

ÉTUDE
SUR LES
EAUX INDUSTRIELLES
ET LEUR ÉPURATION.

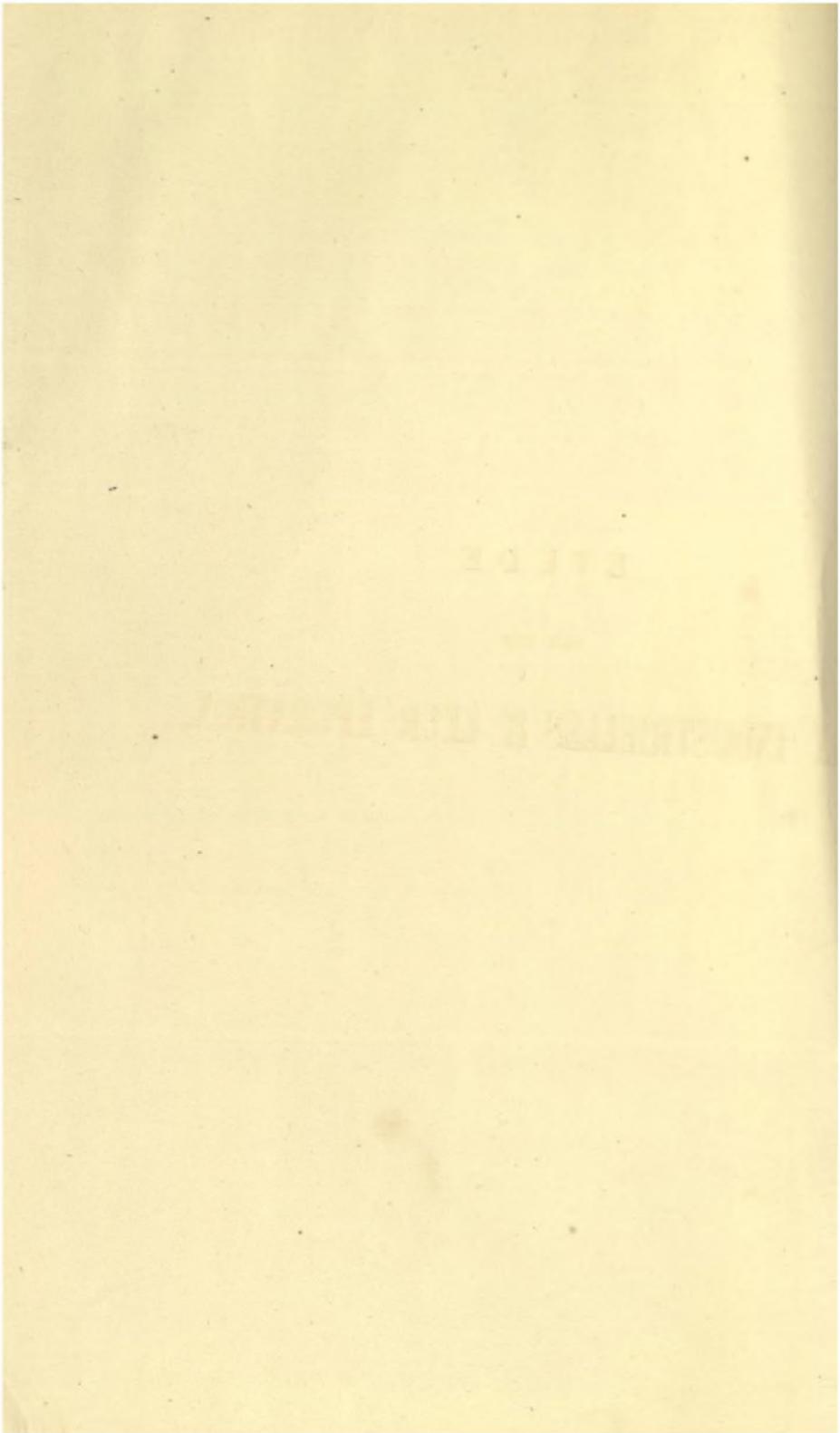
Par MM. GAILLET ET HUET,

Ingénieurs à Lille



LILLE,
IMPRIMERIE DE L. DANIEL.

—
1884.



00180

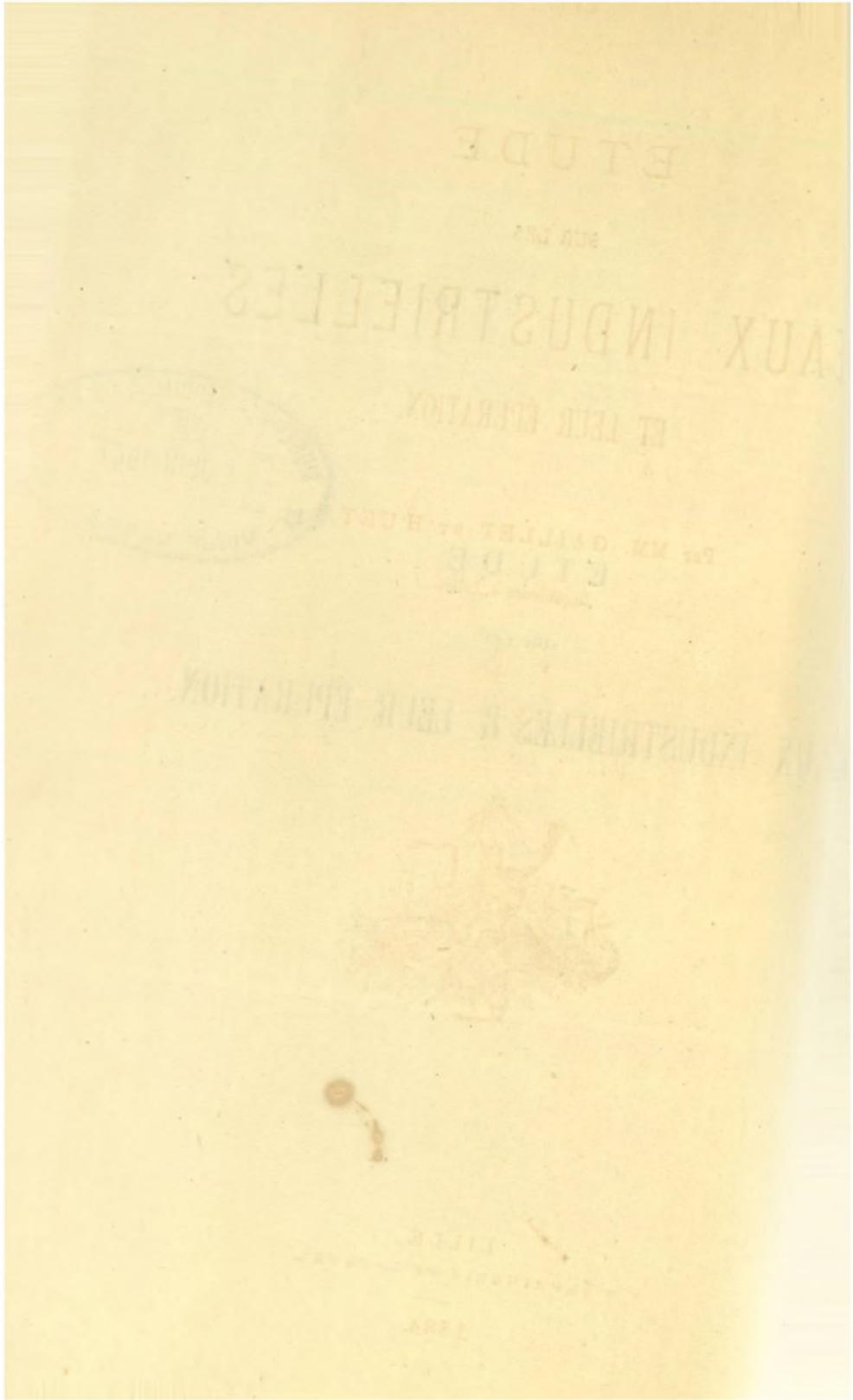
Bmic64



É T U D E

SUR LES

EAUX INDUSTRIELLES & LEUR ÉPURATION.



No Bib 3835161-165946

ÉTUDE
SUR LES
EAUX INDUSTRIELLES
ET LEUR ÉPURATION.

Par MM. GAILLET ET HUET,

Ingénieurs à Lille.



LILLE,
IMPRIMERIE DE L. DANIEL.

1884.

ÉTUDE

EAUX INDUSTRIELLES

INTRODUCTION

DE L'EAU EMPLOYÉE

Notre but en écrivant cette brochure a été de faire connaître à nos lecteurs les conditions de pureté de l'eau industrielle. Nous avons voulu leur démontrer que l'eau employée dans les usines doit être exempte de toute impureté nuisible à la fabrication et à la santé des ouvriers. Nous espérons que ces quelques lignes leur serviront de guide et leur feront connaître les précautions à prendre pour obtenir une eau pure et saine.

