevet, juillet 1882).

uns au-dessus des autres, de façon à pouvoir être reliés à un collecteur de boues.

6° Le décanteur est complété, à sa partie supérieure, par un filtre destiné à parfaire la clarification de l'eau décantée.

DÉCANTEUR GAILLET ET HUET (1882) (fig. 21). — Le décanteur Gaillet et Huet a beaucoup de rapport avec le décanteur précédent, dont il ne se distingue que par l'emplacement des robinets de purge, tous fixés sur la

même face, et par la position des cloisons, toutes inclinées dans le même sens.

Le décanteur Gaillet et Huet, plus tard étudié pour

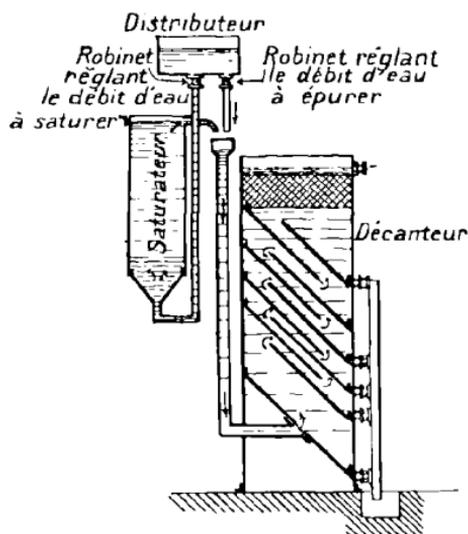
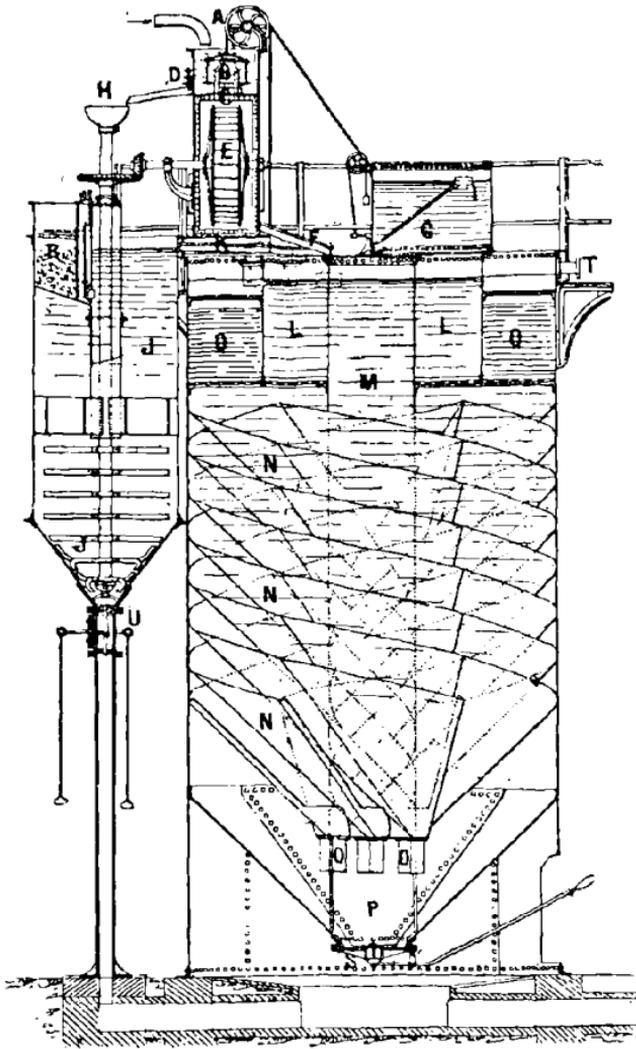


Fig. 21. — Appareil Gaillet et Huet (Brevet, oct. 1882).

pouvoir se placer horizontalement, a reçu en France un assez grand nombre d'applications, et il est de ce fait, encore aujourd'hui, assez répandu.

DÉCANTEUR SYSTÈME DESRUMAUX. — Le décanteur, dans l'épurateur système Desrumaux (fig. 22), comprend essentiellement un grand récipient cylindrique vertical, fermé dans le bas par un fond conique muni d'une soupape de vidange S et portant, dans sa partie centrale, un cylindre M ouvert à chaque extrémité autour duquel s'enroulent plusieurs rangées superposées de



A. Arrivée de l'eau à épurer. — B. Buc de distribution. — C. Vanne réglant le débit de l'eau à épurer. — D. Vanne réglant le débit de l'eau à transformer en eau de chaux. — E. Roue à augets, mise en mouvement par l'eau à épurer et actionnant l'arbre de malaxage du saturateur. — F. Goulotte déversant dans le Décanteur l'eau tombant du moteur hydraulique. — G. Réservoir à réactifs. — H. Godet servant à l'introduction de l'eau à saturer la chaux. — J. Flotteur régulateur en ébonite. — K. Saturateur. — L. Goulotte déversant l'eau de chaux saturée dans le décanteur. LL. Espace libre annulaire servant au nettoyage des surfaces de décantation et à leur passage en cas de démontage. — M. Colonne centrale de réaction. — NN. Lames hélico-conoidales formant surfaces de décantation continues pouvant être nettoyées instantanément sans démontage, en faisant arriver un courant d'eau par l'espace annulaire LL. — OO. Collecteurs de boues. — P. Réservoir à boues. — Q. Filtre. — R. Extincteur automatique de chaux. — S. Soupape de vidange des boues. — T. Sortie de l'eau épurée. — U. Clapet de purge du Saturateur.

Fig. 22. — Épurateur automatique système H. Desrumaux
(Coupe schématique).

lames métalliques NN, tenant du cône, par leur inclinaison, et de l'hélice par leur développement et appelées, pour cette raison : *surfaces hélico-conoïdales*¹.

Ce dispositif a pour but de diviser la masse de l'eau en nappes minces, de façon à activer la clarification en réduisant la hauteur de chute des particules solides qu'il s'agit de décanter, et de donner aux surfaces de décantation une forme qui, tout en favorisant le glissement de ces particules et en les soustrayant sûrement à l'entraînement des veines liquides en mouvement, assure : à l'eau, la direction la plus favorable à sa clarification ; aux dépôts, l'acheminement le plus direct pour leur élimination.

L'eau et les réactifs épurants se déversent dans le cylindre intérieur M, formant colonne de réaction, et descendent vers le fond de l'appareil. Passant ensuite sous la tranche du cylindre central, l'eau prend un mouvement ascensionnel et se divise, également, entre les rangées superposées des surfaces de décantation.

En s'élevant dans le système hélicoïdal, le liquide en réaction se trouve naturellement partagé en tranches distinctes, séparées les unes des autres par les lames hélico-conoïdales, de telle sorte que les dépôts abandonnés par les couches supérieures ne peuvent, en tombant, souiller les nappes des spires inférieures en train de se clarifier.

D'autre part, par suite du mouvement ascensionnel dont elle est animée, l'eau, en s'élevant et en se clarifiant progressivement, suit constamment les régions

¹ Dans certains décanteurs on a supprimé les surfaces hélicoïdales.

supérieures des espaces compris entre les hélices, tandis qu'au contraire, les dépôts, en vertu de leur densité, gagnent les régions inférieures et atteignent rapidement les surfaces de décantation sur lesquelles ils glissent, à l'abri de l'action entraînante des courants ascensionnels.

Grâce à la forme conoïde des surfaces de décantation qui les fait converger vers les parties centrales, les particules solides, aussitôt déposées, se rassemblent aux endroits où les pentes sont le plus fortement accusées, ce qui facilite leur acheminement vers le fond de l'appareil.

• Pour que les dépôts, au bout de leur trajet, ne puissent être repris par l'eau affluente, les lames hélicoïdales ont leur bord extrême inférieur relevé verticalement, de manière à arrêter les boues et à les diriger vers des poches terminales, d'où elles descendent par des collecteurs distincts dans le fond conique du décanteur, qui constitue le réservoir à boues P.

On opère l'extraction des dépôts en ouvrant chaque jour la soupape de vidange, jusqu'à apparition de l'eau claire.

Dans la pratique, pour simplifier la construction, les surfaces de décantation sont formées de segments plans se succédant de manière à tracer sur la paroi du décanteur une ligne brisée régulière en spirale. Les segments d'hélices se joignent par recouvrement et sont simplement emboîtés, par leur pointe, dans des supports en fonte boulonnés sur le cylindre central. Cet agencement facilite, en cas de besoin, le démontage rapide des surfaces de décantation.

Si un nettoyage des surfaces de décantation devient

nécessaire, il peut s'effectuer sans aucun démontage grâce à la continuité des lames hélicoïdales. Pour cela, on fait arriver un courant d'eau dans l'espace libre annulaire compris autour du cylindre intérieur. Cette eau tombe sur les surfaces de décantation et les parcourt dans leur entier développement, en entraînant tous les dépôts.

Quant à l'eau, dépouillée des sels nuisibles et des matières étrangères qui la souillaient, elle traverse en dernier lieu un filtre Q terminant supérieurement le décanteur, et constitué par un simple lit de fibre de bois légèrement comprimée entre deux rangées de tôles perforées.

L'eau épurée sort en haut de l'appareil par l'orifice T.

Dans les appareils de grandes dimensions, le filtre reçoit alors une disposition spéciale. Il est divisé en un certain nombre de compartiments indépendants, pouvant s'isoler en pleine marche et possédant chacun une vidange distincte. Il est dès lors possible de vider complètement et même de laver à l'eau courante, à tour de rôle, tous les compartiments du filtre sans interrompre le fonctionnement de l'appareil.

III. Principaux systèmes d'épurateurs automatiques.

Avec l'appareil automatique système Desrumaux, nous sommes arrivés au type de l'épurateur moderne actuellement employé dans l'industrie.

Tout épurateur automatique se rapprochera plus ou

moins du précédent; les quelques modifications que l'on y rencontrera porteront sur des détails de construction qui peuvent être intéressants; mais dans tout épurateur on retrouvera les organes suivants :

1° *Le distributeur*, destiné à répartir les réactifs proportionnellement au volume d'eau, de façon à ce que ces réactifs soient en quantités dosées;

2° *Le saturateur* automatique et continu, destiné à transformer en une eau de chaux saturée une partie déterminée du volume total de l'eau à épurer;

3° *Le bac à solution de réactif* (sel de soude), où on prépare une quantité déterminée de solution pour une durée donnée (24 heures, par exemple);

4° *Le décanteur*, dans lequel s'opèrent le mélange de l'eau avec les réactifs, et la précipitation des sels par réaction; les précipités formés s'y rassemblent et s'y déposent.

Nous ne pouvons entrer dans la description de tous les systèmes épurateurs présentés par les nombreux constructeurs dont nous avons cité les principaux (p. 256). Nous examinerons quelques-uns de ces appareils qui, bien que ressemblant à l'épurateur précédemment étudié en détails, présentent un intérêt pratique et sont en usage dans l'industrie, où ils donnent satisfaction.

Il faut ajouter que la plupart des constructeurs d'épurateurs automatiques proprement dits construisent aussi, sous le nom d'*épurateurs à préparation manuelle de réactifs*, des appareils susceptibles de donner de bons résultats pour les petites installations, et qui ont l'avantage d'être d'un prix bien moins élevé. Nous décrirons quelques types des ces épurateurs à préparation manuelle

de réactifs, bien que les industriels les délaissent de plus en plus en faveur des épurateurs automatiques; mais dans un ouvrage technique nous devons signaler les tendances, sans pour cela passer sous silence les types d'appareils qui, pour être moins en « vogue », présentent cependant de l'intérêt au point de vue des perfectionnements réalisés ou tentés dans le domaine de l'épuration des eaux industrielles.

Parmi les appareils d'épuration chimique à froid, nous allons examiner quelques systèmes d'épurateurs automatiques et d'épurateurs à préparation manuelle de réactifs, sans revenir, bien entendu, sur l'appareil Desrumaux¹ que nous avons pris comme-type des épurateurs automatiques, auquel nous avons abouti dans le développement historique et critique de l'épuration chimique.

ÉPURATEUR HOWATSON A PRÉPARATION AUTOMATIQUE DE RÉACTIF

Cet appareil comprend un décanteur R et un saturateur K, qui fournit la quantité nécessaire de solution de chaux d'une façon continue et régulière. B est le bac d'alimentation, et C celui à réactif (fig. 23).

Au-dessus du décanteur R se trouve le filtre F. L'eau arrive par le robinet A dans le bac d'alimentation B, où elle est reprise par la valve D pour venir, par un tuyau horizontal, en *f* et *g*. Le robinet *f* règle une fois pour

¹ Il existe aussi un épurateur à préparation manuelle de réactif système Desrumaux, établi pour de petits débits variant de 100 à 750 litres par heure. Il se rapproche de l'épurateur système Howatson, qui est décrit plus loin.

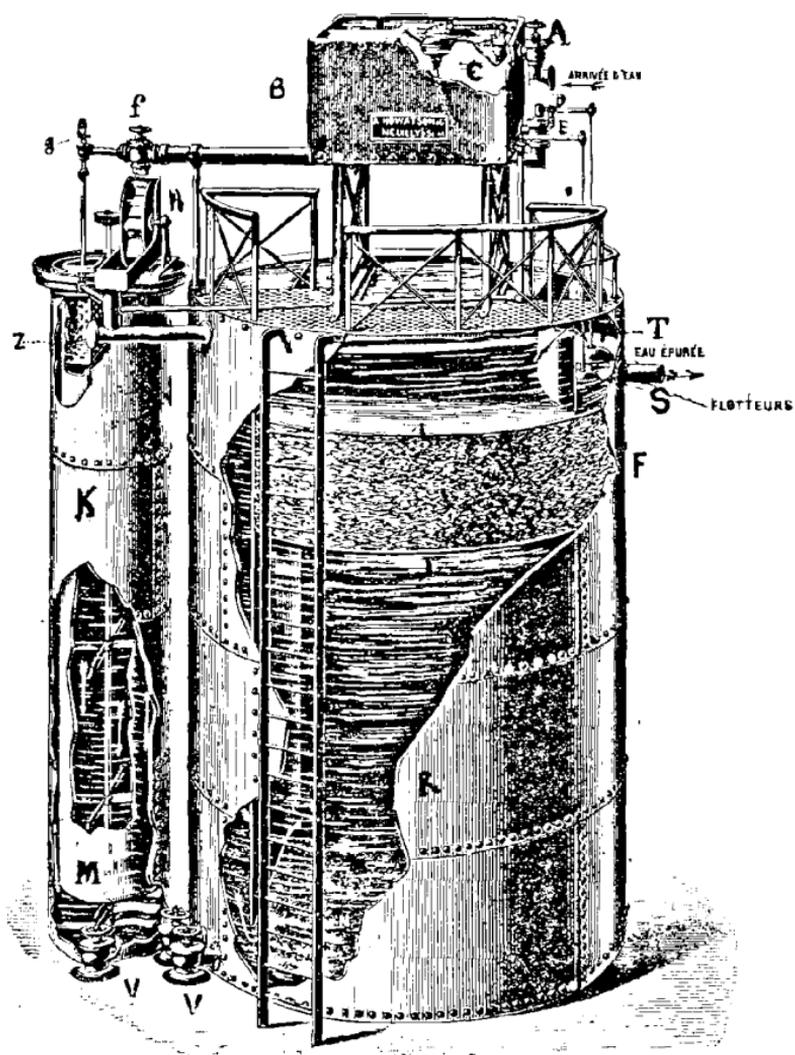


Fig. 23. — Épurateur à préparation automatique de réactif (système Howatson).

toutes le débit de l'eau à épurer; le robinet *g* règle de même la quantité d'eau à saturer par la chaux, dans la proportion nécessaire à l'épuration.

Les orifices *f* et *g* sont à la même hauteur; ils reçoivent donc la même quantité d'eau, de sorte que si le niveau vient à varier dans le bac d'alimentation B, leurs débits sont toujours proportionnels.

L'eau qui tombe de *f* fait mouvoir la roue à augets H, qui, au moyen d'une transmission, actionne un arbre placé dans l'axe du saturateur et qui porte des palettes.

Le saturateur K est composé de deux cylindres concentriques : à la partie supérieure du cylindre intérieur se trouve un récipient *r*, dans lequel on place la chaux vive pour y subir l'extinction. L'eau qui s'écoule par *g* tombe sur cette chaux et l'entraîne dans le cylindre intérieur M, où le mouvement des palettes active la dissolution de la chaux dans l'eau, qui se sature ainsi plus rapidement. Arrivée à la partie inférieure du petit cylindre M, l'eau saturée de chaux remonte dans l'espace libre compris entre les deux cylindres concentriques, et abandonne pendant son ascension la chaux en excès qui se trouve en suspension. Lorsqu'elle arrive à la partie supérieure, elle est claire et se mélange avec l'eau à épurer sortant de la roue à augets H dans des proportions déterminées. Dans le bac à réactif C, on prépare la solution de carbonate de soude, qui s'écoule régulièrement par l'artifice d'un flotteur qui rend le débit constant. Le réactif est extrait par l'orifice E et envoyé dans l'eau à épurer.

L'eau additionnée de réactifs arrive alors dans le décanteur R, divisé en deux compartiments verticaux et de dimensions inégales; dans le compartiment

le plus petit, la réaction chimique s'opère, et l'eau arrive au fond du premier compartiment; elle passe alors dans le plus grand compartiment et remonte lentement, ce qui permet aux matières en suspension de se déposer : la décantation s'opère ainsi aisément.

Si l'eau à épurer est difficile à décanter, on place dans le décanteur des lames en tôle inclinées qui retiennent les impuretés en suspension.

A la partie supérieure du décanteur se trouve un filtre F formé d'une couche de bois comprise entre les grilles *ii* qui maintiennent la matière filtrante.

L'eau au sortir du filtre F se déverse dans le compartiment T où se trouvent deux flotteurs, dont l'un commande l'arrivée de l'eau, l'autre celle des réactifs. L'eau épurée sort par l'orifice S, qui aboutit dans le compartiment T.

Lorsque l'eau est complètement utilisée, le compartiment T est presque vide et les robinets sont ouverts en grand; mais, au contraire, si l'on ne prend pas d'eau par l'orifice S, le compartiment T, de petites dimensions, se remplit rapidement; et les flotteurs soulevés par l'eau ferment aussitôt, et en même temps, les robinets D et E qui commandent respectivement l'écoulement de l'eau et celui des réactifs. Dès que l'eau baisse dans le compartiment T, les flotteurs s'abaissent et règlent ainsi l'admission de l'eau et des réactifs, qui sont toujours en quantités proportionnelles.

A la partie inférieure de l'épurateur se trouvent des robinets VV, à large section, pour opérer la vidange de l'appareil et extraire les boues du saturateur K et du décanteur R.

L'épurateur Howatson à préparation manuelle de réactif (fig. 24) est un appareil à décantation continue qui comprend un décanteur, divisé en deux compartiments, dont le premier reçoit le mélange d'eau et de réactif à sa sortie du bac régulateur : la réaction chimique se produit alors, et l'eau est conduite jusqu'au fond du décanteur, pour, de là, remonter dans le second compartiment. Le courant d'eau est très réduit, et le liquide met plusieurs heures avant d'arriver à l'orifice de sortie; ce qui facilite la décantation des précipités formés par réaction chimique.

Pour clarifier les eaux contenant beaucoup de matières en suspension, on place, dans le décanteur, des lames en tôle inclinées, à travers lesquelles l'eau dépose ses impuretés; au dessus de ces lames se trouvent des copeaux de bois qui servent à répartir le courant d'eau sur toute la surface des lames.

Voici la description détaillée de l'appareil : A est le récipient dans lequel on prépare la solution de chaux vive et de carbonate de soude ; B est le vase jaugeur de l'eau d'alimentation ; C celui de la solution ; en O se trouve le mélangeur. La réaction chimique s'achève dans le compartiment E ; F est le récipient de décantation, G le filtre en paille de bois ; K la réserve d'eau épurée. Par *a* arrive l'eau à épurer, qui est distribuée par un jeu de robinets en A et en B ; *b* est l'agitateur qui sert à mélanger la solution de chaux vive et de carbonate de soude, et qu'on met en mouvement au moyen de la poignée *c* ; *d* est le robinet de vidange du récipient A ; *f* le flotteur portant un tuyau de caoutchouc pour ne délivrer au jaugeur C que la solution claire ; *g* et *h* sont les orifices qui débitent l'eau à purifier et la solu-

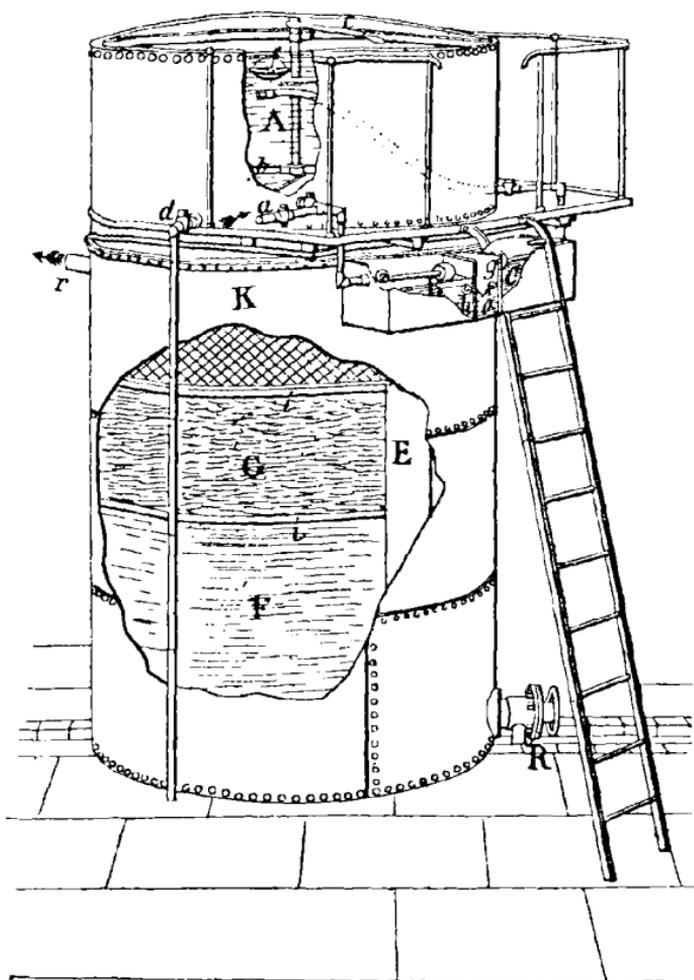


Fig. 24. — Épurateur à préparation manuelle de réactif (système Howatson).

tion des réactifs dans des proportions invariables. A cet effet, la charge sur ces orifices est maintenue constante par des flotteurs ; le débit s'arrête lorsque le liquide s'élève dans le mélangeur O, par suite du remplissage de la réserve K. Les grilles *ü* maintiennent la matière filtrante ; le robinet de vidange R sert à vider l'appareil ; l'eau épurée sort de l'appareil par l'orifice *r*.

ÉPURATEUR A PRÉPARATION AUTOMATIQUE DE RÉACTIF
 SYSTÈME LANGUMIER ET BUCHET

Dans l'épurateur à préparation automatique et continue de réactif, la préparation de l'eau de chaux est assurée d'une façon continue et automatique au moyen d'un appareil spécial : *le saturateur*, qui reçoit chaque jour la chaux vive nécessaire pour une journée de marche, et transforme régulièrement la chaux vive en eau de chaux, en quantité nécessaire pour l'épuration du volume d'eau que doit fournir l'appareil.

Le carbonate de soude est dissous dans un bac spécial pour ce réactif.

Le réglage des écoulements de l'eau à épurer et des réactifs est assuré par des ajustages ou diaphragmes à ouvertures invariables débitant sous une charge constante : la proportionnalité des débits est ainsi réalisée.

L'appareil est représenté par la figure 25.

L'eau *y* arrive par le tuyau A ; la roue C qui actionne le saturateur est alimentée par le bac B ; et D est le bac régulateur dans lequel le niveau d'eau est maintenu constant, grâce au flotteur E qui commande la valve d'amenée d'eau.

F et G sont respectivement les réglages de l'eau à épurer et de l'eau destinée à être transformée en eau de

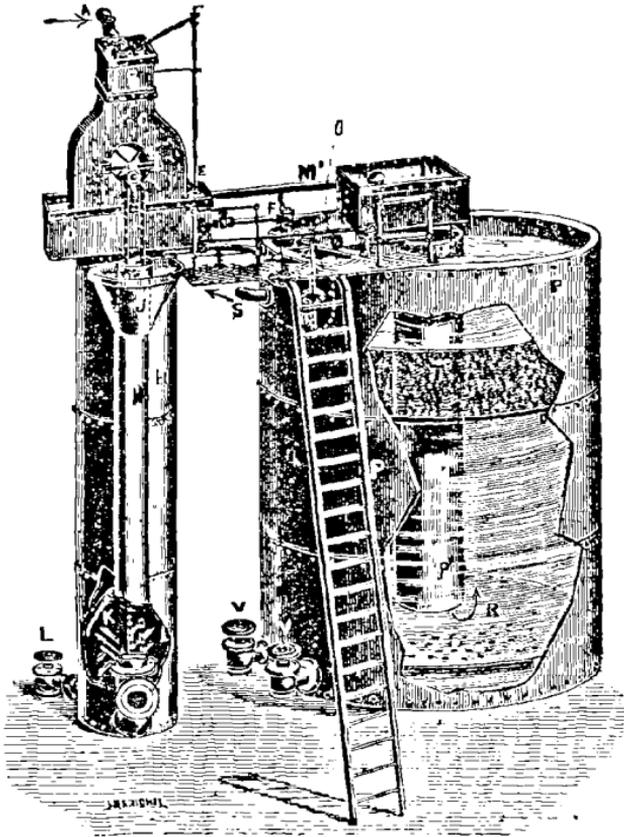


Fig. 25. — Épurateur à préparation automatique de réactif (système Langumier et Buchet).

chaux par son passage au travers du saturateur; ils sont placés à la même hauteur sur le même bac.

Par le tuyau T s'échappe l'eau de chaux provenant du saturateur II.

Pour charger le saturateur, on verse de la chaux fraîchement éteinte dans la trémie J ; elle est entraînée avec l'eau dans le tube H', et le mélange s'opère à la partie inférieure du saturateur au moyen de l'arbre à palettes K, mû par une chaîne sans fin actionnée par la roue C. Au moyen du robinet L on vidange le saturateur.

Le réactif (ici le carbonate de soude) se prépare dans le bac M qu'on remplit au moyen de la tuyauterie M', et s'écoule par le conduit N après réglage en N', puis se mélange à l'eau à épurer et à l'eau de chaux dans le conduit mélangeur O. L'eau chargée de réactif arrive au fond du décanteur par le tube central P', abandonne les matières précipitées sur le double fond R, remonte en traversant le filtre T, pour se déverser ensuite dans le compartiment à flotteur U et sortir par le tuyau S.

Les robinets VV servent à la vidange du décanteur.

Les écoulements s'établissent d'eux mêmes, réglés par la consommation de l'eau épurée : le niveau de l'eau, en effet, augmentant ou diminuant, ferme ou ouvre l'écoulement de l'eau et celui des réactifs, par l'intermédiaire des flotteurs qui en commandent le débit.

Épurateur à préparation manuelle de réactif, système Langumier et Buchet. — Cet appareil emploie, comme les précédents, la chaux et le carbonate de soude comme réactifs épurants, qu'on prépare manuellement et d'un seul coup dans un bac spécial à réactif, en quantités

nécessaires pour une journée de marche. Cet épurateur à préparation manuelle de réactifs convient pour les débits de faible et de moyenne importance. Il va de soi qu'au lieu d'employer comme réactifs la chaux et le carbonate de soude, on peut faire usage d'un autre réactif, tel que l'aluminate de baryte, les oxalates, etc.

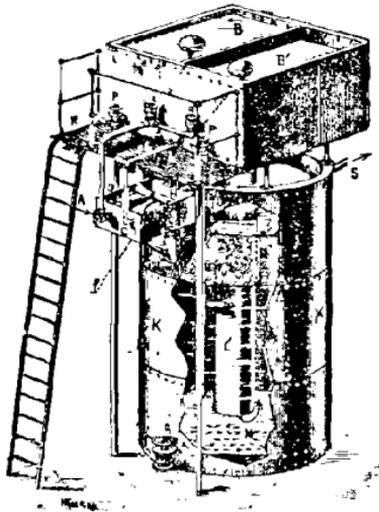


Fig. 26. — Épurateur à préparation manuelle de réactif (système Langumier et Buchet).

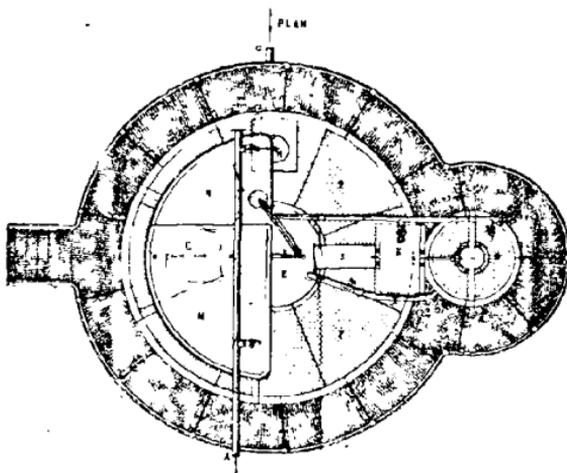
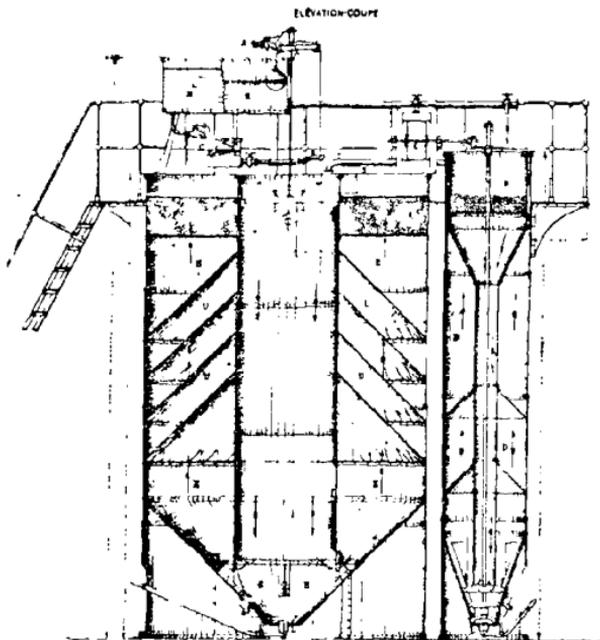
L'épurateur du système Langumier et Buchet est représenté par la fig. 26. L'eau brute arrive en A, dans l'appareil ; an' sont les robinets de remplissage du bac à réactif, BB' les deux compartiments dans lesquels on prépare le réactif, d'une façon continue, sans arrêt dans la marche de l'appareil.

C est le bac régulateur dans lequel D et E sont

respectivement les compartiments du réglage des écoulements de l'eau brute et du réactif nécessaire à l'épuration. Ces écoulements sont constants, parce que les ajutages de jaugeage *f* et *g*, invariables, débitent sous une pression constante, maintenue par des flotteurs qui assurent la régularité du niveau des liquides en D et F. Si l'épurateur débitait plus qu'il n'est nécessaire, il s'arrêterait automatiquement, parce que le niveau s'élèverait dans le mélangeur H, diminuant ainsi progressivement la hauteur de chute sur les ajutages; pour les orifices constants, l'écoulement reste toujours proportionnel. Le récipient cylindrique K constitue le décanteur dans lequel le mélange d'eau et de réactif arrive par le conduit L et le tuyau L'. Le précipité formé se dépose dans le double-fond perforé M, et l'eau passe à travers la couche filtrante en fibre de bois N. La vidange du décanteur s'opère par le robinet O, et celle des compartiments du bac à réactif par les robinets PP'. R est la plate-forme de manœuvre. Par la tubulure S sort l'eau épurée.

ÉPURATEUR AUTOMATIQUE SYSTÈME A. BURON

L'appareil (fig. 27) est analogue aux précédents. L'eau à épurer arrive par un conduit A dans un bac distributeur N, et vient tomber sur la chaux éteinte contenue dans le panier du saturateur D; elle forme un lait de chaux brassé constamment par le malaxeur actionné par une roue à augets K, mise en mouvement par la chute de l'eau sortant du distributeur d'eau brute N. Le lait de chaux remonte latéralement dans



LÉGENDE

A, Arrivée d'eau brute. — N, Bac distributeur d'eau brute. — M, Bac préparateur de soude. — C, Bac distributeur de soude avec flotteur-régulateur. — D, Préparateur de chaux et malaxeur. — E, Décanter avec cônes chicaneux. — F, Filtre clarificateur. — G, Sortie de l'eau épurée. — H, Flotteur fermant tous les débits automatiquement. — L, Roue à angets actionnant le malaxeur. — I, Arrivée d'eau de chaux. — R, Arrivée d'eau de soude. — S, Arrivée d'eau brute. — V, Vidanges.

Fig. 27. — Épurateur automatique (système A. Buron).

l'espace circulaire du saturateur, et vient se déverser en T à l'état d'eau de chaux saturée claire.

Dans le compartiment M du bac distributeur, on prépare chaque jour la solution de soude qui est déversée dans le bac distributeur C, pour s'écouler en R.

Le lait de chaux et la soude arrivent, par les conduits T et R, au contact de l'eau brute qui s'échappe en S, et les trois liquides se déversent dans le décanteur ou mélangeur où s'effectue la précipitation des sels. L'eau arrive à la partie inférieure du cylindre central et remonte dans l'intervalle des deux cylindres. Dans ce faible mouvement ascensionnel, l'eau se brise et se divise contre les chicanes U, qui ralentissent encore ce mouvement et facilitent le dépôt des matières en suspension qui se rassemblent à la base de l'appareil, d'où elles sont évacuées chaque jour par la soupape L.

L'eau ainsi épurée se clarifie en traversant le filtre F, et se déverse dans un compartiment muni d'un ajutage G qui la conduit à la bêche alimentaire.

Tous les écoulements sont réglés par un flotteur H, qui ouvre ou ferme automatiquement les divers robinets.

ÉPURATEUR AUTOMATIQUE SYSTÈME DECLERCQ

Dans l'épurateur automatique système Declercq, le distributeur à roue motrice et tambour compteur (fig. 28 et 29) constitue la partie intéressante de l'appareil. Ce distributeur n'est pas, comme ceux que nous avons étudiés précédemment, à écoulements continus par orifices en nodules, mais à écoulements alternatifs ou mécaniques.

où les débits respectifs de l'eau et de chacun des réactifs sont mesurés par des godets de capacité déterminée.

Le distributeur (fig. 28 et 29) comprend :

1^o Un bac supérieur ouvert A, divisé en trois compartiments a, c, g, par des cloisons verticales.

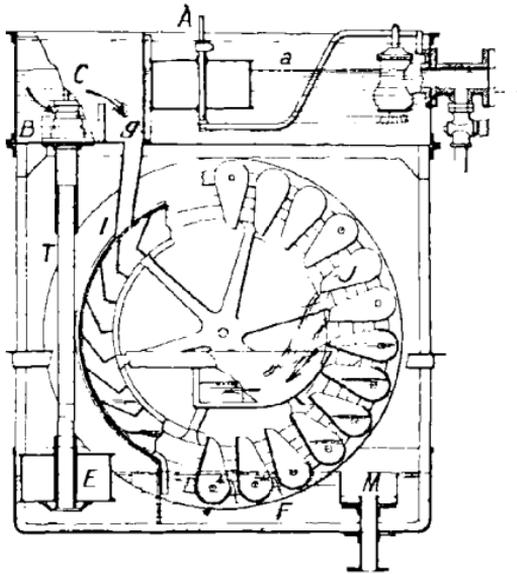


Fig. 28. — Distributeur à roue motrice et tambour compteur (système Declercq), vu de face.

Le compartiment a reçoit l'eau brute, dont le débit est réglé par une soupape équilibrée à flotteur qui en limite l'admission à un niveau maximum. Le compartiment c communique avec le compartiment a par une ouverture que ferme le tampon B, rattaché, au moyen d'une chaînette, à un flotteur placé dans la réserve d'eau épurée.

Au fond du compartiment *c* débouche un tuyau vertical, de longueur réglable, qui aboutit dans le bac inférieur *F* et se termine par le clapet à flotteur direct *E*. La cloison qui sépare le compartiment *c* du comparti-

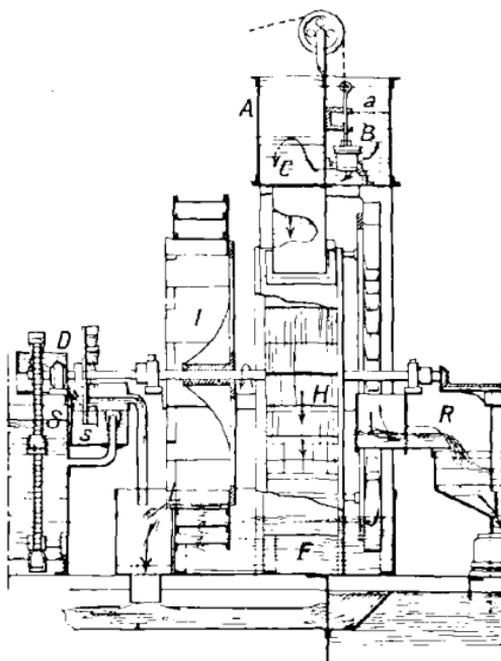


Fig. 29. — Distributeur à roue motrice et tambour compteur (système Declercq), vu de profil.

ment *g* s'arrête à mi hauteur du bac *A*, de telle sorte que le compartiment *g*, dont le fond est ouvert au-dessus de la roue motrice *A*, n'est que le déversoir du compartiment *c*.

2° Un bac inférieur *F*, supportant le bac supérieur et les paliers qui portent tout le mouvement. Sur une

des faces du réservoir se trouve un déversoir L, et au fond un trop-plein M de hauteur réglable.

La longueur du tuyau T est réglée de façon à ce que le clapet à flotteur direct E soit fermé avant que le niveau n'atteigne le bord supérieur du trop-plein M, lequel est lui même réglé un peu au-dessus du seuil du déversoir L.

3° *Un mécanisme* moteur et compteur, comprenant un roue motrice H calée sur l'arbre, qu'elle entraîne avec elle, en même temps que le tambour compteur I portant des godets mesureurs J et le doseur de soude.

Fonctionnement. — L'appareil étant vide et au repos, la réserve d'eau épurée n'atteint pas son plein, et le flotteur laisse le tampon B ouvert. On fait pénétrer l'eau à épurer dans le compartiment a, d'où elle passe dans le compartiment c, descend par le tuyau D dans le bac inférieur F, jusqu'à ce que le clapet à flotteur direct E se ferme avant que le niveau n'ait atteint le haut du trop-plein M.

L'eau qui arrive dans le compartiment c ne trouve plus alors passage par le tuyau T et se déverse dans le compartiment g sur la roue motrice H, qu'elle met en mouvement, ainsi que le tambour compteur I, la couronne à godets J et le doseur D. L'eau brute à épurer est mesurée par le tambour I et relevée au-dessus du seuil du réservoir L et dirigée dans le mélangeur.

L'eau brute à saturer, mesurée par les godets J, est relevée et déversée dans la rigole R, qui la conduit au saturateur qui restitue le même volume d'eau saturée au mélangeur.

Le travail produit par la chute de l'eau sur la roue motrice H est encore employé à actionner le doseur de soude et les agitateurs à palettes.

Grâce au clapet à flotteur E, qui permet l'arrivée d'une certaine quantité d'eau descendant par le tuyau T sans actionner la roue motrice, le niveau dans le bac inférieur F reste constant, et, par suite, le volume d'eau brute à épurer reste le même à chaque tour de roue; il en est de même pour les volumes d'eau brute à saturer et de solution de soude, qui, ainsi, se mélangent toujours dans les mêmes proportions.

Le *doseur de soude* D, constitué par une chaîne à godets, est calé sur l'arbre du distributeur prolongé au-dessus du réservoir S contenant la solution de carbonate de soude. A chaque tour de l'arbre il déverse la même quantité de réactif dans un petit réservoir spécial s. Le réactif est puisé au moyen d'une petite roue à augets et déversé par un tuyau dans le mélangeur. Pour régler le débit du doseur, il suffit d'élever plus ou moins le petit bac à réactif sans toucher au doseur à godets.

L'ensemble de l'épurateur est représenté par la fig. 30.

Le *saturateur* S a une forme cylindro-conique; ce qui assure plus complètement, paraît-il, le mélange de l'eau brute avec le lait de chaux.