Il est évident que l'eau qui sort des puits ou des sources est généralement pure et saine. Mais elle peut être souillée par les émanations des usines voisines ou par les produits chimiques qui s'y trouvent. C'est pourquoi il est nécessaire de faire passer l'eau par un filtre approprié avant de l'employer.

Il est également important de noter que l'eau qui est employée dans les usines doit être exempte de toute impureté nuisible à la fabrication et à la santé des ouvriers. Nous espérons que ces quelques lignes leur serviront de guide et leur feront connaître les précautions à prendre pour obtenir une eau pure et saine.

Il est évident que l'eau qui sort des puits ou des sources est généralement pure et saine. Mais elle peut être souillée par les émanations des usines voisines ou par les produits chimiques qui s'y trouvent. C'est pourquoi il est nécessaire de faire passer l'eau par un filtre approprié avant de l'employer.



INTRODUCTION.

Notre but, en écrivant cette brochure, a été d'étudier l'eau au point de vue industriel. Cette étude comprend l'examen de la nature et de la composition des différentes eaux employées pour les travaux des usines et l'énumération des principaux inconvénients que présentent les impuretés de ces eaux.

Nous passons ensuite en revue les différents moyens qui ont été préconisés pour atténuer ces inconvénients. Nous exposons au fur et à mesure les progrès qui ont été réalisés depuis l'application des désincrustants pour le cas spécial des chaudières à vapeur, jusqu'à l'apparition de l'épuration chimique.

Nous consacrons à l'étude de l'épuration chimique la majeure partie de notre travail. L'importance de cette opération n'échappe à personne; elle est à l'ordre du jour dans toutes les régions industrielles.

Après avoir exposé, au point de vue théorique, les différentes méthodes d'épuration actuellement connues, et montré les avantages et les inconvénients de chacune d'elles, nous sommes amenés à conclure que la méthode de CLARK, l'épuration à la chaux, après une série de perfectionnements, est arrivée au premier rang pour la perfection et l'économie de l'épuration industrielle.

Nous l'étudions en détail en décrivant les principales dispositions pratiques qui ont été employées pour l'application de cette méthode de purification des eaux.

Nous terminons en indiquant, d'une manière complète, notre manière de procéder et en décrivant les appareils que nous avons imaginés pour rendre aussi régulière et aussi satisfaisante que possible l'épuration de l'eau.

Les résultats industriels que nous avons obtenus, confirmés par un grand nombre d'applications, nous font espérer que nous nous sommes approchés de la solution véritablement industrielle et pratique de l'épuration des eaux.

GAILLET ET HUET.

LES EAUX INDUSTRIELLES

PREMIÈRE PARTIE.

§. 1. — *Nature des Eaux.*

Nous devons dire, avant toute chose, que le présent travail s'applique exclusivement aux eaux qui sont employées pour les besoins industriels. Ces eaux sont de provenances diverses : *eaux de pluie, eaux de sources, eaux de forages, eaux de rivières, eaux d'étangs.*

Les *eaux de pluie* ne renferment guère en dissolution que du carbonate et de l'azotate d'ammoniaque et une assez forte proportion de matières organiques. Ces impuretés proviennent de l'atmosphère. Dans quelques cas on y trouve aussi des chlorures et des sulfates, mais en proportions extrêmement minimes. D'une manière générale on peut dire que les eaux de pluie sont très pures et qu'elles conviennent pour tous les besoins industriels.

Les *eaux de sources* ont une composition extrêmement variable qui dépend uniquement des couches qu'elles ont traversées ; elles tiennent en dissolution des sels minéraux empruntés à ces couches : Carbonate de chaux, sulfate de chaux, carbonate de magnésie, sulfate de magnésie, chlorure de sodium, chlorure de calcium, sels de potasse et de soude, alumine, fer, silice, etc. Elles contiennent aussi des matières organiques, également empruntées au sol

qu'elles traversent. On peut dire qu'en général ces eaux sont peu convenables pour les travaux de l'industrie.

La nature des *eaux de forages* est tout à fait comparable à celle des eaux de sources, puisque leurs impuretés proviennent de la même cause. Leur composition est sujette à de grandes variations, selon la profondeur des puits, leur situation topographique, etc. . . . Comme les eaux de sources, les eaux de puits conviennent rarement, dans leur état naturel, pour les usages industriels.

Les *eaux de rivières* sont formées d'eaux de sources auxquelles viennent se joindre les eaux pluviales. On peut donc dire, *a priori*, que les eaux de rivière ont, *qualitativement*, une composition comparable à celle des eaux de sources ou de forages ; mais que, *quantitativement*, elles sont moins chargées de sels et par suite plus pures, c'est-à-dire plus convenables pour les travaux de l'Industrie.

Toutefois, il convient d'ajouter que dans un grand nombre de circonstances les eaux de rivières sont souillées accidentellement par des impuretés amenées par les égoûts des usines et des villes. Leur composition est alors profondément modifiée. On constate que bon nombre de cours d'eau, qui sont d'une grande pureté sur une partie de leur parcours, deviennent troubles et corrompus après leur passage au quai des usines ou après avoir traversé des villes, et arrivent finalement à leur embouchure, après une série d'altérations, dans un état d'infection dangereux pour la santé publique et qui rend l'eau tout à fait impropre aux usages industriels.

Les *eaux des étangs* sont généralement fournies par les pluies, auxquelles viennent se joindre quelquefois des sources de peu d'importance. Elles renferment d'ordinaire une très petite dose de sels minéraux et sont, sous ce rapport, très convenables pour les besoins de l'industrie. Mais, outre que les étangs sont assez rares et leurs eaux peu abondantes, celles-ci sont souvent chargées de matières organiques qui les font proscrire pour certaines opérations délicates.

§ 2. — *Composition des eaux.*

Nous croyons utile de reproduire ci-dessous une série d'analyses d'eaux naturelles qui nous paraissent résumer les différents types d'eaux industrielles qu'on peut rencontrer.

EAUX DE FORAGES.

| PROVENANCE | Titre hydrotimétrique. | Chaux | Magnésie. | Alcalis. | Alumine et fer. | Acide sulfurique. | Acide carbonique libre. | Acide carbonique combiné. | Acide carbonique total. | Chlore | Silice. | Matières organiques. | Résidu total par litre. | Observations |
|---------------------------|------------------------|--------|-----------|----------|-----------------|-------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|--------|---------|----------------------|-------------------------|--------------|
| Orcières (Nord)..... | " | 0.2800 | 0.0550 | 0.4500 | " | 0.4050 | " | " | 0.2800 | 0.0540 | " | 0.0120 | 0.9290 | " |
| Haubourdin (Nord)..... | " | 0.2830 | 0.4500 | 0.4020 | " | 0.1200 | " | " | 0.5700 | 0.0950 | " | 0.1210 | 1.4580 | " |
| Allennes (Nord)..... | " | 0.4190 | 0.0300 | 0.0250 | 0.4280 | 0.0220 | " | " | 0.3500 | 0.0270 | " | 0.0750 | 0.4700 | " |
| Lomme (Nord)..... | " | 0.4399 | 0.0161 | " | 0.0030 | 0.0287 | 0.4700 | 0.0943 | 0.2943 | 0.0294 | 0.0010 | 0.1040 | 0.4170 | " |
| Douville (Seine-et-Oise). | " | 0.4050 | " | " | " | traces. | " | " | 0.1660 | 0.0013 | " | 0.0340 | 0.2763 | " |
| Valenciennes (Nord)..... | " | 0.3500 | 0.0500 | " | 0.0200 | 0.3151 | 0.2740 | 0.4802 | 0.4542 | 0.1450 | 0.0400 | 0.1750 | 1.4250 | (4) |
| Valenciennes (Nord)..... | " | 0.4961 | 0.0480 | " | 0.0050 | 0.1545 | 0.2190 | 0.4904 | 0.4094 | 0.0910 | 0.0350 | 0.2250 | 0.5950 | (4) |
| Valenciennes (Nord)..... | " | 0.3024 | 0.0448 | " | 0.0150 | 0.3175 | 0.3286 | 0.3198 | 0.6484 | 0.1452 | 0.0300 | 0.1140 | 1.4610 | (1) |
| Lille (Nord)..... | " | 0.2187 | 0.0191 | " | " | 0.2639 | 0.0095 | 0.0262 | 0.0357 | 0.0343 | " | 1.7210 | 0.5700 | (2) |
| Auvers (Belgique)..... | " | 0.0350 | " | 0.0403 | 0.2950 | 0.0612 | " | " | 0.4240 | 0.0105 | " | 0.4000 | 0.5360 | (3) |
| Saint-Denis (Seine)..... | " | 0.2901 | Néant | traces. | 0.7500 | 0.7900 | " | " | 0.3830 | 0.0520 | " | 0.5501 | 2.0020 | (4) |
| Saint-Denis (Seine)..... | " | 0.5880 | 0.0250 | 3.2000 | 0.5500 | 1.2420 | " | " | 0.4960 | 0.2210 | " | 0.4100 | 6.3230 | (4) |
| Chauny (Aisne)..... | 39°5 | 0.0904 | 0.0268 | " | traces. | 0.0520 | 0.1730 | 0.0431 | 0.2161 | 0.0481 | " | 0.0451 | 0.2470 | " |
| Saint-André (Nord)..... | " | 0.3008 | 0.0261 | traces. | 0.0030 | 0.0498 | 0.0772 | 0.4520 | 0.2292 | 0.0265 | 0.0450 | 0.0015 | 0.5960 | " |
| Lamothe (Nièvre)..... | " | 0.0756 | 0.0298 | " | 0.0041 | Néant | 0.0812 | " | " | 0.0110 | 0.0020 | traces | 0.2402 | " |
| Saint-Quentin (Aisne)... | " | 0.4014 | 0.0146 | " | " | 0.0093 | 0.0494 | 0.0793 | 0.4287 | 0.0309 | traces. | " | 0.2842 | " |
| Remy (Oise)..... | " | 0.4725 | 0.0054 | " | " | 0.0046 | 0.4334 | 0.4330 | 0.2964 | 0.0171 | " | " | " | " |

(1) Eaux contaminées par l'infiltration des eaux de vidange d'une fabrique.