L'eau à saturer, dont le volume est réglé par le distributeur proportionnellement au volume d'eau à épurer, pénètre dans le saturateur S par l'orifice inférieur du tube central T muni de palettes, et actionné par la roue motrice H du distributeur. L'agitation ainsi produite facilite le mélange de l'eau et du lait de chaux, qui remonte avec une vitesse de plus en plus faible vers le

haut du saturateur : l'eau saturée se sépare ainsi du lait de chaux, qui reste dans la partie conique du saturateur. Le bac extincteur tamiseur de chaux vive B sur-

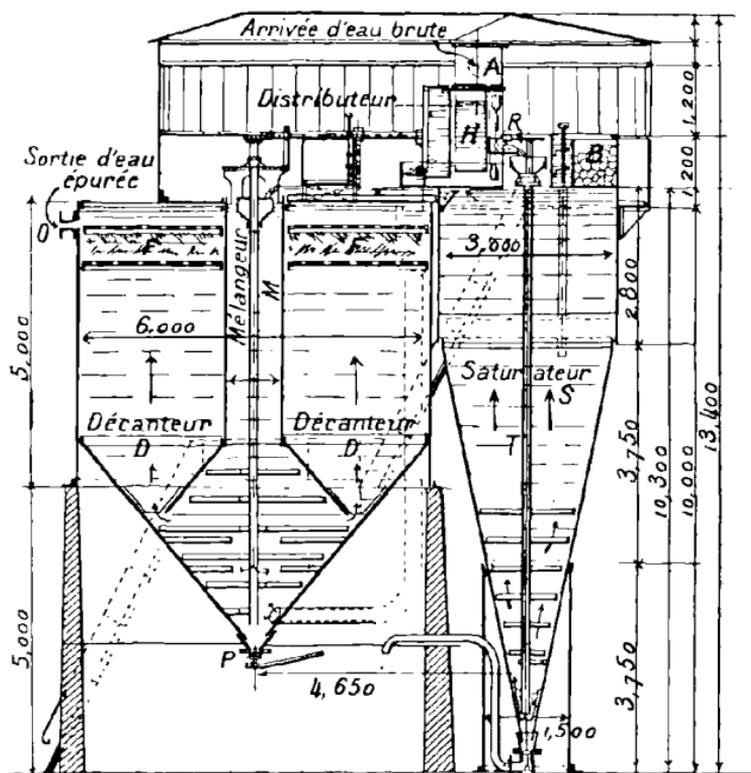


Fig. 30. — Épurateur automatique (système Declercq).

monte le saturateur ; ce dispositif a l'avantage de n'introduire dans le saturateur que du lait de chaux débarrassé des incuits et autres impuretés contenues dans la chaux brute.

Le *mélangeur* est constitué par le cylindre M, où s'accomplissent les réactions chimiques donnant naissance à des précipités. L'eau chargée des précipités formés remonte (comme l'indiquent les flèches de la figure 30) dans le *décanteur* D (dépourvu de lames de décantation), où se déposent les impuretés, qui se rassemblent sur les parois inclinées du décanteur et peuvent être ainsi évacuées par l'orifice de purge P.

L'eau, débarrassée de la majeure partie des corps en suspension, achève sa clarification en passant au travers du filtre F, garni de fibres de bois, et sort enfin épurée et claire par la tubulure O.

M. Declercq a perfectionné récemment l'épurateur précédent en construisant un appareil qu'il dénomme « épurateur automatique avec mélange des boues, saturateur *compound*, et distributeur à roue-compteur motrice », qui est basé sur une saturation de l'eau par la chaux, plus parfaite que dans les appareils antérieurs.

Pour bien comprendre ce que M. Declercq appelle *saturation compoundée*, il y a lieu de revenir avec quelques détails sur la préparation de l'eau saturée de chaux ou *saturation*, et sur les récipients où s'effectue cette saturation, désignés sous le nom de *saturateurs*.

Quand on délaye de l'hydrate de chaux (chaux éteinte) dans une certaine quantité d'eau, on obtient un *lait de chaux*.

Lorsqu'on laisse décanter ce lait de chaux on voit se former un lait de chaux plus concentré à la partie inférieure, tandis que la partie supérieure se clarifie. Le liquide clair est de *l'eau saturée de chaux*, et sa teneur en hydrate de soude dissous est constante, quelle que

soit la quantité de chaux qui a été délayée primitivement, pourvu toutefois qu'elle soit supérieure à la quantité maxima que l'eau peut dissoudre, et pourvu que le contact entre la chaux et l'eau ait été suffisamment prolongé.

Si, après avoir séparé l'eau saturée et claire du lait de chaux concentré, on additionne celui-ci d'une nouvelle quantité d'eau, en mélangeant intimement de façon à reproduire un lait de chaux dilué, qu'on laisse décanter comme précédemment, on voit le même phénomène se reproduire, et on peut de nouveau soutirer de l'eau saturée de chaux et claire ayant toujours la même teneur en hydrate de chaux dissous, si toutefois la température est constante.

C'est l'ensemble de ces phénomènes qui constitue la *saturation*, opération qui peut se continuer d'une façon presque indéfinie et sans arrêt dans le même récipient.

Si on opère comme il est indiqué plus haut, par des additions successives d'eau alternant avec le mélange et la décantation, elle est intermittente. C'est ainsi qu'on l'a pratiquée longtemps dans les bacs à réactifs des appareils d'épuration. Depuis, on a cherché à rendre la saturation continue, de même qu'on avait cherché à rendre continues la distribution des réactifs, la décantation et la filtration de l'eau épurée, dans le but de rendre l'épuration entièrement continue et automatique.

Le récipient dans lequel s'opère la *saturation continue* est généralement dénommé *saturateur*. C'est presque toujours un cylindre ouvert à sa partie supérieure et terminé à sa partie inférieure par une partie

conique plus ou moins allongée, avec un orifice de purge pour la vidange de l'appareil.

On le remplit d'eau ordinaire, dans laquelle on délaye une certaine quantité de chaux éteinte; l'appareil étant ainsi chargé pour un débit et pour un temps déterminé, la partie supérieure se clarifie et la partie inférieure s'épaissit. On introduit alors continuellement, à la partie inférieure, de l'eau nouvelle qui délaye la bouillie épaisse en s'y incorporant, tandis que, par un déversoir placé à la partie supérieure, s'écoule un volume égal d'eau saturée de chaux et claire que l'on utilise comme réactif. C'est ainsi que s'opère la saturation continue.

Pour que l'eau qui sort du saturateur soit réellement de l'eau de chaux saturée d'abord, et clarifiée ensuite, ce qui est indispensable pour obtenir un dosage parfait du réactif dont dépend la bonne épuration, il faut :

1° Que la quantité de chaux contenue dans le saturateur soit toujours en excès ;

2° Que l'eau ordinaire affluente soit complètement incorporée au lait de chaux et mélangée intimement avec lui ;

3° Que le volume du saturateur et surtout sa section horizontale dans la partie supérieure, c'est-à-dire près du déversoir, soient suffisants pour que le lait de chaux reste confiné dans la partie inférieure et ne risque pas d'être entraîné avec l'eau saturée.

Il faut donc, pour cela :

— Recharger le saturateur avec une nouvelle quantité de chaux éteinte, avant que celle qui s'y trouve soit épuisée ;

— Introduire l'eau à saturer au centre même de la masse de lait de chaux et au point le plus éloigné de la sortie, c'est-à-dire à la partie inférieure extrême ; donner à cette partie inférieure une forme qui facilite le mélange intime de l'eau nouvelle à saturer avec le lait de chaux et empêcher, par une agitation mécanique agissant en travers du mouvement ascendant de l'eau, c'est-à-dire horizontalement, la formation des passages verticaux directs ou *cheminées* que l'eau tend à former en remontant dans la masse de lait de chaux, dont la densité est de beaucoup supérieure à la sienne ;

— Augmenter le plus possible la section de la partie cylindrique supérieure, de façon à réduire la vitesse ascensionnelle de l'eau saturée et à lui assurer une bonne décantation, et éviter dans cette zone toute agitation qui serait nuisible à la clarification et tous obstacles qui contrarieraient l'ascension lente et calme de l'eau.

Le *saturateur cylindro-conique* (fig. 30) avec agitateur à palettes sur arbre vertical, système Declercq, est constitué par un tube pivotant sur coussinet à billes, ce qui permet de le laisser entièrement ouvert à ses deux extrémités et de le faire servir en même temps à l'introduction de l'eau à saturer. Dans la partie inférieure, la forme conique aiguë facilite la descente de la chaux en la ramenant à la rencontre de l'eau, et empêche toute adhérence de chaux pâteuse aux parois, tandis que la partie supérieure présente une *grande section entièrement dégagée et utilisée*.

Le *bac extincteur, délayeur et tamiseur* (fig. 28, 29, 30), placé au-dessus, mais en dehors de l'appareil, n'encombre pas la zone de clarification. Ce saturateur

semble avoir réalisé les conditions énoncées précédemment.

Si la chaux employée pour la saturation et si l'eau à saturer elle-même ne contenaient aucune impureté, il serait inutile de purger les saturateurs ordinaires ; il suffirait d'y remplacer, de temps à autre, la chaux utilisée par une quantité égale de chaux nouvelle. Mais, dans la pratique, il n'en est jamais ainsi. La bouillie d'hydrate de chaux, préparée dans le bac extincteur, contient encore, malgré le tamiseur, une grande partie des impuretés de la chaux vive qui a servi à la préparer : cendres provenant du combustible employé à la cuisson ; graviers, sable, argile, entrant naturellement dans la composition de la pierre à chaux ou s'y trouvant mélangés accidentellement ; carbonate de chaux provenant des *incuits* ou de la poussière de chaux carbonatée à l'air, etc.

L'eau à saturer elle-même est très rarement de l'eau pure ; elle est presque toujours prélevée sur une partie de l'eau brute à épurer, et, avant de devenir le réactif épurant, en se saturant de chaux elle s'épure elle-même et forme, avec une partie de cette chaux, des précipités de carbonate de chaux et d'hydrate de magnésie comme ceux qui résultent de son action ultérieure sur l'eau à épurer dans le décanteur.

Ainsi, au fur et à mesure que s'opère la saturation de l'eau, le lait de chaux que contient le saturateur s'appauvrit à la fois par la diminution de la quantité de chaux hydratée pure, et par l'augmentation des matières étrangères.

L'addition d'une nouvelle quantité de chaux fraîche vient compenser la diminution de chaux, et les purges

totales ou partielles limitent l'augmentation de matières étrangères.

Dans la plupart des cas, le seul inconvénient des purges nécessaires à l'évacuation des impuretés est la perte de chaux qui en résulte ; car ces impuretés étant mélangées à la chaux, il est impossible de les évacuer sans évacuer celle-ci en même temps. Étant donné le prix généralement peu élevé de la chaux employée, cette perte est souvent peu sensible, et on n'avait guère cherché jusqu'ici à l'évaluer, et par suite à la supprimer ou à la réduire.

Cependant, lorsqu'il s'agit de traiter de grandes quantités d'eau et par conséquent de préparer d'importants volumes d'eau saturée de chaux, la meilleure utilisation de ce réactif peut offrir un certain intérêt ; mais là où cette question devient très importante, c'est quand il s'agit de saturer de chaux des eaux qui exigent elles-mêmes une proportion considérable de ce réactif pour leur épuration. C'est le cas qui se présente fréquemment pour certaines eaux de forage qui, bien qu'ayant un titre hydrotimétrique ne dépassant pas en moyenne 18 à 25°, contiennent une quantité considérable d'acide carbonique libre ou combiné à l'état de carbonates alcalins et sont, par conséquent, susceptibles de donner naissance, dans le saturateur, à une quantité correspondante de carbonate de chaux précipité.

Le carbonate de chaux qui se forme dans le saturateur est doublement nuisible à la saturation, parce que, d'une part, en se formant par le contact direct de l'eau avec les particules de chaux non dissoutes, il reste adhérent à la surface de celles-ci et fait obstacle à leur dissolution ultérieure, et parce qu'ayant, d'autre part,

une densité inférieure à celle de la chaux hydratée et étant d'un grain plus fin, il se laisse plus facilement entraîner par le mouvement ascensionnel de l'eau en entraînant avec lui de la chaux hydratée non dissoute.

Les entraînements (chaux hydratée entraînée avec du carbonate de chaux) se produisent généralement dans les saturateurs quand la proportion du carbonate de chaux, par rapport à la chaux hydratée, a atteint une limite au delà de laquelle la saturation n'est plus possible, et on constate, aussitôt après l'entraînement, que l'eau de chaux sortant du saturateur n'est plus saturée. Il faudrait donc à ce moment purger entièrement le saturateur et le recharger avec de la chaux nouvelle.

Si on fait le calcul de la quantité de chaux hydratée perdue dans ces purges, on constate que le pourcentage de chaux perdue croît proportionnellement à la quantité de chaux nécessaire à l'épuration d'un même volume d'eau.

La perte de chaux pour un même volume d'eau croît donc proportionnellement au carré de la quantité utile à employer, et la perte totale est proportionnelle au produit du débit par le carré de la dose utile. M. Declercq a été amené, dans de nombreux cas, à se préoccuper de l'économie qu'on pourrait réaliser en récupérant la chaux perdue par les purges et a imaginé ce qu'il appelle le *saturateur compound*.

Le saturateur compound se compose de deux parties distinctes : le décarbonateur-récupérateur et le saturateur proprement dit.

Le principe de l'appareil est l'épuisement de la chaux

par le système connu sous le nom de lessivage méthodique.

L'eau à saturer est introduite tout d'abord dans le premier compartiment, en présence du lait de chaux ayant déjà servi à la saturation, et qui provient de la purge continue du saturateur proprement dit. Elle passe ensuite dans le deuxième compartiment (le saturateur), dans lequel elle achève de se saturer en présence de la chaux nouvelle qui s'y trouve en excès.

En sens inverse, la chaux à dissoudre est d'abord introduite dans le deuxième compartiment (saturateur), où elle ne saurait être entièrement épuisée, puisqu'elle doit toujours s'y trouver en excès, et cette chaux en excès est évacuée d'une façon automatique et continue dans le premier compartiment (décarbonateur-récupérateur), où elle peut être utilisée et entièrement dissoute, puisqu'elle y est en quantité insuffisante pour produire la saturation et qu'elle y rencontre de l'eau ayant encore tout son pouvoir dissolvant.

Mais, en même temps qu'on obtient ainsi l'épuisement et l'utilisation complète de la chaux, on supprime aussi la formation de carbonate de chaux dans le saturateur proprement dit; il ne s'y trouve constamment en présence que de la chaux ne contenant pas d'autres impuretés que ses impuretés naturelles, et de l'eau déjà débarrassée de tout son acide carbonique et contenant même une certaine quantité de chaux caustique dissoute. Les entraînements de carbonate de chaux et les entraînements de chaux qui en étaient la conséquence sont donc aussi supprimés du même coup.

Les deux parties du saturateur combinées, quand la place fait défaut, peuvent être superposées et ne former

qu'un seul appareil. Quand, au contraire, l'emplacement le permet et qu'il est avantageux de ne pas donner trop de hauteur aux appareils, on les laisse séparées et placées l'une à côté de l'autre.

L'économie de chaux réalisée pour une eau de composition ordinaire moyenne, c'est-à-dire titrant de 20 à 25° hydrotimétriques, est d'environ 20 %. Dans les eaux alcalines des forages à grande profondeur du calcaire carbonifère, et dans les eaux extraites des mines de houille, qui contiennent une grande proportion d'acide carbonique libre ou combiné aux carbonates alcalins et alcalino-terreux, cette économie peut aller jusqu'à 40 et 50 % de la quantité consommée par les satureurs ordinaires.

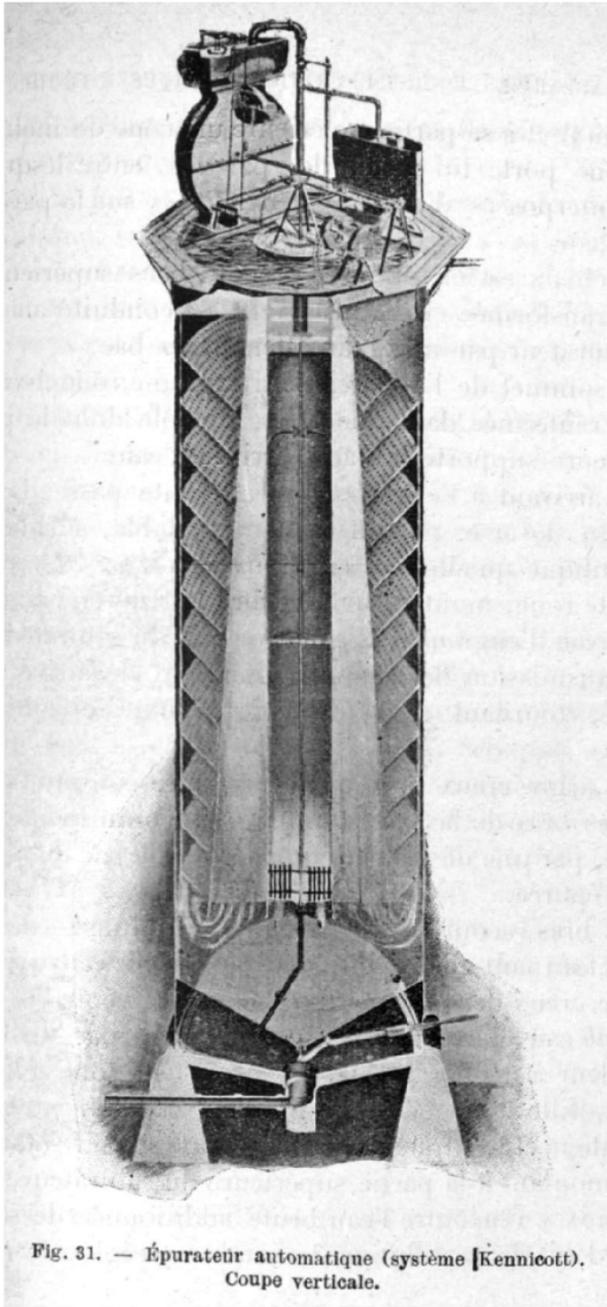
·ÉPURATEUR AUTOMATIQUE SYSTÈME KENNICOTT

L'appareil *Kennicott*, dont la figure 31 représente la disposition intérieure, se compose d'une enveloppe cylindrique en tôle d'acier, surmontée d'une plate-forme de service munie d'un garde-corps.

Au sommet de l'appareil se trouvent les bacs destinés à la dissolution des réactifs épurants, chaux et soude, de même que le dispositif réglant automatiquement les solutions de réactifs proportionnellement à l'eau à épurer.

Au centre de l'épurateur se trouve le cône de descente des eaux, renfermant lui-même le saturateur d'eau de chaux.

Le saturateur est traversé, dans toute sa longueur, par un arbre vertical portant à sa partie inférieure l'agitateur



de chaux, et à sa partie supérieure un cône de mélange. Ce cône porte lui même des palettes, entre lesquelles sont interposées d'autres palettes fixées sur la paroi du saturateur.

La chaux est éteinte dans un des bacs supérieurs et ainsi transformée en bouillie; elle est conduite au fond du saturateur par un tuyau attaché au bac.

Au sommet de l'appareil se trouve une roue hydraulique, renfermée dans une caisse en tôle dont la partie supérieure supporte le bac d'arrivée d'eau.

En arrivant à l'épurateur, l'eau brute passe dans ce bac, se déverse, par un registre réglable, sur la roue hydraulique qu'elle met en mouvement.

Cette roue, montée sur un arbre horizontal, actionne au moyen d'engrenages l'arbre vertical du saturateur, et, par transmission des chaînes, une roue élévatrice d'eau épurée, tournant sur un arbre creux, horizontal et fixe.

Cet arbre creux porte une ouverture communiquant avec les bras de la roue élévatrice et communique lui-même, par une de ses extrémités, avec le bac de réglage d'eau épurée.

Les bras recourbés de cette roue sont évasés, de sorte qu'en tournant elle prélève de l'eau épurée, envoyée par l'arbre creux dans le bac de réglage d'eau épurée.

Cette eau épurée, reprise dans le bac par un tuyau basculeur à débit réglable, est amenée au fond du saturateur. Elle traverse la bouillie de chaux remuée par l'agitateur et s'y transforme en eau de chaux saturée.

Remontant à la partie supérieure du saturateur, l'eau de chaux y rencontre l'eau brute additionnée de soude.

Le débit de la solution de soude est réglé, de même

que le débit d'eau épurée à transformer en eau de chaux, de la manière suivante :

Dans le bac d'arrivée d'eau, au dessus de la roue hydraulique, se trouve un flotteur, relié par des chaînes aux tuyaux basculeurs situés dans les bacs de réglage (un pour la solution de soude, un pour l'eau épurée). Ces tuyaux portent, à une de leurs extrémités, une ouverture réglable.

Lorsque le niveau de l'eau brute, dans le bac d'arrivée, s'élève ou s'abaisse, suivant la quantité amenée à l'épürateur, le flotteur monte ou descend de même, et, dans son mouvement, élève ou abaisse les tuyaux basculeurs ; les quantités de réactifs sont ainsi dosées automatiquement, en fonction du volume d'eau à traiter.

La solution de soude est ajoutée à l'eau brute sous le point de décharge de la roue hydraulique. Ce mélange est ensuite conduit à la partie supérieure du saturateur, pénètre dans le cône mélangeur, s'en échappe, et rencontre l'eau de chaux saturée dans son ascension.

Le liquide est alors agité et mélangé intimement par les palettes fixées sur le cône mélangeur, lequel tourne avec l'arbre du saturateur. Les réactifs se combinent immédiatement avec les sels dissous dans l'eau, et le mélange, débordant ensuite du saturateur, descend lentement à l'intérieur du cône de descente des eaux.

Grâce à cette disposition particulière, la vitesse d'écoulement de l'eau diminue constamment, et le précipité tombe par son propre poids au fond du décanteur, d'où on l'évacue de temps à autre par une soupape de vidange.

Arrivée à la partie inférieure du cône, l'eau change de direction, s'élève entre le cône et l'enveloppe et passe

finalement à travers un filtre de fibre de bois, qui retient les dernières particules de matières restées en suspension.

En sortant de l'épurateur, l'eau épurée est envoyée soit dans le réservoir destiné à la contenir, soit dans les chaudières ou dans les conduites de service.

L'épurateur système *Kennicott* présente, entre autres avantages, celui d'être moins encombrant par le fait que le saturateur est à l'intérieur du décanteur, et d'employer, pour la préparation des réactifs, de l'eau épurée.

C'est un appareil bien compris, qui nécessite peu d'entretien, et dont le fonctionnement régulier assure une bonne épuration.

ÉPURATEUR SYSTÈME SCHLICHTER

L'épurateur système Schlichter, entièrement construit en maçonnerie, en béton de ciment ou en ciment armé, peut être disposé horizontalement ou verticalement.

L'appareil (fig. 32) construit horizontalement se compose :

1° D'une rigole A, en pente très accentuée, avec cascades, augets, contre-pentes et chicanes produisant des remous et tourbillons ;

2° D'un bassin de décantation B.

L'eau arrive par un tuyau alimenté aussi régulièrement que possible et se déverse dans un auget (que l'on ne voit pas sur la figure) mobile autour de deux tourbillons ; la position du centre de gravité est telle, que cet auget se renverse lorsqu'il est plein et qu'il se redresse automatiquement lorsqu'il est vide.

On utilise ce mouvement alternatif pour actionner des agitateurs placés dans les réservoirs en bois *aa* en nombre approprié, et amener en quantité convenable les produits chimiques destinés à précipiter les matières en dissolution dans l'eau. Les réactions chimiques sont facilitées par la descente rapide en cascades et tourbillons dans la rigole *A*.

L'eau, généralement troublée par des matières flocon-

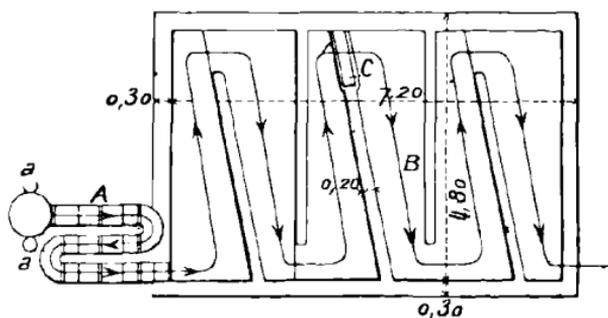


Fig. 32. — Épurateur système Schlichter.

neuses, tombe dans le bassin de décantation *B* et s'écoule lentement à travers les compartiments en chicane pour arriver au filtre *C*, qui se compose de deux cloisons en bois trouées formant un intervalle rempli de petit gravier.

L'eau, en traversant ce filtre, abandonne le reste des matières en suspension et se clarifie complètement en avançant vers la dernière cloison du bassin où on recueille l'eau épurée.

Le nettoyage, qui peut être fait avec une pelle, ne doit être exécuté que le plus rarement possible, l'expé-

rience ayant démontré que les dépôts boueux augmentent les effets filtrants de l'épurateur.

Il serait possible de placer, dans les chicanes du bassin, des filtres à coke ou à sable pour purifier l'eau au point de vue bactériologique.

Nous n'insisterons pas davantage sur les appareils d'épuration chimique à froid, et pour terminer ce chapitre nous parlerons brièvement de l'épuration ou, plus exactement, de la stérilisation des eaux par l'ozone, agent chimique dont l'emploi présente un grand intérêt au point de vue des eaux potables et des eaux utilisées dans les industries de fermentation.

Stérilisation des eaux par l'ozone.

La *stérilisation* est une question qui intéresse surtout les eaux potables, mais dont il est indispensable de dire quelques mots dans un ouvrage traitant des eaux industrielles.

En effet, certaines industries, comme la brasserie et, en général, les industries de fermentation, ont besoin d'une eau dépourvue de micro-organismes pouvant nuire au travail des ferments.

La stérilisation de l'eau peut être obtenue soit par filtration, soit par la chaleur, soit par les antiseptiques (ozone, etc.).

Au point de vue industriel, la *stérilisation par l'ozone* est seule pratique et donne d'excellents résultats.

L'emploi de l'ozone, comme agent stérilisateur, présente les avantages suivants : l'ozone est peu soluble

dans l'eau, c'est un corps instable qui, par sa décomposition, ne laisse dans l'eau aucun corps nuisible, mais de l'oxygène ; c'est un agent bactéricide énergique, qui détruit tous les germes pathogènes de l'eau.

L'application industrielle de l'ozone comme agent stérilisateur remonte à peine à une dizaine d'années et est due à MM. Marmier et Abraham.

Procédé Marmier et Abraham. — Le principe de la méthode consiste à faire passer l'eau qu'on veut épurer dans une colonne remplie d'air ozoné concentré. Voici la description d'une installation industrielle (fig. 33). Le liquide est aspiré en *a* par une pompe centrifuge *b* ; il est envoyé au sommet *c* de la colonne *d*, dont la disposition intérieure a pour but de diviser l'eau en minces filets sur lesquels s'exerce l'action de l'ozone. Un puisard *g* recueille l'eau qui, reprise par une pompe élévatoire *i*, est refoulée au réservoir de distribution *j*.

L'air ozoné est amené à la partie inférieure de la chambre de stérilisation, qu'il traverse de bas en haut pour sortir en *f*.

La circulation de l'ozone est assurée par un ventilateur *m*, aspirant l'air atmosphérique pour le faire passer d'abord dans un dessiccateur *l*, à acide sulfurique, puis dans un ozoneur *k*, enfin dans la colonne *d*.

L'ozoneur est un appareil où se produisent des effluves électriques dans lesquels l'oxygène de l'air se transforme en ozone.

Le courant électrique nécessaire à la production des effluves est fourni par un transformateur *t*, dont le circuit primaire (1) reçoit le courant d'un alternateur *u*

actionné par une machine à vapeur *v* et sa chaudière.

Le circuit secondaire (2) fournit à l'ozoneur des courants à une tension voisine de 40000 volts.

En *n* on place en dérivation, sur le circuit de haute

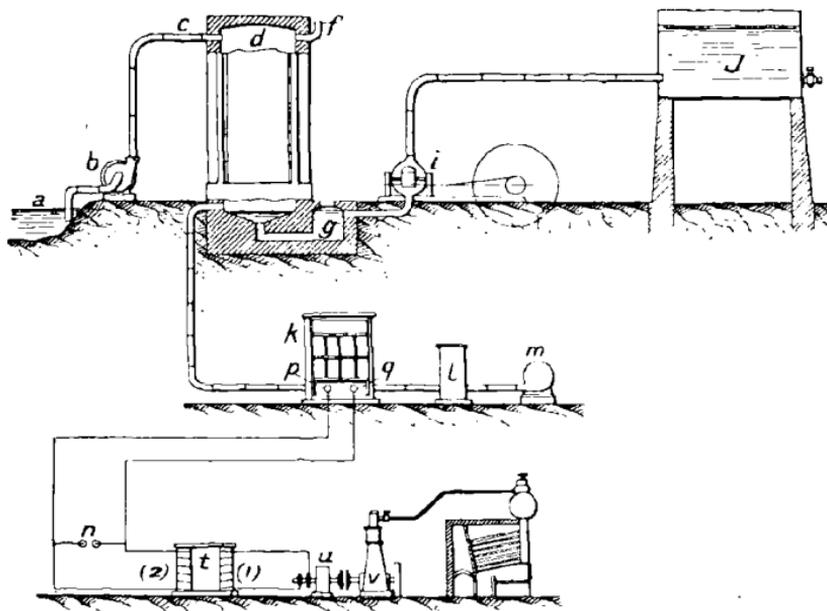


Fig. 33. — Plan schématique d'une usine de stérilisation des eaux par l'ozone (système Marmier et Abraham).

tension, un déflagrateur formé de deux sphères entre lesquelles jaillit une étincelle électrique que l'on souffle continuellement au moyen d'un jet d'air comprimé ou de vapeur.

L'ozoneur *k* est constitué par deux disques en fonte suspendus de manière que leurs faces soient parallèles; deux plaques de verre sont appliquées sur ces disques

et sont séparées entre elles par un intervalle dans lequel se produisent les effluves.

Les plateaux sont enfermés dans une caisse hermétiquement close. L'air traverse les effluves et se transforme en ozone, et pénètre dans la chambre de stérilisation.

Les disques en fonte sont évidés et reçoivent un courant d'eau qui les empêche de s'échauffer d'une manière anormale sous le dégagement de chaleur dû à la dépense d'énergie électrique.

MM. Marmier et Abraham ont obtenu une concentration élevée de l'ozone au moyen d'un dispositif de réfrigération continue combiné avec l'usage de leur déflagrateur. La réfrigération a permis l'utilisation d'effluves intenses qui seuls donnent de l'ozone concentré, et au moyen du déflagrateur on a pu produire économiquement ces effluves.

Une autre difficulté consistait à mélanger intimement l'eau avec l'ozone. Cette difficulté est inhérente à la nature même de l'ozone, pratiquement insoluble dans l'eau : l'insolubilité est, du reste, une propriété indispensable pour tout agent stérilisateur, dont il ne doit subsister aucune trace dans l'eau utilisée dans les industries alimentaires.

Pour obtenir industriellement un mélange suffisamment intime entre la masse liquide et le gaz stérilisant insoluble, MM. Abraham et Marmier imaginèrent la colonne de stérilisation, qui a permis de réaliser, entre l'ozone et l'eau, un mélange intime et pour ainsi dire moléculaire, dans des conditions à la fois efficaces au point de vue bactériologique et avantageuses au point de vue commercial.

Les procédés Marmier et Abraham permettent donc de traiter de grandes quantités d'eau destinées soit à l'alimentation des villes en eau potable, soit des usines (la brasserie de la Méditerranée, à Marseille, traite par ces procédés 20 mètres cubes d'eau à l'heure), d'une façon pratique, efficace et économique.

Il existe d'autres ozoneurs industriels (systèmes Otto Verley¹, etc.), qui donnent aussi de bons résultats.

¹ DE LA COUX, *L'Ozone et ses applications industrielles*. Paris, 1904.

CHAPITRE VIII

ÉPURATION PHYSIQUE PAR LA CHALEUR AVEC OU SANS ÉPURATION CHIMIQUE COMBINÉE

I. De l'épuration physique par la chaleur.

Dans le chapitre précédent, nous avons étudié l'épuration à *froid* par les réactifs chimiques.

L'épuration physique par la *chaleur* consiste à décomposer les bicarbonates de calcium et de magnésium en chassant l'anhydride carbonique, et à les précipiter ainsi à l'état de carbonates.

L'épuration par la chaleur *seule* donne de bons résultats toutes les fois que les impuretés consistent en carbonates alcalino-terreux (calcium et magnésium). Ce procédé, dans ce cas, a l'avantage de n'introduire dans l'eau aucun sel pouvant gêner dans l'alimentation du générateur de vapeur et d'être économique, puisqu'on emploie, le plus souvent comme source de chaleur, la vapeur d'échappement des machines.

De plus, les appareils servant à l'épuration physique désignés sous le nom d'épurateurs : chauffeurs, détar-

treurs, etc., n'exigent pas une grande surveillance, et dans le cas où ils fonctionneraient mal, les inconvénients qui en résulteraient ne seraient pas aussi graves que ceux provenant d'une mauvaise épuration chimique.

L'épuration exclusivement physique peut être encore employée dans le cas où l'eau contient très peu de sulfates, à condition de procéder à des extractions assez fréquentes de la chaudière, pour éviter la concentration des sulfates dans l'eau du générateur; mais comme, en général, l'eau renferme des sulfates en proportions notables, il est nécessaire de les éliminer.

Aussi a-t-on complété l'action physique de la chaleur par l'action chimique des réactifs, réalisant ainsi des appareils d'épuration *mixte* qui sont très employés dans l'industrie.

Dans le cas fréquent où les eaux contiennent une notable proportion de sulfates, il faut alors ajouter un réactif, tel que le carbonate de soude, capable de transformer les sulfates en sels non nuisibles; car, si la chaleur remplace la chaux vis-à-vis des carbonates, elle ne peut remplacer pratiquement les réactifs, tels que le carbonate de soude, par exemple, pour précipiter les sulfates.

Il faut remarquer que la chaleur favorise l'épuration chimique, en activant le dépôt des précipités et en diminuant les quantités de réactifs à employer.

Enfin, l'épuration ou la correction d'une eau sera le plus souvent complétée par la *clarification* (décantation ou filtration), procédé mécanique que nous étudierons plus loin en détails. La clarification est le plus souvent nécessaire pour débarrasser complètement l'eau des

précipités formés par les réactifs épurants et qui n'ont pas été totalement déposés.

On voit que l'épuration des eaux peut se faire avec le concours de la chaleur (*épuration physique*), souvent combinée à l'action des agents chimiques (*épuration mixte*).

Nous étudierons simultanément, dans ce chapitre, les appareils relatifs à l'épuration physique et à l'épuration mixte, car la plupart des appareils d'épuration physique peuvent être munis d'un distributeur à réactif destiné à ajouter à l'eau la substance chimique (carbonate de soude, soude, etc.), pour transformer les sulfates contenus dans l'eau à épurer, et deviennent alors des épurateurs mixtes.

II. Épurateurs-Réchauffeurs.

L'épuration de l'eau par la chaleur n'est économique que dans le cas où on dispose de chaleurs perdues (vapeur d'échappement des machines, gaz de foyers); elle est par suite très employée pour l'alimentation des chaudières. On peut même utiliser dans de bonnes conditions, au point de vue économique, la vapeur vive des chaudières (vapeur vierge), car on a intérêt à fournir aux générateurs de l'eau à très haute température et à éviter l'injection d'eau froide qui a l'inconvénient de troubler la régularité de la vaporisation dans les chaudières.

Les appareils destinés au traitement des eaux par la chaleur, et désignés sous le nom de *réchauffeurs*, *détartrateurs*, etc., utilisent la vapeur d'échappement, qui cède

à l'eau sa chaleur soit au travers des parois métalliques, soit en entrant directement en contact avec elle. Les réchauffeurs du premier type comprennent les réchauffeurs tubulaires : ils ne sont plus employés actuellement ; les réchauffeurs de la seconde catégorie sont très répandus, et nous en examinerons plus loin quelques types.

D'autres appareils utilisent la chaleur emportée par le gaz et les fumées de la combustion. Nous citerons, dans cette catégorie, l'*avant-chauffeur Sulzer*, formé de tuyaux en fonte en contact avec les gaz du foyer par l'intermédiaire d'un faisceau tubulaire ; mais les résultats obtenus ne sont pas très satisfaisants, car il est difficile d'atteindre la température de précipitation du sulfate de chaux, par suite de la mauvaise transmission des parois du réchauffeur, qui sont rapidement encrassées extérieurement et intérieurement.

L'*avant-chauffeur Green*, modifié sous le nom d'*économiseur Lemoine*, appartient aussi à cette catégorie. Cet appareil, simple et robuste, est encore très répandu dans l'industrie. Il est constitué par un faisceau tubulaire composé de deux rangées horizontales de tuyaux de fonte réunies par une série de tuyaux verticaux.

L'appareil est placé dans le carneau, et les fumées circulent en sens inverse de l'eau alimentaire, qui arrive ainsi à la chaudière à son maximum de température.

L'*avant-chauffeur* (ou économiseur) est muni d'un ramonage mécanique permettant de débarrasser la surface des tuyaux de la suie qui les recouvre, et d'obtenir ainsi le maximum de conductibilité.

Nous n'insisterons pas davantage sur ce genre d'appareils annexés aux générateurs, dont l'étude détaillée se

trouve dans les ouvrages spéciaux sur les machines à vapeur, et nous étudierons immédiatement les appareils utilisant la vapeur d'échappement pour épurer l'eau par l'action de la chaleur.

RÉCHAUFFEUR LENCAUCHEZ

Le réchauffeur-épurateur système Lencauchez se rapproche du réchauffeur-détartreur système Chevalet, que nous examinerons plus loin (p. 318).

La vapeur arrive dans le dégraisseur, où elle rencontre une série de parois verticales contre lesquelles elle frappe et le long desquelles coulent l'eau condensée et les matières grasses.

La vapeur, ainsi débarrassée des graisses, monte dans la colonne en fonte formée de segments réunis et circule en rencontrant l'eau, qui chemine en sens inverse en arrivant par le sommet de l'appareil.

L'eau s'échauffe au contact de la vapeur et arrive ainsi dans le réservoir placé à la partie inférieure de l'appareil, à une température voisine de celle de l'ébullition. Les carbonates terreux, précipités par la chaleur, se déposent dans le réservoir.

L'eau passe au travers d'une couche filtrante, d'où elle sort claire et épurée.

Cet appareil donne d'assez bons résultats, mais il est un peu compliqué. Fonctionnant avec la vapeur d'échappement, il ne peut porter l'eau à une température suffisante pour précipiter le sulfate de chaux, et ne convient, par suite, qu'aux eaux contenant des bicarbonates terreux. On le complète par l'emploi d'un

réactif (carbonate de soude) distribué automatiquement pour opérer la précipitation chimique de tous les sels terreux.

DÉTARTREUR SYSTÈME GRANDDEMANGE

Cet appareil a aussi pour principe l'élévation de la température de l'eau par son mélange avec la vapeur; ce qui détermine la formation des dépôts, que l'on enlève par un simple nettoyage.

Il se compose (fig. 34) d'une série de tronçons en fonte *b*, possédant un rebord annulaire sur lequel repose une cuvette *a* en tôle.

Le nombre des tronçons varie avec la nature de l'eau et la consommation; les tronçons sont ordinairement au nombre de 4 ou 5, et sont boulonnés pour les assembler.

L'eau froide arrive à la partie supérieure de l'appareil par le tuyau *f*, tandis que la vapeur arrive par *g* après avoir traversé un dégraisseur, pour empêcher les entraînements d'huiles.

L'arrivée de l'eau froide dans l'appareil s'obtient d'une façon régulière au moyen d'un flotteur *h*, qui commande le régulateur à niveau constant dans le réservoir *c* placé à la partie inférieure de l'épurateur. Ce réservoir est muni d'une cuve de décantation *d*, et d'un robinet *m* qui permet d'extraire l'eau qui a été chauffée, tandis que la vapeur s'échappe par le tuyau *n*.

Voici comment fonctionne l'appareil : l'eau qui arrive par le tuyau *f* tombe dans la première cuvette *a*, où elle entre en contact avec la vapeur qui arrive par *g*.

Lorsque la première cuve est remplie, l'eau déborde en lames minces sur le rebord annulaire du premier segment et coule dans la deuxième cuvette du second

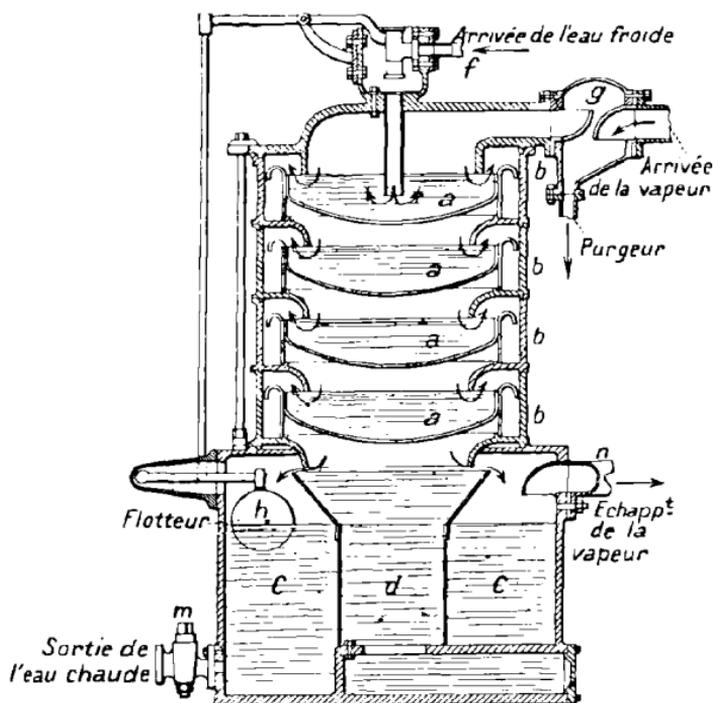


Fig. 34. — Déaérateur (système Granddemange).

segment. Lorsque cette deuxième cuve est pleine à son tour, elle déborde dans la troisième, et ainsi de suite jusqu'au réservoir *c* placé à la partie inférieure du déaérateur et où le flotteur *h* commande le niveau de l'eau qui y est contenue.

La vapeur suit le même trajet que l'eau ; elle se trouve

ainsi continuellement en contact avec elle et élève sa température.

L'élévation de température de l'eau détermine la précipitation des carbonates alcalino-terreux, qui se déposent dans les cuvettes. La première retient un dépôt plus abondant que la seconde, la seconde un dépôt plus abondant que la troisième, mais moins que la première, et, finalement, l'eau arrive au réservoir inférieur après avoir abandonné la majeure partie des sels incrustants. Elle est ainsi épurée et se trouve à une température approchant de 100°.

Quant à la vapeur qui n'a pas été condensée par l'eau, elle s'échappe par le tuyau *n*.

Le dégraissage de la vapeur est assuré par le dispositif du dégraisseur *g*, et par le brassage que subit la vapeur en passant successivement dans les plateaux qui retiennent l'huile entraînée.

Pour nettoyer l'appareil, il suffit d'enlever les dépôts formés dans les cuvettes, surtout dans le plateau supérieur, où la précipitation des sels a été le plus abondante.

RÉCHAUFFEUR-DÉTARTREUR SYSTÈME CHEVALET

Cet appareil (fig. 35) se compose d'une colonne B formée, en général, de cinq éléments facilement démontables, et chaque élément est traversé par un certain nombre de tuyaux E dentelés à leur partie inférieure qui plonge dans l'eau de l'élément suivant et forme ainsi barboteur.

Cette colonne B repose sur un réservoir cylindrique

A, dans lequel arrive l'eau chaude épurée ; il est muni d'un trop plein F, d'une prise d'eau J et d'un flotteur H

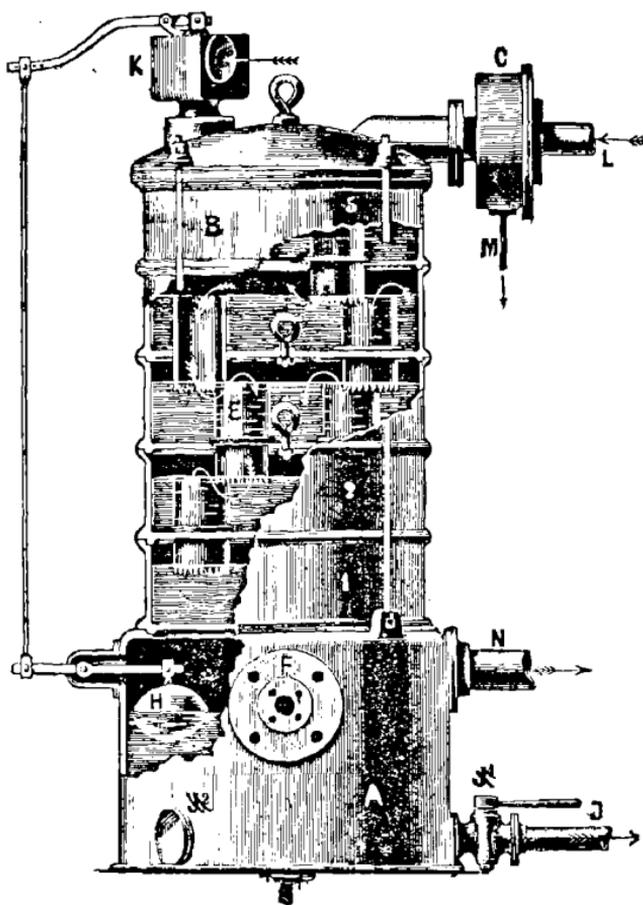


Fig. 35. — Réchauffeur-détartreur (système Chevalet).

qui, par le moyen de leviers, commande le robinet d'arrivée d'eau à épurer K.

La vapeur est introduite par le tuyau L et traverse la boîte à dégraisser C, placée sur le couvercle de l'appareil et munie d'un tuyau de purge M pour évacuer les matières grasses.

L'eau froide arrive par le robinet équilibré K et circule dans le même sens que la vapeur, suivant le trajet indiqué par les flèches. En barbotant dans l'eau des divers éléments 5, 4, 3, 2, 1, la vapeur élève la température de cette eau et y détermine la précipitation des sels calcaires qu'elle renferme en dissolution. La vapeur non condensée s'échappe par le tuyau N; l'eau, débarrassée des carbonates et chaude, arrive dans le réservoir A, d'où elle est prise par le tuyau J.

Pour nettoyer l'appareil on démonte les éléments, ce qui s'effectue facilement.

ÉPURATEUR-DÉTARTREUR SYSTÈME HOWATSON

Cet appareil est constitué par un réservoir cylindrique, où sont superposées des cloisons métalliques. L'eau brute arrive par un robinet que commande un flotteur, et vient se déverser dans un petit bac placé à la partie supérieure du réservoir cylindrique. L'eau se déverse alors du bac, en nappes minces, successivement sur les plateaux du détartreur.

Tandis que l'eau descend, la vapeur qui pénètre dans le réservoir cylindrique monte en sens inverse du courant d'eau.

Celle-ci, au contact de la vapeur d'eau, s'échauffe et abandonne les sels terreux qui se déposent sur les plateaux. La vapeur s'échappe par l'orifice spécial, tandis

que l'eau épurée s'accumule dans la partie inférieure du réservoir, où elle agit sur le flotteur qui règle le débit.

Cet appareil se rapproche beaucoup du suivant.

RÉCHAUFFEUR-DÉTARTREUR SYSTÈME
LANGUMIER ET BICHET

L'appareil (fig. 36) se compose d'un récipient dans lequel la vapeur d'échappement et l'eau d'alimentation sont mises en contact avant d'entrer dans la chaudière. L'eau est ainsi portée à une température voisine de l'ébullition, ce qui détermine la précipitation du tartre, à l'état boueux, dans l'appareil, d'où on l'évacue par de simples purges, et permet d'alimenter les chaudières avec une eau déjà très chaude, d'où une économie notable de combustible.

La figure 36 représente l'intérieur de l'appareil.

La vapeur arrive par B et sort par C. L'eau d'alimentation entre par D. E est l'aspiration de la pompe alimentaire.

L'eau à réchauffer et à épurer se déverse par la partie supérieure de l'appareil sur des plateaux F superposés; elle les parcourt en nappe mince, passant de l'un à l'autre alternativement du centre à la circonférence et arrive au tube central G.

La vapeur suit le chemin inverse, et se trouve partout en contact avec l'eau d'une façon intime qui permet l'échange des températures. L'eau descend au fond du cylindre, et remonte sur toute la surface en abandonnant les sels calcaires précipités qui n'ont pas été rete-

nus sur les plateaux F. Le niveau se maintient constant au moyen d'une valve à flotteur qui rend le fonction-

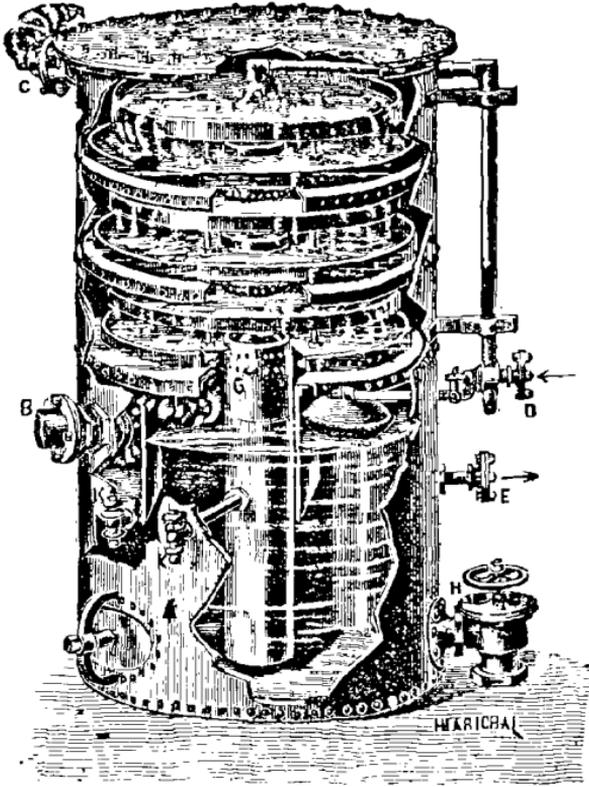


Fig. 36. — Réchauffeur-détartreur (système Langumier et Buchet).

nement automatique. On purge les dépôts calcaires par le robinet H, on extrait les huiles retenues dans la boîte à huiles L par le robinet K.

ÉPURATEUR RÉCHAUFFEUR SYSTÈME BARRIER

L'appareil (fig. 37) se compose d'une série de tronçons, ou anneaux en fonte, superposés, et dont les fonds dans la partie utile sont mobiles et formés par des disques en tôle perforée garnis, sur une certaine épaisseur, d'une matière présentant le plus de rugosité possible, tels que mâchefers, coke, laitier, etc.

En C se trouve le robinet d'arrivée d'eau d'alimentation, actionné par le flotteur H qui se trouve dans le réservoir à eau épurée.

A est la tubulure par laquelle arrive la vapeur d'échappement;

D est le trop-plein du réservoir à eau ;

B est l'aspiration de la pompe alimentaire ;

E est la sortie de la vapeur d'échappement en excès ;

M est le tampon de nettoyage ;

En dessous de l'appareil se trouve un robinet de vidange ou d'extraction.

Les joints des divers tronçons sont simplement formés par du carton d'amiante, et trois tringles O relient l'ensemble.

L'eau d'alimentation arrive par le robinet C, passe par un appareil régulateur L qui la divise, et la répartit pour ainsi dire en pluie sur toute la surface du plateau filtrant supérieur.

Elle tombe ainsi de plateau en plateau, par gouttes, pour arriver dans le plateau J, d'où elle descend par un tuyau plongeur au fond de l'appareil formant chambre à eau.

La vapeur d'échappement, après avoir au préalable passé dans une boîte N, de construction spéciale, qui la

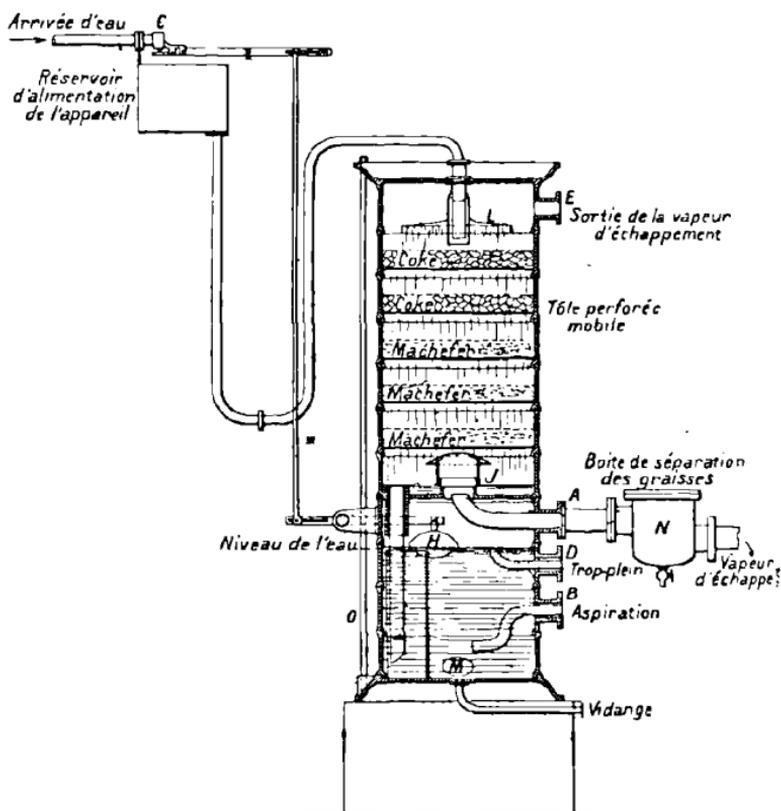


Fig. 37. — Épurateur-réchauffeur (système Barbier).

débarrasse des graisses qu'elle peut contenir, entre dans l'appareil en A et monte dans les plateaux supérieurs, chauffe ainsi l'eau qui descend en sens inverse, et s'échappe par la tubulure du haut E.

L'eau arrive ainsi à prendre presque la température de la vapeur, et abandonne, sur les matières rugueuses qu'elle traverse, la plus grande partie des sels calcaires qu'elle contient. Dans la chambre à eau, le liquide est, au milieu, absolument tranquille, et si quelques parcelles de graisse ont été entraînées malgré la boîte de séparation, elles remontent, par différence de densité, à la surface et s'écoulent par le trop-plein D.

Ce trop-plein maintient aussi le niveau constant de l'eau dans la chambre à eau.

Le fonctionnement de l'appareil se fait automatiquement; car, une fois le robinet d'aspiration de la pompe mis au point pour une alimentation constante et uniforme de la chaudière, le flotteur règle seul l'arrivée de l'eau, suivant ce qui est aspiré par la pompe. Il n'exige donc pas de surveillance dans sa marche et permet, automatiquement, l'alimentation régulière de l'appareil, proportionnée à la consommation.

Il assure :

La répartition de l'eau sur toute la surface des plateaux; cette surface, formée de morceaux irréguliers et rugueux, est la plus grande possible; elle présente ainsi le maximum de division et de contact de l'eau et de la vapeur et, par conséquent, le maximum de surface de dépôt. C'est ce qui assure la grande efficacité de l'appareil.

L'aspiration de la pompe alimentaire dans un milieu d'eau chaude épurée.

Le démontage facile et rapide des tronçons, le nettoyage facile des filtres et le remplacement sans frais, pour ainsi dire, des matières filtrantes.

Le nombre de plateaux filtrants peut être augmenté et proportionné au degré calcaire de l'eau.

L'appareil peut être employé pour toutes les machines avec ou sans condensation.

Il tient peu de place et s'installe économiquement : la dépense d'installation, dans une machine existante, consistant simplement dans le déplacement des tuyaux d'échappement, d'arrivée d'eau et de prise de la pompe alimentaire.

Il permet d'utiliser toutes les vapeurs d'échappement de machines ou de pompes. Dans ce dernier cas, si la quantité de vapeur d'échappement ne suffit pas, on y supplée par l'adjonction d'un mince filet de vapeur directe.

La vapeur d'échappement n'ayant d'autre effort que celui de traverser les filtres, en passant autour des matières rugueuses formant filtres, et cet effort étant atténué par la condensation de la vapeur résultant de son contact avec l'eau divisée, il ne peut, contrairement à ce qui se passe dans tous les appareils où l'on fait barboter la vapeur dans l'eau, se produire aucune contre pression derrière les pistons des machines dont on utilise les échappements.

ÉPURATEUR-RÉCHAUFFEUR AUTOMATIQUE SYSTÈME A. BURON

L'épurateur-réchauffeur système A. Buron (fig. 38 et 39) utilise aussi la vapeur d'échappement des machines.

La récupération de la vapeur d'échappement permet d'économiser de l'eau et du combustible, et c'est en utilisant cette chaleur perdue que l'eau d'alimenta-

tion des chaudières abandonne les sels incrustants à l'état de dépôts faciles à évacuer. L'épuration partielle de l'eau se fait donc en utilisant la vapeur d'échappe-

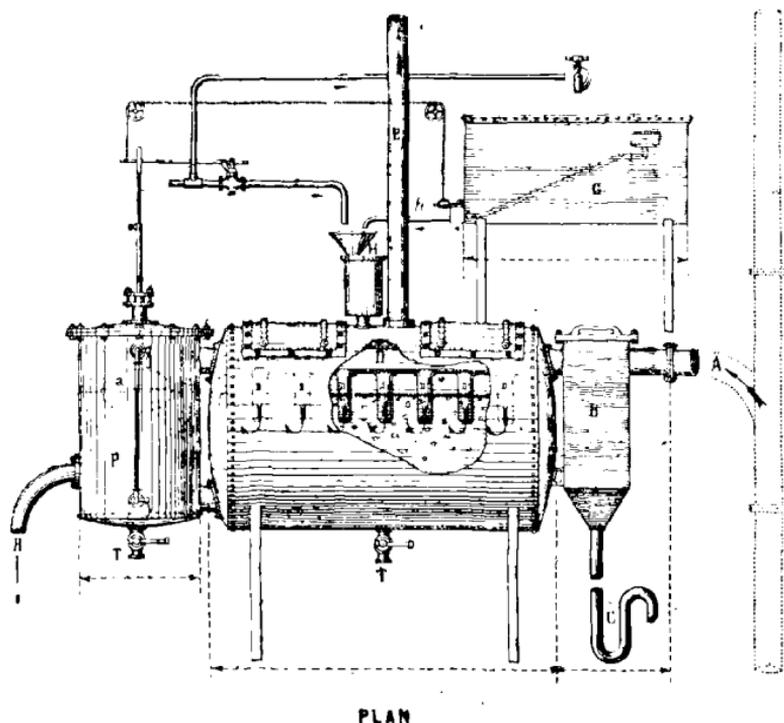


Fig. 38. — Épurateur-réchauffeur (système A. Buron).
(Voir légende p. 329, fig. 39.)

ment et ne nécessite, par suite, aucune dépense. Pour faire l'épuration totale des eaux d'alimentation contenant du sulfate de chaux, on complète l'épurateur-réchauffeur par la *correction chimique* au moyen de

réactifs (carbonate de soude, soude, etc.), placés dans un bac attenant à l'appareil.

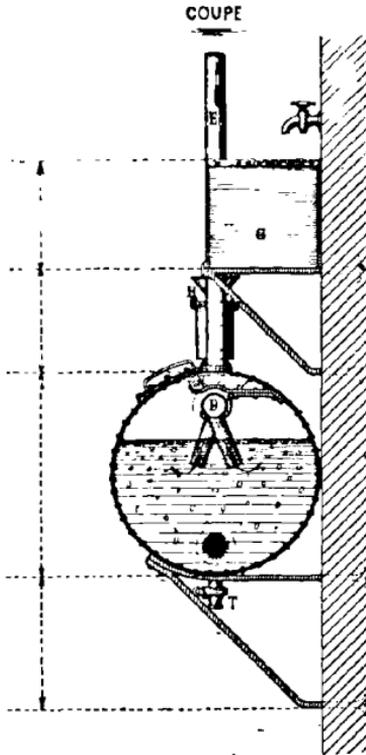
L'épurateur-réchauffeur système Buron (fig. 38 et 39) se compose d'un récipient cylindrique, ou réchauffeur proprement dit, de capacité variable suivant le volume d'eau à traiter.

La vapeur refoulée hors du cylindre de la machine arrive en A dans le purgeur d'huile B, où elle se débarrasse des matières grasses qui s'écoulent par le tuyau inférieur C. Au sortir du purgeur, la vapeur pénètre dans un tuyau collecteur D, muni à sa partie inférieure d'un nombre indéterminé de tubes ν qui plongent légèrement dans toute la surface de la masse d'eau à réchauffer, de niveau invariable. Ce dispositif a pour avantage d'assurer le contact intime de l'eau et de la vapeur, et de provoquer un barbotage continu. De ce fait, l'acide carbonique se dégage et les bicarbonates calcaires passent à l'état de carbonates.

L'arrivée de l'eau se fait à la partie supérieure au moyen d'un robinet commandé par un flotteur G. Elle est amenée dans le réchauffeur par un entonnoir-siphon H, et vient se répandre sur une rigole métallique perforée N (fig. 39), qui la divise en très petites quantités; elle retombe ensuite en pluie très fine en traversant la nappe de vapeur, laquelle, en contournant la rigole, s'échappe en sens contraire de la chute d'eau par le tuyau E.

Au moment où l'alimentation se fait par le tuyau relié à la pompe alimentaire, le niveau de l'eau baisse dans l'appareil et fait fonctionner le flotteur. L'eau froide, dans son mouvement descendant, condense aussitôt une partie de la vapeur qui remonte, et, ainsi

réchauffée, retombe dans la masse d'eau en ébullition et se met rapidement en équilibre de température avec



A, Arrivée de la vapeur d'échappement — B, Séparateur d'huiles et graisses. — C, Siphon sortie des graisses. — D, Collecteur et barboteurs. — E, Sortie de l'excès de vapeur — G, Bac à soude avec régulateur de débit. — H, Entonnoir siphon arrivée de l'eau à épurer et réactif soude. — N, Rigole perforée divisant l'eau. — P, Réservoir d'eau épurée contenant le flotteur d'arrêt automatique. — R, Sortie de l'eau épurée (prise de la pompe) — T, Robinets de vidange. a, Flotteur-régulateur d'alimentation de l'épurateur. — b, Écoulement du réactif soude avec régulateur de débit

Fig. 39. — Épurateur-réchauffeur (système A. Buron).

elle. Après l'épuration, l'eau arrive dans un réservoir adjacent P, dans lequel agit, à l'abri des remous de

l'ébullition, le flotteur α réglant l'admission d'eau brute dans l'appareil. L'eau épurée sort par le tuyau R. Les boues résultant de l'épuration sont évacuées par un robinet de vidange T, et l'appareil est muni d'un ou plusieurs trous d'homme permettant le nettoyage interne. On raccorde l'appareil directement au tuyau d'échappement de la machine.

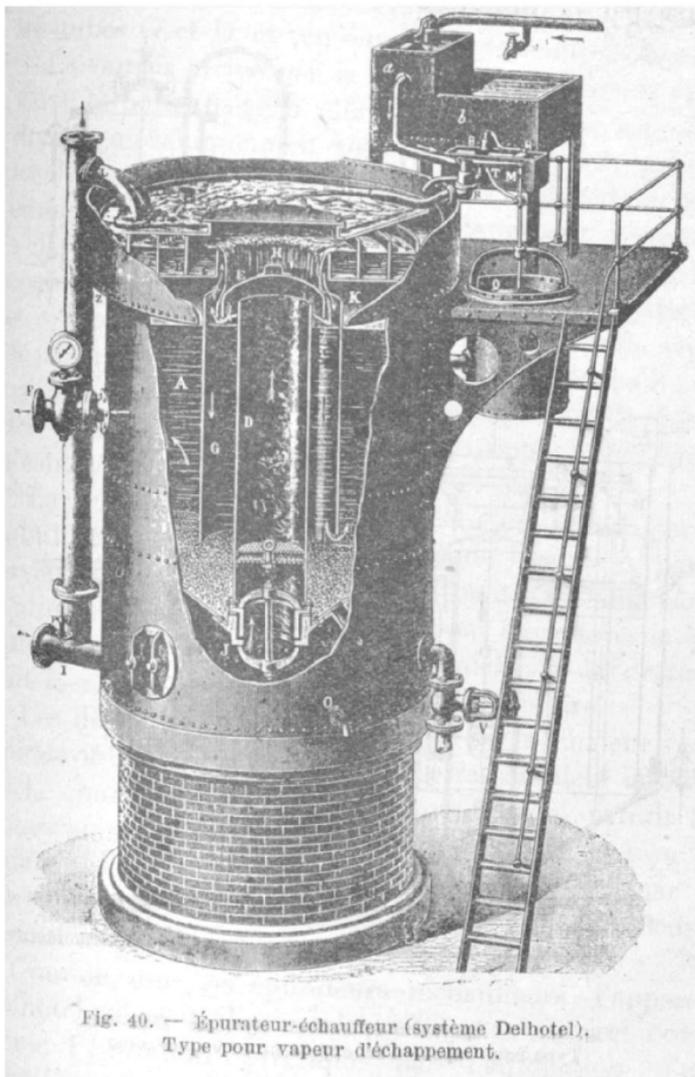
ÉPURATEUR-ÉCHAUFFEUR, SYSTÈME DELHOTEL

L'épurateur-échauffeur (fig. 40 et 41) construit par M. Delhotel utilise, comme les précédents, les vapeurs d'échappement; mais en cas d'insuffisance de ces dernières il peut utiliser économiquement de la vapeur vive (vapeur vierge). Dans un cas comme dans l'autre, l'eau et la vapeur circulent en sens inverse, de façon à réaliser le mieux possible l'échange des températures, et l'eau au sortir de l'appareil est chaude et épurée.

L'appareil se compose d'une cuve cylindrique Z en tôle, surmontée d'une couronne B contenant un plateau mobile C à joint hydraulique et portant à la partie inférieure des cloisons en chicane *cc*.

La cuve Z comprend deux compartiments A et J reliés par une partie tronconique qui porte un tube central en fonte D placé lui-même dans l'axe d'un tuyau concentrique G et surmonté d'une calotte en fonte E.

L'eau brute arrive par le robinet R dans la cuve supérieure formée par la couronne B; elle y parcourt le chemin indiqué par les flèches sans empennes et se



déverse par la tubulure H' à cuvette évasée (fig. 41),

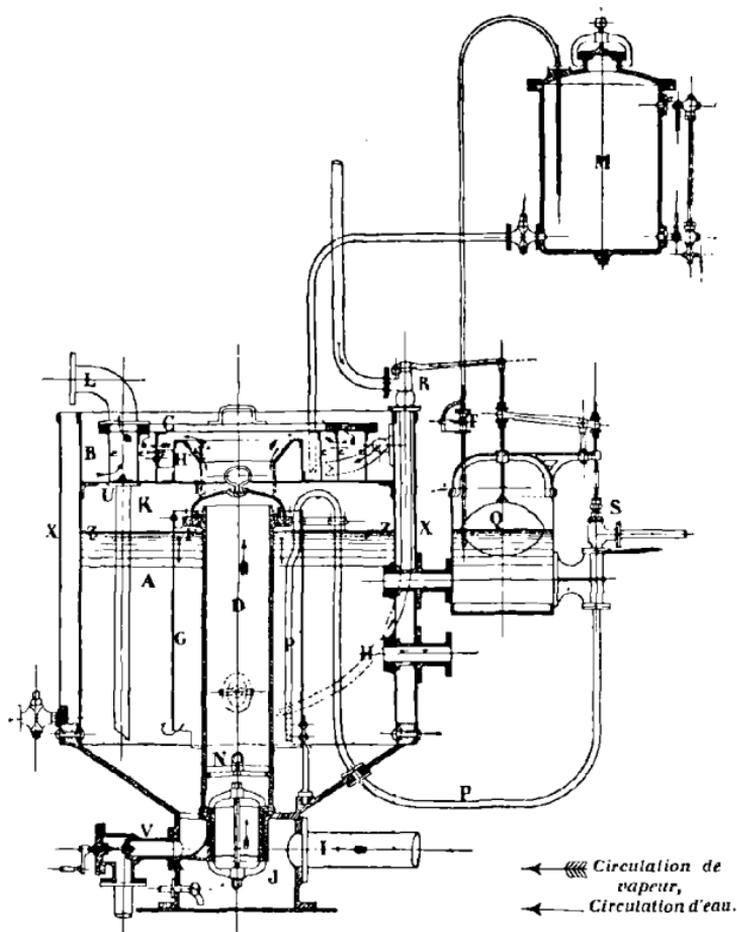


Fig. 41. — Épurateur-échauffeur (système Delhotel).
Type pour vapeur d'échappement et vapeur vive.

ou simplement cylindrique (fig. 40), sur la calotte E.

Elle descend ensuite dans l'espace annulaire formé par les tubes G et D et remonte dans le compartiment A.

La vapeur arrive par la tubulure inférieure I, et traverse la boîte J et les tôles perforées N, où elle abandonne mécaniquement ses matières grasses, qui sont totalement éliminées au moment de la détente et de la condensation partielle que subit la vapeur lorsqu'elle s'élève dans le tuyau central D. La vapeur barbote ensuite dans l'eau qui arrive en cascades de la calotte E et se répand dans la chambre K comprise entre le niveau de l'eau dans la cuve A et le fond de la couronne B ; elle traverse ensuite la tubulure centrale H' et circule autour des cloisons c du couvercle, en sens opposé au courant d'eau, comme l'indiquent les flèches empennées.

La vapeur non condensée sort finalement par la tubulure L. L'eau épurée se rend de la cuve A par le tuyau H (fig. 40) ou F (fig. 41), soit dans une bêche d'alimentation, soit sur un filtre pour en achever la clarification, suivant les usages auxquels on la destine, soit le plus souvent à une pompe alimentaire.

Les dépôts formés sous l'action de la chaleur (carbonate de chaux et de magnésie) se rassemblent au fond de la couronne B et du réservoir A. On extrait les boues ainsi formées dans la couronne B par le trou de vidange U et on évacue l'ensemble des boues par la soupape de vidange V, tandis que les eaux grasses s'écoulent par la tubulure O.

Comme tous les épurateurs-réchauffeurs, l'appareil Delhotel ne peut éliminer les sulfates : on peut compléter l'épuration physique par l'adjonction d'un réactif chimique (carbonate de soude) que distribue l'appareil automatique M.

Dans le cas où on utilise la vapeur vierge, l'appareil est disposé comme l'indique la figure 41, la vapeur arrive par la conduite P et barbote dans l'espace annulaire G, puis suit le parcours précédemment indiqué. Pour utiliser le mieux possible la chaleur de la vapeur vive, l'appareil comporte une double enveloppe XX, à travers l'eau brute qui s'échauffe au contact de l'eau chaude contenue dans le réservoir A.

Le réglage des quantités d'eau et de vapeur s'obtient au moyen du flotteur-régulateur Q par l'intermédiaire de leviers, commandant l'écoulement de l'eau par le robinet R et l'admission de la vapeur par la soupape équilibrée S.

Quant au réactif provenant du distributeur M, son débit est réglé au moyen du robinet T, et cesse automatiquement quand les robinets R et S sont fermés.

Dans la figure 40, la distribution du réactif s'effectue automatiquement au moyen du flotteur Q qui ferme à la fois le robinet T d'écoulement du réactif et le robinet R d'arrivée d'eau.

BOUILLEUR-DÉCANTEUR LEMAIRE

Cet appareil précipite les sels nuisibles que renferme l'eau destinée à l'alimentation des générateurs de vapeur par l'ébullition (action physique) et le carbonate de soude (action chimique).

Le principe sur lequel il repose consiste à entraîner avec la vapeur, dans l'appareil d'épuration, un volume déterminé de l'eau de la chaudière rendue légèrement

Une chambre de décantation où se clarifie l'eau par la précipitation des sels insolubles formés dans l'autre chambre et celle des matières terreuses en suspension.

Le tout tombe au fond du cône inférieur et est évacué par le robinet de purge V. Quant à l'eau épurée, elle découle par le trop-plein B et se rend dans la chaudière par le tube T. De cette façon, l'épurateur contient toujours de l'eau jusqu'en B, et de la vapeur au-dessus.

La partie essentielle du système consiste dans le tuyau AD, recourbé en U. Il est placé de façon que sa branche libre D dépasse le niveau maximum de l'eau dans la chaudière. La partie inférieure, au contraire, qui est percée d'un trou, est au-dessous du niveau minimum (fig. 42).

Pour expliquer le fonctionnement, supposons l'appareil en train, l'eau arrive en B; si l'on alimente, la pression y diminue par suite de la condensation qui s'y produit.

Afin de rétablir l'équilibre, la vapeur de la chaudière se précipite vers l'épurateur par la branche libre D du tuyau en U, et l'eau est aspirée par le trou inférieur.

Il en résulte une alimentation intense et forcée. Les volumes respectifs de vapeur et d'eau entraînés sont toujours proportionnels à l'alimentation, puisque la diminution de pression dans l'appareil, provenant de la condensation, est évidemment proportionnelle à l'alimentation effectuée.

La vapeur arrive dans l'appareil en F, au-dessous du niveau de l'eau, et l'échauffe; on donne au tuyau d'arrivée une section telle, que la quantité de vapeur admise porte la température de l'eau au degré voulu, de 150° à 180°, suivant les pressions.

Donc : 1° L'eau d'alimentation sera toujours portée à la température d'ébullition. L'eau de la chaudière contenant toujours du carbonate de soude, il en est de même de la quantité qui pénètre par le trou inférieur du tube en U.

2° Le carbonate de soude est introduit d'une façon continue.

La quantité de carbonate de soude ainsi entraînée sera suffisante, si celle contenue dans la chaudière l'est aussi.

3° Le carbonate de soude sera introduit en quantité suffisante.

Enfin, le carbonate de soude régénéré (le bicarbonate insoluble étant décomposé par la chaleur), servant toujours à de nouvelles opérations, ne peut s'accumuler dans la chaudière.

Il n'y a donc, en définitive, qu'à régler le degré alcalimétrique, en carbonate de soude, de l'eau contenue dans la chaudière; tout se passera ensuite automatiquement. La quantité de carbonate de soude nécessaire est déterminée par l'analyse préalable de l'eau.

Vu la grande capacité de la chaudière, la variation journalière de la composition de l'eau aura une influence très minime; d'autre part, le volume d'eau entraîné par le tuyau en U étant considérable, le degré alcalimétrique de l'eau de la chaudière peut être faible.

L'appareil fait corps avec la chaudière; il n'est donc pas besoin de manœuvrer aucun robinet. Les sels insolubles, obtenus dans les conditions indiquées, étant très lourds, se déposent aisément, et l'appareil n'est pas volumineux. La vidange des boues se fait par le robinet de purge V.

ÉPURATEUR AUTOMATIQUE SYSTÈME STEINMÜLLER ¹

L'épurateur, système Steinmüller, est surtout employé en Allemagne pour épurer l'eau d'alimentation des chaudières.

Il se compose d'un distributeur d'eau A, d'un réchauffeur B, d'un saturateur à chaux C, d'un réservoir à lessive de soude D, d'un mélangeur E et d'un réservoir de décantation F.

L'eau brute arrive d'une façon continue dans le réservoir supérieur A, qui porte latéralement un trop-plein, d'où partent trois tubulures, à débit réglable par de petits registres. La tubulure principale alimente le réchauffeur B contenant un serpentín, auquel on envoie de la vapeur vive ou d'échappement, et qui a pour fonction d'élever un peu la température de cette eau brute pour faciliter les réactions chimiques. De ce réchauffeur, l'eau se rend directement dans le mélangeur E par le tuyau G.

La deuxième tubulure alimente le saturateur à chaux C et amène au fond de cet appareil, au sommet du cône inférieur, un courant d'eau tenant en suspension de l'air qui s'y mêle au point de raccordement des deux tubes. Ce saturateur porte à sa partie supérieure un entonnoir formé par une grille dans lequel on déverse de la chaux vive, dont une partie tombe au fond et est maintenue en suspension dans l'eau que contient ce saturateur, par le mouvement continu de cette eau,

¹ *Mitteil. für die Förd. des Lokalbahnwesens.*

mouvement entretenu par le dégagement des bulles d'air arrivant avec cette eau. Ce mouvement est toutefois localisé, grâce à la présence dans le saturateur d'un cylindre et d'un entonnoir, débouchant au dessus d'une

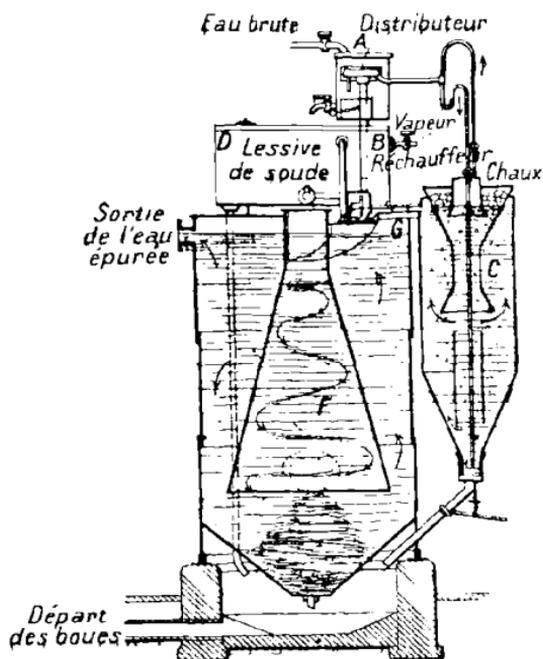


Fig. 43. — Épurateur (système Steinmüller).

cloche, qui ménagent, autour de l'entonnoir, une région tranquille où l'eau de chaux peut se clarifier.

Pour éviter que la chaux n'absorbe l'anhydride carbonique contenu dans l'air injecté, on recueille cet air dans la cloche, et on le fait rentrer dans la circulation générale en l'aspirant par le tube ascendant.

Le saturateur se termine à sa base par un tuyau de vidange permettant d'évacuer à tout moment les impuretés qui s'y rassemblent, et l'eau de chaux claire qui s'y forme s'écoule dans le mélangeur E.

Dans celui-ci arrive également une quantité exactement dosée de lessive de soude, provenant d'un bassin D, qui en contient une réserve suffisante pour quelques jours. Ce réservoir alimente un petit récipient de jauge, dont la soupape est manœuvrée par un flotteur, placé dans un deuxième récipient, où se déverse l'eau provenant de la troisième tubulure du distributeur A. Le débit de celle-ci étant régulier et réglable, on conçoit qu'on puisse s'arranger de façon à introduire dans le mélangeur E une quantité de lessive proportionnelle au débit du tube.

Le mélangeur E reçoit donc en même temps de l'eau de chaux, de la lessive de soude, et enfin de l'eau brute réchauffée, dont tous les sels insolubles se trouvent immédiatement précipités ; son contenu s'écoule par un tube débouchant tangentiellement dans un cône placé au centre du réservoir de décantation.

Le réservoir F porte, à sa base, une bonde de vidange par laquelle on évacue de temps en temps les boues déposées, et l'eau épurée s'en écoule par une tubulure latérale (fig. 43).

DÉPARTREUR WOLLASTON ¹

L'appareil se compose de trois parties : le réchauffeur, le bac à réaction et le décanteur.

L'eau et les réactifs sont envoyés dans l'appareil par deux pompes dont les débits sont réglés de façon à ce que le mélange de l'eau à épurer et du réactif se fasse dans les proportions voulues et fixées d'après l'analyse de l'eau employée.

Le réchauffeur se compose d'un cylindre dans lequel débouche le tuyau qui amène la vapeur, provenant ordinairement de l'échappement de la machine.

Autour du tuyau sont disposés en chicane des plateaux superposés sur lesquels tombe l'eau à épurer qui arrive. L'eau coule en cascade et rencontre, en descendant de plateau en plateau, le courant ascendant de vapeur qui lui cède de la chaleur. L'eau ainsi échauffée par contact avec la vapeur arrive au bas du réchauffeur, où elle se mélange avec les réactifs provenant d'un réservoir où la solution épurante a été préparée. Au moyen d'un dispositif en hélice, les liquides se mélangent intimement et descendent ensuite par un tuyau dans le bac à réaction de forme cylindrique qui est placé sous le réchauffeur. Les réactions entre les réactifs et les sels contenus dans l'eau se produisent en donnant naissance à des précipités qui commencent à se déposer au fond du bac à réaction, d'où on peut les évacuer par un robinet de vidange.

¹ *The Engineer*, XCIII, n° 2407, 14 févr. 1902.

A mesure que l'eau monte dans le bac à réaction, elle s'écoule à la partie supérieure par un tuyau vertical qui débouche dans un second tuyau placé horizontalement au fond du décanteur. Ce tuyau est fendu dans le sens de la longueur, pour permettre à l'eau de se répandre dans le décanteur. Celui-ci est constitué par un récipient métallique de forme rectangulaire, muni d'un fond incliné et présentant des cloisons inclinées destinées à recevoir les particules solides en suspension dans l'eau qui les traverse.

Ces cloisons, disposées en chicane, brisent le courant d'eau ascendant dont elles ralentissent considérablement la vitesse et facilitent ainsi le dépôt des particules solides. Ces dépôts tombent ensuite des cloisons inclinées au fond du décanteur, d'où on les évacue par un robinet spécial. L'eau ainsi épurée, et ayant abandonné ses matières solides provenant de l'épuration, sort par une tubulure placée à la partie supérieure du décanteur.

Il existe encore de nombreux appareils, réchauffeurs ou détartreurs, qui font l'objet de brevets étrangers : signalons le détartreur Bowl et Tranter, le réchauffeur Wilkinson, etc.

Nous n'insisterons pas davantage sur les appareils annexés aux générateurs de vapeur.

Nous ne ferons que signaler les *débourbeurs* (Solvay, Dervaux, etc.) destinés à supprimer les inconvénients des dépôts dans les chaudières en extrayant au fur et à mesure les boues qui s'y forment. Ces appareils sont de plus en plus abandonnés dans l'industrie, et il en est de même des appareils dits « électrogènes », constitués de masses métalliques disposées dans les géné-

rateurs pour leur faire former un couple avec le fer de la chaudière et donner naissance, sous l'action du courant voltaïque produit, à des dépôts pulvérulents, faciles à évacuer.

Avant de terminer ce qui est relatif à l'épuration de l'eau d'alimentation des générateurs, nous dirons quelques mots du *système Talmage* préconisé pour l'entretien des chaudières des locomotives.

Ce procédé est entièrement mécanique et consiste en une série de tuyaux perforés, placés dans le corps de la chaudière, au-dessus du ciel du foyer, dans la lame d'eau, à environ 20 cm au-dessus du cadre. Sur chacun de ces tuyaux est monté un robinet de vidange, appliqué contre son siège par la pression de la vapeur dans la chaudière.