(2) Eau altérée par l'infiltration d'eaux d'usine à gaz.

(3) Après emploi pour la condensation dans un triple effet.

(4) Eaux probablement altérées par des infiltrations industrielles.

EAUX DE FORAGES (SUITE).

| PROVENANCE. | Titre hydro-métrique. | Chaux | Ma-gnésie. | Alcalis | Alumine et fer. | Acide sulfurique. | Acide carbonique libre. | Acide carbonique combiné. | Acide carbonique total. | Chlore Silice. | Matières organiques. | Résidu total par litre | Obscr. vations |
|-----------------------------|-----------------------|--------|------------|---------|-----------------|-------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|----------------|----------------------|------------------------|----------------|
| La Madeleine-Lille(Nord) | " | 0.4226 | 0.0950 | 0.0276 | " | 0.4569 | " | 0.0360 | " | 0.0424 | 0.0050 | 0.5135 | " |
| Croix (Nord)..... | " | 0.1956 | " | 0.1035 | " | 0.2134 | " | 0.0730 | " | 0.0520 | " | 0.4271 | " |
| Lille (Nord)..... | " | 0.1807 | 0.0085 | 0.0467 | 0.0180 | 0.0684 | " | 0.1224 | " | 0.0568 | " | 0.1430 | " |
| Le Havre (S.-L.)..... | " | 0.0997 | 0.0939 | 0.2280 | 0.0360 | 0.0747 | " | 0.0780 | " | 0.3692 | " | 0.1420 | " |
| Amiens (Somme)..... | " | 0.1410 | 0.0208 | " | " | 0.0023 | 0.0197 | 0.1065 | 0.1262 | 0.0281 | " | 0.2012 | " |
| Barcelone (Espagne)..... | " | 0.1010 | 0.0162 | 0.0162 | 0.0630 | 0.0300 | 0.0035 | 0.1649 | 0.1744 | 0.0331 | 0.0050 | 1.3155 | " |
| Douai (Nord)..... | 37° | 0.1526 | 0.0291 | " | " | 0.0255 | 0.0800 | 0.1061 | 0.1861 | 0.0303 | " | 0.0200 | " |
| Roubaix (Nord)..... | " | 0.1346 | 0.0229 | 0.0123 | 0.0070 | 0.0317 | 0.1157 | 0.1481 | 0.2638 | 0.0190 | 0.0300 | 0.5750 | " |
| Roubaix (Nord)..... | " | 0.0960 | 0.0090 | 0.0242 | 0.0045 | 0.0234 | 0.1068 | 0.1056 | 0.2124 | 0.0220 | 0.0100 | 0.0890 | " |
| Calais (Pas-de-Calais)..... | " | 0.1957 | 0.0313 | 0.1100 | traces. | 0.0710 | 0.2340 | 0.2399 | 0.4739 | 0.0870 | 0.0110 | 0.1650 | " |
| Roubaix (Nord)..... | " | 0.0605 | 0.0325 | 0.1969 | 0.0253 | 0.0404 | " | 0.1659 | " | 0.0161 | 0.0106 | 0.6130 | " |
| Bordeaux..... | 57° | 0.3413 | 0.0252 | 0.0511 | " | 0.1939 | " | " | " | 0.2020 | 0.0013 | 1.0700 | " |
| Bordeaux..... | 67°97 | 0.3895 | 0.0384 | 0.3127 | " | 0.7060 | " | " | " | 0.2320 | 0.0160 | 2.0040 | " |
| Lille..... | " | 0.1481 | 0.0200 | 0.0290 | 0.0075 | 0.0353 | " | " | 0.2170 | 0.0315 | 0.0300 | 0.7000 | " |
| Madeleine (Nord)..... | " | 0.2408 | 0.0340 | 0.0380 | 0.0110 | 0.1103 | " | " | 0.1628 | 0.0425 | 0.0140 | 0.9300 | " |
| Croix (Nord)..... | 31° | 0.1578 | 0.0063 | " | " | 0.0030 | 0.0109 | 0.1217 | 0.1326 | 0.0057 | " | 0.0450 | " |
| Roubaix (Nord)..... | " | 0.0275 | 0.0250 | 0.2632 | 0.0050 | 0.1310 | " | " | 0.1740 | 0.0260 | 0.0310 | 0.6400 | " |
| Saint-Pol-Dunkerque..... | 43° | 0.2179 | 0.0364 | 0.0642 | " | 0.1322 | " | " | 0.1580 | 0.0285 | 0.0140 | 0.7350 | " |
| Saint-Pol-Dunkerque..... | 45° | 0.2364 | 0.0324 | 0.0892 | " | 0.1376 | " | " | 0.1325 | 0.0048 | 0.0300 | 0.8520 | " |
| Lyon..... | 19°5 | 0.0872 | 0.0148 | " | " | 0.0216 | " | 0.0674 | " | 0.0044 | 0.0100 | 0.1150 | " |

EAUX DE RIVIÈRES.

| PROVENANCES. | Titre hydro- chimique. | Ma- gnésie. | Alcalis | Alumine et fer. | Acide sulfu- rique. | Acide carbo- nique lib.e. | Acide carbo- nique ombine | Acide carbo- nique total. | Chlore | Silice. | Matières orga- niques. | Résidu total par litre | O. ser- vations |
|--------------------------|------------------------------|----------------|---------|--------------------|---------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|---------|---------|------------------------------|------------------------------|--------------------|
| Deule (Ancoisne)..... | 0.1680 | 0.0600 | 0.0370 | 0.0030 | 0.0680 | 0.0740 | 0.1720 | 0.2460 | 0.0280 | 0.0020 | 0.0110 | 0.5660 | " |
| Deule (Wambrechies).. | 0.1526 | 0.0084 | 0.0037 | " | 0.0430 | 0.0296 | 0.1136 | 0.1432 | traces. | " | 0.0390 | 0.3213 | " |
| Escribieux (Flers).... | 25° | 0.1354 | 0.0162 | 0.0034 | 0.0124 | " | " | " | 0.0040 | 0.0140 | 0.0400 | 0.3400 | " |
| Rivière (Le Câteau)... | 29° | 0.1659 | " | " | 0.0083 | " | " | 0.1279 | " | " | " | " | " |
| Ruisseau (Glageon).... | 26° | 0.1493 | " | " | 0.0248 | " | " | 0.1039 | " | " | " | " | " |
| Escaut (Anzin)..... | " | 0.1757 | 0.0088 | " | Néant | 0.0495 | 0.1381 | 0.1876 | 0.0119 | " | " | " | " |
| Sausset (Seine-et-Oise). | " | 0.0500 | 0.0402 | 0.5350 | 0.3130 | " | 0.0400 | 0.0370 | 0.0300 | 0.1100 | 0.1100 | 1.5000 | (1) |
| Rhin (Strasbourg)..... | " | 0.0820 | 0.0023 | 0.0051 | 0.0165 | 0.0140 | 0.0849 | 0.0689 | 0.0013 | 0.0488 | 0.0033 | 0.2317 | (2) |
| Rhône (Lyon)..... | " | 0.0222 | 0.0023 | " | 0.0197 | " | 0.0700 | " | " | 0.0070 | " | 0.1840 | " |
| Loire (Orléans)..... | " | 0.0268 | 0.0028 | 0.0125 | 0.0023 | 0.0036 | 0.0415 | 0.0451 | 0.0029 | 0.0406 | " | 0.1346 | (2) |
| Garonne (Toulouse)... | " | 0.0361 | 0.0014 | 0.0118 | 0.0078 | 0.0340 | 0.0448 | 0.0788 | 0.0019 | 0.0401 | " | 0.1367 | (2) |
| Seine (am. Paris)..... | " | 0.1034 | 0.0079 | 0.0125 | 0.0045 | 0.0320 | 0.1018 | 0.1388 | 0.0074 | 0.0244 | " | 0.2514 | (2) |
| Doubs..... | " | 0.1069 | 0.0162 | 0.0033 | 0.0034 | 0.0340 | 0.1162 | 0.1502 | 0.0018 | 0.0159 | " | 0.2251 | (2) |
| Vesle..... | " | 0.0919 | " | 0.0155 | 0.0015 | 0.0011 | 0.0686 | 0.0997 | 0.0050 | 0.0018 | " | 0.1913 | (3) |
| Lys (Tourcoing)..... | 30° | 0.1585 | 0.0256 | 0.0253 | 0.0068 | " | 0.1243 | " | 0.0341 | 0.0103 | 0.0053 | 0.4499 | " |
| Espierre (Espierre) ... | " | " | " | " | " | " | " | " | " | " | 1.1720 | 3.0385 | (4) |
| Bourgoing (Isère)..... | 25°5 | 0.1348 | 0.0117 | 0.0017 | 0.0140 | " | 0.1215 | " | 0.0036 | 0.0041 | 0.0136 | 0.3050 | " |

(1) Eau contaminée par les déjections d'une féculerie.