Sur la façade arrière de la chaudière est placé un grand graisseur à gouttes visibles contenant environ 5 litres d'huile. Ce graisseur est vissé dans la chaudière au-dessus du niveau d'eau, et l'huile spéciale appelée « Rubra », provenant de la distillation d'huile minérale, est envoyée directement dans l'eau, se mélange avec elle et précipite les matières solides dans le fond sous forme de boue huileuse. Les résultats sont tels, qu'après un an de service la couche de tartre qui entoure les tubes n'est pas beaucoup plus épaisse qu'une feuille de papier. Toute la boue accumulée dans la chaudière est évacuée à la fin de chaque voyage par les robinets de vidange. Ce système est actuellement à l'essai sur les machines du réseau de l'État.

CHAPITRE IX

DE LA CLARIFICATION DES EAUX

La *clarification* a pour but de séparer d'un liquide les impuretés insolubles en suspension qui le troublent.

On peut obtenir la clarification, dans la pratique industrielle, soit par *dépôt et décantation*, soit par *filtration*.

I. Clarification par dépôt et décantation.

1. **Décantation intermittente.** — Lorsqu'on laisse en repos complet une eau tenant en suspension un corps solide d'une densité supérieure à celle de ce liquide, le corps solide tombe au fond du récipient au bout d'un temps plus ou moins long, et le liquide devient limpide.

Ce mode de clarification par dépôt ou repos est très simple, mais il a l'inconvénient d'exiger un temps fort long (de 12 à 20 heures) et un emplacement parfois considérable (bassins, citernes, bâches, etc.).

Le temps nécessaire pour obtenir une clarification parfaite dépend de la nature de l'eau, de la nature et

de la quantité des précipités formés par l'agent épurant (ordinairement la chaux), de la surface des récipients et de l'épaisseur de la couche liquide à clarifier : le dépôt s'effectue d'autant plus rapidement que la surface des bassins est plus grande et que la hauteur du liquide est plus faible. Ce mode de clarification donne de bons résultats, mais il est cependant abandonné aujourd'hui ; car il nécessite, comme nous le disions précédemment, beaucoup de place et beaucoup de temps.

Pour les petites installations, il peut être encore employé avec quelque avantage, et nous indiquerons, d'après MM. Gaillet et Huet, un des dispositifs les plus pratiques, exigeant peu de main-d'œuvre et d'un bon fonctionnement.

L'installation comprend deux citernes en maçonnerie, ou des réservoirs en tôle, dont le volume a été calculé sur cette base : que lorsqu'on épure par la chaux, il faut de 12 à 18 heures pour que le dépôt soit complet. Entre les deux citernes est disposé un bac dans lequel on prépare le réactif, ici le lait de chaux.

L'eau à épurer arrive par un conduit entre les deux citernes, et peut se déverser à volonté, par l'intermédiaire de vannes, dans l'une ou l'autre citerne.

On remplit d'abord l'une des citernes, et en même temps que l'eau y arrive, on y fait couler une quantité convenable de lait de chaux ; quand la citerne est remplie, on agite avec un râble en bois et on laisse déposer.

Le fond des bassins est incliné de façon à amasser, autant que possible, les dépôts dans un petit puisard disposé à l'un des angles de la citerne. Une pompe, à l'aide d'un tuyau à flotteur, aspire à la surface le liquide clarifié.

Ce mode de clarification est, comme on le voit, fort simple; il a malheureusement l'inconvénient d'être intermittent et d'exiger un grand emplacement; pour les volumes d'eau un peu considérables, l'installation, quoique très simple, devient encombrante et coûteuse.

Dans la pratique, on se contente d'utiliser cette méthode pour enlever aux eaux les particules les plus lourdes et on achève la clarification par un moyen plus perfectionné : la *filtration*.

Pendant, la décantation a été perfectionnée en ce sens qu'on a cherché à substituer à la décantation intermittente la *décantation continue*.

2. Décantation continue. — L'épuration chimique avec *décantation intermittente* avait, comme nous l'avons vu, de graves inconvénients (intermittence, emplacement, main-d'œuvre) qui l'ont fait rapidement abandonner. Aussi a-t-on cherché à rendre l'épuration *continue et automatique*. Pour cela il fallait trouver des appareils permettant d'épurer l'eau par circulation et susceptibles d'être nettoyés pendant le fonctionnement.

On a imaginé des appareils de décantation dits « continus », destinés à débarrasser l'eau des précipités formés par les réactifs chimiques employés pour son épuration.

Pour réaliser de tels appareils, on s'est basé sur ce fait que si l'on examine une eau trouble en repos, on distingue, à la partie supérieure, une couche plus claire, qui s'éclaircit au fur et à mesure que le liquide inférieur se trouble.

L'épaisseur de la couche limpide va en augmentant jusqu'à ce que toute la masse soit devenue limpide,

quand les matières primitivement en suspension se sont rassemblées en un dépôt au fond du récipient.

Si l'on divise par la pensée le liquide en tranches infiniment petites¹, on se rendra compte que chacune de ces tranches passe par les mêmes phases que la masse tout entière, avec cette différence que chacune des tranches est constamment salie par les particules solides venant des tranches supérieures. Pour clarifier *rapidement* l'eau en tous ses points, il faudrait donc s'opposer à cette action, et pour cela isoler les tranches les unes des autres, ce qui revient à dire qu'en pratique il faut faire des récipients aussi plats que possible.

C'est sur ce principe de la diminution de hauteur des couches d'eau à épurer que sont basés certains appareils de décantation continue.

La *décantation continue* peut être encore obtenue en faisant arriver l'eau dans un réservoir, à la partie inférieure, et en la récoltant constamment par la partie supérieure. En effet, si la vitesse imprimée par le courant d'eau, de bas en haut, est plus petite que celle donnée à la particule solide par l'excès de son poids sur la masse de l'eau déplacée, la résultante de ces deux vitesses aura pour effet de faire tomber au fond du récipient les particules solides.

C'est sur ce second principe que reposent d'autres appareils de décantation continue.

Mais la *décantation continue* est presque toujours complétée par la *filtration*, et c'est en combinant ces deux procédés que l'on est arrivé à obtenir une clarification parfaite.

¹ DELHOTEL, *Traité de l'épuration des eaux*, p. 144. Baudry, éditeur, 1893, Paris.

Les appareils à décantation continue ont été examinés avec les appareils employés pour l'épuration chimique (voir p. 262).

Avant d'étudier la *filtration*, pour terminer ce qui est relatif à la *décantation*, nous dirons que l'on favorise la clarification par dépôt en *précipitant* par certains réactifs chimiques les matières en suspension dans l'eau, ainsi que les corps provenant de l'action des réactifs épurants.

On emploie, à cet effet, l'alun, le sulfate d'alumine ; il se forme un précipité d'alumine gélatineuse en présence des carbonates alcalins, de la chaux, etc., qui entraîne mécaniquement, sous forme de laques, les matières en suspension. C'est une sorte *d'encollage* analogue à celui que l'on fait subir aux vins, par exemple.

Les sels de fer (sulfate, chlorure ferriques) peuvent remplacer les sels d'alumine. Il se forme de l'hydrate ferrique (avec la chaux, par exemple) qui joue le même rôle que l'alumine.

La clarification par décantation, favorisée par la précipitation des matières en suspension, peut dans certains cas (précipités tenus difficiles à rassembler) être assez avantageuse.

II. Clarification par filtration.

La *filtration* a pour but de clarifier l'eau en séparant mécaniquement les matières solides et insolubles en suspension par passage du liquide au travers d'une couche perméable.

C'est la nature elle-même qui s'est chargée du *filtrage*

naturel des eaux, ainsi que cela se produit pour les eaux de source, les eaux météoriques, qui se purifient en traversant les couches sableuses formant le sous-sol du terrain.

Aussi, dans le *filtrage artificiel*, a-t-on cherché à imiter la nature en établissant des tranchées profondes ou *galeries filtrantes* et de vastes *bassins de filtration*.

Ce mode de filtration est plus employé pour épurer les énormes volumes d'eau destinés à l'alimentation des villes que pour le traitement des eaux industrielles, dont nous devons exclusivement nous occuper dans cet ouvrage.

Comme matière filtrante, dans les filtres industriels, on emploie des *substances végétales*, telles que le charbon de bois, la sciure, les fibres de bois, la paille, le coton, la toile, le papier; des *substances animales*, comme le crin, la laine, la flanelle, le feutre, les éponges, le noir animal; des *substances minérales*, comme le grès, la pierre ponce, le sable, le gravier, le silex concassé, le coke, les escarbilles, l'amiante.

Il est à peine nécessaire de faire remarquer que la matière filtrante s'encrasse d'autant plus rapidement qu'elle est plus efficace et que le nettoyage des filtres industriels joue un rôle important dans le fonctionnement des appareils qui, autant que possible, ne doivent cesser de fonctionner pour être nettoyés.

Il faut aussi remarquer que les filtres peuvent avoir une action sur les corps en dissolution dans l'eau; mais, au point de vue industriel, ces actions sont secondaires. et les modifications que pourraient subir les substances dissoutes sont sans importance. Il n'en est pas de même pour l'eau destinée aux usages domestiques;

dans ce cas, les actions exercées par le filtre sur les substances en solution, les corps organisés, les micro-organismes contenus dans l'eau, présentent une réelle importance et ont fait l'objet de nombreuses études fort intéressantes.

Pour bien comprendre l'action des filtres, on peut se reporter à l'expérience de Vancklyn et Chapman : une eau contenant un précipité de carbonate de chaux en suspension est versée dans une boîte mesurant 88 cm² de surface, 50 cm de haut, et divisée en compartiments très rapprochés par vingt quatre plaques en zinc horizontales percées chacune de six trous de 2 cm² disposés sur le pourtour et ne se correspondant pas en hauteur. Dans une seconde boîte semblable à la première, mais sans plaques de zinc, on verse de la même eau que précédemment.

On constate que l'eau met 35 minutes à se clarifier dans la première caisse, tandis qu'elle met 8 heures dans la seconde, avec une vitesse maxima de 50 litres à l'heure.

C'est le même phénomène qui se produit dans les filtres à sable à grains plus ou moins fins : le liquide se clarifie par couche, sans troubler la couche sous-jacente.

En général, on place à la partie supérieure des filtres des graviers qui diminuent graduellement de volume et, à la partie inférieure, du sable fin : la grosseur des grains décroît ainsi avec le volume des impuretés. On suppose, en effet, que les corps attirent par leur masse les particules en suspension dans le liquide à clarifier.

Les filtres industriels peuvent être alimentés soit par

la partie supérieure, soit par la partie inférieure, et fonctionner sans pression ou sous pression; ils peuvent être en outre à fonctionnement intermittent ou continu.

Le *filtre à alimentation supérieure (filtration descendante)* est généralement constitué par un récipient de forme cylindrique portant un faux fond perforé à une petite distance de sa base. Sur ce faux fond perforé on dispose la matière filtrante, et on fait arriver par la partie supérieure le liquide à clarifier. Celui-ci coule directement sur la couche filtrante et se rassemble à la partie inférieure du récipient où on peut le puiser, au moyen d'une pompe, par exemple.

La matière filtrante peut être formée par du sable, du coke, du noir animal, etc.

Ce filtre est le plus simple à réaliser, c'est le premier type auquel on eut recours dans l'industrie; mais il a l'inconvénient de donner un faible débit, de s'encrasser rapidement et de nécessiter, par suite, des nettoyages fréquents qui rendent forcément son fonctionnement intermittent.

On a essayé de rendre ce filtre plus « actif » en établissant des couches superposées constituées de substances filtrantes différentes, ou même formées par une seule matière en fragments de grosseurs différentes.

C'est ainsi que l'on a imaginé des filtres composés de morceaux de coke de grosseur variable : sur le faux fond perforé on place une couche de morceaux relativement gros, puis une couche de fragments plus petits, puis une couche de fragments plus petits encore, puis enfin une couche de morceaux très fins (poussier).

Il importe, dans les filtres constitués ainsi par des

couches filtrantes superposées, de répartir également le liquide à clarifier sur toute la surface du filtre. C'est pourquoi il est nécessaire de disposer la matière filtrante d'une façon régulière et de la tasser uniformément ; sans quoi il se forme des courants liquides dans les parties les moins tassées, et la clarification s'opère inégalement.

Lorsqu'on fait usage de matières telles que le sable, le gravier, il suffit de laver la matière filtrante par un courant d'eau ; mais avec les substances poreuses, telles que le coke, le charbon de bois, le noir animal, etc. , un lavage n'est pas suffisant pour nettoyer la couche filtrante : il faut une régénération plus complète. Lorsque la matière est de peu de valeur, on la remplace purement et simplement par de la neuve.

Le nettoyage des appareils à filtration descendante, caractérisé par ce fait que la pression de l'eau et le sens du courant tendent à maintenir la matière filtrante et à la comprimer davantage, s'effectue par renversement du courant d'eau ; ce qui allège la matière filtrante et desserre le filtre. Pour faciliter l'entraînement des impuretés retenues par le filtre, et éviter la formation des « cheminées » dans la masse filtrante, on a complété ces filtres par des râteaux ou herses, que l'on met en mouvement au moment du lavage et qui labourent la masse filtrante (silex, gravier). La vitesse du courant d'eau destiné au nettoyage doit être assez grande pour entraîner rapidement les impuretés jusqu'à l'orifice d'évacuation, sans être trop forte pour éviter d'y entraîner la matière filtrante de la surface.

On utilise aussi des *filtres à alimentation inférieure*

(*filtration ascendante*), qui donnent un meilleur rendement et une clarification plus complète.

Ils sont formés en général d'un récipient cylindrique terminé à la partie inférieure par un fond conique muni d'un robinet de vidange.

Le récipient cylindrique est partagé par deux diaphragmes perforés : l'un, inférieur, est fixe, tandis que l'autre est mobile ; dans l'espace compris entre ces deux diaphragmes se place la matière filtrante.

L'eau arrive au-dessous du diaphragme inférieur, et remonte en traversant la couche filtrante généralement comprimée, pour s'échapper par la partie supérieure du récipient.

La matière filtrante est plus ou moins comprimée, suivant sa nature et suivant le régime de marche que l'on veut donner au filtre.

Le procédé d'alimentation inférieure présente des avantages sur le précédent :

Il permet d'accroître le débit du filtre en augmentant la pression du liquide à clarifier. Mais plus la pression du liquide et par suite sa vitesse sera plus grande, plus les particules solides auront tendance à être entraînées par l'eau ; aussi la matière filtrante devra-t-elle être fortement comprimée pour éviter cet entraînement.

La matière filtrante utilisée dans ces sortes de filtres peut être soit des éponges, soit des copeaux de bois, soit toute autre substance.

Avec les éponges on obtient une bonne clarification ; mais elles ont le désavantage de s'encrasser facilement, et de coûter assez cher. Le nettoyage en est difficile, et les soins d'entretien que réclament les filtres à éponges ont fait abandonner peu à peu cette substance

comme matière filtrante dans les appareils industriels.

Aussi préfère-t-on les fibres de bois, qui sont plus économiques, et donnent de bons résultats lorsque la substance est préparée avec soin. L'entretien est en outre plus facile, et même, comme la matière filtrante a peu de valeur, il est facile de supprimer tout nettoyage en la renouvelant assez fréquemment.

Dans le cas où on veut opérer le lavage, celui-ci peut être effectué par une simple agitation dans un courant d'eau.

Les éponges étaient au contraire difficiles à nettoyer, par suite de la putréfaction et des incrustations qui se produisaient au sein même de la masse filtrante, tandis que les copeaux de bois exercent une action toute différente sur les matières en suspension, qu'ils retiennent par frottement et qui se déposent à la surface de la matière filtrante et non plus à l'intérieur, comme dans les éponges.

La masse filtrante doit être répartie uniformément, pour diviser le mieux possible la masse d'eau et la répartir également sur toute la surface du filtre. Au moyen du diaphragme supérieur mobile, on comprime plus ou moins, à l'aide de la vis de pression, la couche filtrante, selon la nature de l'eau à clarifier, la pression dont on dispose et le débit que l'on veut obtenir.

Les deux types de filtres ont donné naissance à une multitude de dispositions diverses, n'offrant de particularités que dans la forme et l'agencement général.

Chaque constructeur de filtre a adopté un modèle spécial, variant par les dimensions et la disposition des organes; mais tous ces appareils peuvent être rappro-

chés des filtres *primitifs* que nous avons décrits précédemment.

On a essayé, dans l'industrie, des filtres à matières filtrantes autres que celles indiquées précédemment : entre autres les toiles serrées et les feutres affectant une multitude de formes. C'est à cette catégorie de filtres qu'appartient le *filtre presse*, généralement employé pour des usages étrangers à la clarification des eaux naturelles ou épurées chimiquement, mais qui cependant a reçu dans cette voie quelques applications.

Le filtre presse présente une puissance considérable sous un petit volume; il est facilement nettoyable et agglomère les matières solides séparées du liquide.

Nous avons insisté sur la nécessité de nettoyer les filtres, pour obtenir de bons résultats dans la clarification des eaux.

Ce nettoyage présente de graves inconvénients : fréquence de cette opération, dépense de main-d'œuvre, fonctionnement intermittent du filtre.

Aussi, dans le but de diminuer et de supprimer si possible les inconvénients résultant du nettoyage fréquent des filtres, a-t-on cherché à réaliser le *nettoyage automatique*.

Les résultats ont été satisfaisants pour les filtres dont la couche filtrante est constituée par des matières solides non poreuses, comme le gravier, le sable, le silix, les copeaux, etc.

Le nettoyage s'effectue alors en renversant le courant d'eau, et en augmentant sa rapidité le plus possible. Ce courant inverse a pour effet de détacher toutes les matières boueuses adhérentes à la matière filtrante

et de les rassembler dans le fond du filtre, d'où on peut les évacuer par un robinet de vidange.

Ce mode de nettoyage automatique convient mieux aux petits débits qu'aux grands, et est, par suite, difficile à appliquer dans l'industrie, où les masses d'eau à filtrer sont considérables.

Après avoir étudié les principes sur lesquels reposent les différents filtres, nous allons, sans entrer dans la description de tous les appareils utilisés pour la clarification, décrire les principaux filtres industriels qui, dans la pratique, semblent donner les meilleurs résultats.

Nous pouvons dire qu'il existe dans l'industrie un grand nombre de filtres, mais tous présentent deux inconvénients : ils débitent peu et ne possèdent pas un moyen efficace de nettoyage.

On a cherché à augmenter le débit des filtres tout en ne construisant pas des appareils trop encombrants, et à obtenir le nettoyage efficace et rapide : plusieurs systèmes employés actuellement ont réalisé de réels progrès sur ces différents points.

FILTRES SYSTÈME HOWATSON

Les filtres industriels système Howatson se composent d'un réservoir cylindrique dont la section est proportionnelle à la quantité d'eau qu'il doit débiter.

Au fond du réservoir C (fig. 44) se trouve, à 22 centimètres environ, une cornière circulaire rivée à la paroi verticale du réservoir, et un certain nombre de poutrelles en treillis posées sur le fond, de façon que leur

partie supérieure soit au même niveau que le dessus de la cornière. Sur ces poutrelles et cette cornière

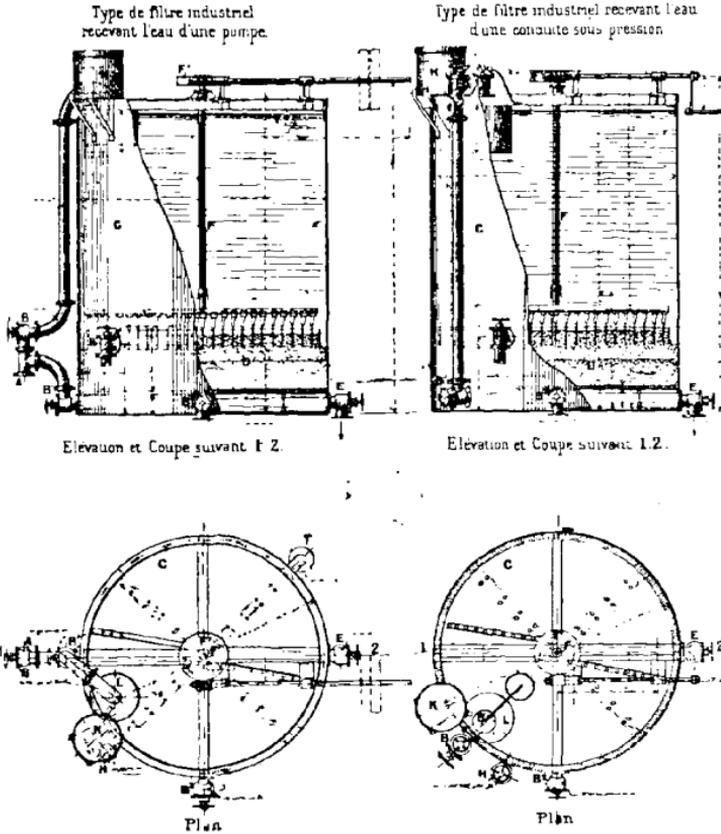


Fig. 44. — Filtres Industriels système Howatson.

reposent un certain nombre de panneaux en fonte qui, par leur assemblage, forment un double fond complet et étanche. L'étanchéité, qui doit être aussi parfaite

que possible, est obtenue au moyen d'un enduit de ciment bien lissé maintenu par la forme même des panneaux, posé sur les poutrelles et la cornière. Les panneaux sont fixés sur leurs supports au moyen de vis, et sont couverts, sur toute leur surface, d'une feuille de zinc finement perforée.

Les différents panneaux composant le double fond sont rainés et au fond des rainures sont percés des trous de 4 millimètres, uniformément répartis sur toute la surface, dont la somme des sections est égale à la section de l'orifice de sortie. Ce sont ces trous qui règlent le débit de l'appareil et qui répartissent exactement ce débit sur toute la surface filtrante, en utilisant, comme collecteurs partiels, les rainures au fond desquelles ils sont percés.

Sur la feuille de zinc perforé dont nous avons parlé plus haut se pose la matière filtrante D, composée d'une épaisseur de 30 centimètres de silex concassé n° 10 recouvert d'une épaisseur de 30 centimètres de silex concassé n° 5. Le silex a cet avantage d'opposer à l'eau des arêtes et des angles vifs qui empêchent le tassement et retiennent plus facilement les matières en suspension.

La partie supérieure de la matière filtrante est entourée d'un déversoir circulaire muni d'un robinet H pour évacuer les dépôts lors du nettoyage.

Le dispositif, pour le nettoyage, est composé d'un arbre vertical F portant à sa partie inférieure une herse à deux ou à quatre branches (selon le diamètre de l'appareil) munies de dents qui pénètrent de 12 à 15 centimètres dans la matière filtrante. Les branches de ce malaxeur sont montées sur un plateau fixé lui-même à

l'extrémité d'une vis traversant un écrou placé au centre du réservoir. Sur cette vis est monté un cabestan F' à quatre ou six bras terminés par des poignées qui permettent la manœuvre du râteau. Lorsqu'on dispose d'une transmission, on peut monter le malaxeur à commande mécanique en remplaçant la vis par un arbre vertical.

Un bac K, doublé en plomb intérieurement et possédant un petit robinet de réglage en plomb, est placé au-dessus du réservoir C, et un petit récipient L fixé au bac C est disposé au dessous de l'arrivée d'eau et du robinet en plomb.

La tuyauterie affecte la forme indiquée à gauche sur la fig. 44, lorsque le filtre est alimenté par le refoulement d'une pompe, et celle indiquée à droite sur la fig. 44 lorsqu'il est alimenté par une conduite sous pression.

Dans le premier cas, l'eau est refoulée par le tuyau A et le robinet B avec un trop plein en T.

Dans le second cas, l'eau arrive en A, se déverse dans le filtre par un robinet et la valve à flotteur B.

Dans les deux cas, l'eau filtrée sort par le robinet E.

L'eau qui sert pour le nettoyage de la matière filtrante arrive par le robinet B' et, après avoir servi, est évacuée par le robinet B''.

— Pour mettre l'appareil en marche, on ouvre le robinet B', qui amène l'eau sous la matière filtrante, jusqu'à ce que l'eau monte un peu au dessus du niveau de celle-ci. On chasse ainsi l'air renfermé dans le silex et le double fond. On ferme alors le robinet B', et on ouvre le robinet B. L'eau arrive par la partie supérieure

et remplit le récipient; on ouvre alors le robinet de sortie E, et l'appareil est en marche. Il est d'une grande importance de régler dès le début le débit de l'appareil à ce qu'il doit être normalement.

Lorsque l'eau est très chargée, on fait dissoudre dans le bac K une certaine quantité de sulfate d'alumine que l'on mélange à l'eau au moyen du petit robinet en plomb, en réglant l'écoulement de façon que la quantité de sulfate d'alumine employée soit d'environ 10 grammes par mètre cube d'eau filtrée. Le mélange intime de l'eau et du sulfate d'alumine s'opère, par suite de remous, dans le bac L.

L'alumine répandue dans l'eau à l'état divisé facilite la cohésion des matières en suspension en formant un précipité gélatineux très dense qui les englobe et qui est ensuite retenu par la matière filtrante.

L'accumulation, à la partie supérieure du silex, des matières en suspension produit plus ou moins rapidement le *colmatage* du filtre (accumulation des substances solides sur la matière filtrante), d'où une diminution du débit.

Il faut alors nettoyer le filtre.

A cet effet, on ferme d'abord le robinet E, on ouvre le robinet B' et on ferme le robinet B ainsi que le robinet en plomb. On ouvre alors H et on actionne le malaxeur F, qui détache les matières déposées à la surface du silex.

L'eau arrive sous le double fond par un orifice égal à la somme des orifices de réglage répartis sur le fond; la matière filtrante est alors traversée de bas en haut et régulièrement sur toute sa surface par un courant d'eau qui détache les impuretés déposées et les entraîne dans

le conduit circulaire d'où elles sont évacuées par le robinet H.

Lorsque l'eau sort propre en H, on arrête le malaxeur et on ferme H. On rouvre B et le robinet en plomb, on ferme B' et on ouvre B''. L'appareil est ainsi remis en marche normale, mais on a soin d'expulser l'eau non filtrée qui a pénétré dans le silex pendant le nettoyage. Lorsque l'eau sort claire en B'', on ferme ce robinet et on ouvre le robinet de sortie E.

Ce nettoyage s'opère tous les deux ou trois jours, ou même tous les jours lorsque l'eau à filtrer est très chargée. Il dure environ un quart d'heure.

La préparation de la solution de sulfate d'alumine dans le petit bac k s'opère ordinairement tous les jours, lorsqu'elle est nécessaire.

Les filtres *système Howatson* sont construits pour de grands débits, 200 m³ par mètre carré de surface filtrante et par 24 heures, ce qui fait une moyenne de 40 m³ à l'heure. Ce sont des résultats moyens, obtenus avec une eau chargée recueillie pendant la période des pluies.

Il est évident que plus le débit d'un filtre est grand, plus le filtre se colmate, et l'encrassement est d'autant plus grand que l'eau est plus chargée et que le filtre est plus efficace. Les nettoyages sont cependant peu fréquents. Pour le débit indiqué plus haut, il faut procéder à cette opération toutes les quarante-huit heures en temps ordinaire.

Il existe des systèmes de filtres accouplés pour grands débits. L'appareil représenté par la fig. 45 montre le dispositif de deux filtres accouplés pouvant clarifier de 100 à 2000 m³ par filtre et par 24 heures.

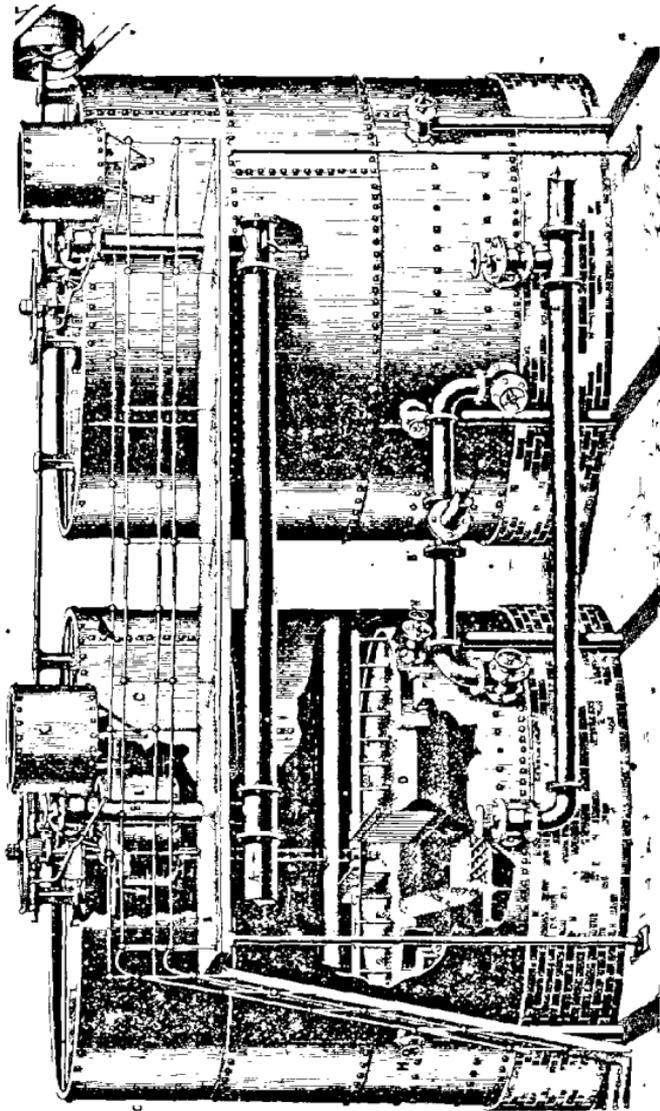
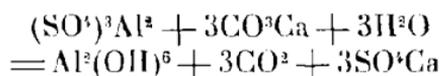


Fig. 45. — Filtrés industriels système Howatson accouplés pour grands débits.

FILTRE AUTOMATIQUE INDUSTRIEL SYSTÈME A. BURON

Le *filtre industriel système Buron* (fig. 46) se compose d'un ou de plusieurs éléments, suivant la quantité d'eau à filtrer. Le filtrage à l'aide du silex est basé sur le principe suivant : les impuretés de l'eau étant arrêtées à la partie supérieure du silex s'y amassent et forment une sorte de pellicule très fine, qui retient alors les impuretés les plus ténues ; en un mot, le silex n'est qu'un support à pellicule filtrante (*plankton*) constituée par les dépôts de l'eau. Suivant la nature de l'eau à filtrer et le degré de limpidité à obtenir, on laisse ce dépôt se former de lui-même ou on le forme artificiellement par l'adjonction à l'eau brute d'une petite quantité de coagulant, généralement le sulfate d'alumine, lors de la mise en marche et après chaque nettoyage. La réaction est la suivante :



L'alumine hydratée, formée avec dégagement d'acide carbonique et formation de sulfate de chaux, se précipite en flocons légers qui entraînent les matières en suspension et provoquent en même temps l'élimination d'une grande partie des substances humiques que l'on considère souvent comme dissoutes.

Le *filtre industriel automatique système Buron* se compose d'un réservoir cylindrique muni d'un faux fond en tôle perforée recouvert d'une toile métallique en laiton qui supporte le silex. Celui-ci est choisi de différentes grosseurs, appropriées à la nature de l'eau à filtrer. Un

râteau à 4 branches, dont la tige montée sur crapaudine à billes est placée dans l'axe du cylindre, est actionné par une manivelle à main munie de paliers

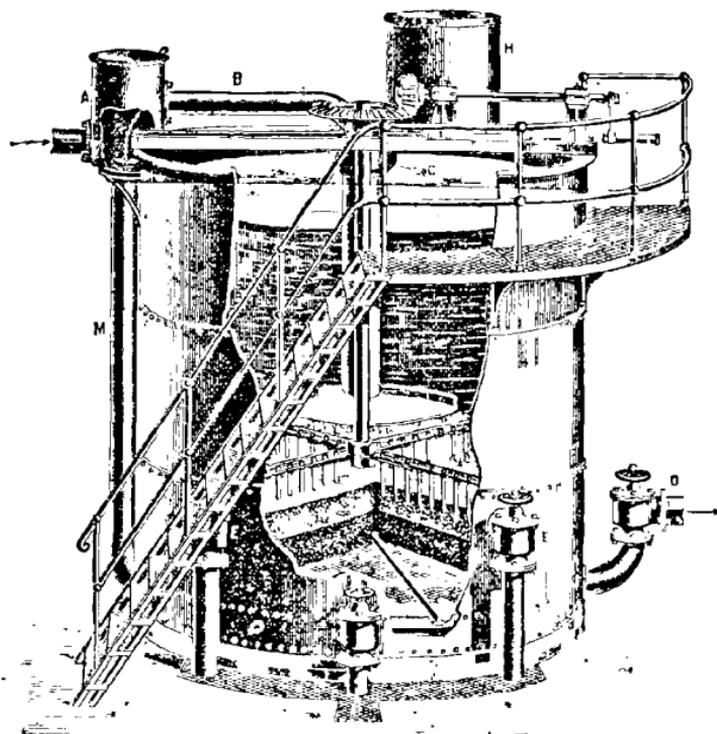


Fig. 46. — Filtre automatique (système Buron).

à billes; ses dents, placées en chicane, labourent, quand on le manœuvre, la totalité de la surface du silex en y plongeant de quelques centimètres. Un jeu de vannes permet d'effectuer le nettoyage décrit plus loin. Un petit

bac à distributeur automatique permet l'adjonction du coagulant. Un escalier et une passerelle circulaire donnent accès à tous les organes du filtre.

— L'eau brute arrive à la partie supérieure par le caisson A qu'elle traverse et par le tuyau B, dans un tube à entonnoir où elle reçoit, s'il y a lieu, le sulfate d'alumine contenu dans le bac; elle arrive ainsi au-dessus du silex sur une tôle disposée en éventail de façon à briser la force de la chute et à éviter les affouillements dans la masse filtrante. Elle traverse le silex de haut en bas et sort filtrée par une vanne D placée à une hauteur telle, que, le filtre étant à l'arrêt, la surface filtrante soit toujours recouverte d'eau.

Lorsque le filtre a besoin d'être nettoyé, ce que l'on voit quand la surface de l'eau dépasse sensiblement le niveau moyen, on ferme la vanne de sortie d'eau filtrée D, on ouvre les vannes de purge E, on soulève la bonde de fond du caisson A et on manœuvre le râteau.

L'eau brute, arrivant alors à la partie inférieure du filtre par le tuyau M, traverse violemment la couche filtrante de bas en haut en soulevant le silex, qui, aidé du râteau, est débarrassé des impuretés qui le tapissaient; celles-ci sont évacuées par les vannes de purge.

Lorsque l'eau sort claire, on rétablit la position initiale des vannes, on abaisse la bonde au fond du caisson A et on ouvre la vanne de vidange F pour évacuer l'eau brute provenant du nettoyage, qui est restée dans le fond du filtre. La marche normale est reprise.

Lors de la vidange, le silex, étant de deux grosseurs, reprend sa place de lui-même, par différence de poids.

Le filtre est muni d'un trop-plein. Lorsque l'alimentation est faite par un réservoir, le caisson A est

remplacé par une vanne et le tuyau B est muni d'un robinet flotteur pour empêcher les débordements.

Dans le cas de filtre à éléments doubles ou multiples, le dispositif est le même : chaque élément est constitué par un réservoir comme il vient d'être décrit plus haut, l'arrivée d'eau au filtre se fait dans un petit *bac nourrice* qui la distribue également à chaque réservoir. De même, chaque élément envoie son eau filtrée dans un petit caisson nourrice. Ce dispositif a pour but d'effectuer le nettoyage de chaque élément isolément, en pleine marche et par contre-courant d'eau filtrée.

FILTRE AUTOMATIQUE HANS REISERT (SYSTÈME DERVAUX MODIFIÉ)

Ce filtre est à fonctionnement continu. La fig. 47 représente le dispositif de l'appareil. L'eau brute arrive par un tuyau A dans le tube T et débouche dans une chambre C, et de là traverse la couche de gravier G que soutient une tôle percée de trous P. L'eau passe dans le réservoir R qu'elle remplit et remonte par le tube O dans le réservoir B. Lorsqu'elle a atteint dans ce réservoir un certain niveau, elle se déverse en D et sort par la tubulure S.

Lorsque la couche filtrante est obstruée par les matières déposées, l'eau ne trouve plus passage dans la couche filtrante et ne peut pénétrer dans le réservoir R; elle prend alors un autre chemin et passe par le tube E qui communique avec le réservoir C. A l'intérieur du tube E se trouve un tube *e* plus petit et n'atteignant

pas tout à fait l'orifice supérieur du tube E; l'eau s'y déverse, et le violent courant d'eau ainsi produit entraîne,

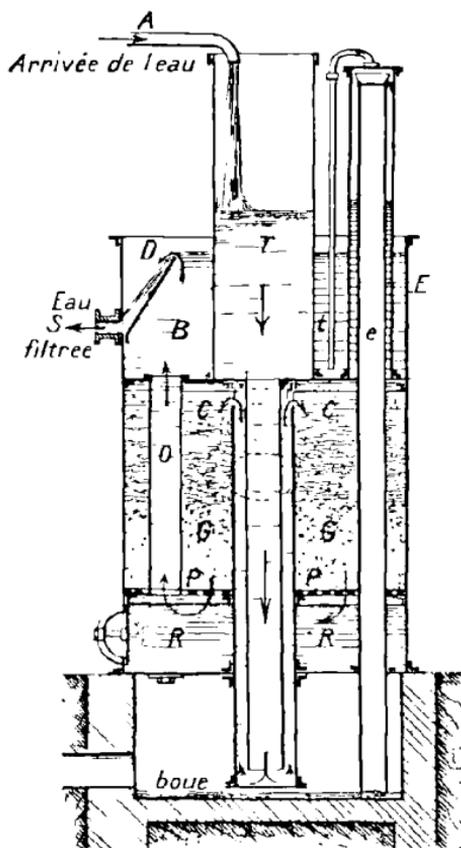


Fig. 47. — Filtre Hans Reiser.

par aspiration, les boues déposées sur la couche filtrante dans le tube *e*, et aussi l'eau qui a été déjà filtrée et qui s'est accumulée dans le réservoir B; cette eau,

par aspiration, traverse la couche filtrante en sens inverse de celui qu'elle avait suivi précédemment, et entraîne les boues qui encrassaient la matière filtrante.

Pour désamorcer le tube, qui sans cela continuerait à fonctionner même quand la couche filtrante est nettoyée, le tube extérieur E porte à sa partie supérieure un tuyau *t* qui débouche à quelque distance du fond du réservoir B et qui arrête automatiquement l'écoulement sitôt que l'orifice de ce tuyau *t* se trouve découvert.

Le filtre fonctionnant à nouveau, le réservoir B peut se remplir d'eau filtrée.

FILTRE SYSTÈME H. DESRUMAUX

L'appareil est représenté extérieurement et intérieurement par la fig. 48. L'eau brute s'engage dans une tuyauterie verticale B longeant le filtre dans toute sa hauteur, se déverse par un godet E dans un conduit central T, et tombe sur un plateau diviseur R qui la distribue horizontalement au dessus d'une couche de silex reposant sur un robuste châssis métallique soutenu lui-même par un support tronconique, en fonte.

Après avoir traversé entièrement la couche de silex, à la surface de laquelle elle abandonne toutes les matières en suspension dont elle est chargée, l'eau sort claire sous le châssis métallique et passe par les ouvertures en chicanes du support unique, ce qui l'oblige à se séparer des parcelles de silex désagrégé qui ont pu être entraînées.

Au fur et à mesure que le filtre fonctionne, le dépôt superficiel s'épaissit et tend à réduire le rendement de l'appareil; mais le niveau de l'eau, en s'élevant lentement dans la capacité libre du récipient, régularise

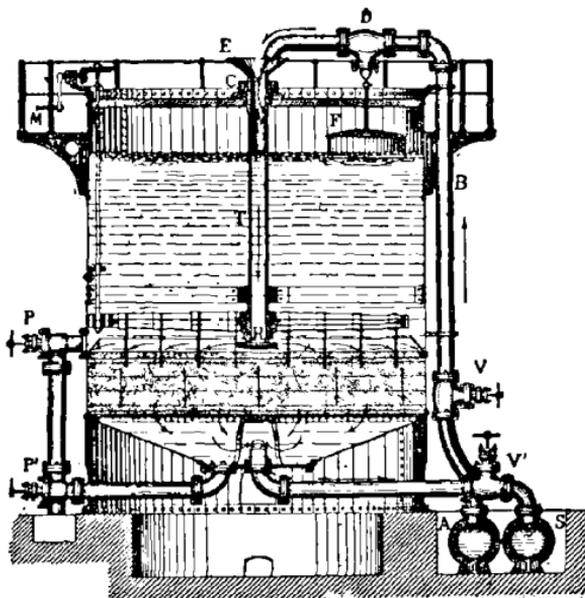


Fig. 48. — Filtre automatique à grand débit (système Desrumaux).

le débit par une pression progressive, contre-balançant graduellement la diminution de perméabilité de la couche filtrante.

Dès que le filtre est *colmaté*, le niveau de l'eau continuant à s'élever soulève un flotteur F qui interrompt automatiquement l'arrivée de l'eau à filtrer : un nettoyage est alors nécessaire.

A cet effet, après avoir fermé la vanne d'arrivée d'eau V, on laisse filtrer, et on purge avec le robinet P toute la capacité comprise au-dessus de la matière filtrante; puis on renverse le courant au moyen de la vanne V', qui livre passage à l'eau à filtrer par le fond du filtre.

Pendant le renversement du courant, le support tronconique remplit le même office que le plateau diviseur R en marche normale, en ce sens qu'il brise la force vive de l'eau affluente dont il reçoit le choc, et l'oblige à se partager uniformément sous la couche de silex.

Tandis que l'eau s'élève tumultueusement dans l'intérieur de l'appareil, on imprime, au moyen d'une manivelle M, un mouvement de rotation à un grand disque, dont les armatures labourent en tous sens la couche supérieure du silex. Le disque est fixé sur le tube central qui supporte un coussinet à billes C.

Sous la poussée du courant d'eau et l'effet du labourage mécanique des armatures du disque, toute la couche supérieure du silex se soulève, en même temps que les boues absorbées. Tant que durent le mouvement de rotation et l'impulsion du courant, le silex et les boues se maintiennent en suspension, entraînés dans le tournoiement de la masse liquide.

Dès qu'on arrête, au contraire, le mouvement de la manivelle qui actionne le disque et qu'on supprime l'arrivée de l'eau sous la couche de silex, les parcelles de ce dernier, plus lourdes que les matières organiques, se déposent immédiatement.

En vidant alors la grande capacité libre comprise au-dessus du silex, on élimine sûrement les dépôts qui engorgeaient le filtre, sans perte de matière filtrante.

Le filtre est complètement nettoyé et peut aussitôt être remis en service.

Le filtre sous pression (fig. 49) se rapproche du pré-

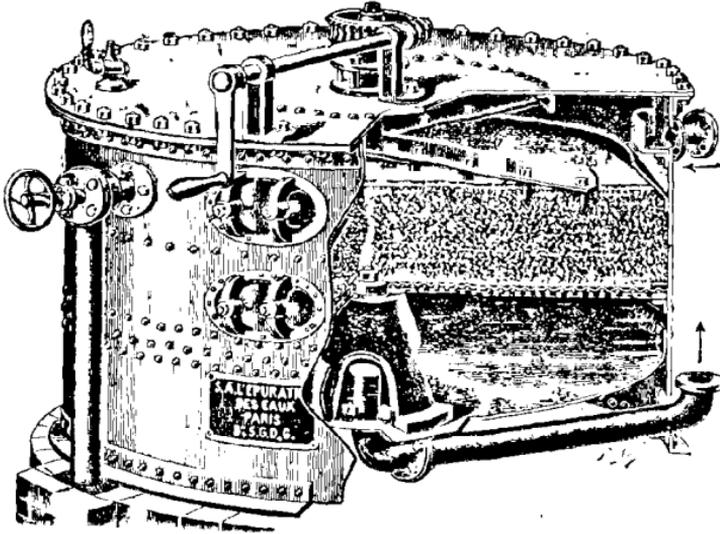


Fig. 49. — Filtre sous pression (système Desrumaux).

cédent, qui fonctionne à l'air libre, tandis que celui-ci est fermé afin que l'eau exerce une pression sur la couche filtrante qu'elle traverse.

FILTRE MÉCANIQUE SYSTÈME LANGUMIER ET BUCHET

L'eau brute arrive par la partie supérieure et traverse un lit filtrant, composé de silex concassé de grosseur

convenable ne se tassant pas, et supporté par un double fond perforé; la filtration s'opère de haut en bas.

Le nettoyage se fait rapidement au moyen d'un râteau brasseur; les dents de ce râteau sont supportées par quatre tubes, percés, à leur partie inférieure, de trous régulièrement espacés. Ces tubes, réunis au centre par un collecteur, se déplacent horizontalement près de la surface du silex et communiquent avec un tuyau extérieur d'évacuation. De la sorte, quand on nettoie le filtre en renversant le sens du courant au travers du silex et que, au moyen d'une manivelle, d'une roue et d'une vis sans fin, on actionne le râteau, les impuretés constituant la membrane de la surface sont détachées par les dents, enlevées par le courant, entraînées par les perforateurs dans les tuyaux qui se déplacent à la surface, et évacuées au dehors au bout de quelques tours de râteau.

On ajoute à l'eau, pour la débarrasser de la totalité des particules en suspension, un agglomérant comme le sulfate d'alumine, qui entraîne, dans le précipité gélatineux formé, les matières solides qui s'y trouvent englobées.

L'appareil représenté par la figure 50 fonctionne de la façon suivante :

L'arrivée de l'eau brute se fait par A; B est l'alimentation du filtre F; dans un bac plombé C se fait la préparation du sulfate d'alumine, dont l'écoulement est réglé par le robinet D.

Dans le récipient E s'opère le mélange de l'eau brute et de l'agglomérant. Sur le double fond H repose la couche filtrante G.

L'eau filtrée sort par S.

Le renversement du courant pour le nettoyage se fait par le robinet K.

A l'intérieur de l'appareil on voit les bras creux

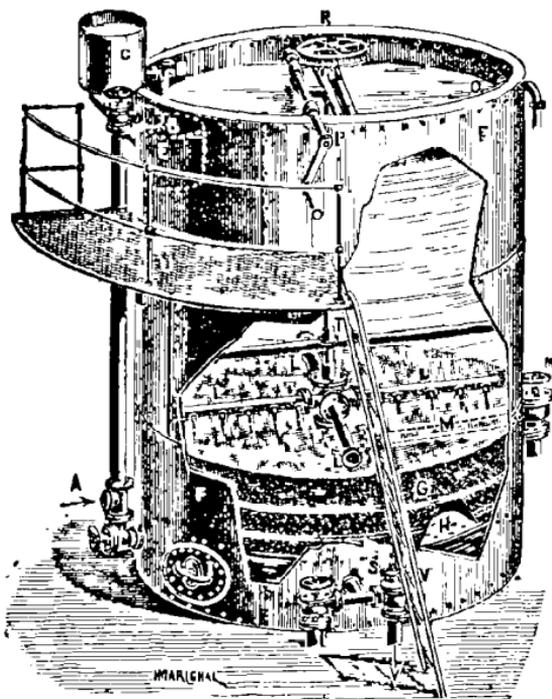


Fig. 50. — Filtre mécanique (système Langumier et Buchet).

porte-dents mobiles L perforés sur leur génératrice inférieure et communiquant avec le tuyau et le robinet d'évacuation M. Le robinet N permet d'expulser l'eau qui a servi au renversement du courant, quand cette opération n'a pas été faite avec de l'eau filtrée.

O est un trop plein, P est la manivelle qui sert à actionner les roues et vis R commandant l'arbre vertical T. Celui-ci entraîne les bras L dont le collecteur central emboîte une partie verticale du tuyau M qui lui sert de guide.

U est une plate-forme à laquelle on accède par l'échelle V.

Cet appareil, un peu compliqué, donne de bons résultats pour les industries qui emploient beaucoup d'eau, comme les papeteries, les teintureries, les fabriques d'extraits, de matières colorantes, etc.

FILTRE A SILEX SOUS PRESSION SYSTÈME DECLERCQ

Ce filtre est composé de couches superposées de silex en grains de grosseurs différentes.

Comme on peut s'en rendre compte par la fig. 51, l'eau arrive par la colonne centrale et passe ensuite au travers de la couche filtrante pour se rassembler dans le faux fond, où elle est puisée.

Pour le nettoyage rapide de ce filtre, il suffit d'actionner la manivelle à commande centrale mettant en mouvement les râteaux qui retournent les couches de silex et d'envoyer un courant rapide d'eau (de préférence déjà filtrée) pour laver la matière filtrante.

Ce système a été adopté à la Poudrerie nationale d'Angoulême, où fonctionnent trois de ces filtres accouplés, pouvant donner ensemble un débit de 90 m³ à l'heure.

Il existe aussi un autre modèle de filtre à silex système Declercq, où l'eau arrive de bas en haut comme

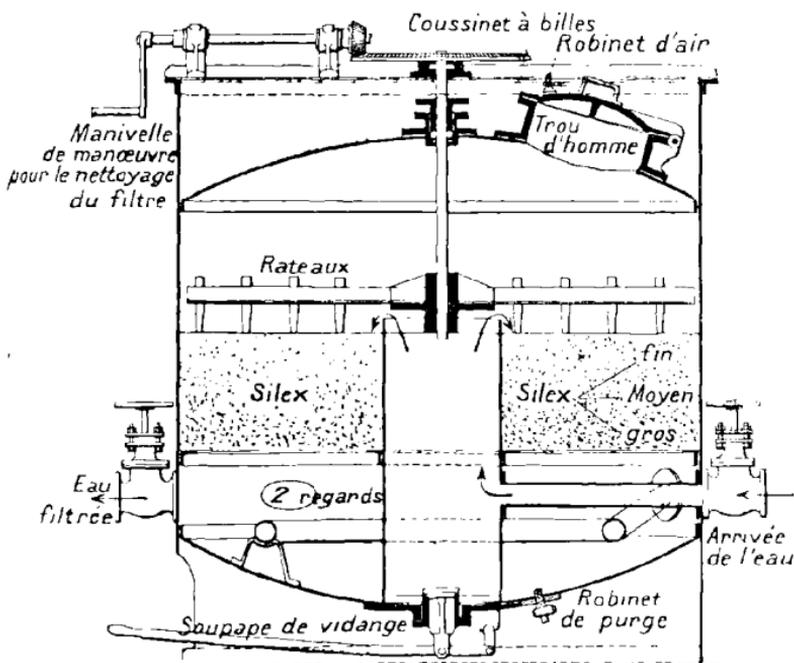


Fig. 51. — Filtre à silex sous pression (système Declercq).

dans le précédent, mais qui fonctionne à l'air libre, c'est-à-dire sans pression.

FILTRE MÉCANIQUE A. PHILIPPE

Le filtre mécanique A. Philippe se compose d'un réservoir métallique dans lequel pénètre l'eau à filtrer.

Cette eau traverse une série de cadres métalliques amovibles, recouverts de poches en forme de sac, en tissu filtrant : coton, feutre, amiante, etc., suivant la nature du liquide à filtrer. L'eau traverse le tissu filtrant, abandonne ses impuretés et remonte à l'intérieur des poches pour sortir à la partie supérieure dans un chapeau mobile fixé à chaque élément filtrant. Des tubulures fixées aux chapeaux déversent l'eau filtrée dans une noyère conductrice qui l'emmène pour être utilisée.

FILTRE-PRESSE

Nous ne ferons que mentionner cet appareil si répandu dans nombre d'industries (distillerie, sucrerie, brasserie, stéarinerie), mais qui est peu utilisé dans le traitement des eaux, sauf dans quelques cas, pour séparer par exemple les précipités fournis par certaines eaux résiduaires.

Il repose sur ce principe que la filtration est d'autant plus rapide que la surface filtrante est plus grande et que la pression exercée est plus forte. Il a pour but de clarifier les liquides, et, en même temps, d'agglomérer les matières en suspension. Il a, en outre, l'avantage de réaliser une puissance considérable sous un petit volume et d'être d'un nettoyage facile.

FILTRE SANS COUCHE-SUPPORT SYSTÈME CUAU

Nous avons vu que l'emploi d'une matière filtrante finement divisée s'impose lorsque l'on veut arrêter les particules tenues en suspension dans un liquide.

Dans la plupart des filtres, pour éviter que la matière filtrante pulvérulente (sable, etc.) ne soit entraînée en même temps que le liquide, il est nécessaire d'employer des couches support de plus en plus grossières, reposant elles-mêmes sur les drains.

En appliquant le principe des talus naturels d'éboulement à équilibre stable, déjà employé avec succès pour le captage des eaux dans les sables bouillants. M. Cuau est parvenu à réaliser des filtres dans lesquels les couches-support sont entièrement supprimées.

Les parois maintenant la matière active sont établies soit en béton armé par moulage, soit en matériaux céramiques jointoyés au ciment, et l'on constitue ainsi des lames filtrantes verticales ayant juste l'épaisseur reconnue nécessaire pour le maximum d'efficacité.

La surface utilisable pour chacune de ces lames est égale au produit de la largeur l du bassin filtrant par sa hauteur h .

Dans le sens de la longueur dudit bassin on peut mettre un nombre n de lames.

Dans ces conditions la surface totale de filtration est de nlh , et l'on conçoit que ce produit puisse être rendu de beaucoup supérieur suivant la longueur du bassin.

Dans les filtres système Ch. Cuau on rencontre donc successivement, en se déplaçant dans le sens de la longueur du bassin filtrant et par tranches verticales : eau brute, matière filtrante, eau filtrée, matière filtrante, eau brute, etc. etc.

Outre l'énorme surface de filtration réalisable sous un très faible encombrement, cette disposition présente le grand avantage de pouvoir nettoyer le filtre en pleine

marche, en isolant seulement une des tranches filtrantes. ce qui n'arrête aucunement le fonctionnement des autres.

Nous signalerons pour terminer ce qui est relatif à la filtration, l'emploi de filtres à sable *non submergé*, imaginés par M. Louis Baudet ¹ pour l'alimentation des villes et qui présentent sur les filtres à sable submergé en bassins filtrants l'avantage de donner une épuration plus parfaite et un plus grand débit.

¹ LOUIS BAUDET, *Filtres à sable non submergé*. Paris, 1908.

Nous ne pouvons entrer dans la description de ces filtres destinés aux eaux potables et non aux eaux industrielles; nous tenions néanmoins à signaler ce nouveau mode de filtration.

CHAPITRE X

ÉPURATION ET UTILISATION DES EAUX RÉSIDUAIRES INDUSTRIELLES

La composition ¹ des eaux résiduaires est essentiellement variable. Elle dépend d'abord des matières premières de l'industrie qui leur a donné naissance; elle dépend aussi du mode de fabrication, de la quantité d'eau employée, etc.

On peut cependant les classer en deux groupes, suivant que ce sont les matières organiques ou minérales qui y dominent. Les premières, qui possèdent presque toujours la propriété de se corrompre, sont de beaucoup les plus nuisibles. Parmi les eaux renfermant des matières organiques putrescibles, il faut distinguer celles qui renferment des matières azotées et celles qui n'en renferment pas. L'azote organique, au cours de la putréfaction, se transforme en ammoniacque, que l'on rencontre fréquemment dans ces eaux résiduaires. Par contre, l'acide azoteux et l'acide azotique s'y rencontrent rarement et en très faibles proportions, car

¹ Voir, pour l'analyse des eaux résiduaires, le chapitre II.

dans les eaux en putréfaction les phénomènes d'oxydation sont presque impossibles.

Parmi les eaux résiduaires contenant des matières organiques non azotées, on rencontre de l'amidon, des sucres, des acides organiques, des matières organiques, des matières grasses (graisses et huiles), qui proviennent en général des industries agricoles.

Les matières organiques existent, dans les eaux résiduaires, partie en suspension, partie en dissolution. Les matières organiques dissoutes sont celles qui présentent le plus d'inconvénients, car elles sont les plus difficiles à éliminer. Il n'en est pas de même des matières organiques en suspension dans les eaux que l'on peut clarifier par des procédés mécaniques. On peut aussi employer ces procédés, lorsque la matière organique dissoute entre difficilement en putréfaction et qu'on peut la diluer fortement en la faisant écouler dans un cours d'eau. Lorsqu'on a affaire à de telles eaux, il est nécessaire de déterminer par expérience la facilité avec laquelle elles se corrompent, selon qu'elles sont non diluées ou plus ou moins diluées.

Il est, en outre, important de connaître la quantité d'oxygène consommé par les matières organiques (voir Analyse chimique, chapitre II), ainsi que la quantité de chlore, élément invariable, pouvant servir de point de repère.

Avec ces déterminations chimiques, l'examen physique et les renseignements recueillis sur place, on peut se faire une idée de la nature de l'eau et des procédés à employer pour l'épurer.

Mais, pour chaque cas particulier, il y a lieu d'effectuer des dosages spéciaux, suivant la nature des

matières mises en œuvre et les traitements subis.

Les eaux résiduaires où prédominent les matières minérales peuvent se subdiviser en plusieurs catégories, suivant que l'eau résiduaire contient des sels de métaux alcalins et alcalino-terreux, — des sels de métaux lourds, — enfin des acides libres. Dans chaque cas, la nature de la fabrication indiquera la marche à suivre. On rencontrera et on dosera le plus souvent : le chlore, l'acide sulfurique, l'acide sulfureux, l'acide azotique, les métaux, tels que le sodium, le magnésium, le calcium, le baryum, le fer, l'aluminium, le zinc, le cuivre, les sels ammoniacaux.

Les eaux des usines qui traitent le plomb et l'arsenic ont causé des intoxications, les eaux de lavage du kaolin rendent les eaux argileuses ; il y aura donc lieu, dans ces cas spéciaux, de doser le plomb, l'arsenic, la silice, l'alumine, etc.

Il faut toujours déterminer la réaction de l'eau résiduaire, sa facilité de putréfaction, son odeur, sa couleur, sa limpidité, etc.

Le traitement des eaux résiduaires qui sont le plus souvent rejetées à la rivière présente la plus grande importance, et l'évacuation des eaux vannes des usines est un des problèmes qui préoccupent le plus vivement les industriels. Les règlements administratifs¹ des diverses nations s'opposent, du reste, au déversement des

¹ La loi française sur la protection de la santé publique, applicable depuis le 19 février 1903, interdit aux municipalités et aux particuliers de rejeter les eaux des villes et des usines sur des terrains non destinés à cet usage et les oblige à épurer les eaux résiduaires avant de les évacuer dans les cours d'eau. (Circulaire du ministre de l'Intérieur du 19 avril 1905.)

eaux résiduaires des fabriques dans les cours d'eau qu'elles souillent, et qui deviendraient inutilisables pour les riverains et les autres usines.

Certains cours d'eau sont devenus ainsi de véritables égouts, charriant les résidus des nombreuses usines situées sur leur parcours, telles que tanneries, blanchisseries, teintureries, féculeries, amidonneries, sucreries, cartonneries, papeteries, boyauderies, usines travaillant les laines, fabriques de margarine, de colle forte, d'engrais, de produits chimiques et de matières colorantes, etc., sans parler des eaux domestiques déversées par les villes.

Les eaux ainsi polluées doivent donc être le plus souvent traitées avant d'être envoyées à la rivière, pour éviter tous les inconvénients qui peuvent en résulter pour les industriels.

Les modes de traitement ayant pour but d'épurer les eaux résiduaires varient avec chaque genre d'industrie. On peut cependant les rattacher à trois groupes de procédés généraux :

- 1) *épuration par le sol* ;
- 2) *épuration chimique* ;
- 3) *épuration biologique*.

Plusieurs de ces procédés sont parfois associés dans certaines méthodes d'épuration.

I. Épuration par le sol.

L'épuration par le sol ou par irrigation s'applique surtout aux eaux résiduaires des villes et présente un grand intérêt au point de vue de l'assainissement.

Au point de vue industriel, qui nous occupe seul ici, ce mode d'épuration a été peu employé.

Nous dirons sommairement en quoi il consiste. L'épuration par irrigation consiste à déverser sur le sol les eaux résiduaires et à laisser à la nature le soin de les épurer. Les micro organismes s'y développent et décomposent les matières putrescibles en éléments gazeux et nitrates, tandis que l'eau filtre à travers le terrain. Pour que cette méthode d'épandage soit applicable, il est nécessaire que le terrain présente une texture uniformément perméable à l'eau, et une composition géologique qui permette de fixer les matières organiques dissoutes. Il faut, en outre, que l'air puisse pénétrer dans les terrains d'épandage, et par suite l'irrigation doit être intermittente pour assurer l'accès de l'air. Les eaux souterraines doivent enfin être évacuées par un bon drainage.

En général, on fait, sur ces terrains, des cultures maraîchères afin d'utiliser les nitrates produits par l'action microbienne et d'autres éléments favorables à l'agriculture, tel que l'acide phosphorique.

Quand on déverse par intermittence des eaux chargées de matières organiques sur des lits de sable à gros grains, on constate qu'on peut épurer ainsi un volume d'eau beaucoup plus considérable.

Cette observation est la base de la méthode d'épuration par *filtration intermittente*, essayée surtout aux États-Unis, et qui consiste à envoyer sur des lits de sable, d'une profondeur de deux mètres environ, les eaux polluées à intervalles réguliers. Les micro-organismes se développent dans ces lits et y transforment la matière organique. L'irrigation doit être nécessairement

pratiquée par intermittence, afin de permettre l'aération des lits entre chaque période d'arrosage.

Ce système est l'origine de l'*épuration biologique* ou bactérienne, que nous examinerons plus loin.

II. Épuration chimique.

On a proposé de nombreux réactifs chimiques pour coaguler et précipiter (du moins en majeure partie) les matières organiques putrescibles contenues dans les eaux résiduaires.

L'addition des substances chimiques doit être complétée par la clarification.

Nous allons passer en revue les divers procédés basés sur ce principe, qui ont été appliqués à l'épuration des eaux polluées.

Le traitement de l'eau résiduaire s'effectue soit à l'usine même, pour n'envoyer à la rivière que de l'eau épurée soit dans un collecteur où viennent se réunir les eaux vannes de plusieurs usines. Il faut remarquer en outre que le traitement des eaux résiduaires imposé aux industriels devient parfois avantageux dans certaines industries, quand il permet de récupérer des produits d'une certaine valeur, telles que les sels de potasse, les matières grasses, etc., ou des boues utilisables pour l'agriculture.

Si les matières à extraire de l'eau résiduaire ne peuvent couvrir les frais du traitement, on se contente de « corriger » les eaux, c'est-à-dire de transformer les produits nuisibles avant de les déverser dans les cours d'eau.

Parmi les *produits* dont on a proposé l'emploi, nous citerons en premier lieu les procédés utilisant LA CHAUX, qui a été préconisée pour précipiter les matières organiques en suspension sous forme de magma, et la majeure partie de l'acide phosphorique contenu dans les eaux de vidange. Ces boues sont utilisables en agriculture. De nombreux procédés pour le traitement des eaux résiduaires reposent sur l'emploi de la chaux ; ce système ne peut être employé seul, et doit être complété par une clarification.

Parmi ces procédés, nous signalerons le système PHYSICO-CHIMIQUE VIAL, qui consiste à traiter les eaux résiduaires par la chaux (300 grammes de chaux environ par mètre cube d'eau à traiter). L'action chimique de la chaux est complétée par une décantation par circulation d'eau continue dans des bassins de clarification.

Pour obtenir en circulation continue la clarification de l'eau trouble, on fait passer cette eau, en lame mince, à la surface d'une masse liquide immobilisée. Le bassin à circulation continue comprend deux compartiments immergés : la poche à boue, où la majeure partie du précipité floconneux formé par la chaux vient se rassembler à l'état de magma ; et le compartiment de clarification à fond incliné et coupé de murs transversaux placés au milieu de la nappe liquide, et laissant un espace entre eux et le fond du bassin. Ce dispositif a pour but de décanter une couche mince de liquide pour la débarrasser complètement de ses impuretés.

On voit que ce procédé dénommé « physico-chimique » repose sur une *précipitation* par un réactif chimique

(ici la chaux) et une *clarification* obtenue par un dispositif spécial de bassins de décantation à circulation continue, ayant pour but de supprimer les remous et les courants internes qui entraînent toujours des matières en suspension.

Les boues résiduares une fois desséchées peuvent être employées comme engrais.

M. *Schlœsing* a proposé un procédé d'épuration basé sur le traitement de l'eau de mer riche en magnésie, par la chaux et adjonction d'acide phosphorique : le phosphate ainsi formé précipite l'ammoniaque des eaux vanées à l'état de phosphate ammoniaco-magnésien. Ce procédé s'appliquerait plutôt aux eaux de vidange qu'aux eaux résiduares industrielles.

D'autres procédés, tels que le PROCÉDÉ *SILVERN*, consistent à traiter non plus par la chaux seule, mais par un mélange de chaux éteinte (100 parties), de chlorure de magnésium (15 parties) et de goudron de houille (15 parties). L'épuration par ce procédé a été appliquée en Angleterre ; elle est très incomplète.

Un autre procédé, connu sous le nom de PROCÉDÉ *DEFOSSE*, utilise aussi la chaux mélangée au permanganate de potasse et au sulfate d'alumine.

Le procédé *Defosse* consiste :

En une *décantation* dans un bassin muni de chicanes et en une *précipitation préalable* dans un bassin à réactifs contenant un mélange de sulfate d'alumine, de permanganate de potasse et de chaux, en proportions variables suivant la nature de l'eau et déversé automatiquement après réglage, au moyen de flotteurs régulateurs.

Les boues, après s'être déposées dans des bassins qui se vident et se remplissent alternativement, sont évacuées dans des réservoirs spéciaux.

L'eau qui sort des bassins de décantation passe sur une masse filtrante constituée par de la tourbe, puis sur un lit de minéral de fer artificiel très poreux (fer, magnésie, charbon), enfin sur un lit de calcaire pour retenir le fer entraîné.

On a aussi ajouté à la *chaux* de l'*argile*, comme dans le procédé *Scott*.

Dans le procédé *PIER ET DUMAS*, on traite aussi l'eau résiduaire par la *chaux* pour précipiter les matières albuminoïdes et les sulfates. Le liquide décanté est ensuite traité par un chlorure décolorant (hypochlorite de soude ou de chaux), on laisse au contact pendant plusieurs heures, et pour enlever l'excès de chaux on la précipite par un courant de gaz carbonique qu'on fait passer dans le liquide. On décaute, et on filtre pour achever la clarification.

On a beaucoup préconisé les *sels de fer* et d'*alumine* pour l'épuration des eaux résiduaires.

— Le *perchlorure de fer* a été employé pour précipiter les matières albuminoïdes et l'acide phosphorique, sous l'influence de phénomènes d'oxydation.

— M. *Le Chatelier* utilise les pyrites contenant des sels d'alumine, et des bauxites qu'il traite par l'acide sulfurique.

— MM. *Buisine* ont fait usage du *sulfate ferrique* obtenu économiquement par grillage des pyrites. Il se forme de l'oxyde ferrique (sous l'action des sels alca

lins et alcalino-terreux), qui précipite en entraînant les matières en suspension, se combine aux matières albuminoïdes et aux corps gras, donne des laques avec les matières colorantes et fixe l'hydrogène sulfuré à l'état de sulfure de fer.

Le PROCÉDÉ HOWATSON consiste à mélanger les eaux résiduaires au fur et à mesure, avec un mélange de sulfate d'alumine et de sulfates de fer (désigné sous le nom de *ferozone* par son auteur). La précipitation s'opère comme précédemment, et, lorsqu'elle est terminée, on décante le liquide et on le fait passer au travers de masses filtrantes pour retenir les particules entraînées et aérer le liquide, puis sur une masse oxydante constituée surtout par des oxydes (fer, chaux, alumine, silice), qui forment une substance noire, dure, poreuse et insoluble, que l'auteur dénomme *polarite*. Les boues obtenues dans ce procédé sont transformées en tourteaux dans des filtres-presses. et ces résidus d'épuration, de valeur variable suivant la région industrielle, sont utilisés comme engrais.

Le procédé Howatson au *ferozone* et au *polarite* pourrait donner de bons résultats dans l'épuration des eaux résiduaires des villes et de certaines industries.

Dans la pratique on mélange avec l'eau résiduaire, au fur et à mesure de son arrivée dans l'appareil, le produit appelé *ferozone*, puis on filtre sur le *polarite*, où l'eau passe extrêmement divisée. Ce système de filtration est basé sur l'observation de phénomènes d'épuration biologique qui se produisent dans le sol; il a l'avantage d'occuper un emplacement restreint et d'utiliser une matière filtrante, composée de corps insolubles,

dans laquelle le ferment nitrique se développe aisément.

Les microbes nitrificateurs se développent en effet, en présence de l'oxygène que leur fournit le polarite, et le renouvellement de cet oxygène s'obtient en aérant la matière filtrante lorsque l'on a vidé l'eau qui la baignait. Il semble que l'efficacité du *polarite*, cet agent d'oxydation par excellence, dépende plus de son état physique, de sa structure poreuse, de sa formation originelle, que de sa composition chimique.

Le dispositif consiste : à mélanger l'eau résiduaire avec le ferozone, — à décantier le précipité formé par l'action des sels solubles contenus dans le ferozone, — à faire passer l'eau sur des filtres dégrossisseurs qui, tout en l'aérant, retiennent les particules en suspension qui auraient pu être entraînées.

L'eau dégrossie et claire traverse alors le filtre à polarite, au sortir duquel elle est épurée et limpide.

Les boues résultant de la décantation sont captées dans le décanteur en pleine marche sans arrêt et ne sont pas exposées directement à l'air.

Dans l'installation représentée par la figure 53, l'eau résiduaire à épurer arrive en A, se déverse dans le bac B, où elle se mélange en proportions déterminées à une solution de *ferozone* contenue dans le bac en plomb F.

Le mélange, au sortir du bac B, arrive dans le réservoir décanteur C, divisé en deux parties inégales par une cloison étanche D, dont la partie supérieure affleure le dessus du décanteur et la partie inférieure s'arrête à une certaine distance du fond.

Le mélange se déverse d'abord dans le petit compartiment du décanteur, descend, puis passe sous la

cloison D, pour remonter lentement dans le grand compartiment du décanteur C, et sortir en II.

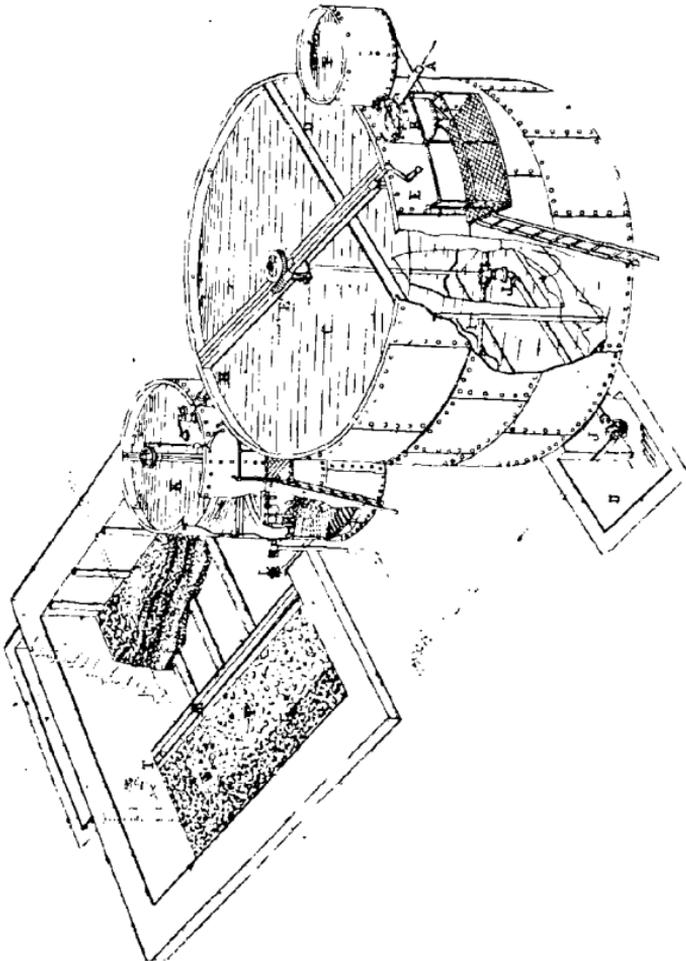


Fig. 52. — Installation pour l'épuration des eaux résiduaires par le ferrozone et le polarite.
(procédé Howatson).

Pendant la descente de l'eau dans le premier compartiment, le précipité gélatineux résultant de l'action

du réactif se rassemble, et lorsque l'eau remonte, il reste de par sa densité au fond du réservoir. Les boues ainsi formées sur le fond du décanteur sont captées par le dispositif représenté sur la figure 52 par les lettres E, E', I, J, J.

Le tube I, bouché aux deux extrémités, est formé de deux parties réunies par la douille J et placées parallèlement au fond du décanteur. Il est percé d'orifices dont la somme des sections est égale à la section du tube I. En J aboutit un arbre vertical qui peut être mis en marche par la vis E' actionnée par la manivelle E placée sur la plate forme.

Au moyen de ce dispositif on peut évacuer par le tuyau JJ toutes les boues déposées sur le fond, car le tube I, en se déplaçant au moyen du système EE', évacue par les orifices dont il est muni les dépôts rassemblés sur le fond du décanteur. Lorsque les boues sont évacuées, on ferme le tuyau JJ et on cesse d'actionner la manivelle E.

L'eau décantée, sortant en H, est déversée sur le filtre dégrossisseur K, d'où elle sort par la tuyauterie L, débarrassée de toute matière en suspension.

Les dépôts provenant du lavage de ce filtre K peuvent être réunis avec les boues du bassin de décantation en U.

L'eau ainsi dégrossie arrive sur le filtre à polarité P.

C'est dans le passage au travers de ce filtre que, sous l'action de l'oxygène *polarisé* dans la couche filtrante spéciale, les matières organiques restantes sont transformées par oxydation. Le polarité est placé entre deux lits de silex de grosseurs différentes : celui du bas repose sur un drainage formé par des tuyaux demi-cylindriques

placés latéralement et communique par un drain central longitudinal qui aboutit au robinet de sortie.

Après ce traitement, l'eau sort limpide et épurée ; elle peut être sans inconvénient déversée dans les cours d'eau.

Le procédé Howatson, que nous venons de décrire à titre documentaire, est un procédé intéressant et original ; malheureusement dans la pratique industrielle il n'est pas employé, par suite des frais d'installation et du prix exagéré des masses épurantes : *ferozone* et *polarite*.

PROCÉDÉ AU FERROCHLORE. — Un autre procédé intéressant, pouvant s'appliquer à l'épuration des eaux résiduaires des villes, consiste à utiliser les propriétés de l'oxygène naissant et à former au sein même de l'eau une sorte d'encollage au moyen des laques produites dans la réaction. Ce procédé, dû à M. Duyk¹, utilise des solutions diluées à raison de 2 % ou 5 % de chlorure de chaux (hypochlorite) et d'un sel de fer ou d'alumine. Il se forme dans la réaction : de l'oxygène, qui brûle la matière organique, avec d'autres composés (composés oxygénés du chlore) aisément dissociables désignés pour plus de simplicité par l'auteur sous le nom de *ferrochlore*.

Les laques produites par les sels de fer et d'alumine englobent les matières en suspension au sein de l'eau, et cette sorte d'encollage facilite la clarification par décantation d'abord et par filtration ensuite.

¹ *Bulletin de la Société chimique du Nord de la France*, 1903.

TRAITEMENT PAR LE FER MÉTALLIQUE. — Dans le *procédé Anderson*, on fait passer lentement l'eau résiduaire sur des morceaux de fonte placés à l'intérieur d'un cylindre horizontal animé d'un mouvement de rotation autour de son axe.

Le fer, au contact de l'oxygène dissous dans l'eau, se transforme en oxyde ferreux soluble. Au sortir du cylindre, l'eau est aérée, et l'oxygène transforme le protoxyde en hydrate ferrique, qui précipite en entraînant la matière organique en dissolution. Après repos, on filtre à travers des lits de sable.

Le traitement des eaux par le fer métallique a reçu, ces derniers temps, de nombreuses applications, surtout pour l'alimentation des villes (Usine de la Compagnie générale des eaux à Choisy-le-Roi).

L'eau est mise en présence de fer dans des appareils rotatifs spéciaux appelés *revolvers* (système Anderson) ; les sels solubles formés sont rendus insolubles par une aération énergique ; on décante et on filtre.

Les revolvers sont des appareils cylindriques, formés de tôles rivées analogues à celles des chaudières ; ils renferment un poids de grenaille de fer proportionné au volume d'eau qui les traverse.

Le fer employé doit présenter une grande surface offrant des formes appropriées pour que le frottement des particules de métal les unes contre les autres empêche la formation de la rouille.

Le revolver n'est rempli d'eau qu'aux deux tiers, l'espace vide contenant de l'air qui est souvent renouvelé. On peut expliquer les réactions de la façon suivante :

L'eau, en présence du fer, de l'anhydride carbonique

et de l'oxygène, donne naissance à des sous sels ferreux instables qui se décomposent en peroxyde gélatineux.

Les matières organiques contenues dans l'eau donnent lieu aux actions suivantes : le fer agit comme une base vis-à-vis des acides organiques en formant des sels plus stables et que l'on oxyde par une aération énergique pour les transformer en sels ferriques insolubles, qui se coagulent comme l'oxyde ferrique lui-même.

C'est la formation de ces sels et de ces oxydes gélatineux qui contribue, pour une large part, à l'épuration.

A la sortie des revolvers purificateurs, l'eau se déverse par une suite de cascades dans une série de bassins de décantation comprenant trois parties : les *dégrossisseurs*, les *bassins de précipitation*, les *bassins de décantation*.

A la sortie de cette série de bassins, l'eau achève de se clarifier en traversant des filtres composés de couches successives de briques, de gros silex, de cailloux et de sable. Les filtres sont ici des filtres à surface, dans lesquels la partie active n'est exclusivement que le feutrage gélatineux déposé sur la couche supérieure de sable, qui ne fonctionne que comme support. Le débit doit être constant et facilement réglable.

Il faut encore citer le *procédé électrolytique* (électrolyseur *Hermite*, procédé *Webster*), qui s'applique surtout aux eaux d'égout.

Le procédé d'épuration par électrolyse comprend la décantation de l'eau à épurer, la saturation de l'eau décantée par le gaz carbonique, l'électrolyse du liquide qui donne naissance, au pôle positif, à un composé oxygéné de chlore et, au pôle négatif, forme un précipité

d'oxydes qui entraîne les matières organiques. Aucun réactif n'est nécessaire, la nature des eaux électrolysées (qui renferment des chlorures) suffit à l'épuration.

III. Épuration biologique ou bactérienne.

La *méthode biologique* ou *bactérienne* consiste à faire séjourner pendant un temps plus ou moins long l'eau à épurer dans des *fosses septiques* (*septic-tanks*) ou chambres de putréfaction, dans lesquelles doit s'opérer la transformation plus ou moins parfaite de la matière organique. Il se produit une fermentation sous l'action des bactéries et autres micro-organismes *anaérobies*, d'où le nom de système *bactérien* ou *biologique*.

Le travail des microbes *anaérobies* est complété par l'action des microbes *aérobies*, qui s'exerce dans des bassins de grande étendue remplis de mâchefer ou de coke, appelés *lits bactériens*, et où se déverse le liquide ayant déjà subi l'action dissolvante des bactéries et microbes anaérobies.

Le travail d'épuration sur ces lits bactériens peut s'effectuer soit d'une *façon continue*, soit par *intermittence*.

Le procédé *intermittent* (ou à plusieurs contacts) consiste à disposer plusieurs séries de bassins semblables, sur lesquels s'écoule successivement l'eau à épurer. Ces bassins doivent être périodiquement aérés.

Le *système continu* consiste à faire usage de pulvérisateurs à pression, de distributeurs rotatifs comme le distributeur Fiddian, de tourniquets hydrauliques

(sprinklers), de siphons à décharge intermittente, qui débitent le liquide sortant des *tanks* en pluie fine sur le matériel destiné à clarifier les eaux épurées.

Au point de vue historique, l'épuration biologique a été imaginée par un chimiste anglais, Dibdin, qui eut l'idée, il y a plus de dix ans, de réaliser artificiellement la décomposition des matières organiques sous l'action des microbes, en établissant les lits bactériens. Ceux-ci s'encrassaient rapidement; c'est pour remédier à cet inconvénient que M. Cameron, en Angleterre, interposa entre l'arrivée de l'eau résiduaire et les lits bactériens le système des *fosses septiques* ou chambres de putréfaction, d'où les eaux, sortant beaucoup moins chargées de matières en suspension, n'encrassent pas autant les lits bactériens.

En France, M. Galmette a préconisé la méthode bactérienne pour l'épuration de certaines eaux résiduaires industrielles, comme nous le verrons plus loin.

L'installation du système Cameron, dit « Septik tank » ou fosse septique, comprend en général (épuration d'une eau d'égout, par exemple) le dispositif suivant (fig. 53) :

La *chambre à sable*, petit bassin où se déposent les matières lourdes minérales.

La *fosse septique* (*Septic tank*), grand réservoir, hermétiquement clos, sans air et sans lumière, de forme rectangulaire allongée et d'une hauteur ne dépassant jamais 3 mètres. A la partie supérieure de la fosse se trouvent deux orifices, dont l'un sert de trou d'homme, l'autre de tuyau d'échappement aux gaz de la fermentation. Ces gaz combustibles peuvent être utilisés pour l'éclairage.