(2) H. Deville.

(3) Maumenné.

(4) Eau contaminée par des résidus industriels.

§ 3. — *Inconvénients des impuretés des eaux dans les travaux industriels.*

L'industrie recherche les eaux pures, c'est dire des eaux non seulement limpides et débarrassées de toutes matières en suspension, mais encore aussi pauvres que possible en matières dissoutes. Sous ce rapport on peut dire que l'eau distillée serait la perfection. Aussi les industriels qui, par la condensation de la vapeur, produisent de l'eau distillée, la recueillent-ils précieusement pour l'employer dans leurs travaux. L'eau de pluie vient ensuite, mais elle est malheureusement trop peu abondante pour qu'on puisse songer à l'employer exclusivement dans l'industrie. Quelques industriels recueillent bien les eaux pluviales qui tombent sur leur usine pour les utiliser; mais cette source dépendant uniquement des circonstances météorologiques, on ne peut compter sur sa production qui est extrêmement variable. D'un autre côté, dans les cités industrielles, les toitures sont toujours couvertes de débris de charbon, de poussières et d'impuretés diverses, qui font que l'eau recueillie est souvent tellement souillée que son emploi devient impossible.

C'est donc aux eaux de sources, de rivières et de forage que l'industrie a recours dans la plupart des cas. — C'est de celles-là que nous nous occuperons spécialement dans ce qui va suivre.

Nous avons dit que les principales impuretés de ces eaux étaient :

- Carbonate de chaux.
- Sulfate de chaux.
- Chlorure de calcium.
- Carbonate de magnésie.
- Sulfate de magnésie.
- Sels de potasse et de soude.
- Alumine et fer.
- Silice et silicates.
- Matières organiques.

Les inconvénients de ces matières dissoutes dépendent naturellement de l'usage auquel l'eau est employée et aussi de la manière dont elle est employée.

Il est bon de remarquer que les impuretés des eaux ne se bornent pas à des matières *dissoutes*. Très souvent les eaux tiennent *en suspension* des matières minérales et des matières organiques qui sont fort gênantes et dont il est quelquefois difficile de se débarrasser, comme nous le verrons plus loin, bien qu'à première vue une simple décantation ou une filtration paraisse suffire. Hâtons-nous de dire que cette impureté, pour être un mal *apparent* dont on se préoccupe ordinairement beaucoup, est souvent moins nuisible que l'impureté *dissoute* et *invisible* qu'on néglige trop.

C'est une grossière erreur que juger une eau industrielle par ses caractères extérieurs. Parce qu'une eau est tout à fait incolore et d'une limpidité parfaite, il n'en faut pas conclure, comme beaucoup le font, que c'est une eau convenable pour l'industrie.

Bien souvent une autre eau qui sera trouble et d'apparence corrompue vaudra mieux.

Il nous est arrivé fréquemment de voir employer des eaux claires, limpides, qu'on puisait à grands frais dans un forage et qui présentaient à l'usage toutes sortes d'inconvénients, tandis qu'un ruisseau de mauvaise apparence, qui coulait à proximité de l'usine, aurait donné sans frais une eau meilleure pour les travaux de l'industrie. Le choix de l'eau est donc un élément important dans les travaux industriels; il faut éviter de le baser sur l'apparence et ne s'en rapporter qu'à l'analyse chimique ou à l'expérience.

Il serait difficile d'examiner successivement toutes les industries pour énumérer les inconvénients que peuvent avoir, pour chacune d'elles, les impuretés des eaux. Nous devons nous borner à parler des principales et généraliser le plus possible.

Alimentation des chaudières à vapeur. — Un emploi de l'eau qui est à peu près commun à toutes les industries, c'est celui qui concerne la *production de la vapeur*, employée soit pour le chauffage, soit pour développer la force motrice. — On vaporise pour ces usages des quantités considérables d'eau. Le résultat immédiat

de cette vaporisation, c'est la concentration des matières salines, et, finalement, leur *précipitation*.

Qu'on prenne une eau calcaire et qu'on en évapore un litre, soit à l'air libre, soit sur le feu, on constate finalement sur les parois et sur le fond du vase un dépôt. Ce dépôt représente la totalité des matières en dissolution dans l'eau : sels minéraux et matières organiques. Si l'on se reporte aux analyses d'eau que nous publions plus haut, on peut se faire une idée de la quantité de dépôts que peut donner en moyenne une eau industrielle. — Ce qu'on constate en petit par l'évaporation d'un litre d'eau dans un vase ouvert, on le retrouve en grand dans les chaudières à vapeur qu'emploie l'industrie.

Supposons une usine moyenne qui consomme journalièrement pour la production de la vapeur, cinq mille kilogrammes de charbon, ce qui peut être considéré comme une modeste moyenne. Si nous admettons qu'un kilogramme de charbon vaporise 8 kilogrammes d'eau, nous avons, pour la consommation d'eau d'une journée, en litres :

$$5000 \times 8 = 40000$$

Si nous admettons qu'un litre d'eau renferme 1/2 gramme d'impuretés, ce qui est aussi une modeste moyenne, nous pouvons conclure que le travail d'une journée accumulera dans les chaudières :

$$40000 \times 0^{\text{r}}.5 = 20000 \text{ grammes.}$$

soit 20 kilogrammes de matières solides. Au bout d'un mois nous aurons :

$$20 \times 30 = 600 \text{ kilogrammes}$$

et au bout d'un an :

$$600 \times 12 = 7200 \text{ kilogrammes !!}$$

On conçoit qu'il est impossible de laisser ces dépôts s'accumuler pendant un an dans les générateurs, aussi a-t-on coutume d'opérer des nettoyages plus ou moins fréquents, selon la nature des dépôts et aussi selon le soin qu'on apporte à l'entretien des chaudières.

Le nettoyage d'une chaudière impose un arrêt de l'usine. Il est vrai que, dans l'industrie, des chômages sont quelquefois nécessaires pour les besoins du matériel ; mais, dans bon nombre de cas, ces chômages sont occasionnés exclusivement par le nettoyage des générateurs. Il est des industries qui souffrent tout particulièrement de ces chômages forcés ; nous citerons les *fabriques de sucre* et les *distilleries* dans lesquelles les arrêts sont presque impossibles et, dans tous les cas, fort onéreux.

Lorsqu'on examine les résidus qui se trouvent dans une chaudière, on constate, le plus souvent, un dépôt sableux, grenu ou poussiéreux, plus ou moins abondant, et, au-dessous de ce dépôt, adhérente contre les parois de la chaudière, une croûte cristalline plus ou moins dure et plus ou moins épaisse.

Ces deux espèces de dépôts ont chacune leurs inconvénients et la partie non adhérente n'est souvent pas moins nuisible que l'autre. — Le précipité qui n'adhère pas est souvent transporté d'une manière uniforme par les courants qui s'établissent dans la chaudière et vient s'accumuler en un endroit où il peut produire des obstructions ou des coups de feu, à moins qu'on ait adopté, dans la construction du générateur, une disposition rationnelle qui conduise les dépôts en un endroit déterminé, à l'abri du feu direct.

D'autre fois ce dépôt poussiéreux, léger et d'une grande finesse, est soulevé mécaniquement par les bulles de vapeur et entraîné dans les tuyaux, et, chose plus grave, jusque dans les organes des machines. On constate fréquemment des usures rapides de tiroirs et de distributions de vapeur qui n'ont pas d'autre cause et qu'on attribue quelquefois à des défauts de construction, à un manque de graissage ou à toutes autres causes qui sont étrangères à l'avarie ou qui n'en sont que la résultante.

Le dépôt adhérent résulte d'une véritable cristallisation des sels

lissous dans l'eau, et, suivant la nature de ceux-ci, il est plus ou moins dur. Quelle que soit sa texture, il a l'inconvénient immédiat d'ajouter son épaisseur à celle de la tôle de la chaudière, et, par suite, d'en diminuer la conductibilité. Comme la croûte calcaire est très peu conductrice, il en résulte qu'une très faible couche de dépôt adhérent retarde notablement la transmission de la chaleur et empêche sa bonne utilisation.

Il nous a été donné d'assister à des expériences, fort concluantes et tout à fait industrielles, faites à ce sujet. Des chaudières chauffées par des chaleurs perdues de foyers métallurgiques étaient alimentées avec des eaux très calcaires : comme la source de chaleur était constante, le travail métallurgique étant lui-même continu et régulier, il était facile de constater la diminution du rendement des chaudières par suite de la présence des incrustations. Cette diminution était telle que l'industriel se résignait à nettoyer ses chaudières *tous les huit jours*, pour éviter une perte énorme et que nous n'osons chiffrer tant, à première vue, ce renseignement paraît invraisemblable et exagéré.

Dans la pratique ordinaire, c'est une perte dont on s'aperçoit rarement, parce que la consommation de charbon n'est pas limitée et qu'en forçant le feu on arrive à maintenir la puissance normale de la chaudière. — Mais la perte n'en est pas moins notable, et si l'on avait, comme dans le cas que nous citons plus haut, une source de chaleur constante et invariable, on l'apprécierait mieux et on s'en préoccuperait davantage.

La perte de chaleur n'est pas le seul inconvénient des incrustations. — Tout le monde sait que de nombreuses explosions de chaudières ont été causées par elles. La couche de dépôts augmentant en épaisseur, la tôle n'est plus refroidie par l'eau et rougit ; puis, sous l'influence de la pression, elle se déforme et se déchire. Ou bien encore, à cette haute température, le dépôt se détache brusquement à l'endroit chauffé et l'eau, venant en contact avec la tôle rouge, est brusquement vaporisée, ce qui augmente la tension de la vapeur et produit l'accident.

Il est juste de reconnaître qu'un bon entretien des chaudières et une surveillance attentive permettent d'éviter ces inconvénients.

Quoi qu'il en soit, le nettoyage des générateurs à vapeur est

pénible, difficile, coûteux et toujours défectueux. L'ouvrier est obligé de battre la chaudière avec un marteau tranchant, quelquefois même avec un burin ; il en résulte que la tôle est fatiguée, striée, et plus apte que jamais à donner de l'adhérence aux dépôts. De plus, on est obligé de s'abstenir de nettoyer les rivures, où l'incrustation s'accumule, alors que ces parties délicates devraient être tenues intactes.

Tous les systèmes de chaudières donnent lieu à ces inconvénients d'une manière plus ou moins sérieuse.

La *chaudière ordinaire à bouilleurs* a le grave inconvénient de produire le dépôt à l'endroit même du coup de feu.

L'emploi des *réchauffeurs* atténue cet inconvénient, une grande partie des dépôts se rassemblant dans les réchauffeurs qui ne sont pas soumis à l'action directe du feu et qui reçoivent l'eau d'alimentation. C'est un progrès sérieux.

Les *chaudières à foyers intérieurs* sont très difficiles à nettoyer.

La *chaudière tubulaire* est impossible avec les eaux calcaires ; elle nécessite des nettoyages qui obligent à démonter les tubes, ce qui est toujours difficile et dispendieux. On s'est attaché, dans la construction de ces chaudières, à rendre les tubes facilement démontables, comme dans le système Berendorf ; mais, les industriels qui emploient ce genre d'appareils, savent que chaque démontage impose le remplacement d'un certain nombre de tubes. C'est à dire que si ce démontage est facilité, il cause des frais assez considérables.

Les *chaudières semi-tubulaires* offrent aussi des inconvénients sérieux. On a souvent constaté que les incrustations des tubes se détachaient, en forme d'écailles, et venaient, sous l'influence des courants intérieurs dont nous parlons plus haut, se rassembler dans les bouilleurs et y former des amas compacts. Les coups de feu, c'est-à-dire la déformation des tôles sous l'influence d'une élévation locale de la température, sont extrêmement fréquents dans ce genre de chaudières et dûs à cette cause. On y a remédié dans une certaine mesure en garnissant les cuissards d'une toile métallique qui retient les dépôts dans la chaudière ; mais ce moyen est assez aléatoire et ne repose que sur des probabilités avec lesquelles la pratique est fréquemment en contradiction.

En résumé, quel que soit le système de chaudière employé, il est incontestable que les sels en dissolution dans l'eau sont une cause d'ennuis et d'accidents et qu'il est impossible, par des dispositions pratiques, de l'éviter. Que l'incrustation se forme dans la chaudière proprement dite, ou dans les bouilleurs, ou dans les réchauffeurs, elle n'en existe pas moins et demeure une source d'inconvénients très graves auxquels il est difficile de remédier.

Nous verrons plus loin quels sont les moyens qui ont été préconisés pour supprimer ces inconvénients ou tout au moins pour les atténuer.

Nous reconnaitrons que ces moyens sont, pour la plupart, impuissants à donner une sécurité complète, et que le plus efficace d'entre eux est encore loin de la perfection désirable, perfection qu'au point de vue de l'alimentation des chaudières à vapeur, on peut résumer en ces mots : *N'employer que des eaux complètement débarrassées de sels incrustants.* — Nous montrerons que l'épuration chimique, seule, permet d'atteindre ce résultat.

L'incrustation d'une chaudière à vapeur est formée des éléments insolubles contenus dans l'eau d'alimentation, ou, pour mieux dire, des éléments qui deviennent insolubles dans les conditions où cette eau est employée. En effet, lorsqu'on emploie l'eau, tous les sels sont dissous; les uns, comme les bicarbonates de chaux et de magnésie, à la faveur de leur excès d'acide carbonique; les autres, comme le sulfate de chaux, les chlorures de sodium et de potassium, les sulfates de potasse, de soude, de magnésie, en raison de leur plus ou moins grande solubilité naturelle. Dans la chaudière à vapeur, par l'évaporation de l'eau, l'excès d'acide carbonique des bicarbonates se dégage et les carbonates neutres qui sont insolubles se déposent, soit à l'état amorphe, sous forme de dépôt non adhérent, soit à l'état cristallin sous forme d'incrustation. Le sulfate de chaux, peu soluble, se dépose très rapidement aussi. Les autres sels, doués d'une plus grande solubilité naturelle, restent dissous, sauf le cas exceptionnel de concentration excessive.

On en conclut que l'incrustation est généralement formée de carbonates de chaux et de magnésie, insolubles; de sulfate de chaux, peu soluble; de silice, d'alumine et de fer qui proviennent de la

décomposition de silicates et d'aluminates solubles, et de matières organiques.

Nous citons ci-dessous quelques analyses d'incrustations

Incrustations fournies par une eau de forage :

| | |
|---------------------------------|----------|
| Chaux..... | 19.93 %. |
| Magnésie..... | 2.07 |
| Potasse et soude..... | 0.00 |
| Alumine et peroxyde de fer..... | 0.97 |
| Acide carbonique..... | 8.40 |
| Acide sulfurique..... | 8.53 |
| Chlore..... | traces. |
| Silice..... | 54.05 |
| Matières grasses..... | 2.70 |
| Autres matières organiques..... | 2.48 |

Incrustations jaunâtres. — Épaisseur 0^m015^m formées par une eau de forage de Bordeaux :

| | |
|-----------------------|----------|
| Sulfate de chaux..... | 98.76 %. |
|-----------------------|----------|

Incrustations formées par une eau de forage :

| | |
|--------------------------|----------|
| Silice..... | 27.12 %. |
| Carbonate de chaux..... | 39.70 |
| Sulfate de chaux..... | 30.02 |
| Matières organiques..... | 3.05 |

Incrustations fournies par la rivière de l'Helpe mineure, à Fourmies (eau souillée par les déjections de deux peignages de laines).

Incrustation de 0^m05^m d'épaisseur :

| | |
|---|----------|
| Matières grasses..... | 59.40 %. |
| Matières minérales : chaux, sable, etc..... | 39.50 |
| Eau..... | 1.10 |
| | <hr/> |
| | 100.00 |

Incrustations formées par une eau de forage. — Épaisseur de 0^m 015 — noire, très dure :

| | |
|----------------------------------|---------|
| Carbonate de chaux..... | 94.27 % |
| Sulfate de chaux..... | traces. |
| Silice, matières organiques..... | |

Incrustations lamellaires grises. — Épaisseur 0^m 002

| | |
|-------------------------|---------|
| Carbonate de chaux..... | 92.50 % |
| Sulfate de chaux..... | traces |

Incrustations grenues cristallisées, mamelonnées.

Carbonate de chaux pur

Dépôt pulvérulent jaunâtre :

| | |
|--------------------------|---------|
| Carbonate de chaux..... | 93.70 % |
| Silice..... | traces. |
| Matières organiques..... | > |

A côté du cas *général* de l'alimentation des chaudières à vapeur, où la perte causée par l'emploi des eaux incrustantes n'est pas directement appréciable, nous pourrions citer une foule d'industries pour lesquelles l'épuration des eaux s'impose comme une nécessité.