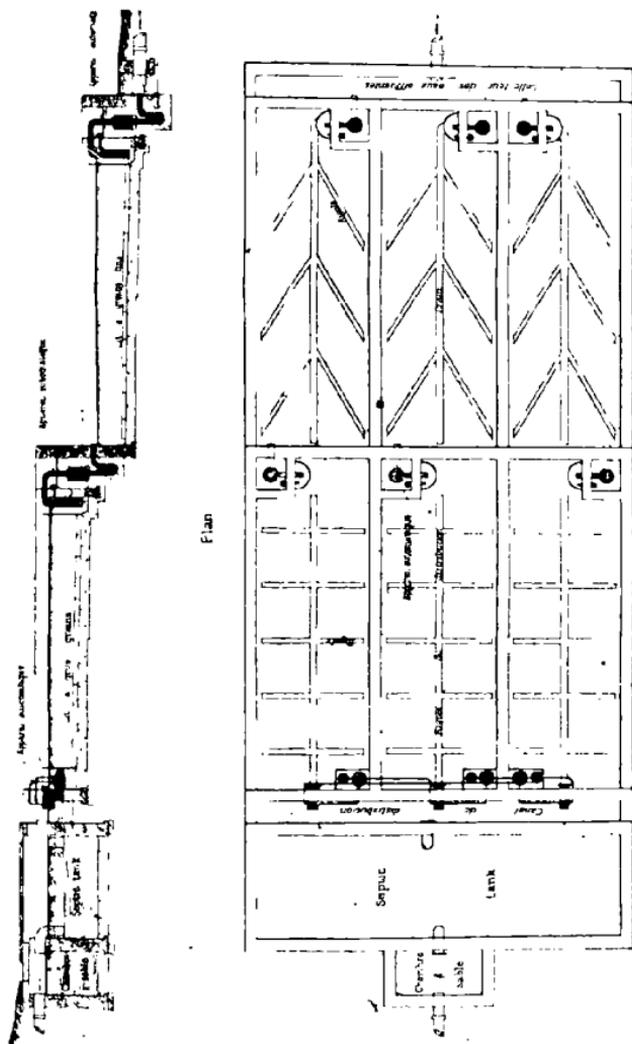


Fig. 53. — Installation d'un « Septic tank » avec deux lits bactériens (schéma).

C'est dans la fosse septique que les matières organiques sont solubilisées par les bactéries anaérobies et que les substances minérales insolubles tombent au fond en formant un dépôt qui augmente très lentement.

L'aérateur, constitué par un bassin à distribution automatique qui reçoit les eaux de la fosse septique et les envoie dans une sorte de canal, où elles tombent en cascades en s'aérant. Les eaux aérées sont conduites à un appareil automatique qui les répartit sur les lits filtrants.

Les lits filtrants, formés de bassins étanches à ciel ouvert, remplis de mâchefer concassé en morceaux fins à la partie supérieure, puis de morceaux plus gros en allant vers les couches inférieures. L'ensemble de ces couches filtrantes a une épaisseur de 120 cm. environ.

Dans les alvéoles des morceaux de mâchefer se développent les bactéries aérobies nitrifiantes qui achèvent de purifier l'eau. Le travail des filtres aérobies est ordinairement réglé pour que : pendant une heure le remplissage s'effectue ; pendant deux heures il y ait contact de l'eau à épurer avec le mâchefer ; pendant une heure l'on opère la vidange, et pendant quatre heures on laisse le lit filtrant au repos pour qu'il soit bien aéré.

A ce procédé se rattachent ceux, un peu différents, du D^r Travis par l'*Hydrolytic Tank* et de M. Lucas (procédé *sanito-bactérien*) appliqués surtout à la purification des eaux des villes.

Utilisation de la tourbe pour l'épuration biologique. — MM. Müntz et Lainé¹ ont appliqué à l'épuration des

¹ C. R. de l'Académie des Sciences, 13 janvier 1908.

eaux résiduaires (eaux d'égout) l'aptitude que possède la tourbe d'être un support favorable au développement des micro organismes nitrifiants.

Le dispositif expérimental consiste en une colonne épuratrice de fragments de tourbe spongieuse d'une hauteur de 1^m,60. Avec un débit voisin de 4 mètres cubes par mètre carré de surface, l'épuration a encore été satisfaisante. Après des arrosages excessifs à raison de plus de 5 mètres cubes, le lit bactérien de tourbe a de nouveau été mis en régime normal, et aussitôt l'épuration est redevenue satisfaisante. Comme, dans la pratique, le volume des eaux à épurer est loin d'être constant, cette faculté des lits bactériens de tourbe de pouvoir recevoir momentanément des arrosages excessifs sans que la marche ultérieure de l'épuration soit compromise, présente un grand avantage.

D'après les recherches de MM. Müntz et Lainé, une partie seulement de l'azote ammoniacal et organique qui disparaît se retrouve à l'état nitrique. Il semble donc que, outre l'action des bactéries nitrifiantes, il se produise d'autres actions dues à des micro-organismes capables de transformer les combinaisons azotées en déversant l'azote à l'état gazeux dans l'atmosphère.

Au point de vue pratique, les essais ont été effectués sur des eaux d'égout riches en résidus industriels, tels que déchets de tannerie, et après leur passage sur un lit de tourbe de faible épaisseur, on a constaté que l'ammoniaque avait presque totalement disparu et que l'azote organique avait diminué des 4/5. Ces résultats prouvent que la tourbe constitue un lit bactérien d'une grande énergie d'oxydation et de nitrification intensive.

Nous n'insisterons pas davantage sur l'étude générale de l'épuration biologique, qui donne de bons résultats lorsqu'il s'agit d'épurer des eaux résiduaires riches en matières organiques, en particulier les eaux d'égout, les eaux de sucrerie, de féculerie, d'amidonnerie et autres industries organiques.

Les procédés biologiques, par contre, ne sont pas applicables aux eaux industrielles contenant des matières tinctoriales en forte proportion, des résidus industriels acides ou alcalins, qui compromettraient les actions microbiennes d'oxydation et « tueraient » les bactéries; on doit alors avoir recours aux procédés d'épuration chimique.

Les procédés biologiques sont efficaces et économiques pour le traitement des eaux d'égout, aussi ont-ils pris ces dernières années une grande importance pour l'épuration des eaux résiduaires des villes, qui ont de plus en plus recours à ces procédés modernes d'épuration¹.

IV. Traitement particulier des eaux résiduaires des principales industries.

Nous avons passé rapidement en revue les procédés généraux proposés pour épurer les eaux résiduaires. Nous avons pu constater qu'aucun ne pouvait donner des résultats parfaits, car il y a autant de modes d'épuration qu'il y a d'industries différentes, et on peut dire

¹ Voir l'article du professeur Calmette : *l'Assainissement des villes et les procédés modernes d'épuration des eaux d'égout* (Revue d'hygiène municipale). Paris, juillet 1905.

que pour chaque eau résiduaire il faut un traitement spécial.

Nous allons maintenant examiner les différents traitements particuliers pour chacune des industries les plus importantes au point de vue des eaux résiduaires.

Nous indiquerons ceux qui, utilisés actuellement, donnent les meilleurs résultats.

Nous ne pouvons entrer dans l'énumération de tous les systèmes proposés, et, suivant la ligne de conduite que nous nous sommes imposée dans cet ouvrage, nous n'insisterons que sur les procédés que nous savons appliqués dans diverses régions, ou sur ceux qui nous paraissent présenter un intérêt d'originalité et susceptibles de perfectionnement pour être capables de rendre des services dans la pratique industrielle.

Les eaux résiduaires de l'industrie doivent être traitées non pas seulement pour leur épuration imposée par l'hygiène, mais aussi, — c'est le but que l'on doit poursuivre, — en vue de la récupération rémunératrice des sous-produits contenus dans certaines eaux résiduaires. Les procédés de purification ou d'utilisation varient avec les diverses industries qui leur ont donné naissance, et nous verrons par la suite les nombreux traitements particuliers qu'on peut leur faire subir dans les différents cas.

Lorsqu'on se propose de récupérer les sous-produits réutilisables ou utilisables contenus dans une eau résiduaire, il est souvent indispensable de concentrer de grands volumes de liquide. En particulier, pour les eaux de teintureries, de papeteries, on fait usage d'évaporateurs plus ou moins compliqués, ayant pour but d'évaporer rapidement et économiquement la solution à concentrer.

Parmi les appareils évaporateurs, nous ne ferons que citer les noms des plus employés : évaporateur cylindrique, four Porion, évaporateur Chapman, concentrateur Kestner, que M. Paul Razous a minutieusement décrits dans son livre sur les eaux résiduaires industrielles¹.

Certaines eaux résiduaires abandonnent, par concentration, des cristaux que l'on recueille sur les parois des bacs dans lesquels on a effectué l'évaporation.

On peut aussi, au lieu de la chaleur, utiliser le froid qui, en congelant une partie de l'eau résiduaire, permet de séparer aisément du reste du liquide les substances solidifiées, qui sont ainsi recueillies par une sorte de congélation fractionnée.

Pour séparer dans les eaux résiduaires les matières en suspension (lorsqu'elles sont peu abondantes), on a souvent recours à la décantation, qui consiste à abandonner le liquide au repos dans un réservoir : les particules solides se déposent, et la liqueur clarifiée peut être soulevée. Les boues sont évacuées et débarrassées du liquide qu'elles retiennent, par passage au filtre presse ; on obtient ainsi des tourteaux que l'on peut utiliser.

1. Eaux résiduaires de sucrerie.

Les eaux résiduaires de sucrerie comprennent : les eaux de lavage de betteraves, purifiées après décantation, les eaux de diffusion, les eaux de presses à cossettes, les eaux de condensation des évaporateurs qui, étant

¹ P. RAZOUS, *Eaux d'égout et eaux résiduaires*, p. 84.

chaudes, favorisent la fermentation des autres eaux résiduaires, les eaux de lavage du noir.

D'après MM. Gaillet et Huet, l'eau d'ensemble d'une sucrerie a pour composition moyenne :

Matières organiques en suspension	1,620
" en dissolution	1,480
Matières minérales en suspension	24,730
" en dissolution	1,540
	29,370

Pour la purification¹ des eaux résiduaires de sucrerie, on peut employer soit des *procédés chimiques*, soit le procédé *biologique* ou *bactérien*.

Parmi les procédés chimiques, nous citerons le procédé *Oppermann* et le procédé *Gaillet et Huet*.

A. — *Épuration chimique.*

Procédé Oppermann. — Ce procédé, appliqué d'abord en Allemagne, puis en France (Lambres, près Douai²) consiste dans l'emploi d'un mélange de protochlorure de fer, de dolomie calcinée et de sulfure de sodium ou de calcium.

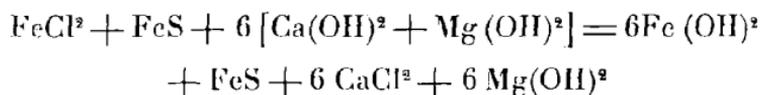
On prépare une solution de sulfure de sodium que l'on verse dans une solution de protochlorure de fer, dont une partie du fer se transforme en sulfure. Ce mélange

¹ La plupart des usines évitent actuellement de déverser dans les cours d'eau les diverses eaux de sucrerie et les réutilisent dans la fabrication, ce qui présente de réels avantages au point de vue économique et hygiénique.

² H. MANOURY, *Journal des Fabricants de sucre*.

est déversé dans un bassin contenant l'eau à épurer, et après que le mélange de l'eau et du réactif s'est effectué, on ajoute un lait de dolomie pour amener la précipitation des impuretés.

Le mélange de protochlorure de fer et de sulfure, venant au contact avec le lait de dolomie calcinée, donne du chlorure de calcium, de l'hydrate de magnésie, de l'hydrate ferreux et du sulfure de fer :



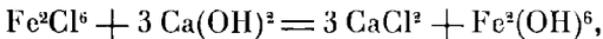
La majeure partie de la chaux se combine donc au chlore et le reste de la chaux passera à l'état de carbonate sous l'action de l'air, tandis que la magnésie, peu soluble et peu caustique, ne présente pas les inconvénients que la chaux seule exercerait par son action sur les matières organiques contenues dans l'eau.

Outre l'hydrate de magnésie, le précipité renferme de l'hydrate ferreux et du sulfure de fer. L'hydrate ferreux, en absorbant rapidement l'oxygène de l'air, passe à l'état d'hydrate ferrique, et le sulfure de fer à son tour passe à l'état de sulfate de fer soluble qui, réduit par les matières organiques qu'il détruit en les oxydant, repasse à l'état de sulfure insoluble. Le cycle des réactions précédentes se reproduit tant qu'il y a de la matière organique à oxyder.

Le procédé Oppermann n'est pas seulement applicable aux eaux résiduaires de sucrerie; en particulier, ce traitement par la dolomie combinée à l'action de l'ozone a été appliqué à l'épuration des eaux d'égout.

Procédé Gaillet et Huet. — Ce procédé consiste à employer le *perchlorure de fer* et la *chaux*.

L'action de la chaux sur le perchlorure de fer donne naissance à un précipité d'hydrate ferrique d'après la réaction :



qui entraîne mécaniquement le coagulum de chaux et de matières organiques.

Ce procédé a été appliqué à la sucrerie centrale de Flavy-le-Martel : on remplissait un tonneau d'une solution de perchlorure de fer et on déversait son contenu, par une ouverture réglée, dans un bassin contenant les eaux résiduaires à épurer.

Après avoir reçu le réactif, l'eau continue son cours, puis un peu plus loin elle reçoit le lait de chaux d'un malaxeur où la chaux est éteinte sans interruption.

Le *procédé Gaillet et Huet* paraît donner de moins bons résultats que le procédé Oppermann ; son prix de revient est un peu plus élevé. C'est ainsi que, d'après le rapport de M. Manoury, qui, il y a déjà plusieurs années, a comparé ces deux procédés, le traitement de 40 mètres cubes d'eaux résiduaires provenant de la sucrerie de Lambres coûtait 100 francs en chiffre rond par le *procédé Oppermann*, tandis qu'à Flavy-le-Martel pour 14 mètres cubes d'eaux-vannes épurées par le *procédé Gaillet et Huet* la dépense était de 56 francs environ. Le mètre cube d'eau-vanne de sucrerie revenait donc environ à 2 fr. 50 par le *procédé Oppermann*, et à 4 francs par le *procédé Gaillet et Huet*.

B. — *Épuration biologique.*

Nous avons vu que les eaux résiduaires de sucrerie comprennent les eaux de lavage des betteraves, les eaux de diffusion et les eaux de presses.

Les eaux de lavage de betteraves, ainsi que celles des transporteurs hydrauliques, chargées surtout de terre, peuvent être rejetées après décantation. Elles contiennent cependant de petites quantités de sucre, surtout lorsqu'on travaille des betteraves avariées ou gelées.

Dans les régions où l'eau est peu abondante, on est obligé d'employer à nouveau les eaux de lavage après les avoir décantées, et comme elles se chargent de plus en plus de matières organiques, elles ne tardent pas à entrer en fermentation.

Les eaux de presses sont souvent mélangées aux eaux de diffusion qui ont une composition analogue. Elles sont riches en sucre et en produits hydrocarbonés pectiques et cellulosiques avec de très petites quantités de matières azotées.

Elles contiennent environ, par litre :

De 4 à 6 gr. de matières organiques totales ;

De 1 à 2 gr. de matières minérales ;

De 2 à 3^{gr.},5 de sucre ;

De 0^{gr.},02 à 0^{gr.},035 d'azote total ;

De 0^{gr.},002 à 0^{gr.},007 d'ammoniaque ;

De 5 à 20 gr. et plus, de matières en suspension.

Fraîche, cette eau a une réaction neutre et l'odeur caractéristique de la betterave. Elle ne tarde pas à fermenter avec production d'acides acétique et butyrique

faciles à déceler à l'odeur ; cette fermentation se produit très rapidement dans tous les produits de diffusion, grâce à l'apport, par la betterave, des ferments butyriques de la terre.

Les premiers essais d'épuration de ces eaux ont été basés sur l'emploi de réactifs chimiques. Ces produits : chaux, sulfate ferreux ou ferrique, sulfate d'alumine, etc., précipitent les matières pectiques en entraînant les matières en suspension. Il reste en solution le sucre, qui est un excellent aliment pour les microbes qui s'y multiplient rapidement en rendant ces eaux très nuisibles.

L'épuration chimique n'ayant pas donné de résultats très satisfaisants, on a expérimenté les *procédés biologiques*.

Le plus ancien est l'épandage ou irrigation sur un sol cultivé ou non. Si l'épandage était conduit avec beaucoup de ménagement et non d'une façon intensive, on pourrait en obtenir de bons résultats.

Malheureusement on ne peut épandre sur le sol qu'une quantité d'eau relativement faible, qu'on estime à 100 m³ par hectare et par jour, pour une eau d'égout de ville. Cette quantité devrait être considérablement réduite pour les eaux de presses qui sont environ 10 fois plus chargées en matières organiques que les eaux d'égout.

Depuis quelques années, diverses usines ont expérimenté les *procédés bactériens* dont nous avons étudié le principe précédemment. Il se produit, comme nous l'avons vu, deux fermentations différentes. La première fermentation s'opère en fosses profondes d'environ

3 mètres, appelées *fosses septiques*. Dans ces fosses, les ferments *anaérobies* (vivant en l'absence de l'air) opèrent la dissolution des matières organiques en suspension et désintègrent de plus en plus les substances organiques dissoutes. L'eau qui sort de ces fosses après un temps convenable de séjour ne contient plus de matières en suspension, et les matières dissoutes moins complexes pourront être détruites plus facilement par les microbes de la seconde fermentation. Dans la seconde fermentation, les microbes sont *aérobies* (ne vivant qu'en présence de l'air) et brûlent la matière organique, en y fixant l'oxygène qu'ils empruntent à l'air; quelques-uns attaquent les composés azotés pour donner des composés oxygénés de l'azote, nitrites et nitrates.

Dans la plupart des cas on emploie simultanément ces deux fermentations; les eaux, après un séjour de vingt-quatre heures en *fosse septique*, sont déversées sur un *lit bactérien aérobie*, dans lequel elles ne séjournent que deux heures.

Lorsque l'épuration n'est pas jugée suffisante, les eaux après un premier contact sur un lit bactérien sont envoyées sur un second lit bactérien, qui les retient pendant deux nouvelles heures.

Les *lits bactériens* sont constitués par des fosses de 1 mètre de profondeur, dont le fond est traversé par un drainage en forme d'arêtes de poisson. Sur le fond sont disposées des scories diminuant graduellement de grosseur, celles de la surface ayant environ 1 centimètre. On ménage, à la surface, des rigoles en éventail pour distribuer l'eau le plus également possible pendant le remplissage. Ces lits, pour permettre une aération plus grande, doivent rester vides un certain temps après

chaque opération, et fonctionnent ainsi par intermittence.

Le procédé d'épuration biologique à double contact (avec deux immersions de lits bactériens par jour), appliqué aux eaux résiduaires, permet d'obtenir un effluent suffisamment épuré. M. Rolants cite, comme application de ce procédé, les expériences sur l'épuration des eaux de presses faites à la sucrerie de Pont-d'Ardres¹.

L'installation primitive de Pont-d'Ardres comprenait une fosse septique de 350 m³ de capacité avec 4 mètres de profondeur et deux étages de neuf lits bactériens chacun.

Ces lits bactériens avaient 1 mètre de profondeur et 10 m³ de capacité utile et étaient établis comme il a été dit plus haut. Les eaux y subissaient le traitement habituel, c'est-à-dire séjour en fosse septique, puis immersion intermittente des lits bactériens.

On pouvait espérer que, par le séjour en fosse septique, les matières en suspension se déposeraient (ce qui aurait évité le colmatage trop rapide de la surface des lits bactériens de premier contact) et finiraient par se dissoudre par fermentation, comme cela se produit pour les eaux d'égouts. Malheureusement la proportion de ces matières en suspension étant très importante et la décomposition de la cellule étant très lente, la fermentation butyrique s'établit aussitôt aux dépens du sucre, et l'acidité s'accroît rapidement jusqu'à 2 grammes par litre (en acide sulfurique). Cette acidité empêche toute épuration ultérieure sur lit bactérien,

¹ Rapport de M. Vié. Congrès d'hygiène sociale d'Arras, 1904.

car les micro-organismes (ferments, levures, etc.) ne peuvent plus se développer dans un tel milieu.

La fermentation anaérobie en fosse septique précédant la fermentation aérobie sur lits bactériens n'ayant pas donné de bons résultats, on employa exclusivement des lits bactériens. Pour arrêter la majeure partie des matières en suspension, on fait usage d'un epulpeur mécanique à la sortie des presses, et d'un tamis en tôle perforée à l'entrée des appareils d'épuration. Les lits furent séparés par série de six pour permettre un troisième contact.

Ces lits bactériens servent de support aux microbes *aérobies* qui brûlent la matière organique en donnant de l'eau et de l'anhydride carbonique, combustion manifestée par un dégagement de chaleur sensible (de plusieurs degrés).

Une durée de contact de une heure et demie avec quatre remplissages par jour à six heures d'intervalle a donné de bons résultats.

L'ensemencement des lits se fait très rapidement, et au bout de quelques jours ils peuvent commencer à fonctionner.

Après le passage successif sur les lits de premier, de deuxième et de troisième contact, l'épuration totale, évaluée par l'oxydabilité, croît de 47 % à 90 %, et le produit final est peu trouble et peu odorant.

M. Rolants a trouvé les résultats ci-contre pour l'eau avant et après traitement, évalués en milligrammes par litre :

	Eau indus- trielle.	Effluent du			Épuration %/o obtenue après le		
		1 ^{er} contact.	2 ^e contact.	3 ^e contact.	1 ^{er} contact.	2 ^e contact.	3 ^e contact.
Carbone orga- nique en CO ² ,	660,1	325,7	171	119,2	51,4	74,3	82,2
Ammoniaque totale.	8,3	2,8	2,1	0,7	66,3	74,7	91,6
Azote orga- nique et am- moniaque.	17,2	16,6	8,3	8	4,0	51,8	53,6

Malgré la disparition d'une partie de l'azote, il n'y a pas formation de nitrates et de nitrites; mais M. Rolants a signalé qu'en présence de quantités importantes de composés hydrocarbonés les ferments dénitrifiants peuvent être favorisés et dégager l'azote à l'état gazeux, détruisant ainsi le travail des ferments nitrificateurs. Il a trouvé, par contre, des traces d'alcool dans le liquide effluent du premier contact.

M. Rolants a complété l'analyse chimique par un examen bactériologique, et de ses recherches il a conclu que pendant le premier contact le sucre fermente alcooliquement et disparaît presque complètement, et ce sont les levures qui accomplissent presque tout le travail d'épuration, d'autant plus facilement qu'elles sont favorisées par la grande aération qui les protège contre l'envahissement par les ferments anaérobies. Il disparaît dans cette action la moitié du carbone organique (du sucre), tandis que l'azote organique est à peine touché.

Dans les deux autres contacts, la levure, n'ayant plus d'aliment convenable, laisse le champ libre aux autres microbes, qui détruisent le reste des combinaisons organiques du carbone et de l'azote.

Le procédé biologique, pour l'épuration des eaux

résiduaires de sucrerie, donne actuellement des résultats pratiques : les frais d'installation sont assez onéreux, mais la surveillance est minime. En présence des résultats, le procédé biologique paraît encore le plus avantageux pour épurer les eaux résiduaires de sucrerie.

2. Eaux résiduaires d'amidonnerie¹.

L'amidonnerie était autrefois regardée comme une industrie très malsaine. On opérait alors la séparation de l'amidon en faisant fermenter le gluten, qui produisait, par putréfaction, des acides acétique, lactique, butyrique, de l'hydrogène sulfuré, de l'ammoniaque. Ce procédé avait pour inconvénient de perdre le gluten et dégagait de telles odeurs, que les amidonneries étaient considérées comme des établissements très insalubres (première classe des établissements insalubres et dangereux).

Aujourd'hui, on pratique l'extraction mécanique rapide et inodore de l'amidon de blé, ou le traitement chimique pour les amidons de maïs et de riz qui ne peuvent être séparés par action mécanique. Les fabriques d'amidon de blé, ayant le plus grand intérêt à ne rien perdre des grains qu'elles travaillent, n'évacuent en général que des eaux peu souillées. Au contraire, les fabriques d'amidon de maïs ont à évacuer des eaux chargées de matières organiques, ce qui les rend insalubres (deuxième classe des établissements insalubres et dangereux).

¹ D'après l'étude de M. ROLANTS. *Bulletin de la Société industrielle du Nord*, 1905.

Pour retirer l'amidon de maïs, on fait tremper les grains dans une eau contenant soit de la soude, soit de l'acide sulfureux (souvent à l'état de bisulfite de soude), pendant un certain temps et à une température convenable. Le pain, écrasé entre deux cylindres, laisse échapper l'amidon, dont on le sépare par tamisage. L'amidon est lavé abondamment, mis à déposer, puis séché.

On doit évacuer de l'usine des eaux de trempage, de lavage et de pressage des drèches, soit 15 à 20 fois le poids du grain mis en œuvre. Ces eaux contiennent en suspension un peu d'amidon, des substances solubles provenant du grain ayant subi l'action des produits chimiques au cours de la fabrication.

Ces composés solubles sont très putrescibles et ne tardent pas à entrer en putréfaction sous l'action des ferments.

Il est à remarquer que la présence de l'acide sulfureux utilisé pour le trempage, et qui reste en faible quantité dans les eaux, retarde la putréfaction, qui ne se produit que lorsque l'acidité est neutralisée.

Les eaux d'amidonnerie ne peuvent donc être déversées dans les cours d'eau sans avoir subi un traitement préalable en vue de les rendre inoffensives.

On a, dans ce but, traité les eaux résiduaires d'amidonnerie par des *produits chimiques*.

C'est ainsi qu'on a prescrit que les eaux d'amidonnerie seraient reçues alternativement dans deux bassins où elles seraient traitées par un lait de chaux¹, de façon

¹ On a aussi essayé le perchlorure de fer et la chaux, mais les résultats ne sont pas plus satisfaisants qu'avec le procédé à la chaux seule.

qu'après mélange et repos suffisant les eaux s'écoulent limpides, inodores et légèrement alcalines.

Les boues provenant de l'épuration seraient employées comme engrais. L'épuration chimique ainsi obtenue est déjà appréciable, mais, en général, n'est pas appliquée.

La méthode d'épuration *biologique* paraissait pouvoir donner de meilleurs résultats. Des essais furent faits dans une amidonnerie à Haubourdin (Nord), sous la direction de MM. Calmette et Rolants.

L'installation d'épuration biologique comprenait, dans l'usine même, des bacs carrés de 0^m80 de hauteur avec une capacité de 1500 litres (environ) sur trois étages. Un autre bac plus élevé servait de réservoir. Dans les bacs des trois premiers étages devant servir de lits bactériens aérobie, sur un faux fond en bois percé de trous, on dispose des scories de 3 à 5 cm, puis d'autres, diminuant de grosseur jusqu'à 1 cm pour la surface. L'évacuation se faisait par le fond muni d'un robinet et par une rigole conduisant les eaux sur le bac inférieur.

Les eaux, d'aspect laiteux, paraissant ne contenir que peu de matières en suspension, on espéra d'abord pouvoir les épurer, comme les eaux de sucrerie, directement par contact aérobie. Des essais faits par M. Rolants sur de petits lits bactériens avaient donné de bons résultats. Mais à l'usine les drêches entraînées à de certains moments ne tardèrent pas à colmater la surface des lits et empêchèrent toute oxydation.

Les lits furent remis en état; ensemencés avec de la délayure de bonne terre arable, ils ne tardèrent pas à nitrifier des solutions de sulfate d'ammoniaque.

Il restait donc deux moyens : la destruction des matières en suspension par fermentation anaérobie en fosse septique, ou leur précipitation par un agent chimique. Les essais de traitement des eaux en fosse septique ne donnèrent pas de bons résultats. On avait pourtant ensemencé la fosse septique avec des quantités importantes de matières fécales ; mais il se déclara quand même une fermentation butyrique qui, comme pour les eaux de sucrerie, empêcha toute oxydation sur lits bactériens.

L'épuration chimique par la chaux, qui est le meilleur et le moins coûteux précipitant dans le cas qui nous occupe, donne, nous l'avons vu plus haut, une épuration appréciable. Elle précipite une partie des composés solubles en entraînant toutes les matières en suspension ; mais il reste en solution des composés fermentescibles. Ces composés sont complètement oxydés par deux contacts sur lits bactériens aérobie.

En effet, l'effluent, après ces deux contacts, est limpide ou très légèrement opalescent et, mis à l'étuve à 30°. ne donne plus lieu à production d'hydrogène sulfuré, comme cela arrive au bout de très peu de temps avec l'eau brute et même avec l'eau traitée par la chaux.

La quantité de chaux est très faible : 0^{gr},20 environ par litre suffisent pour saturer l'acide sulfureux et donner à l'eau une très légère alcalinité, qui ne nuit pas du reste à l'oxydation dans les lits bactériens. Le dépôt se fait très rapidement en moins d'une heure.

Par ce procédé, une eau qui avant son épuration avait une oxydabilité de 375 milligrammes par litre en solution acide, ne marquait plus que 10,4 après le deuxième

contact. Le carbone organique (en CO^2) passait de 634 milligrammes à 26; l'ammoniaque libre de 2,5 à 0,1; l'ammoniaque organique de 41,5 à 1,7.

Pour réaliser pratiquement l'épuration des eaux résiduaires d'amidonnerie, nous allons prendre comme type une grande usine ayant à évacuer par jour 1200 mètres cubes d'eaux résiduaires.

Les amidonneries ne travaillant en général que pendant douze heures par jour, on doit régler l'installation pour que l'eau résiduaire soit épurée pendant la journée, ne nécessitant que la présence d'un seul ouvrier après le travail de l'usine. M. Rolants se place en outre dans le cas, qui se présente le plus souvent dans les contrées du Nord, d'un terrain sans aucune pente. Il sera facile et économique, si on a un terrain d'une certaine déclivité, de supprimer une partie de l'installation.

Les eaux arrivent dans une fosse d'attente, d'une contenance égale au tiers du cube d'eau à traiter, c'est-à-dire 400 mètres cubes dans le cas présent. La fosse est peu profonde, deux mètres environ. Cette fosse pourra recevoir les eaux qui viennent encore de l'usine après le travail, eaux qui ne seront traitées que le lendemain.

De cette fosse, les eaux seraient prises par une pompe ayant un débit de 100 mètres cubes à l'heure qui les conduira, après leur mélange avec une proportion donnée de lait de chaux, dans une rigole qui les distribuera alternativement dans six bassins de décantation de 100 mètres cubes de capacité, remplis par conséquent en une heure. Lorsque le premier sera rempli, on déversera les eaux dans le deuxième et ainsi de suite. Pen-

dant ce temps, la décantation se produira dans les bassins laissés en repos, ce qui demandera une heure environ. A ce moment les eaux claires seront évacuées sur le lit bactérien de premier contact en réglant le débit de façon que le lit de premier contact soit vide au bout d'une heure. Après deux heures de contact dans ce lit, les eaux complètement épurées, limpides, inodores et imputrescibles, peuvent être évacuées à la rivière, évacuation qui sera réglée pour être terminée en une heure. A chacun des six bassins de décantation correspondent six lits de premier contact et six lits de deuxième contact.

Le mélange des eaux avec le réactif se fera dans un petit bassin de 3 à 4 mètres cubes de capacité. Le lait de chaux sera préparé avec de la chaux fraîchement éteinte et tamisée (pour éliminer les pierres qui viendraient obstruer la conduite de distribution), dans un autre petit bassin supérieur au premier et muni d'un appareil d'agitation destiné à maintenir la chaux en suspension. Ce lait de chaux sera distribué à l'aide d'un robinet à débit convenablement réglé.

Les bassins de décantation auront chacun une superficie de $67^{\text{m}^2},5$ et une profondeur de $1^{\text{m}},50$ du côté des lits bactériens et de $2^{\text{m}},5$ de l'autre côté. Cette forme permettra le dépôt des précipités au-dessous de la vanne de sortie sur les lits bactériens et l'évacuation plus facile des boues, par une vanne placée à la partie inférieure de l'autre côté. Cette évacuation se fera tous les huit jours dans des fosses de peu de profondeur, se trouvant situées au-dessous des bassins de décantation. Ces fosses seront pourvues d'une sole perforée de façon à permettre l'égouttage des boues produites par la préci-

pitation. L'eau d'égouttage fera retour à la fosse d'attente. Les lits bactériens auront chacun 20 mètres de long, 15 mètres de large et 1 mètre de profondeur. Le fond sera garni de drains en arêtes de poisson, dont les angles aigus seront dirigés vers l'orifice d'évacuation. Au-dessus sera placée une couche d'environ 30 centimètres de scories ou mâchefer en gros fragments de 5 à 10 centimètres de diamètre. Par-dessus on étalera une deuxième couche de fragments de 2 à 5 centimètres de diamètre sur 50 centimètres de hauteur, puis une troisième couche de mâchefer criblé de 1 centimètre environ de diamètre sur 20 centimètres jusqu'à la surface. La distribution se fera par un déversoir semi-circulaire à bords relevés percés de trous de dimensions croissantes du centre aux points de raccordement aux parois des bassins. Ces trous conduisent les eaux par une série de rigoles creusées en éventail dans les scories, sur toute la surface des lits.

La superficie totale nécessitée par cette installation serait donc d'environ un demi-hectare comprenant : 200 mètres carrés pour le bassin d'attente, 405 mètres carrés pour les bassins de décantation et 3.600 mètres carrés pour les lits bactériens ; le reste servirait pour les dégagements, l'enlèvement des boues, etc. On pourrait réduire de $\frac{1}{3}$ la superficie occupée par les lits bactériens si on épurait les eaux même la nuit, ce qui serait difficile avec le travail de 12 heures de l'usine, la force motrice manquant pendant la nuit pour faire marcher la pompe. Le travail pourrait être réglé de la façon suivante le matin :

De 6 à 7 h. Remplissage du premier bassin de décantation ;

De 7 à 8 h. Précipitation de boues dans ce bassin ;
 De 8 à 9 h. Remplissage du premier lit bactérien de premier contact ;

De 9 à 11 h. Ce premier lit reste plein (contact) ;

De 11 à 12 h. Remplissage du premier lit de deuxième contact avec l'effluent du lit du premier contact ;

De 12 à 2 h. Ce lit reste plein (contact) ;

De 2 à 3 h. Évacuation à la rivière.

Pendant ce temps on remplira :

De 7 à 8 h., le deuxième bassin de décantation ;

De 8 à 9 h., le troisième bassin de décantation.

Et ainsi de suite pour revenir au premier bassin (12 h.), de façon à ce que les bassins, comme les lits bactériens, soient remplis deux fois par jour.

Le travail consiste simplement à surveiller la pompe et à ouvrir ou fermer les vannes d'heure en heure ; il nécessite peu de main d'œuvre (deux hommes travaillant 12 heures par jour). Outre les frais d'installation, la seule dépense à faire consiste dans la chaux (250 kg. par jour au maximum), dépense qui peut être couverte par la vente des boues comme engrais.

3. Eaux résiduaires de féculerie.

La fécule contenue dans la pomme de terre s'extrait par des procédés mécaniques.

Les pommes de terre, après avoir été lavées pour en séparer la terre, sont râpées de façon à séparer les grains de fécule. On lave soigneusement la pulpe obtenue ; l'eau qui s'écoule entraîne la fécule et des débris

végétaux qui sont retenus par une série de tamis très fins.

On laisse décantier, la fécule se dépose, on la lave à nouveau et on la sèche.

Les eaux résiduares de féculerie sont de deux sortes :

1°) les eaux de lavage des pommes de terre, qui ne contiennent que de la terre en suspension, dont on peut se débarrasser par une simple décantation ;

2°) les eaux de lavage de la pulpe et de la fécule, qui ont besoin d'être épurées avant d'être déversées dans les cours d'eau. En effet, ces eaux abandonnées à elles-mêmes se colorent de plus en plus par suite de l'action des diastases oxydantes de la pomme de terre sur la tyrosine qu'elle renferme ; elles deviennent putrides sous l'action des micro-organismes.

On peut épurer les eaux résiduares de féculerie soit par *épandage*, soit par *traitement chimique*, soit par le *procédé biologique*.

L'*épandage* rationnel des eaux de féculerie donne de bons résultats et sera à recommander pour les usines disposant de grandes cultures. Ce procédé convient surtout aux usines agricoles.

Les *procédés chimiques* s'appliquent surtout aux usines industrielles et consistent à employer des réactifs, d'un bas prix de revient, pouvant précipiter la matière organique. C'est ainsi qu'on a préconisé l'emploi de la chaux et du sulfate de fer, ou de la chaux et du perchlorure de fer.

*Enfin le *procédé biologique* a été appliqué avec succès à l'épuration des eaux de féculerie, et les intéres-

sants travaux de M. Rolants sur les eaux résiduaires de cette industrie l'ont conduit à pratiquer l'épuration biologique de ces eaux.

Les eaux résiduaires de féculerie sont très riches en composés organiques; aussi, avant de leur appliquer le traitement biologique, M. Rolants a trouvé nécessaire de les étendre de leur volume d'eau, ce que l'on pourrait aisément effectuer dans la pratique au moyen de l'eau de lavage des pommes de terre, préalablement décantée.

Voici la façon dont a opéré M. Rolants pour épurer par la méthode biologique les eaux résiduaires de féculerie. Un kilogramme de [pulpe de pomme de terre bien râpée était mélangé avec de l'eau ordinaire, de façon à obtenir un volume total de 10 litres. Après une macération de vingt-quatre heures, la pulpe était pressée et tout le liquide passé au travers du tannis. Après repos de vingt-quatre heures, on avait d'un côté la fécule, de l'autre le liquide qu'il s'agissait d'épurer. Ce liquide étant toujours alcalin, il était à prévoir que les méthodes biologiques donneraient un bon résultat, d'autant qu'il se trouve très rapidement envahi par les ferments lorsqu'on l'abandonne au libre contact de l'air.

Cette facile décomposition de la matière organique a permis de supprimer la fermentation anaérobie en fosse septique, et d'utiliser exclusivement les ferments aérobies comme destructeurs des matières organiques. Le liquide préparé précédemment était déversé sur un lit bactérien. Après un premier contact de deux heures, il séjournait sur un deuxième lit pendant le même temps.

Les lits étaient constitués par des tuyaux en poteries de 0^m,30 de diamètre et de 0^m,80 de haut, obturés par le bas et remplis de scories de 1 centimètre environ. Leur contenance utile était d'un peu plus de 10 litres. Après les trois contacts successifs, une eau résiduaire qui contenait par litre 2571 milligrammes de carbone organique en CO² ne donnait plus que 460 milligrammes de CO², c'est à dire que l'épuration était manifeste et atteignait 82 % environ. Mais le travail à accomplir par les microbes pour détruire la matière organique est si considérable, que M. Rolants a pensé à l'alléger en diminuant au préalable une partie des substances organiques par un précipitant chimique.

Parmi les composés chimiques employés pour l'épuration des eaux résiduaires, il n'y a guère que la *chaux* et le *sulfate ferrique* qui soient d'un emploi économique pour l'épuration.

La chaux n'a donné qu'une précipitation très médiocre et une épuration très faible. Le sulfate ferrique au contraire, ajouté en dose convenable, donne un précipité qui s'agglomère assez rapidement et laisse un liquide limpide quoique toujours coloré, la décoloration n'étant que partielle. Le liquide, préparé comme précédemment, était additionné de sulfate ferrique, à raison de 1^{gr},5 par litre, et on laissait au repos jusqu'au lendemain. Après décantation, le liquide ainsi traité subissait trois contacts successifs sur lits bactériens aérobies.

La précipitation préalable élimine 50 % environ de matières organiques; de plus, elle a le grand avantage de donner un liquide ne contenant aucune matière

en suspension, ce qui est un sûr garant du bon fonctionnement des lits bactériens aérobie.

Les résultats obtenus par ce procédé mixte sont très satisfaisants. Ainsi une eau résiduaire de féculerie qui contenait par litre 3210 milligrammes de carbone organique en CO^2 n'en contenait plus, après le troisième contact, que 165 milligrammes, c'est-à-dire que l'épuration atteignait presque 95 %. L'ammoniaque passait de même de 53 à 35, et l'azote organique (en ammoniacale) de 315 à 67 milligrammes, soit une épuration de 78,8 %.

Il serait intéressant de reproduire toutes les analyses faites par M. Rolants¹; nous nous sommes contenté ici de mentionner les résultats définitifs : en tous cas, il est un fait acquis, c'est que la précipitation chimique préalable fournit un effluent très facile à épurer par les lits bactériens aérobie. Cependant la dépense incessante de produits chimiques, la difficulté d'obtenir une bonne décantation, et enfin la question d'évacuation des boues de précipitation, ont engagé M. Rolants à rechercher s'il ne serait pas possible d'obtenir un résultat satisfaisant en augmentant la dilution.

Dans ses essais de laboratoire, M. Rolants prit 500 gr. de pommes de terre bien lavées, puis râpées; la pulpe fut ensuite étalée sur un tamis de cuivre à mailles très serrées; au moyen d'un arrosoir on versait 10 litres d'eau sur le tamis, animé d'un mouvement de va-et-vient; les eaux étaient reçues sur un second tamis plus fin et abandonnées à la décantation pendant vingt-quatre heures.

¹ ROLANTS. *Bulletin de la Société industrielle du Nord de la France*, 1906.

L'eau résiduaire ainsi obtenue occupait un volume quadruple de celui occupé par l'eau industrielle avant dilution. Dans la pratique industrielle, on pourrait obtenir une semblable dilution en mélangeant l'eau résiduaire avec trois fois son volume d'une eau de rivière, par exemple.

L'eau ainsi préparée s'est épurée biologiquement dans de bonnes conditions.

Le tableau ci-après établit les résultats moyens obtenus pour quinze jours de travail.

L'effluent un peu opalescent peut être mis à l'étuve en flacon bouché sans subir de putréfaction. L'oxydation a été très active, comme le montre la production très importante de nitrates.