Nous citerons :

Les *lavages de laines, de soies, etc.*

Les *blanchisseries de fil, de toiles, etc.*

Lavages de laines. Le procédé généralement employé pour le lavage des laines est le suivant :

Les *laines en suint* sont traitées méthodiquement par de l'eau tiède qui a pour effet de dissoudre les éléments solubles, désignés sous le nom de *suint*. Ce suint est utilisé ; par évaporation, puis calcination, on le transforme en salin brut de potasse. La qualité de l'eau n'influe pas sérieusement sur le désuintage des laines ; une eau ordinaire convient pour ce travail.

Mais, pour le *lavage* proprement dit, la qualité de l'eau est un élément des plus importants. On sait que toutes les fois qu'on emploie l'eau à dissoudre du savon, ce qui est le cas pour le lavage des

laines, une certaine quantité de savon est employée à neutraliser les sels calcaires en solution dans l'eau. Autrement dit, on commence inconsciemment par épurer l'eau avec du savon. Quelquefois on ajoute à l'eau du carbonate de soude, ce qui revient à épurer l'eau au carbonate de soude. Quoiqu'on fasse, le procédé revient toujours à épurer l'eau d'abord, puis à l'employer pour le lavage. Que si on se bornait à employer la dose de savon strictement nécessaire pour dégraisser la laine, on reconnaîtrait que ce savon n'aurait d'autre effet que de donner, avec les sels dissous dans l'eau, des savons calcaires. Ceux-ci se forment sur les fibres et il est impossible de les enlever complètement. Cette réaction explique pourquoi les établissements qui se servent d'eau non épurée, pour le lavage des laines, emploient cinq ou six fois autant de savon que ceux qui emploient l'eau épurée et obtiennent de moins bons résultats.

On a lmet bien qu'une dose exagérée de savon, ou une addition de carbonate de soude, permet d'atténuer cet inconvénient, c'est-à-dire d'éviter la formation des savons calcaires sur les fibres; mais nous pensons, et l'expérience nous l'a démontré, que c'est une erreur. Outre que ce supplément de savon ou cet appoint de sel de soude est infiniment plus coûteux que l'épuration de l'eau, il ne donne pas les mêmes résultats que l'eau épurée.

Avec l'eau pure, la laine conserve sa souplesse, son lustre et sa force; avec l'eau calcaire, elle ne se dégraisse qu'à force de savon et de manipulations coûteuses et demeure rude et terne. La plupart des laveurs de laines ont d'ailleurs reconnu la nécessité de l'épuration et l'ont adoptée. Nous n'insisterons donc pas plus longuement sur ce sujet.

Blanchisserie. — Ce que nous disons du lavage des laines s'applique au blanchissage des fils et des toiles, et, en général, à toutes les industries qui emploient le savon.

Ici encore les sels de chaux et de magnésie, qui constituent les principales impuretés des eaux, sont transformés en savons calcaires.

Lorsque ces réactions se sont produites, l'effet utile à lieu et, nous le répétons, cet effet utile est contrarié par la présence des savons insolubles qui, se formant sur les fibres elles-mêmes, s'attachent à elles et les dénaturent.

Une foule d'industries rentrent dans la catégorie des lavages de laines et des blanchisseries. Nous ne nous y arrêterons pas.

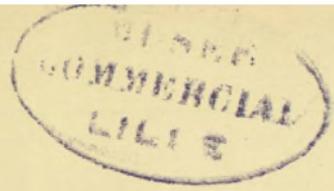
A côté de ces industries où l'emploi d'eaux pures est de première nécessité, nous en trouvons une foule d'autres qui ont un grand profit à retirer de l'emploi des eaux épurées, ou, autrement dit, une foule d'inconvénients à éviter en remédiant à l'impureté de leurs eaux.

Nous citerons parmi les principales :

Fabrication du sucre. Diffusion, lavage du noir, osmose. — L'industrie du sucre entre en première ligne dans cette catégorie d'industries, où l'emploi des eaux pures est, sinon indispensable, du moins extrêmement avantageux.

Depuis l'apparition de la diffusion, la consommation d'eau s'est accrue notablement dans les fabriques de sucre et l'on sait que pour que les phénomènes d'*Osmose* et d'*Endosmose*, sur lesquels la nouvelle méthode d'extraction du sucre est basée, s'effectuent dans de bonnes conditions, il est indispensable d'employer des eaux aussi pures que possible. Nous ne nous attardons pas sur cette question qui n'est nullement controversée et qui a été traitée, d'une manière spéciale, dans bon nombre d'ouvrages relatifs à la diffusion. En deux mots l'on peut dire que la diffusion n'est possible qu'avec des eaux de bonne qualité et que le rendement qu'elle donne est d'autant plus élevé que les eaux employées sont plus pures. Ce procédé impose, en effet, l'évaporation d'une quantité considérable d'eau; il en résulte une concentration des sels qui, se retrouvant finalement dans les sirops, empêchent dans une certaine mesure la cristallisation, et, restant comme cendres dans les sucres, en diminuent le titrage.

Pour le *lavage du noir*, la pureté de l'eau a une importance capitale et nous nous hâtons de dire qu'elle est rarement appréciée. Dans la plupart des cas, on lave le noir animal avec de l'eau ordinaire, perdant absolument de vue ses propriétés, et oubliant qu'il a pour but de fixer les sels calcaires. De sorte que, lorsqu'après la revivification du noir, on le lave avec des eaux ordinaires, on le charge purement et simplement des sels calcaires que renferme l'eau en l'appauvrissant d'autant. Au contraire, en employant l'eau épurée qui est tout à fait apte à dissoudre des sels



calcaires, on ne peut qu'améliorer la qualité du noir en augmentant sa capacité absorbante. Entre ces deux méthodes de lavage — à l'eau ordinaire ou à l'eau épurée, — il y a une économie énorme sur la consommation de noir.

Ce que nous avons dit de la diffusion, s'applique mieux encore à l'*Osmose*, opération dans laquelle la pureté de l'eau est le premier facteur d'un bon rendement. Il est bien peu d'usines, en France, qui se soient souciées de la qualité de l'eau employée pour l'*Osmose*; c'est là, sans contredit, une des causes qui font que ce système est peu pratiqué et qu'il donne souvent de médiocres résultats. Avec des eaux pures, le rendement s'élève dans une forte proportion, en même temps qu'on réalise une économie de parchemin, les pores de celui-ci se bouchant très rapidement avec les eaux ordinaires. Pour expliquer ces avantages de l'eau épurée, il suffit de se reporter aux théories physiques et chimiques qui sont la base de cette opération; nous n'entrerons pas dans ces détails qui nous obligeraient à développer outre mesure la présente note.

L'expérience est d'ailleurs facile à faire, et, l'écueil signalé, les fabricants de sucre soucieux de leurs intérêts ne manqueront pas de la pratiquer, au moins au laboratoire; ils reconnaîtront, nous n'en doutons pas, que l'impureté de l'eau est la cause principale du peu de succès de l'*Osmose* en France et comprendront l'utilité de l'épuration que les fabricants autrichiens et allemands pratiquent sur une grande échelle pour la Diffusion et l'*Osmose*.

Distillerie et industries similaires. Dans toutes les industries où l'eau est employée pour la condensation de produits volatils ou pour la réfrigération des liquides, au moyen de condenseurs à surface, nommés simplement *condenseurs* ou *réfrigérants*, il est très utile d'avoir une eau pure. En effet, dans ces appareils, il se fait un échange de chaleur entre les vapeurs à condenser et le liquide à refroidir et l'eau. La température de cette eau s'élevant graduellement, les sels dissous, tels que les bicarbonates de chaux et de magnésie, le sulfate de chaux, etc., se déposent sur la paroi métallique qui sépare les deux fluides. Il se forme sur cette paroi une croute adhérente, une incrustation plus ou moins dure, qui en diminue la conductibilité. — Au bout de peu de temps, cette conductibilité devient si faible que l'appareil ne remplit plus le but et qu'il faut absolument opérer un nettoyage.



De l'incrustation des condenseurs à surface résultent une série d'inconvénients plus ou moins graves, selon les industries. Dans les distilleries, par exemple, il est indispensable de tenir les réfrigérants tubulaires dans un état constant de propreté. En effet, un réfrigérant incrusté, outre qu'il occasionne une dépense d'eau exagérée, peut modifier et modifie en général considérablement la qualité des produits condensés.

Dans la rectification des alcools, on se base sur la température des condenseurs pour faire rétrograder dans la chaudière une portion des produits volatils et pour condenser l'autre. Autrement dit, le classement des produits ne s'obtient pas autrement que par des différences de température à la condensation.

Si la température d'un réfrigérant doit être maintenue à 30° par exemple, il se peut qu'en raison de la diminution de conductibilité il soit impossible, dans les conditions du travail, d'obtenir cet abaissement de température. Il en résultera l'impossibilité de condenser et de faire rétrograder certains produits qui, au lieu d'être séparés, viendront se mélanger avec d'autres dont ils altéreront la qualité.