EAU RÉSIDUAIRE DE FÉCULERIE DILUÉE DE 3 VOLUMES D'EAU
RÉSULTATS EN MILLIGRAMMES PAR LITRE (ROLANTS)

	Perte au rouge.	Oxygène absorbé en 4 h. au permanganate.	Oxydalité ou per- manganate en sol acide.	Ammoniaque organique.	Ammon. libre et à l'ét. de sel.	Nitrates en AzO ₃
	— Épura- tion %	— Épura- tion %	— Épura- tion %	— Épura- tion %		
Eau résiduaire diluée.	1345 —	134 —	300 —	123 —	24	—
Après 1 ^{er} contact	930 30,9	103 23,2	214 28,7	68 44	22,4	67,7
Après 2 ^e contact.	730 45,8	77 42,6	170 43,4	43 74,3	16,3	88,4
Après 3 ^e contact.	415 70,0	41 70,0	89 70,4	20,5 83,4	12,5	139,0

D'après les recherches de M. Rolants, la destruction des composés azotés s'opère de la façon suivante : les amides disparaissent d'abord très rapidement, puis les matières complexes se désintègrent à leur tour.

L'effluent final, contenant peu de matières orga-

niques dissoutes et exempt de matières en suspension, peut être dès lors déversé dans les cours d'eau sans inconvénients.

Comme conclusion, on peut dire que l'épuration des eaux résiduaires se présente d'une façon simple. Ces eaux, ne contenant que très peu de matières en suspension (par suite de la valeur que présentent les drèches pour le fabricant), peuvent être traitées directement sur lits bactériens aérobie. Comme ces eaux sont très riches en matières organiques putrescibles, il est indispensable de les diluer. Cette dilution, d'après les expériences relatées plus haut, devra être d'une partie d'eau résiduaire pour trois parties d'eau de rivière ou de forage. On peut admettre, dit M. Rolants, que les trois contacts que subissent les eaux au laboratoire seront avantageusement remplacés par un traitement sur lits bactériens percolateurs en employant les appareils distributeurs connus (Spinklers, distributeur Fiddian, etc.), ou le siphon de chasse qui donne de bons résultats (Station expérimentale de la Madeleine, à Lille). Les lits seront alors établis avec deux mètres de hauteur de mâchefer, et leur surface sera calculée de manière à traiter un mètre cube d'eau par mètre carré de surface.

Tel est actuellement l'état de la question de l'épuration biologique des eaux résiduaires de féculerie.

4. Eaux résiduaires savonneuses.

Un grand nombre d'industries ont, comme eaux résiduaires, des eaux savonneuses, en particulier dans l'industrie des laines, les blanchisseries, lavoirs, etc.

Le traitement des eaux savonneuses n'est pas toujours onéreux, car il permet d'extraire certains produits ayant une valeur commerciale, tels que la potasse, les corps gras.

Les eaux savonneuses industrielles proviennent surtout de l'industrie lainière (peignage et tissage), du foulage des draps, de l'industrie de la soie (décreusage et cuisson), du blanchissage des tissus, des teintureries, etc.

L'épuration des eaux savonneuses a été l'objet de nombreuses études, car cette question présente un réel intérêt pour les grandes agglomérations où le travail de la laine constitue la principale industrie.

Dans la région du Nord de la France, la question de l'épuration des eaux résiduaires savonneuses a une importance non seulement régionale, mais internationale, puisque la rivière de l'Espierre entre en Belgique, souillée par les usines du territoire français (Tourcoing, Roubaix, etc.). Aussi cette question franco belge pour épurer les eaux de l'Espierre n'a pas été étrangère aux nombreuses recherches sur l'épuration des eaux résiduaires en général, qui, à juste titre, préoccupe les municipalités des villes.

Les eaux résiduaires des peignages de laine peuvent se classer en trois catégories : 1° les *eaux de désuintage*, provenant du lavage à froid des laines en suint ; 2° les *eaux de lissage*, contenant une partie des huiles utilisées pour faciliter le peignage de la laine et une partie des éléments du savon employé pour le dégraisage ; 3° les *eaux de lavage*, dont la composition est très variable et qui renferment généralement des

matières grasses, des substances organiques et des matières minérales solubles ou insolubles.

Les traitements que l'on peut faire subir à chacune de ces eaux sont les suivants :

1^o Eaux de désuintage. — *Extraction du carbonate de potasse.* — On recueille les eaux de désuintage lorsqu'elles ont servi plusieurs fois.

On les évapore à sec, on calcine le résidu dans des cornues analogues à celles employées dans la fabrication du gaz d'éclairage. Le salin restant dans les cornues est un sel brut qui contient environ 70 à 80 % de carbonate de potasse. lorsque les eaux mères marquent de 10 à 12° B. Le rendement est de 5 à 7 kilogr. de salin brut pour 100 kilogr. de laine de saint. Ce traitement est rémunérateur et facilite en outre l'épuration chimique des eaux de désuintage.

Extraction de l'huile d'acétone. — On désigne sous le nom d'*huile d'acétone* un mélange d'acétone, de méthyl-acétone et d'acétones supérieures, qui est utilisé dans certains pays pour la dénaturation de l'alcool. Ce produit est un liquide possédant une saveur légèrement salée et une odeur pénétrante ; il est soluble dans l'eau, l'éther et l'alcool ; sa densité est 0,832.

MM. A. et P. Buisine ont indiqué¹ le mode opératoire suivant pour récupérer l'huile d'acétone :

Les eaux de désuintage, qui contiennent un mélange d'acides gras, sont abandonnées pendant au moins six jours dans des citernes où elles entrent en fermentation.

¹ *Bulletin des chimistes de sucrerie et distillerie*, décembre 1901.

On chasse l'ammoniaque par ébullition ; on met en liberté, par addition d'acide sulfurique, les acides volatils, puis on distille à l'aide d'un courant de vapeur. Le distillatum obtenu est traité par de la chaux pour saturer les acides gras qu'il renferme, puis évaporé à sec. Le résidu final, composé d'un mélange de sels calcaires, est ensuite soumis à la distillation sèche.

Un mètre cube d'eau de désuintage, marquant 8° B., fournit environ 7 kilogr. d'huile d'acétone.

2° Eaux de lissage. — On ajoute à ces eaux une quantité d'acide chlorhydrique suffisante pour séparer complètement les acides gras provenant des huiles et du savon qu'elles contiennent.

Ces acides gras, lavés et soumis à une forte pression pour éliminer l'eau, peuvent être utilisés dans la fabrication des savons.

On peut aussi récupérer la *glycérine* contenue dans les eaux de lissage, en les traitant par évaporation, puis distillation.

3° Eaux de lavage. — Elles proviennent du lavage à chaud des laines désuintées à dos par le savon.

Elles sont les plus abondantes de l'industrie lainière, et leur épuration s'impose, car elles renferment de fortes proportions de matières putrescibles.

Parmi les eaux résiduares provenant du travail des laines, les eaux de lavage sont celles qui présentent le plus de difficulté à épurer.

Les eaux de lavage des laines ont une composition variable suivant la concentration des eaux, la nature de la laine et les traitements qu'elle subit, ce qui complique encore le problème de leur épuration.

Dans la pratique on peut envisager les eaux de lavage des laines comme contenant : a) des matières organiques : corps gras, corps organiques quelconques ; b) des matières minérales solubles ou insolubles.

Les eaux à épurer, avant d'être déversées dans les cours d'eau, peuvent être traitées soit à l'usine même qui leur a donné naissance, soit dans un collecteur recevant les eaux polluées de plusieurs usines de la région.

Le traitement des eaux dans les usines mêmes a l'avantage de pouvoir être appliqué régulièrement en connaissance de cause en fournissant à l'industriel un bénéfice provenant de la récupération des sous-produits de son usine. Les eaux de chaque usine ont une composition à peu près constante, que connaît l'industriel, et il sera dès lors plus facile de leur appliquer un procédé d'épuration.

Au contraire, la composition du liquide contenu dans le collecteur sera essentiellement variable, par suite de la diversité des eaux résiduaires des différentes usines.

La récupération avantageuse des sous-produits devient des plus aléatoires, par suite de la complexité et de la variation même de composition des liquides recueillis dans le collecteur. Ce dernier procédé est cependant celui qui est appliqué dans la région du Nord de la France, en particulier à Roubaix et à Tourcoing.

Nombreux sont les procédés essayés pour épurer à l'usine même les eaux savonneuses provenant, en particulier, du travail des laines. Nous analyserons les

principaux procédés qui ont été appliqués à ce genre d'épuration.

Le *procédé Vohl* a été surtout employé pour les eaux savonneuses d'une certaine pureté (eaux provenant des savonneries, du décreusage de la soie).

Il consiste à traiter les eaux savonneuses par du chlorure de calcium ou de magnésium, jusqu'à complète précipitation.

C'est le principe même de l'hydrotimétrie.

Le précipité recueilli et pressé est décomposé, dans une cuve doublée en plomb, par de l'acide chlorhydrique (exempt d'acide sulfurique). Un courant de vapeur traverse la masse, et les vapeurs et les gaz de la réaction sont évacués par une cheminée après avoir passé au travers d'une couche de chaux qui joue le rôle de désinfectant.

L'acide chlorhydrique a mis en liberté les acides gras, qui viennent surnager à la surface du liquide; après avoir laissé reposer six heures, on soutire la solution de chlorure de calcium utilisable pour une nouvelle opération. On verse alors dans la cuve de l'eau chargée d'acide chlorhydrique, on brasse au moyen d'un courant de vapeur pendant une demi-heure, puis on laisse reposer.

On soutire le liquide acide clair, et on recueille la couche d'acides gras émulsionnés que l'on traitera à part pour les blanchir et les déshydrater.

— Un procédé analogue au précédent consiste à traiter les eaux savonneuses par le *sel marin* :

Le savon, insoluble dans une solution de chlorure de sodium, vient surnager à la surface; on recueille les

grumeaux de savon ainsi formés, et on les décompose par l'acide sulfurique pour séparer les acides gras.

— Le carbonate de soude ajouté aux eaux savonneuses d'une certaine pureté, et chauffées pendant environ une demi heure (vers 60°C), donne naissance à une écume qui, recueillie et traitée par un acide minéral (acide chlorhydrique ou sulfurique), met en liberté les acides gras.

—Voici, d'après M. de la Coux, le mode d'épuration employé en particulier à l'usine de peignage des laines à Croix (Nord) et dans d'autres usines de la région.

Les eaux savonneuses à épurer présentent la composition suivante par mètre cube :

Matières grasses	9 ^{kg} ,500
Matières organiques	3 ^{kg} ,841
Matières minérales	
(solubles et insolubles)	7 ^{kg} ,082
total :	20 ^{kg} ,423

dont 13^{kg},34 de matières organiques.

On les fait passer dans un bassin en tôle, doublé de plomb, dans lequel on introduit par mètre cube 5 kg. d'acide chlorhydrique du commerce à 22° Baumé. Les graisses se décomposent en acides gras, et le magma qui surnage renferme la majeure partie de la graisse et des matières terreuses. Il contient :

43,30 %	de graisse.
18,83 %	de matières organiques.
37,87 %	de matières terreuses.

On laisse reposer et on fait écouler le liquide clair qui contient encore :

1^{kg},100 de matières grasses.

1^{kg},672 de matières organiques.

1^{kg},145 de matières minérales.

Au total : 3^{kg},917 de matières organiques et minérales.

L'eau étant acide, on la sature par la chaux et on recueille un nouveau précipité qui renferme encore 1^{kg},390 de graisse et de matières organiques par mètre cube, et des matières minérales.

Généralement, les eaux, après le traitement par la chaux, sont rejetées sans recueillir le précipité, telles quelles ou après décantation, dans le collecteur de l'Espierre.

Les frais de ce traitement, en tant que réactifs, reviennent à environ 0^{fr},22 par mètre cube.

Du magma provenant de l'action de l'acide chlorhydrique on retire, par compression à chaud, une graisse non saponifiable à raison de 6 kilogrammes par mètre cube. Le prix de vente de cette graisse couvre largement les frais de main-d'œuvre que nécessite ce procédé d'épuration et permet même de réaliser un léger bénéfice.

— Un autre procédé dû à M. de Mollins utilise les propriétés de l'argile pour clarifier les eaux résiduaires.

L'argile forme avec certaines substances un coagulum qui se dépose en clarifiant le liquide. C'est ainsi que lorsqu'une eau savonneuse renferme des acides gras en émulsion, l'addition d'argile y provoque un

précipité volumineux, qui ne se produit pas avec les eaux qui contiennent seulement du savon à l'état dissous.

Les eaux de peignage acidulées par l'acide chlorhydrique renferment des corps gras en émulsion; il suffit d'y ajouter 1 gramme de terre glaise par litre pour qu'il se forme des flocons qui se rassemblent rapidement en entraînant les matières grasses et des substances azotées solubles. Le magma recueilli est traité: soit pour en extraire la graisse, soit pour en faire un gaz d'éclairage.

En ajoutant aux eaux acides de peignage 1 kilogramme d'argile par mètre cube d'eau, on peut éliminer environ 780 grammes de matières organiques.

Ce traitement par l'argile est économique, car la substance épurante est peu coûteuse; il ne s'applique qu'aux eaux acides de peignage, c'est-à-dire contenant des acides gras en émulsion.

— Le *procédé Delattre*, employé à l'usine de Dorignies-les-Douai (Nord), produit par jour environ 2000 mètres cubes d'eaux résiduares provenant du lavage et du peignage des laines.

Le procédé consiste à séparer les *eaux de trempage* provenant du désuintage (simple lavage pour enlever les matières solubles du suint), qu'on traite comme nous l'avons vu précédemment pour en extraire la potasse, des *eaux de lavage* provenant du dégraissage (qui débarrasse, au moyen de savon et de carbonate de soude, la fibre des impuretés: matières grasses, etc.).

Les eaux de lavage provenant du dégraissage sont placées dans des cuves munies de soupapes inférieures

permettant l'écoulement rapide des eaux dans une canalisation centrale. Les eaux passent alors dans un conduit qui les amène par deux ouvertures latérales dans l'une ou l'autre des deux cuves en maçonnerie, étroites et profondes, où se déposent les sables qui sont utilisés comme engrais à cause de leur teneur en matières azotées et en produits alcalins (potasse et ammoniac). Pour effectuer plus aisément cette décantation préliminaire, les cuves étroites et profondes sont munies de chicanes en bois qui facilitent le dépôt des sables.

L'eau sort de la cuve en se décantant par la partie supérieure et est amenée par un conduit dans un grand réservoir en maçonnerie de 500 m³ environ, où on va la traiter par l'acide sulfurique en léger excès pour séparer les matières grasses.

Cette acidulation par l'acide sulfurique doit être aussi parfaite que possible pour obtenir une bonne épuration. On emploie pour cela le dispositif suivant : l'eau, avant de pénétrer dans le réservoir, rencontre de l'acide sulfurique étendu marquant environ 20°B qui coule en nappe sur une plaque de verre, puis arrive dans le réservoir, après s'être mélangé à l'acide aussi bien que possible, grâce aux chicanes disposées dans la conduite d'amenée du liquide.

On procède ensuite à la neutralisation par la chaux de l'acide en excès : les eaux traitées sont amenées d'abord dans un bassin circulaire contenant un lait de chaux préparé au moyen de chaux éteinte mélangée par un agitateur, puis dans un autre bassin plus grand où s'achève la neutralisation.

L'eau ainsi traitée est limpide, et au lieu de 36^{gr},75 de matières organiques et minérales insolubles ou solubles

qu'elle contenait avant l'épuration, elle n'en renferme plus que 2^{gr.}35 par litre, dont la majeure partie est constituée par des matières minérales (2 gr. environ). L'eau ainsi épurée est limpide et peut dès lors, sans inconvénient, être déversée dans les cours d'eau.

Ce traitement, comme dans toute épuration, ne devient avantageux que lorsqu'on peut récupérer des sous produits ayant une certaine valeur; aussi le procédé d'épuration des eaux de lavage des laines est-il complété par le traitement des résidus gras pour obtenir de la graisse (suintine) et des tourteaux utilisables comme engrais.

On se rendra compte de l'intérêt qu'il y a à récupérer la matière grasse quand on saura que 1000 tonnes de laine brute fournissent 140 tonnes de matières grasses, et que des usines comme celle dont nous parlons traitent par an environ 7000 tonnes de laine.

Il faut noter que cette quantité de matière grasse provient exclusivement de la laine brute, qui renferme environ 1 1/4 % d'acides gras, et qu'il y a lieu, pour se rendre compte de la richesse des eaux résiduelles de lavage en matières grasses, d'ajouter la quantité d'huile utilisée pour le savon de dégraissage et la lubrification ou *ensimage* des laines, quantité qui s'élève à environ 20 tonnes pour 1000 tonnes de laine travaillée.

En pratique, il est impossible de récupérer la totalité des matières grasses, car une certaine quantité se trouve entraînée.

Pour récupérer les graisses, on décante le liquide clair qui a reposé dans la cuve à acidulation, et au moyen d'une vanne placée au fond du bassin on éva-

cue les boues qui sont envoyées dans un puisard, où une pompe les amène successivement dans deux monte-jus, dans lesquels un jet de vapeur élève les boues, qui y sont contenues, à une température voisine de 80°C. Les boues du premier monte-jus sont évacuées dans le second, puis envoyées au filtre-pressé. Les graisses sont recueillies dans un bassin; on leur fait subir ensuite un traitement à l'acide, puis à l'eau pour les épurer.

Les tourteaux obtenus au filtre-pressé sont séchés puis broyés pour en extraire, au moyen de la benzine, la plus grande partie des graisses que renferment ces tourteaux.

Les tourteaux ainsi épuisés (par extraction méthodique) retiennent peu de graisse (environ 2 %), et sont utilisés comme engrais à cause de leurs propriétés fertilisantes.

Parmi les produits que l'on peut récupérer dans les eaux savonneuses, il y a lieu de mentionner spécialement la glycérine mise en liberté dans l'opération de la saponification (eaux-mères de savonnerie, industries textiles, etc.).

Les procédés d'extraction de la glycérine des eaux savonneuses ne sont pas encore très pratiques, et seule la récupération des eaux-mères de savonnerie qui ont une composition définie (eau, glycérine, soude, chlorure de sodium) peut être appliquée économiquement dans la pratique industrielle. L'étude des procédés employés pour cette récupération appartient à l'industrie des *Savons* et ne peut trouver place dans cet ouvrage.

La rivière de l'Espierre, dont nous avons parlé plus haut, est souillée par toutes les eaux résiduaires des industries variées de la région qui y déversent non seulement des matières grasses, mais d'autres produits provenant des usines de teinturerie, de produits chimiques, etc.

D'après les analyses de MM. Gaillet et Huet, la composition moyenne des matières que charrient les eaux de l'Espierre, avant de leur appliquer un système d'épuration quelconque, comprenait plus de 3 kilos de matières solubles ou insolubles, dont 900 grammes environ de matières grasses, 260 grammes environ d'autres matières organiques, le reste étant constitué par des produits minéraux : ammoniacque, carbonates alcalins, chlorure de sodium, sulfate de sodium, sels de chaux, d'alumine, de fer, sable, etc.

Des eaux aussi chargées et contenant autant de matières grasses ne pouvaient être soumises à l'irrigation ; aussi les recherches se tournèrent-elles vers l'épuration chimique, malgré la difficulté résultant de la nature, de la quantité des impuretés et du volume considérable d'eaux résiduaires à traiter : plus de 3000 m³ en 24 heures, dont 1/3 provient des eaux de peignage des laines.

Aujourd'hui, la question de l'épuration des eaux de l'Espierre n'est pas encore résolue, malgré de nombreuses tentatives.

Les eaux de l'Espierre sont actuellement épurées dans une usine centrale située près de Roubaix, à Grimonpont, usine qui reçoit la majorité des eaux résiduaires de Roubaix et de Tourcoing.

L'usine d'épuration couvre une superficie de plus de

huit hectares et a été établie en vue d'effectuer tout traitement chimique en général. Actuellement on y applique l'épuration à la chaux.

Les eaux sont d'abord décantées dans deux bassins de 2500 mètres de superficie chacun. L'eau de l'Espierre pénètre dans l'usine, par l'intermédiaire de barrages. Les eaux à épurer sont amenées dans un puisard par un déversoir où on les traite par un lait de chaux préparé avec 100 kilos de chaux, par exemple, pour 600 litres d'eau. Ce lait de chaux une fois préparé est amené dans un réservoir inférieur au moyen de pompes centrifuges; le lait de chaux est repris puis déversé dans un bac distributeur de réactif pouvant, par un système régulateur, laisser écouler une quantité de réactif proportionnelle au volume et à la composition de l'eau à épurer.

Le mélange du lait de chaux et de l'eau à épurer s'effectue dans le puisard, et au moyen de pompes centrifuges le mélange des eaux de l'Espierre et de lait de chaux est refoulé dans un grand nombre de bacs de décantation (une vingtaine) : l'eau se décante dans chaque bassin d'une façon continue au moyen de deux vanes déversoirs, puis s'écoule ainsi clarifiée et poursuit son cours.

Les boues sont draguées, puis déversées sur les terrains appartenant à l'usine, où elles abandonnent la majeure partie de leur eau. Les boues desséchées sont brûlées dans des fours pour régénérer la chaux, que l'on obtient très impure.

Parmi les nombreux procédés chimiques proposés pour épurer les eaux savonneuses de l'Espierre, il faut

citer l'emploi de la chaux vive seule, ou des mélanges de chaux et de sulfate d'alumine, — de chaux et d'argile, de sels de fer et de chaux, — de sels de magnésie et de chaux.

— Le *procédé d'épuration par la chaux seule*, dont Clark, le premier, a préconisé l'emploi, précipite assez bien les matières en suspension et les matières grasses, mais est sans action sur les matières organiques en solution qui sont essentiellement putrescibles.

Ce traitement, quelque imparfait qu'il fût, a été appliqué aux eaux de l'Espierre. Il consiste à ajouter à l'eau 2 à 3 kilogrammes de chaux par mètre cube; mais l'eau alcaline ainsi obtenue favorise les fermentations putrides; les boues sont elles-mêmes le siège d'une putréfaction active, et l'encombrement de ces boues abondantes et liquides présente un autre inconvénient qui vient s'ajouter au premier. On a cherché à employer la chaux non pas seule, mais mélangée avec d'autres réactifs, tels que ceux énumérés précédemment.

— Dans cet ordre d'idées, MM. *Declercq et Godine* ont installé des appareils d'essai épurant l'eau par la chaux et ensuite par le sulfate de fer et d'alumine avec décantation continue dans un appareil Howaston; mais le procédé n'était pas assez économique pour être appliqué en grand.

— Le *procédé aux acides*, dont nous avons vu une application précédemment, peut être appliqué à l'épuration des eaux de l'Espierre. Il consiste à verser, en un point du collecteur, de l'acide chlorhydrique qui

met les acides gras en liberté : le magma grassex qui surnage est recueilli et pressé à chaud ; on obtient ainsi une graisse et des tourteaux peu avantageux. L'extraction de la matière grasse est, du reste, très incomplète dans ces conditions. Pour épurer 1 m³ de l'eau de l'Espierre contenant en moyenne 1008 grammes de matière grasse, M. de la Coux estime qu'il faut 300 grammes d'acide chlorhydrique du commerce à 22° B. En tablant sur un prix de 4 francs les 100 kilogrammes et sur un rendement de 60 % de matière grasse, il faut donc dépenser environ 0^{fr},12 d'acide chlorhydrique pour obtenir, par mètre cube, 648 grammes de graisse ayant une valeur de 0^{fr},16, pour un prix moyen de 25 francs les 100 kilogrammes.

L'acide est ensuite neutralisé par la chaux, ce qui occasionne une dépense d'environ 0^{fr},02 par mètre cube. On voit qu'il y a 0^{fr},14 de dépense pour obtenir un produit d'une valeur de 0^{fr},16, sans compter les frais de main-d'œuvre, d'entretien, d'amortissement, d'installation, etc.

Comme le procédé à l'acide chlorhydrique est peu économique, on a proposé de le remplacer par l'acide sulfurique.

— Le *procédé P. Gaillet* consiste à épurer l'eau de l'Espierre dans un bassin situé sur son collecteur, où l'eau s'écoule dans une cuve munie d'agitateurs mécaniques où se déverse le lait de chaux d'une façon continue.

On décante le liquide dans un bassin, et les boues recueillies, après essorage et compression, fournissent des tourteaux.

On peut ainsi éliminer les matières grasses, les sulfates solubles et la plus grande partie des matières organiques ; il reste finalement du chlorure de calcium.

Le réactif préconisé par M. Gaillet est le perchlore de fer, obtenu économiquement par l'action de l'acide chlorhydrique sur l'oxyde de fer provenant des pyrites.

— Dans le *procédé Legrand* on fait usage de chlorure ferreux, au lieu de chlorure ferrique employé dans le procédé précédent, ce qui ne présente aucun avantage.

On a aussi proposé le chlorure de manganèse concurremment avec la chaux. Le chlorure de manganèse provenait de l'industrie du chlore, dont il constituait le résidu dans les anciens procédés. Le traitement de l'eau de l'Espierre par la chaux et le chlorure de manganèse éliminait la majeure partie des matières organiques.

— Le *procédé Howatson* consiste à précipiter par la chaux l'eau à épurer, de façon à la débarrasser de la plus grande quantité de matières possible.

L'eau est ensuite mêlée au fur et à mesure au mélange de sulfate de fer et d'alumine dénommé *ferozone*, préparé dans un bac à réactif d'où il s'écoule dans un bac décanteur proportionnellement à la quantité d'eau à épurer. L'eau, après décantation, passe dans un filtre qui retient les matières en suspension. L'eau est mise ensuite en contact avec le mélange d'oxydes (fer, chaux, alumine, magnésie, silice) dénommé *polarite*, qui exerce une action oxydante sur les matières organiques contenues dans l'eau, comme nous l'avons vu précédemment.

— L'action de la *chaux*, combinée à celle du *sulfate*

ferreux, a donné une épuration satisfaisante : la majeure partie des matières organiques est éliminée, les sulfures solubles passent à l'état de sulfure de fer insoluble; mais par suite il reste en solution, dans l'eau, du sulfate de chaux et des sels de fer qui peuvent présenter des inconvénients assez sérieux.

— Le *procédé Buisine* utilise le *sulfate ferrique* qui, sous l'action des sels alcalins et alcalino-terreux contenus dans les eaux résiduaires, se transforme en hydrate ferrique. Ce corps, comme nous avons déjà eu l'occasion de le constater, est un précipité volumineux qui entraîne soit mécaniquement les matières en suspension (matières grasses, matières organiques, etc.), soit par réaction les sulfates solubles transformés par l'hydrate ferrique en sulfure de fer insoluble.

Une grande partie des matières organiques en solution est aussi précipitée dans cette réaction.

Le procédé appliqué aux eaux de l'Espierre sur un débit de 20 000 mètres cubes par jour donne de bons résultats : l'eau épurée est limpide, sans odeur, et présente une réaction neutre ou légèrement acide.

Les résidus de l'épuration constitués par les boues provenant du traitement par le sel ferrique peuvent être utilisés après dessiccation sur le sol. On en extrait, au moyen du sulfure de carbone, les matières grasses qu'elles renferment, et le résidu d'extraction peut être utilisé comme engrais, par suite des matières azotées qu'il contient.

Ce procédé nécessite 1 kilogramme de sulfate ferrique pour 1 mètre cube d'eau de l'Espierre. Le sel de fer est obtenu économiquement en traitant les pyrites

guillées, déchets industriels sans grande valeur, par l'acide sulfurique à 66° B. Le mélange chauffé vers 120° fournit une masse sèche et pulvérulente qu'on lessive par l'eau pour obtenir la solution de sulfate ferrique. On prépare ainsi le réactif à bon compte, condition indispensable pour qu'une méthode d'épuration devienne industriellement pratique.

De nombreuses recherches et de multiples essais ont été faits sur cette question de l'épuration des eaux de l'Espierre, qui constitue un des grands problèmes d'épuration d'eaux résiduaires.

Nous n'avons énuméré que les procédés qui ont reçu une application pratique; mais il y aurait lieu de mentionner bien d'autres recherches, telles que celles de MM. Boblique, Delattre, etc.

On peut dire qu'actuellement l'épuration des eaux savonneuses (en particulier celles de l'Espierre) est pratiquée d'une façon satisfaisante, mais qui est loin d'être parfaite.

Pour terminer l'étude des eaux résiduaires savonneuses, il y a lieu de mentionner l'utilisation des résidus d'épuration de ces eaux par extraction des matières grasses qu'elles renferment et qu'on utilise dans les usines qui traitent spécialement les corps gras. Nous n'entrerons pas dans l'étude de ces procédés d'extraction, qui n'est plus du domaine de cet ouvrage, et nous renverrons pour ces procédés à la description qu'en a faite M. de la Coux¹.

¹ DE LA COUX, *L'Eau dans l'Industrie*, p. 409.

5. — Eaux résiduaires diverses.

Eaux résiduaires des industries des cuirs et peaux.

— Dans le travail des cuirs et peaux, les eaux de lavage les moins chargées peuvent être rejetées à la rivière directement ; c'est ainsi que les *eaux provenant des bassins de trempage* dans lesquels séjournent les peaux ne sont pas assez riches en matières extractives pour subir un traitement spécial.

Les *eaux des sabrages* contiennent des matières azotées et des matières grasses en petite quantité et sont, après décantation, déversées dans les cours d'eau.

Les *eaux des bacs de dégraissage* renferment des matières grasses provenant du suint en proportions assez notables pour être récupérées.

Les *eaux résiduaires des tanneries*, c'est-à-dire les saumures et les eaux de tremp, renferment du chlorure de sodium (20 à 25 %) et des matières albuminoïdes azotées (7 à 8 %).

Ces eaux résiduaires sont rarement traitées avant d'être rejetées ; cependant, outre l'intérêt qu'il y aurait à ne pas souiller les cours d'eau, on pourrait avantageusement coaguler par la chaleur les matières albuminoïdes pouvant constituer un bon engrais, et extraire le sel marin qui pourrait servir de nouveau au salage des peaux.

Les eaux souillées *des fabriques de colle* peuvent être traitées, après décantation, par le chlorure de fer (2 kilos par m³) et l'acide chlorhydrique. On recueille la couche grasseuse qui surnage, et le liquide débarrassé des

matières grasses est saturé par un lait de chaux (5 kilos de chaux par m³) qui précipite les substances organiques utilisables comme engrais.

Eaux résiduaires des papeteries. — Les eaux résiduaires provenant des fabriques de papier sont les unes peu chargées en matières dissoutes et peuvent être rejetées telles quelles ; les autres, au contraire, renferment des produits chimiques, tels la soude, le chlore, et qu'il est avantageux de récupérer.

Le traitement des eaux de lessivage consiste à évaporer ces eaux à siccité et à incinérer le résidu, en dépensant le minimum de combustible (système évaporateur Porion). Le carbonate de soude obtenu est transformé en soude caustique, qui rentre de nouveau dans la fabrication du papier.

Les eaux noires provenant du lessivage de l'alfa sont particulièrement riches en soude ; il en est de même de celles résultant du travail de la paille ou de la pâte de bois.

Le bisulfite de soude ou de calcium provenant des eaux résiduaires des fabriques de pâte de bois de papier est récupéré par concentration dans des appareils à effet multiple¹, permettant d'effectuer cette opération dans des conditions économiques.

Aux papeteries d'Essonnes, on pratique l'épuration mécanico-chimique des eaux résiduaires de la façon suivante :

Les eaux souillées sont intimement mélangées avec un lait de chaux (250 grammes de chaux par m³), puis distribuées dans plusieurs bassins de décantation conti-

¹ RAZOVS, *Eaux d'égout et Eaux résiduaires*, p. 175.

nue de 0^m,50 de profondeur et d'une superficie d'environ 120 m². Au sortir de ces bassins étanches, l'eau a abandonné toutes les boues qui se sont déposées au fond. Lorsque celles-ci affleurent à la surface de l'eau qui pénètre dans le bassin, on les évacue dans un bassin inférieur à fond perméable constitué par du mâchefer, où elles s'égouttent et se dessèchent. Ce dispositif permet de purifier à Essonnes 10.000 mètres cubes d'eau par jour, au moyen d'une série de bassins qui occupent une superficie d'environ deux hectares.

Eaux résiduaires de teinturerie. — Les bains et eaux de lavage provenant des diverses opérations de teinture renferment des produits qu'il est avantageux de récupérer.

Ces eaux contiennent souvent des sels métalliques provenant des mordants et des matières tinctoriales, dont quelques-uns peuvent être toxiques (composés de l'arsenic, couleurs dites d'aniline, brun Bismarck, etc.).

Parmi les corps que l'on a avantage à récupérer, il faut citer l'étain qui provient du bichlorure employé pour le mordantage de la soie. On peut récupérer l'étain dans les eaux de lavage en les traitant par la chaux : l'oxyde d'étain précipité est recueilli par filtration sur toile.

On a aussi avantage à récupérer certaines couleurs comme l'indigo ; mais ces divers traitements sont trop spéciaux pour être décrits dans une étude générale sur les eaux résiduaires, et nous renverrons aux ouvrages de M. E. Beltzer¹ et de M. P. Razous².

¹ *La Grande Industrie tinctoriale.*

² *Eaux d'épuit et Eaux résiduaires industrielles.*

Dé nombreuses industries donnent encore naissance à des eaux résiduaires d'où il est parfois avantageux d'extraire certains sous produits utilisables.

Citons : les *eaux glycéreuses* des stéarinerics et des savonnerics, d'où on peut retirer la glycérine par concentration ; les *eaux résiduaires des raffineries de pétrole*, pour lesquelles on est obligé de séparer par décantation le pétrole des eaux résiduaires avant de les rejeter ; les *eaux-mères* des fabriques de sulfate d'ammoniaque, de chromate de potasse, de prussiate, de couleurs d'aniline, d'où il est avantageux d'extraire les produits rémunérateurs ou d'éliminer les résidus nuisibles. Les eaux de cristallisation de nitrate de soude, par exemple, sont traitées par le gaz sulfureux pour en extraire l'iode. Les eaux acides provenant des industries les plus diverses doivent en outre être neutralisées par la chaux ; les eaux alcalines, que l'on rencontre plus rarement, seront aussi neutralisées en utilisant, par exemple, les résidus acides d'une autre usine ; mais dans tous les cas il est indispensable de ne rejeter que des eaux à peu près neutres.

Le traitement des eaux résiduaires industrielles est, comme on peut s'en rendre compte par l'étude que nous venons de faire, un des problèmes complexes les plus importants que doivent se poser et résoudre de nombreux industriels.

Ce problème présente un double intérêt : récupération rémunératrice de sous produits qui seraient perdus ; évacuation, après épuration économique, d'eaux inoffensives, c'est à-dire débarrassées des produits nuisibles à la salubrité des cours d'eau et des terrains qui les reçoivent.

Mais à ce double point de vue la question est loin d'être résolue, et la voie reste ouverte aux recherches ayant pour but de perfectionner les méthodes d'épuration et les procédés d'utilisation des eaux résiduaires industrielles.

INDEX BIBLIOGRAPHIQUE

- Anonyme. *The Engineer*. Épurateur Wollaston, XCIII, n° 2407, février 1902.
- ARTH (G.). Sur l'emploi de l'aluminate de baryte. *Bulletin de la Société chimique de Paris*, XXVII.
- ASPINALL (F.). Épuration des eaux d'alimentation des locomotives. Question XV. *Congrès international des Chemins de fer*, 6^e session. Paris, 1900, Veissenbrusch, Bruxelles.
- ASSELIN. Sur l'emploi du carbonate de baryte. *Bulletin des Ingénieurs civils*, XXXVII, 19 octobre 1904.
- BAUDET (Louis). *Fillres à sable non submergé*. Paris, 1908, Dunod et Pinat, in-8°.
- BERNARD. Sur l'épuration des eaux des générateurs. *Génie civil*, XXXVII, 19 janvier 1901.
- BOUDET. (Voir BOUTRON).
- BOURREY (G.) et MARQUET (E.). *Traité d'analyse chimique industrielle commerciale, agricole*. Paris, 1908, Doin, in-8°.
- BOUTRON et BOUDET. *Hydrotimétrie*, 4^e éd. Masson, Paris, 1866.
- BOYER-GUILLON. Sur la solubilité du sulfate de chaux. *Revue de Mécanique*, 31 janvier 1901.
- BÜCHELER (M.). *Manuel de Distillerie*. Paris, Béranger, in-8°.
- BUISINE (A. et P.). *Bulletin de l'Association des Chimistes de Sucrierie et de Distillerie*. Paris, 1901.
- CALMETTE. *Revue d'Hygiène municipale*, n° 7, 1905. Les procédés modernes d'épuration des eaux d'égout. Berger et Levrault, Paris.
- CARCNAT et DERENNES. Épuration des eaux d'alimentation des locomotives aux Chemins de fer du Nord. *Bulletin des Ingénieurs civils*, octobre 1890.

- CHEVALET (F.). Épuration des eaux sales. *Bulletin des Chimistes de Sucrierie et Distillerie*. Paris, 1896.
- COURTONE (H.). *Instructions pratiques pour l'hydrotimétrie*. Paris, 1907, Poulenc.
- CUSHMANN (S.). *Iron Age*.
- DEBAUVE (A.) et IMBEAUX (Ed.). *Distribution d'eau* 3 vol.). Paris, 1906, Dunod, in-8°.
- DECLERCQ et VERBIÈSE. *Bulletin de la Société industrielle du Nord de la France*, n° 108. Lille, 1899.
- DEJONCHE (G.). *Fabrication de l'alcool et des levures*, Paris, Béranger, 2 vol. in 8°.
- DELHOTEL (E.). *Traité de l'épuration des Eaux*. Paris, 1893, Béranger, in-8°.
- DERENNES (E.). 1, *Étude sur l'épuration des Eaux*, Imp. Chaix. Paris, 1898.
2, (Voir CARZENAT.)
- DUYK. *Bulletin de la Société chimique du Nord de la France*, 1903.
- GAILLET et HUET. *Étude des eaux industrielles*. Lille, 1884, in-8°.
- HINRICHSSEN. *Stahl und Eisen*, XXVII, 1907.
- HUET. (Voir GAULLET).
- IMBEAUX. 1, Sur la filtration artificielle de l'eau. *Bulletin de la Société industrielle de l'Est*, n° 43. 1905, Nancy.
2, (Voir DEBAUVE).
- LA COUX (H. DE). *L'eau dans l'industrie*, 2^e édition. Paris, 1907. Dunod et Pinat, in-8°.
- — *L'Ozone et ses applications*, Paris, 1904. Dunod et Pinat, in-8°.
- LAINÉ. (Voir MÜNTZ).
- LANGUMIER. Traitement des eaux industrielles par le système Howatson. *Bulletin* n° 5, 1895, de la *Société des anciens Elèves des Ecoles nationales d'Arts et Métiers*. Chaix, Paris.
- LAUNAY (F.). Rapport sur l'épuration bactérienne des eaux d'égout, nov. 1900. Ville de Paris, service technique des Eaux et de l'Assainissement.
- LÉVY (L.). (Voir MOREAU).

- MARQUET (E.). (Voir BOURREY).
- MEUNIER (LOUIS). (Voir VIGNON).
- MOREAU G.) et LÉVY L.). *Fabrication des bières*. Paris, Béranger, in-8°.
- MÜNTZ et LAINÉ. *C. R. de l'Académie des Sciences*. Paris, 1908.
- RAZOUS (P.). *Eaux d'égout et eaux résiduaires industrielles, épuration, utilisation*. Paris, 1908. Société d'Éditions techniques, in-8°.
- ROLANTS (E.). 1, Épuration biologique des eaux résiduaires de sucreries. *Bulletin de la Société industrielle du Nord de la France*, 1904.
- 2, Epuration biologique des eaux résiduaires d'amidonnerie, *id.* 1905.
- 3, Epuration biologique des eaux résiduaires de féculerie, *id.* 1906.
- TAVRAU (A.). *Épuration des eaux d'alimentation des Chaudières et Désincrustants*. Paris, 1903. Collection des Aide-Mémoire Gauthier-Villars, in-18.
- VERBIÈSE. (Voir DECLERCQ).
- VIÉ. Rapport au Congrès d'Hygiène sociale d'Arras, 1904.
- VIGNON (LÉO.). 1, *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, Paris, 13 mars 1899.
- 2, *Moniteur scientifique*, juillet 1899.
- VOGEL (J.-II.). *Traité d'Analyse chimique* de POST et NEUMANN, trad. Gautier. Paris, 1907. Hermann, in 8°.
- WICKERSHEIMER. *Étude théorique et pratique sur la vaporisation*. Paris, 1905, Dunod, in-8°.

TABLE ALPHABÉTIQUE

- A**
- Acide azoteux (dans les eaux), 57, 71.
 — azotique, 57, 71.
 — carbonique, 56, 69.
 — chlorhydrique, 56, 70.
 — phosphorique, 58.
 — sulfhydrique, 58, 76.
 — sulfurique, 58, 76.
- Acides pour l'épuration des eaux, 192.
- Air dissous dans l'eau, 9.
- Aluminate de baryte, 142, 188.
- Amidonnerie (eaux résiduaire d'), 412.
- Ammoniaque (dosage de l'), 66.
 — (recherche de l'), 55.
- Analyse chimique, 17.
 — — qualitative, 54.
 — — quantitative, 62.
 — complète de l'eau, 54.
 — hydrotimétrique, 21.
 — des incrustations, 128.
- Anderson (procédé), 393.
- Anhydride carbonique dans l'eau, 10.
- Appareil Béranger et Stingl, 263.
 — Dean, 177.
 — Demailly, 240.
 — Dervaux, 248.
 — Gaillet et Huet, 267.
 — Lencauchez, 315.
- Appareil Maignien, 238.
 — Pichler-Sedlacek, 265.
 — Porter, 240.
- Appareils pour l'épuration chimique, 234.
 — purificateurs annexés aux chaudières, 313.
- Avant-chauffeur Green, 314.
 — Sulzer, 314.
- Azotales (dosage des), 71.
- Azotites (dosage des), 74.
- B**
- Baryte, 187.
- Bases (dosage des), 62.
 — (recherche des), 54.
- Barbier (réchauffeur), 323.
- Béranger (décanteur), 263.
- Blanchisseries (usage de l'eau dans les), 99.
- Bouilleur-décanteur Lemaire, 335.
- Brasseries (eau dans les), 110.
- Buisine (procédé), 442.
- Buron (épurateur), 284.
 — (filtre), 363.
 — (réchauffeur), 326.
- Burette hydrotimétrique, 24.
- C**
- Calcul des éléments d'épuration, 208.
- Canalisations (eau dans les), 116.
- Carbonate de chaux, 12.
 — de magnésium, 13.
 — de soude, 190.