Le nettoyage des réfrigérants est d'ordinaire assez pénible. Si on a le soin de l'opérer quotidiennement, ou à peu près, il peut suffire de passer dans les tubes ou circule l'eau une brosse en fil d'acier. Si la croûte est épaisse, il faut alors employer une sorte de tarière qui ne manque pas d'endommager le métal et d'amener par suite une usure exagérée.

S'il s'agit d'un faisceau tubulaire baigné extérieurement par l'eau de condensation, et c'est le cas dans bon nombre d'appareils de distillerie, ce nettoyage devient lui-même impossible.

Comme on est amené, pour la construction de ces appareils, à employer un métal de grande conductibilité, le cuivre ou le laiton, il en résulte que l'usure exagérée entraîne à des dépenses considérables.

Tannerie, Mégisserie, etc. Dans ces industries l'eau joue un rôle chimique dans bon nombre d'opérations. Elle a pour but, notamment, d'enlever aux substances qu'on y plonge des parties solubles dont l'élimination est nécessaire.

Le mégissier doit, après différents traitements à la chaux ayant

pour but de détacher les poils des peaux, faire subir à celles-ci un traitement qui les débarrasse complètement de la chaux dissoute qu'elles ont absorbée par un séjour, en tas ou en fosses, avec le produit épilatoire.

C'est l'eau qu'on emploie exclusivement pour ce traitement. La peau à dégorger est malaxée dans une cuve sous un courant d'eau, puis passée entre des cylindres compresseurs et malaxée à nouveau, etc., etc. Elle subit ce traitement pendant un temps plus ou moins long suivant sa nature et sa finesse. Elle doit alors être complètement débarrassée de chaux caustique.

Il est facile de comprendre quelle importance a l'eau dans une telle opération.

Avec de l'eau ordinaire contenant des bicarbonates en solution, la chaux contenue dans les pores de la peau épurera l'eau avec laquelle elle sera mise en contact. Il se formera dans l'eau du carbonate de chaux qui la troublera sans nuire autrement, tandis que la peau elle-même se chargera de carbonate formé dans les pores, c'est-à-dire fixé à titre définitif.

Une fois les orifices des pores bouchés par ce carbonate de chaux, l'élimination de la chaux, restée à l'état caustique dans le sein des tissus, deviendra impossible. Le cuir demeurera hygrométrique prendra mal la teinture, se brûlera rapidement et sera toujours un produit de qualité inférieure.

Teintureries. En teinturerie la question des eaux à une très grande importance, mais elle ne peut être envisagée comme dans les cas précédents.

La pureté n'est pas toujours nécessaire, quelquefois même elle peut entraver certaines opérations, ou plutôt entraîner une modification du travail.

Il est incontestable qu'un travail rationnel de teinture devrait avoir comme point de départ une eau pure servant à la préparation des bains. Mais, dans un grand nombre de cas, la routine et l'habitude suppléent aux défauts de l'eau sans que l'épuration chimique ait à intervenir.

L'utilité de l'épuration pour la préparation des bains tinctoriaux ne peut donc pas être considérée comme générale, et, dans cette industrie, elle devra être étudiée d'une manière spéciale et appro-

priée au travail à faire. Autrement dit l'épuration est encore fort utile, quelquefois nécessaire; mais, en matière de teinture, la règle n'est pas générale et le chimiste devra baser son travail sur une étude sérieuse des usages auxquels l'eau est destinée ou encore sur l'expérience des praticiens.

Les quelques exemples que nous venons de citer suffisent à montrer quels sont, en général, les inconvénients des eaux impures. Nous allons maintenant passer en revue les efforts qu'on a tentés pour y remédier et exposer les résultats qu'on a obtenus.

DEUXIÈME PARTIE.

Principaux moyens employés pour remédier aux inconvénients résultant de l'impureté des eaux.

On conçoit qu'en présence des nombreux inconvénients que nous avons signalés précédemment de grands efforts aient été tentés, dans différentes voies, pour y remédier. On s'est attaché, en premier lieu, à améliorer les eaux au point de vue purement physique, c'est-à-dire au point de vue des impuretés apparentes. C'est ainsi qu'on a décanté, puis filtré les eaux bourbeuses et impures pour les avoir claires et limpides. Il est même incontestable que ce moyen très primitif et fort imparfait de purification est encore fort pratiqué, malgré le peu de résultats qu'il donne. — S'il s'agit de travaux, d'industries qui n'exigent pas des eaux pures, au point de vue chimique, mais seulement des eaux propres, cette purification sommaire, que nous appellerons *clarification*, peut suffire. Mais, toutes les fois qu'il s'est agi d'eaux devant servir pour des travaux du genre de ceux que nous avons cités, par exemple à dissoudre du savon, à alimenter des chaudières à vapeur, etc... on a vite reconnu que la clarification était tout à fait insuffisante et le plus souvent inutile. Il y a cependant encore des préjugés à cet égard et nous avons vu filtrer des eaux absolument limpides dans le but de les *épurer*; ce traitement ne signifie absolument rien et est tout à fait illogique.

La décantation ou la filtration de l'eau sont des moyens de purification purement mécaniques ; nous y reviendrons un peu plus loin. Disons seulement qu'en présence de leur insuccès, dans la plupart des cas, notamment pour l'alimentation des chaudières à vapeur, on s'est préoccupé d'autres moyens. De cette recherche naquirent les moyens empiriques, dictés le plus souvent par le hasard ou le caprice de l'imagination des inventeurs.

Parmi les moyens empiriques il faut citer les *désincrustants* qui s'appliquent spécialement aux chaudières à vapeur et dont nous dirons quelques mots. Les désincrustants, en apparence plus efficaces que les moyens mécaniques, ont une foule d'inconvénients qui les font rejeter peu à peu. *L'épuration chimique*, seul moyen *rationnel* et *efficace* de remédier à l'impureté des eaux, est appelée à remplacer toutes les autres méthodes de purification ; elle repose sur des bases certaines, opère des réactions parfaitement définies, ne laisse rien au hasard et donne une certitude de résultats qu'on ne peut espérer avec les moyens précités.

En résumé, les efforts tentés pour remédier aux impuretés des eaux ont abouti à trois espèces de méthodes qui sont les suivantes :

- 1^o Méthodes empiriques ;
- 2^o Méthodes mécaniques ;
- 3^o Méthodes chimiques.

CHAPITRE I.

MÉTHODES EMPIRIQUES.

Nous nous occuperons seulement des *désincrustants*.

Les désincrustants, comme leur nom l'indique, sont des matières qu'on introduit directement dans les chaudières ou dans l'eau d'alimentation dans le but d'empêcher la formation de dépôts cristallins adhérents sur les tôles des chaudières. Nous avons, dans la première partie de ce travail, énuméré les principaux inconvénients de ces *incrustations*.

Les désincrustants agissent de deux façons différentes : *mécaniquement* ou *chimiquement*.

Les désincrustants qui agissent mécaniquement sont, le plus

souvent, des poudres inertes qu'on introduit directement dans les chaudières. Ces poudres, tenues en suspension dans le liquide à la faveur de l'ébullition, ont pour but de s'opposer à l'agglomération des sels insolubilisés par la concentration. Chaque cristal salin qui se forme est, pour ainsi dire, isolé du cristal voisin et ne peut s'y souder. L'incrustation, au lieu d'être lamellaire et adhérente aux parois, devient grenue et reste en suspension dans le liquide.

Les premiers désincrustants de cette nature furent l'*argile*, le *sable*, le *verre pilé*, etc., etc.

Disons de suite que, dans la plupart des cas, ce remède est pire que le mal. Le désincrustant vient ajouter sa masse à celle des dépôts et contribue à produire ces accidents que nous avons signalés dans la première partie : *cours de feu*, *usure exagérée des organes des machines*, etc. L'expérience qui en a été faite a d'ailleurs fait rejeter ces désincrustants et leur emploi est tout à fait exceptionnel à l'époque actuelle.

A côté de ces désincrustants inertes, il en est d'autres qui agissent soit par dissolution, soit par émulsion, ou de toute autre manière assez inexplicable. Il faut ranger dans cette classe les *pommes de terre rapées*, la *fécule*, l'*amidon*, la *dextrine*, etc. On admet que la dissolution ou l'émulsion de ces produits dans l'eau de la chaudière lubrifie en quelque sorte ses parois et que les sels insolubilisés ne peuvent ni y adhérer, ni se souder entre eux ; ils restent, comme dans le cas précédent, en suspension dans le liquide. Cette fois le désincrustant n'a plus l'inconvénient d'augmenter la masse des dépôts, mais il a généralement celui de faire *mousser* l'eau et de donner lieu à des entraînements considérables, sans mettre à l'abri des écueils que nous avons signalés à propos des dépôts pulvérulents.