- Carbonates alcalins, 190.
 Chaudières à vapeur (eau d'alimentation des), 119.
 — (altérations des), 166.
 — (incrustations dans les), 120.
 — (purification dans les), 138, 313.
 Chauffage (purification par), 311.
 Chaux (dosage de la), 63.
 — (procédé à la), 182, 197.
 — (sulfate de), 13.
 Chevalet (réchauffeur), 318.
 Chlore (dosage), 50, 70.
 Chlorure de calcium, 15.
 — de magnésium, 15.
 — de sodium, 15.
 Clark (procédé), 197, 236.
 Clarification, 344.
 Coefficient de solubilité, 11.
 Composition des eaux, 1.
 — des incrustations, 128.
 Concentration des eaux résiduaires, 401.
 Condensation (eau de), 109, 174.
 Condenseurs (eau des), 174.
 Conduites métalliques (altération des), 116.
 Contrôle de l'épuration, 204.
 Conversion des divers degrés hydrotimétriques, 42.
 Corroierie (de l'eau en), 105.
 Corrosions, 166.
 Cuau (filtre), 376.
 Cunières (dissolveur), 240.
- D**
- Dean (appareil), 177.
 Débourbeur Dervaux, 342.
 Décantation, 262, 344.
 — intermittente, 344.
 — continue, 346.
- Décanteur Béranger et Stingl, 263.
 — Desrumaux, 268.
 — Dujardin, 264.
 — Gaillet et Huet, 267.
 — Pichler et Sedlacek, 265.
 Declercq (épurateur), 286.
 — (méthode), 227.
 — (filtre), 374.
 Degré hydrotimétrique, 23.
 Delattre (procédé), 433.
 Delhotel (épurateur), 330.
 Demollins (procédé), 432.
 Dépôts dans les chaudières à vapeur, 120.
 Derennes (méthode), 218.
 Dervaux (saturateur), 248.
 Desrumaux (saturateur), 252.
 — (filtre), 368.
 Désincrustants, 138.
 Désuintage des laines, 426.
 Détartreur Chevalet, 318.
 — Granddemange, 316.
 — Howatson, 320.
 — Langumier et Buchet, 321.
 — Wollaston, 344.
 Dissolution préalable, 238.
 Dissolveur Cunières, 240.
 — Moison, 242.
 Distillerie (de l'eau en), 113.
 Dosage des acides, 69.
 — des bases, 62.
 — du chlore, 50, 70.
 — des gaz dissous, 80.
 — des matières organiques, 79.
 — des métaux, 77.
 — des réactifs, 236.
 Doseur automatique Desrumaux, 259.
 Dumas (procédé), 387.
 Dureté des eaux, 23.

- Dureté permanente, 23.
 — temporaire, 23.
 — totale, 23.

E

- Eau (anhydride carbonique dans l'), 10.
 — de chaux, 182, 197.
 — (emplois industriels de l'), 95.
 — (impurités dans l'), 9.
 — pour l'alimentation des chaudières à vapeur, 119.
 — dans les blanchisseries, 99.
 — dans la brasserie, 110.
 — dans la boulangerie, 116.
 — dans les canalisations, 116.
 — dans la distillerie, 113.
 — dans la fabrication de la glace et boissons alimentaires, 115.
 — dans les industries chimiques, 103.
 — dans l'industrie des matières colorantes, 103.
 — dans l'industrie de la cellulose, 104.
 — dans l'industrie des savons, 102.
 — dans le lavage des laines, 101.
 — dans les lavoirs, 99.
 — dans les malteries, 110.
 — dans la mégisserie, 105.
 — dans les papeteries, 104.
 — dans la photographie, 106.
 — dans les sucreries, 108.
 — dans les tanneries, 105.
 — dans les teintureries, 97.
 — d'égout, 400.
 Eaux calcaires, 4.
 — de condensation et des condenseurs, 109.

- Eaux dures, 23.
 — de forage, 3.
 — industrielles (différentes espèces), 1.
 — de mer, 7.
 — météoriques, 3.
 — de mines, 4.
 — de pluies, 3.
 — potables, 2.
 — de rivière, 6.
 — séléniteuses, 4.
 — de sources, 5.
 — souterraines, 3.
 — superficielles, 6.
 — résiduaires industrielles 379.
 — purification par alumine et fer, 387.
 — — procédé Boblique, 443.
 — — procédé Buisine, 442.
 — — procédé Gaillet, 405.
 — — procédé Howatson, 388, 441.
 — — procédé Le Chatelier, 387.
 — — procédé Le Grand, 441.
 — — procédé au perchlorure de fer, 387.
 — — procédé par le polarite, 388.
 — — procédé de Suvern, 386.
 — — de Roubaix et Tourcoing, 426.
 — — procédé Schläsing, 386.
 — — procédé électrolytique (Hermite), 394.

Eaux résiduaires industrielles,	Eaux, purification de sucreries,
379.	procédé Op-
— — (emplois des),	permann, 403.
379.	— — de teintureries,
— — d'amidonnerie,	446.
412.	Ébullition, 157.
— — des blanchis-	Électrolyseur Hermite, 394.
serics et lavoirs,	Épuration bactérienne, 395.
425.	— des eaux résiduaires,
— — de désuintage	379.
des laines, 426.	— des eaux résiduaires
— — des fabriques de	par les procédés
colle, 444.	biologiques, 395.
— — des féculeries,	— des eaux résiduaires
419.	par les procédés
— — des industries de	chimiques, 384.
cuir et de	— des eaux résiduaires
peaux, 444.	par le sol, 382.
— — des papeteries,	— (calcul des éléments
445.	d'), 208.
— — de savonneries,	Épurateur Buron, 284.
425.	— Declercq, 286.
— purification par le procédé	— Delhotel, 330.
Buisinc, 442.	— Desrumaux, 269.
— — procédé Delat-	— (détartreur) Howat-
tre, 433.	son, 320.
— — procédé Demol-	— (automatique) Ho-
lins, 432.	watson, 274.
— — procédé Gaillet,	— Kennicott, 300.
440.	— Langumier et Buchet,
— — procédé Howat-	280.
son, 441.	— Maignien, 238.
— — procédé Vohl,	— Schlichter, 304.
430.	— Steinmüller, 338.
— — de raffineries de	Épurateurs à préparation ma-
pétrole, 447.	nuelle de réactifs,
— — de stéarineries,	273.
447.	Examen physique des eaux, 20.
— — de sucreries, 402.	Extractions (régime des), 172.
— — de sucreries, pro-	
cédeé biologi-	F
que, 406.	
— — procédé Gaillet	Filtration, 348.
et Huët, 405.	Filtre par ascension, 353.

Filtre Baudet, 378.
 — Buron, 363.
 — Cuau, 376.
 — Declercq, 374.
 — Desrumaux, 368.
 — Hans Reisert, 366.
 — Howatson, 356.
 — Langumier et Buchet, 371.
 — Philippe, 375.
 — -presse, 355 et 376.
 — à nettoyage automatique, 355.
 — sous pression, 351 et 371.
Flacon hydrotimétrique, 24.
Flotteur-régulateur, 257.

G

Gaillet et Huet (préparateur de réactif), 248.
Galleries filtrantes, 349.
Gaz dans l'eau, 9.
Granddemange (détartreur), 316.
Green (avant-chauffeur), 314.

H

Hans Reisert (filtre), 366.
Hermite (électrolyseur), 394.
Howatson (épurateur automatique), 274.
 — (épurateur - détartreur), 320.
 — (épurateur manuel), 278.
 — (filtre), 356.
 — (procédé), 388.
Huile dans les eaux de condensation, 174.
Hydrogène sulfuré dans l'eau, 11, 76.
Hydrotimétrie, 21.

L'eau dans l'industrie.

I

Impuretés de l'eau, 9.
Incrustations (analyse des), 128.
Incrustations dans les chaudières à vapeur, 120.
Industries chimiques, 103.
Irrigation, 382.
Interprétation des résultats de l'hydrotimétrie, 37.

K

Kennicott (épurateur), 300.

L

Lait de chaux, 182, 197.
Langumier et Buchet (épurateur — automatique), 280.
 — (épurateur manuel), 282.
 — (réchauffeur), 321.
 — (filtre), 371.
Lavage des laines, 101, 428.
Lavoirs, 99.
Le Chatelier (procédé), 387.
Légrand (procédé), 441.
Lemaire (bouilleur-décanteur), 334.
Lencauchez (réchauffeur), 315.
Le Tellier (saturateur), 245.
Liqueurs hydrotimétriques, 27.
Lits bactériens, 395.

M

Magnésie (dosage de la), 64.
 — (sulfate de), 14.
Magnésium (chlorure de), 15.
Maignien (épurateur), 238.
Malteries, 111.

- Marmier (procédé), 307.
- Matières minérales des eaux, 11.
- organiques, 16.
- — (dosage des), 79.
- organiques (dosage volumétrique), 50.
- en suspension (dosage des), 20.
- Mer (eaux de), 7.
- Métaux (dosage des), 77.
- (recherche des), 59.
- Méthode Clark, 197, 236.
- Declercq et Verbièse, 227.
- Derennes, 218.
- Vignon et Meunier, 208.
- Moison (dissolveur), 242.
- N**
- Nettoyage automatique des filtres, 355.
- des générateurs, 177.
- Nitrates (dosage des), 71.
- (recherche des), 57.
- Nitrites (dosage des), 74.
- (recherche des), 52, 57.
- O**
- Oppermann (procédé), 403.
- Oxalates alcalins, 194.
- Oxygène (dosage de l'), 83.
- Ozone (stérilisation par), 306.
- P**
- Papeteries, 104 et 445.
- Peignage des laines, 426.
- Pluie (eaux de), 3.
- Polarite, 388.
- Précipitation par entraînement, 348.
- Précipitation des sels de magnésie par la chaux et carbonate de soude, 231.
- Prélèvement des eaux, 17.
- Primage, 158.
- Procédé (pour l'épuration des eaux résiduaires), 382.
- Anderson, 393.
- biologique, 395.
- Buisine, 442.
- à la chaux, 439.
- Declercq et Godine, 439.
- Defosse, 386.
- Delattre, 433.
- par électrolyse, 394.
- au fer métallique, 393.
- au ferrochlore, 392.
- P. Gaillet, 440.
- Gaillet et Huet, 405.
- Howatson, 388 et 441.
- Le Chatelier, 387.
- Legrand, 441.
- Marmier et Abraham (stérilisation), 307.
- Demollins, 432.
- Oppermann, 403.
- Piet et Dumas, 387.
- Schloesing, 386.
- Scott, 387.
- Suvern, 386.
- Vial, 385.
- Vohl, 430.
- Puits (eaux de), 4.
- de mines, 4.
- Purification de l'eau par les acides, 192.
- de l'eau par les alcalis et les sels, 182.
- de l'eau dans les chaudières, 138, 335.

- Purification de l'eau par les procédés chimiques, 181.
- de l'eau par chauffage et réaction chimique, 311.
- de l'eau par le fer, 393.
- des eaux d'égout, 400.
- des eaux résiduaires par irrigation, 382.
- des eaux résiduaires par la méthode biologique, 395.
- des eaux résiduaires par réaction chimique, 384.
- Pustules (corrosions en), 167.
- R**
- Réactifs épurants, 182.
- Réactions chimiques de l'épuration, 181.
- Réchauffeur Barbier, 323.
- Buron, 326.
- Chevalet, 318.
- Delhotel, 330.
- Langumier et Buchet, 321.
- Lencauchez, 315.
- Réchauffeurs, 313.
- Recherche des acides, 56.
- des bases, 54.
- des métaux, 59.
- des nitrites, 52.
- Résidu de l'eau (dosage), 48.
- fixe, 48.
- Résiduaires (eaux), 379.
- Revolver Anderson, 393.
- Rivières (eaux de), 6.
- S**
- Saturateur Dervaux, 248.
- Desrumaux, 252.
- Le Tellier, 215.
- Saturation, 244 et 292.
- Savons (industrie des), 102.
- calcaires, 22.
- Scott (procédé), 387.
- Schlichter (épurateur), 304.
- Sels d'alumine, 196.
- de baryum, 187.
- de fer, 196.
- incrustants, 123.
- Septic-tanks, 395.
- Silicate de soude, 148.
- Silice (dans les eaux), 16.
- Sol (pouvoir épurant du), 382.
- Soude et potasse caustiques, 189.
- Source (eaux de), 5.
- Steinmüller (épurateur), 338.
- Stérilisation par l'ozone, 306.
- Sucreries, 108 et 402.
- Sulfate de chaux, 13.
- de magnésium, 14.
- Sulzer (avant-chauffeur), 314.
- Suvern (procédé), 386.
- Système Talmage, 343.
- T**
- Talmage (système), 343.
- Tanneries, 105, 444.
- Tannin et tannates alcalins, 149.
- Tartre, 120.
- Tcintureries, 97, 446.
- Titrage de la liqueur hydrotimétrique, 28.
- Traitement des eaux résiduaires, 379.
- des eaux de lavage des laines, 428.
- des eaux de peignage des laines, 426.

U		
Utilisation des eaux résiduaires, 379.	Vaporisation, 157.	
Usages industriels de l'eau, 95.	Vidange des générateurs, 177.	
	Vohl (procédé), 430.	
V		
Valeur de 1 degré hydrotimétrique, 40.	W	
	Wollaston (détartreur), 341.	

TABLE SYSTÉMATIQUE DES MATIÈRES

PRÉFACE de M. Max de Nansouty.	XIII
INTRODUCTION :	
Du rôle de l'eau dans l'industrie.	XIX

CHAPITRE I

COMPOSITION DES EAUX INDUSTRIELLES

I. Différentes espèces d'eau employées dans l'industrie. . .	1
Eaux météoriques	3
Eaux souterraines.	3
Eaux de source.	5
Eaux superficielles	6
II. Corps formant les impuretés de l'eau	9

CHAPITRE II

ANALYSE DES EAUX INDUSTRIELLES

Prélèvement des échantillons	17
Examen physique.	20
Matières en suspension	20
I. Analyse des eaux par la méthode hydrotimétrique . . .	21
Principe de la méthode hydrotimétrique	21
Mode opératoire	26
Liqueurs et réactifs nécessaires pour l'hydrotimétrie . .	27
Réactifs	30
Précautions à prendre dans les essais hydrotimétriques .	31
Analyse hydrotimétrique d'une eau	32
1° Détermination du degré hydrotimétrique de l'eau natu- relle	33
2° Détermination du degré hydrotimétrique sur l'eau après élimination de la chaux par l'oxalate d'am- moniaque.	36
3° Détermination du degré hydrotimétrique sur l'eau après élimination, par l'ébullition, du gaz carbonique et du carbonate de chaux.	36

4° Détermination du degré hydrotimétrique sur l'eau bouillie, après élimination, par l'oxalate d'ammoniaque, des sels de chaux autres que le carbonate précipité précédemment par ébullition.	37
Interprétation des résultats	37
Dosage des sulfates.	41
Dosage des chlorures	42
II. Méthode rapide pour l'analyse des eaux industrielles. .	47
1. Analyse hydrotimétrique.	48
2. Détermination du résidu fixe séché à 100° et de la perte de poids que ce résidu éprouve au rouge sombre (Résidu fixe). Recherche des nitrates. — Dosage de l'acide sulfurique	48
3. Dosage du chlore	50
4. Dosage de la matière organique totale	50
5. Recherche des nitrites	52
III. Analyse complète des eaux.	54
Recherche des bases	54
Recherche des acides	56
Recherche des métaux	59
Dosages des bases	62
Dosages des acides	69
Dosages des métaux	77
Dosages des matières organiques	79
Dosages des gaz dissous dans l'eau	80
Eaux résiduaires industrielles.	89

CHAPITRE III

USAGES INDUSTRIELS DE L'EAU. — RÔLE ET INCONVÉNIENTS DES CORPS DISSOUS DANS LES DIVERSES INDUSTRIES

I. De l'eau dans les teintureries, usines d'appréts et de blanchiment	97
II. De l'eau dans les blanchisseries, lavoirs, etc.	99
III. De l'eau dans l'industrie du lavage des laines et des textiles	101
IV. De l'eau dans l'industrie des savons.	102
V. De l'eau dans l'industrie des matières colorantes, des laques, des extraits et des produits chimiques. . .	103
VI. De l'eau dans les papeteries et autres industries utilisant la cellulose.	104
VII. De l'eau employée dans les tanneries, corroieries, mégisseries, chamoiseries.	105

TABIE SYSTÉMATIQUE DES MATIÈRES	463
VIII. De l'eau en photographie	106
IX. De l'eau dans l'industrie sucrière (Sucreries et Raffineries)	108
X. L'eau en brasserie.	110
XI. L'eau en distillerie	113
XII. De l'eau dans la fabrication de la glace, des boissons et autres industries alimentaires.	115
XIII. De l'eau dans les canalisations	116

CHAPITRE IV

DES EAUX D'ALIMENTATION DES GÉNÉRATEURS DE VAPEUR

I. Des incrustations.	120
Analyse des incrustations.	128
II. Des désincrustants.	138
III. Des corrosions	166
IV. Nettoyage et vidange des générateurs.	177

CHAPITRE V

EXAMEN CRITIQUE DES RÉACTIONS SERVANT DE BASE A L'ÉPURATION CHIMIQUE

Des réactifs pouvant être utilisés pour l'épuration chimique	182
Procédé d'épuration basé sur l'emploi simultané de la chaux et de la soude.	197

CHAPITRE VI

ESSAIS DES EAUX INDUSTRIELLES EN VUE DE LA DÉTERMINATION ET DU CONTRÔLE DE LA MARCHÉ DE L'ÉPURATION

I. Manière de formuler une analyse d'eau	205
II. Calcul des éléments d'épuration des eaux industrielles.	208
1. Méthode Léo Vignon et Louis Meunier	208
2. Méthode Derennes	218
Exemple du calcul des doses de réactifs épurants.	224
3. Méthode Declercq et Verbièse	227
Note sur la précipitation des sels de magnésie par l'action de la chaux et du carbonate de soude.	231

CHAPITRE VII

APPAREILS POUR L'ÉPURATION CHIMIQUE A FROID

I. Dosage des réactifs. — Saturateurs	236
II. Décantation. — Décanteurs.	262
III. Principaux systèmes d'épurateurs automatiques	272
Stérilisation des eaux par l'ozone	308

CHAPITRE VIII

ÉPURATION PHYSIQUE PAR LA CHALEUR
AVEC OU SANS ÉPURATION CHIMIQUE COMBINÉE

I. De l'épuration physique par la chaleur	311
II. Épurateurs. — Réchauffeurs	313

CHAPITRE IX

DE LA CLARIFICATION DES EAUX

I. Clarification par dépôt et décantation.	344
1. Décantation intermittente	344
2. Décantation continue.	346
II. Clarification par filtration. — Filtres industriels.	348

CHAPITRE X

ÉPURATION ET UTILISATION DES EAUX RÉSIDUAIRES INDUSTRIELLES

I. Épuration par le sol	382
II. Épuration chimique.	384
III. Épuration biologique ou bactérienne	395
IV. Traitement particulier des eaux résiduaires des principales industries.	400
1. Eaux résiduaires de sucrerie	402
2. Eaux résiduaires d'amidonnerie.	412
3. Eaux résiduaires de féculerie.	419
4. Eaux résiduaires savonneuses.	425
5. Eaux résiduaires diverses.	444
INDEX BIBLIOGRAPHIQUE.	449
TABLE ALPHABÉTIQUE.	453
TABLE SYSTÉMATIQUE.	461

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE

Publiée sous la direction du D^r TOULOUSE

Nous avons entrepris la publication, sous la direction générale de son fondateur, le D^r Toulouse, Directeur à l'École des Hautes-Études, d'une ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE de langue française dont on mesurera l'importance à ce fait qu'elle est divisée en 40 sections ou Bibliothèques et qu'elle comprendra environ 1000 volumes. Elle se propose de rivaliser avec les plus grandes encyclopédies étrangères et même de les dépasser, tout à la fois par le caractère nettement scientifique et la clarté de ses exposés, par l'ordre logique de ses divisions et par son unité, enfin par ses vastes dimensions et sa forme pratique.

I

PLAN GÉNÉRAL DE L'ENCYCLOPÉDIE

Mode de publication. — L'*Encyclopédie* se composera de monographies scientifiques, classées méthodiquement et formant dans leur enchaînement un exposé de toute la science. Organisée sur un plan systématique, cette Encyclopédie, tout en évitant les inconvénients des Traités, — massifs, d'un prix global élevé, difficiles à consulter, — et les inconvénients des Dictionnaires, — où les articles scindés irrationnellement, simples chapitres alphabétiques, sont toujours nécessairement incomplets, — réunira les avantages des uns et des autres.

Du *Traité*, l'*Encyclopédie* gardera la supériorité que possède

un ensemble complet, bien divisé et fournissant sur chaque science tous les enseignements et tous les renseignements qu'on en réclame. Du Dictionnaire, l'*Encyclopédie* gardera les facilités de recherches par le moyen d'une table générale, l'*Index de l'Encyclopédie*, qui paraîtra dès la publication d'un certain nombre de volumes et sera réimprimé périodiquement. L'*Index* renverra le lecteur aux différents volumes et aux pages où se trouvent traités les divers points d'une question.

Les éditions successives de chaque volume permettront de suivre toujours de près les progrès de la science. Et c'est par là que s'affirme la supériorité de ce mode de publication sur tout autre. Alors que, sous sa masse compacte, un traité, un dictionnaire ne peut être réédité et renouvelé que dans sa totalité et qu'à d'assez longs intervalles, inconvénients graves qu'atténuent mal des suppléments et des appendices, l'*Encyclopédie scientifique*, au contraire, pourra toujours rajeunir les parties qui ne seraient plus au courant des derniers travaux importants. Il est évident, par exemple, que si des livres d'algèbre ou d'acoustique physique peuvent garder leur valeur pendant de nombreuses années, les ouvrages exposant les sciences en formation, comme la chimie physique, la psychologie ou les technologies industrielles, doivent nécessairement être remaniés à des intervalles plus courts.

Le lecteur appréciera la souplesse de publication de cette *Encyclopédie*, toujours vivante, qui s'élargira au fur et à mesure des besoins dans le large cadre tracé dès le début, mais qui constituera toujours, dans son ensemble, un traité complet de la Science, dans chacune de ses sections un traité complet d'une science, et dans chacun de ses livres une monographie complète. Il pourra ainsi n'acheter que telle ou telle section de l'*Encyclopédie*, sûr de n'avoir pas des parties dépareillées d'un tout.

L'*Encyclopédie* demandera plusieurs années pour être achevée ; car pour avoir des expositions bien faites, elle a pris ses collaborateurs plutôt parmi les savants que parmi les professionnels de la rédaction scientifique que l'on retrouve généralement dans les œuvres similaires. Or les savants écrivent peu et lentement : et il est préférable de laisser temporairement sans attribution certains ouvrages plutôt que de les confier à des auteurs insuffisants. Mais cette lenteur et ces vides ne présenteront pas d'in-

convénients, puisque chaque livre est une œuvre indépendante et que tous les volumes publiés sont à tout moment réunis par l'*Index de l'Encyclopédie*. On peut donc encore considérer l'*Encyclopédie* comme une librairie, où les livres soigneusement choisis, au lieu de représenter le hasard d'une production individuelle, obéiraient à un plan arrêté d'avance, de manière qu'il n'y ait ni lacune dans les parties ingrates, ni double emploi dans les parties très cultivées.

Caractère scientifique des ouvrages. — Actuellement, les livres de science se divisent en deux classes bien distinctes : les livres destinés aux savants spécialisés, le plus souvent incompréhensibles pour tous les autres, faute de rappeler au début des chapitres les connaissances nécessaires, et surtout faute de définir les nombreux termes techniques incessamment forgés, ces derniers rendant un mémoire d'une science particulière inintelligible à un savant qui en a abandonné l'étude durant quelques années ; et ensuite les livres écrits pour le grand public, qui sont sans profit pour des savants et même pour des personnes d'une certaine culture intellectuelle.

L'*Encyclopédie scientifique* a l'ambition de s'adresser au public le plus large. Le savant spécialisé est assuré de rencontrer dans les volumes de sa partie une mise au point très exacte de l'état actuel des questions ; car chaque Bibliothèque, par ses techniques et ses monographies, est d'abord faite avec le plus grand soin pour servir d'instrument d'études et de recherches à ceux qui cultivent la science particulière qu'elle représente, et sa devise pourrait être : *Par les savants, pour les savants*. Quelques-uns de ces livres seront même, par leur caractère didactique, destinés à devenir des ouvrages classiques et à servir aux études de l'enseignement secondaire ou supérieur. Mais, d'autre part, le lecteur non spécialisé est certain de trouver, toutes les fois que cela sera nécessaire, au seuil de la section, — dans un ou plusieurs volumes de généralités, — et au seuil du volume, — dans un chapitre particulier, — des données qui formeront une véritable introduction le mettant à même de poursuivre avec profit sa lecture. Un vocabulaire technique, placé, quand il y aura lieu, à la fin du volume, lui permettra de connaître toujours le sens des mots spéciaux.

II

ORGANISATION SCIENTIFIQUE

Par son organisation scientifique, l'*Encyclopédie* paraît devoir offrir aux lecteurs les meilleures garanties de compétence. Elle est divisée en Sections ou Bibliothèques, à la tête desquelles sont placés des savants professionnels spécialisés dans chaque ordre de sciences et en pleine force de production, qui, d'accord avec le Directeur général, établissent les divisions des matières, choisissent les collaborateurs et acceptent les manuscrits. Le même esprit se manifestera partout : éclectisme et respect de toutes les opinions logiques, subordination des théories aux données de l'expérience, soumission à une discipline rationnelle stricte ainsi qu'aux règles d'une exposition méthodique et claire. De la sorte, le lecteur, qui aura été intéressé par les ouvrages d'une section dont il sera l'abonné régulier, sera amené à consulter avec confiance les livres des autres sections dont il aura besoin, puisqu'il sera assuré de trouver partout la même pensée et les mêmes garanties. Actuellement, en effet, il est, hors de sa spécialité, sans moyen pratique de juger de la compétence réelle des auteurs.

Pour mieux apprécier les tendances variées du travail scientifique adapté à des fins spéciales, l'*Encyclopédie* a sollicité, pour la direction de chaque Bibliothèque, le concours d'un savant placé dans le centre même des études du ressort. Elle a pu ainsi réunir des représentants des principaux Corps savants, Établissements d'enseignement et de recherches de langue française :

Institut.

Académie de Médecine.

Collège de France.

Muséum d'Histoire naturelle.

École des Hautes-Études.

Sorbonne et École normale.

Facultés des Sciences.

Facultés des Lettres.

Facultés de Médecine.

Instituts Pasteur.

École des Ponts et Chaussées.

École des Mines.

École Polytechnique.

Conservatoire des Arts et Métiers.

École d'Anthropologie.

Institut National agronomique.

École vétérinaire d'Alfort.

École supérieure d'Électricité.

École de Chimie industrielle de Lyon.

École des Beaux-Arts.

École des Sciences politiques.

Observatoire de Paris.

Hôpitaux de Paris.

III

BUT DE L'ENCYCLOPÉDIE

Au XVIII^e siècle, « l'Encyclopédie » a marqué un magnifique mouvement de la pensée vers la critique rationnelle. A cette époque, une telle manifestation devait avoir un caractère philosophique. Aujourd'hui, l'heure est venue de renouveler ce grand effort de critique, mais dans une direction strictement scientifique; c'est là le but de la nouvelle *Encyclopédie*.

Ainsi la science pourra lutter avec la littérature pour la direction des esprits cultivés, qui, au sortir des écoles, ne demandent guère de conseils qu'aux œuvres d'imagination et à des encyclopédies où la science a une place restreinte, tout à fait hors de proportion avec son importance. Le moment est favorable à cette tentative; car les nouvelles générations sont plus instruites dans l'ordre scientifique que les précédentes. D'autre part, la science est devenue, par sa complexité et par les corrélations de ses parties, une matière qu'il n'est plus possible d'exposer sans la collaboration de tous les spécialistes, unis là comme le sont les producteurs dans tous les départements de l'activité économique contemporaine.

A un autre point de vue, l'*Encyclopédie*, embrassant toutes les manifestations scientifiques, servira comme tout inventaire à mettre au jour les lacunes, les champs encore en friche ou abandonnés, — ce qui expliquera la lenteur avec laquelle certaines sections se développeront, — et suscitera peut-être les travaux nécessaires. Si ce résultat est atteint, elle sera fière d'y avoir contribué.

Elle apporte en outre une classification des sciences et, par ses divisions, une tentative de mesure, une limitation de chaque domaine. Dans son ensemble, elle cherchera à refléter exactement le prodigieux effort scientifique du commencement de ce siècle et un moment de sa pensée, en sorte que dans l'avenir elle reste le document principal où l'on puisse retrouver et consulter le témoignage de cette époque intellectuelle.

On peut voir aisément que l'*Encyclopédie* ainsi conçue, ainsi réalisée, aura sa place dans toutes les bibliothèques publiques, universitaires et scolaires, dans les laboratoires, entre les mains

des savants, des industriels et de tous les hommes instruits qui veulent se tenir au courant des progrès, dans la partie qu'ils cultivent eux-mêmes ou dans tout le domaine scientifique. Elle fera jurisprudence, ce qui lui dicte le devoir d'impartialité qu'elle aura à remplir.

Il n'est plus possible de vivre dans la société moderne en ignorant les diverses formes de cette activité intellectuelle qui révolutionne les conditions de la vie ; et l'interdépendance de la science ne permet plus aux savants de rester cantonnés, spécialisés dans un étroit domaine. Il leur faut, — et cela leur est souvent difficile, — se mettre au courant des recherches voisines. A tous, l'*Encyclopédie* offre un instrument unique dont la portée scientifique et sociale ne peut échapper à personne.

IV

CLASSIFICATION DES MATIÈRES SCIENTIFIQUES

La division de l'*Encyclopédie* en Bibliothèques a rendu nécessaire l'adoption d'une classification des sciences, où se manifeste nécessairement un certain arbitraire, étant donné que les sciences se distinguent beaucoup moins par les différences de leurs objets que par les divergences des aperçus et des habitudes de notre esprit. Il se produit en pratique des interpénétrations réciproques entre leurs domaines, en sorte que, si l'on donnait à chacun l'étendue à laquelle il peut se croire en droit de prétendre, il envahirait tous les territoires voisins ; une limitation assez stricte est nécessitée par le fait même de la juxtaposition de plusieurs sciences.

Le plan choisi, sans viser à constituer une synthèse philosophique des sciences, qui ne pourrait être que subjective, a tendu pourtant à échapper dans la mesure du possible aux habitudes traditionnelles d'esprit, particulièrement à la routine didactique, et à s'inspirer de principes rationnels.

Il y a deux grandes divisions dans le plan général de l'*Encyclopédie* : d'un côté les sciences pures, et, de l'autre, toutes les technologies qui correspondent à ces sciences dans la sphère des applications. A part et au début, une Bibliothèque d'introduc-

tion générale est consacrée à la philosophie des sciences (histoire des idées directrices, logique et méthodologie).

Les sciences pures et appliquées présentent en outre une division générale en sciences du monde inorganique et en sciences biologiques. Dans ces deux grandes catégories, l'ordre est celui de particularité croissante, qui marche parallèlement à une rigueur décroissante. Dans les sciences biologiques pures enfin, un groupe de sciences s'est trouvé mis à part, en tant qu'elles s'occupent moins de dégager des lois générales et abstraites que de fournir des monographies d'êtres concrets, depuis la paléontologie jusqu'à l'anthropologie et l'ethnographie.

Étant donnés les principes rationnels qui ont dirigé cette classification, il n'y a pas lieu de s'étonner de voir apparaître des groupements relativement nouveaux, une biologie générale, — une physiologie et une pathologie végétales, distinctes aussi bien de la botanique que de l'agriculture, — une chimie physique, etc.

En revanche, des groupements hétérogènes se disloquent pour que leurs parties puissent prendre place dans les disciplines auxquelles elles doivent revenir. La géographie, par exemple, retourne à la géologie, et il y a des géographies botanique, zoologique, anthropologique, économique, qui sont étudiées dans la botanique, la zoologie, l'anthropologie, les sciences économiques.

Les sciences médicales, immense juxtaposition de tendances très diverses, unies par une tradition utilitaire, se désagrègent en des sciences ou des techniques précises; la pathologie, science de lois, se distingue de la thérapeutique ou de l'hygiène, qui ne sont que les applications des données générales fournies par les sciences pures, et à ce titre mises à leur place rationnelle.

Enfin, il a paru bon de renoncer à l'anthropocentrisme qui exigeait une physiologie humaine, une anatomie humaine, une embryologie humaine, une psychologie humaine. L'homme est intégré dans la série animale dont il est un aboutissant. Et ainsi, son organisation, ses fonctions, son développement, s'éclairent de toute l'évolution antérieure et préparent l'étude des formes plus complexes des groupements organiques qui sont offerts par l'étude des sociétés.

On peut voir que, malgré la prédominance de la préoccupation pratique dans ce classement des Bibliothèques de l'*Encyclopédie scientifique*, le souci de situer rationnellement les sciences dans leurs rapports réciproques n'a pas été négligé. Enfin il est à peine besoin d'ajouter que cet ordre n'implique nullement une hiérarchie, ni dans l'importance ni dans les difficultés des diverses sciences. Certaines, qui sont placées dans la technologie, sont d'une complexité extrême, et leurs recherches peuvent figurer parmi les plus ardues.

Prix de la publication. — Les volumes, illustrés pour la plupart, seront publiés dans le format in-18 jésus et cartonnés. De dimensions commodes, ils auront 400 pages environ, ce qui représente une matière suffisante pour une monographie ayant un objet défini et important, établie du reste selon l'économie du projet qui saura éviter l'émiettement des sujets d'exposition. Le prix étant fixé uniformément à 5 francs, c'est un réel progrès dans les conditions de publication des ouvrages scientifiques, qui, dans certaines spécialités, coûtent encore si cher.

TABLE DES BIBLIOTHÈQUES

DIRECTEUR : D^r TOULOUSE, Directeur de Laboratoire à l'École des Hautes Études.

SECRETÉAIRE GÉNÉRAL : H. PIÉRON, agrégé de l'Université.

DIRECTEURS DES BIBLIOTHÈQUES :

1. *Philosophie des Sciences.* P. PAINLEVÉ, de l'Institut, professeur à la Sorbonne.

I. SCIENCES PURES

A. Sciences mathématiques :

2. *Mathématiques* J. DRACH, professeur à la Faculté des Sciences de l'Université de Toulouse.
3. *Mécanique* J. DRACH, professeur à la Faculté des Sciences de l'Université de Toulouse.

B. Sciences inorganiques :

4. *Physique.* A. LEDUC, professeur adjoint de physique à la Sorbonne.
5. *Chimie physique.* . . . J. PERRIN, chargé de cours à la Sorbonne.
6. *Chimie* A. PICTET, professeur à la Faculté des Sciences de l'Université de Genève.
7. *Astronomie et Physique céleste.* J. MASCART, astronome adjoint à l'Observatoire de Paris.
8. *Météorologie* B. BRUNHES, professeur à la Faculté des Sciences de l'Université de Clermont-Ferrand, directeur de l'Observatoire du Puy-de-Dôme.
9. *Minéralogie et Pétrographie.* A. LACROIX, de l'Institut, professeur au Muséum d'Histoire naturelle.
10. *Géologie.* M. BOULE, professeur au Muséum d'Histoire naturelle.

11. *Océanographie physique*. J. RICHARD, directeur du Musée Océanographique de Monaco.

C. Sciences biologiques normatives :

- | | | | |
|--|-----------------------------------|---|---|
| | } A. <i>Biologie générale</i> . | M. CAULLERY, professeur adjoint à la Sorbonne. | |
| 12. <i>Biologie</i> . | | B. <i>Océanographie biologique</i> . | J. RICHARD, directeur du Musée Océanographique de Monaco. |
| 13. <i>Physique biologique</i> . | | A. IMBERT, professeur à la Faculté de Médecine de l'Université de Montpellier. | |
| 14. <i>Chimie biologique</i> . | | G. BERTRAND, chargé de cours à la Sorbonne. | |
| 15. <i>Physiologie et Pathologie végétales</i> . | | L. MANGIN, professeur au Muséum d'Histoire naturelle. | |
| 16. <i>Physiologie</i> . | | J.-P. LANGLOIS, professeur agrégé à la Faculté de Médecine de Paris. | |
| 17. <i>Psychologie</i> . | | E. TOULOUSE, directeur de Laboratoire à l'École des Hautes Études, médecin en chef de l'asile de Villejuif. | |
| 18. <i>Sociologie</i> . | | G. RICHARD, professeur à la Faculté des Lettres de l'Université de Bordeaux. | |
| — | | | |
| 19. <i>Microbiologie et Parasitologie</i> . | | A. CALMETTE, professeur à la Faculté de Médecine de l'Université, directeur de l'Institut Pasteur de Lille. | |
| | } A. <i>Pathologie médicale</i> . | M. KLIPPEL, médecin des Hôpitaux de Paris. | |
| 20. <i>Pathologie</i> . | | B. <i>Neurologie</i> . | E. TOULOUSE, directeur de Laboratoire à l'École des Hautes Études, médecin en chef de l'asile de Villejuif. |
| | | C. <i>Path. chirurgicale</i> . | L. PICQUÉ, chirurgien des Hôpitaux de Paris. |

D. Sciences biologiques descriptives :

- | | | |
|----------------------------|---|--|
| 21. <i>Paléontologie</i> . | | M. BOULE, professeur au Muséum d'Histoire naturelle. |
| 22. <i>Botanique</i> . | } A. <i>Généralités et phanérogames</i> . | H. LECOMTE, professeur au Muséum d'Histoire naturelle. |
| | | B. <i>Cryptogames</i> . |

TABLE DES BIBLIOTHÈQUES

XI

23. *Zoologie* G. LOISEL, directeur de Laboratoire à l'École des Hautes Études.
24. *Anatomie et Embryologie* G. LOISEL, directeur de Laboratoire à l'École des Hautes Études.
25. *Anthropologie et Ethnographie* G. PAPILLAULT, directeur adjoint du Laboratoire d'Anthropologie à l'École des Hautes Études, professeur à l'École d'Anthropologie.
26. *Économie politique* D. BELLET, professeur à l'École des Sciences politiques.

• II. SCIENCES APPLIQUÉES

A. Sciences mathématiques :

27. *Mathématiques appliquées* M. D'OCAGNE, professeur à l'École des Ponts et Chaussées, répétiteur à l'École Polytechnique.
28. *Mécanique appliquée et génie* M. D'OCAGNE, professeur à l'École des Ponts et Chaussées, répétiteur à l'École Polytechnique.

B. Sciences inorganiques :

29. *Industries physiques* H. CHAUMAT, sous-directeur de l'École supérieure d'Électricité de Paris.
30. *Photographie* A. SEYEWETZ, sous-directeur de l'École de Chimie industrielle de Lyon.
31. *Industries chimiques* J. DERÔME, professeur agrégé de physique au collège Chaptal, inspecteur des Établissements classés.
32. *Géologie et minéralogie appliquées* L. CAYEUX, professeur à l'Institut national agronomique, professeur de géologie à l'École des Mines.
33. *Construction* J. PILLET, professeur au Conservatoire des Arts et Métiers et à l'École des Beaux-Arts.

C. Sciences biologiques :

34. *Industries biologiques*. G. BERTRAND, chargé de cours à la Sorbonne.
35. *Botanique appliquée et agriculture*, H. LECOMTE, professeur au Muséum d'Histoire naturelle.

36. *Zoologie appliquée* . . R. BARON, professeur à l'École vétérinaire d'Alfort.
37. *Thérapeutique générale et pharmacologie* . . G. POUCHET, membre de l'Académie de médecine, professeur à la Faculté de Médecine de l'Université de Paris.
38. *Hygiène et médecine publiques* A. CALMETTE, professeur à la Faculté de Médecine de l'Université, directeur de l'Institut Pasteur de Lille.
39. *Psychologie appliquée*. E. TOULOUSE, directeur de Laboratoire à l'École des Hautes Études, médecin en chef de l'asile de Villejuif.
40. *Sociologie appliquée*. . TH. RUYSSEN, professeur à la Faculté des Lettres de l'Université de Bordeaux.

M. ALBERT MAIRE, bibliothécaire à la Sorbonne, est chargé de l'*Index* de l'Encyclopédie scientifique.