On peut ranger dans la même catégorie de désincrustants les *bois de teinture*, notamment le *campêche*, le *tan*, le *cachou*, le *sumac*, et aussi la *chicorée*, et, en général, toutes les substances contenant du tannin. On les emploie soit en buches, soit en copeaux, soit en décoction. L'effet est toujours le même que précédemment et tous les inconvénient signalés persistent sans aucune atténuation.

Nous ne pourrions citer ici tous les désincrustants qui agissent d'une manière mécanique ou analogue ; l'énumération en serait trop longue. Bornons-nous à nommer :

Les *rognures de fer blanc* ou *de zinc* qui agissent mécaniquement, en raclant automatiquement les parois de la chaudière; (M. Trève, qui a recommandé l'emploi des *feuilles de zinc*, en attribue l'efficacité à une action galvanique).

Le *goudron*, recommandé par M. Pistre, et dont l'action n'est pas bien expliquée.

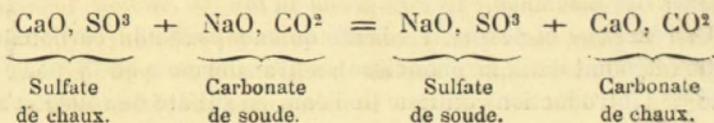
La *glycérine*, recommandée par M. Asselin, sous le nom de *glycérine oxydée*, qui agit selon lui de trois façons : 1° en augmentant la solubilité des sels de chaux; 2° en formant un composé soluble avec ces sels; 3° en précipitant les substances incrustantes sous une forme gélatineuse qui empêche la cristallisation et par suite l'adhérence.

A côté de ces désincrustants qui agissent par *action de présence*, *catalytiquement* ou *mécaniquement*, il en est d'autres qui doivent leur propriété anti-incrustante à une *réaction chimique* qui se produit dans la chaudière, au sein du liquide, et qui a pour résultat de précipiter les sels dissous, c'est-à-dire de les rendre insolubles.— Ces sels précipités ou autrement dit cristallisés confusément n'adhèrent pas aux parois chauffées.

Les principaux désincrustants de cette nature sont les *carbonates alcalins*, les *alcalis caustiques* et les *sels de baryte* qu'on introduit généralement d'une manière intermittente, et, plus rarement, d'une façon continue, avec l'eau d'alimentation.

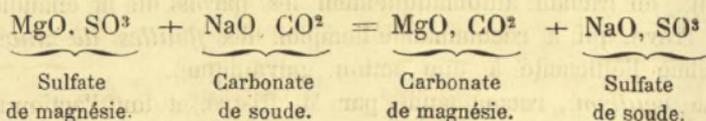
Quand on introduit dans une chaudière un poids déterminé de *carbonate de soude*, pour un laps de temps donné, on admet que l'insolubilisation des sels dissous est due aux réactions suivantes :

Si l'eau contient, comme c'est le cas général, un mélange de bicarbonate de chaux (CaO, 2CO²), de sulfate de chaux (CaO, SO³) et des sels de magnésie, l'addition de carbonate de soude donne : 1° avec le *sulfate de chaux* :

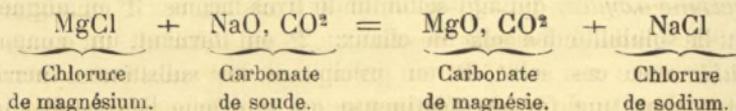


Le *carbonate de chaux* se précipite, le sulfate de soude reste en solution dans l'eau.

2° Avec le *sulfate de magnésie* :

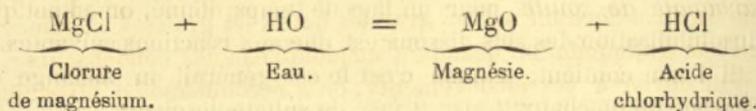


3° Avec le *chlorure de magnésium* :



On voit qu'avec le sulfate de magnésie ainsi qu'avec le chlorure de magnésium on arrive à une précipitation de *carbonate de magnésie*.

A première vue il semble que ces deux dernières réactions sont inutiles, attendu que le sulfate de magnésie et le chlorure de magnésium sont des sels solubles et incapables d'incruster. Mais ces réactions *inutiles* sont *inévitables* en raison du mode d'emploi des désincrustants qui sont introduits par doses, pour une période déterminée, et agissent par suite, sans distinction, sur tous les sels dissous. La réaction qui transforme le *chlorure de magnésium* en *chlorure de sodium* a d'ailleurs une utilité en ce sens qu'à la température de 125 à 150° le chlorure de magnésium en solution dans l'eau se décompose comme suit :

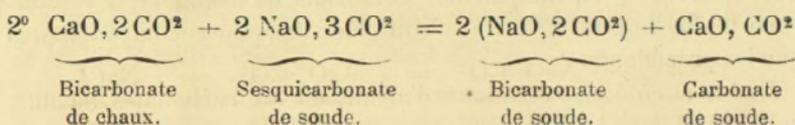
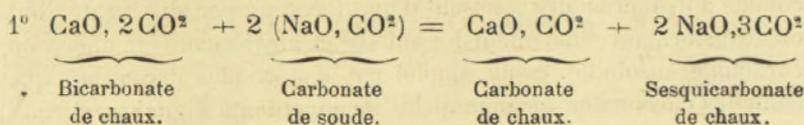


La *magnésie* insoluble se dépose et l'acide chlorhydrique mis en liberté corrode la chaudière ou bien encore est entraîné dans les organes des machines.

Des réactions ci-dessus il résulte qu'une partie du carbonate de soude introduit dans la chaudière se transforme peu à peu, par suite de l'introduction continue de l'eau, en sulfate de soude soluble et inactif.

Le carbonate de soude agit d'une façon toute différente sur le bicarbonate de chaux. D'après Kuhlmann son action serait pour

ainsi dire *indéfinie* et expliquée par les réactions suivantes :



Le carbonate de soude agissant sur le bicarbonate de chaux se transforme d'abord en sesquicarbonat, puis en bicarbonate de soude en précipitant la chaux à l'état de *carbonate*. Le bicarbonate de soude, par l'ébullition, abandonne lentement de l'acide carbonique et revient à l'état de *sesquicarbonat de soude* qui se transforme à nouveau en bicarbonate, par l'addition nouvelle d'eau contenant du bicarbonate de chaux, et ainsi de suite.

On peut donc dire que quand on opère sur une eau ne renfermant que du bicarbonate de chaux, une faible quantité de carbonate de soude permet d'opérer efficacement la précipitation.

Quand, au contraire, l'eau contient du sulfate de chaux et des sels de magnésie, la quantité de carbonate de soude à ajouter est considérable. La présence de cet excès de carbonate de soude peut dans de nombreux cas être préjudiciable, soit que ce sel attaque les pièces en cuivre qui sont en contact avec l'eau, soit qu'il forme dans la chaudière un savon avec les huiles et graisses entraînées par l'eau d'alimentation quand on emploie l'eau des condenseurs.

Pour obvier à ces inconvénients, on a recommandé d'introduire la solution de carbonate de soude *d'une façon continue et en quantité déterminée* dans la chaudière, *proportionnellement* à la quantité d'eau employée pour l'alimentation.

Divers appareils ont été imaginés dans ce but. Ils sont délicats et fonctionnent le plus souvent d'une manière très irrégulière, ce qui fait qu'ils ne remplissent généralement pas le but pour lequel ils ont été installés.

D'ailleurs ce procédé ne supprime qu'une partie des écueils que nous avons signalés; l'incrustation n'est plus adhérente mais elle conserve les inconvénients des dépôts pulvérulents. En un mot il a seulement l'avantage de faciliter les nettoyages des chaudières.

Les *alcalis* (potasse ou soude) introduits dans les chaudières comme anti-incrustants agissent d'une façon un peu différente, tout en transformant finalement les sulfate et bicarbonate de chaux en carbonate insoluble. Leur emploi est encore plus dangereux que celui des carbonates alcalins et les inconvénients signalés : formation de savons, entraînements, corrosion de robinets, etc. sont encore plus sensibles. — Ils ne sont donc pas plus recommandables que les précédents.

Enfin, à côté des solutions d'alcalis ou de carbonates alcalins qu'on vend dans le commerce sous des dénominations souvent fantaisistes et presque toujours à des prix excessifs, il convient de placer une foule de désincrustants divers qui sont le plus souvent constitués par une dissolution faible de soude et des matières organiques dissoutes par cet alcali.

Ces préparations n'agissent que grâce à la soude qu'elles contiennent, les matières organiques jouant simplement le rôle anodin que nous avons décrit plus haut.

Voici, comme exemple, la composition d'un désincrustant de cette nature :

| | |
|-------------------------|--------|
| Lichen..... | 5,00 |
| Carbonate de soude..... | 1,00 |
| Eau..... | 94,00 |
| | <hr/> |
| Total..... | 100,00 |

Dans certains cas, ces désincrustants sont purement et simplement des résidus industriels, comme le suivant qui n'est que le résidu des cuves à décreuser les fils en blanchisserie, concentré à 5° Baumé. Il renferme :

- De la soude caustique,
- De la pectine,
- Et la matière incrustante du fil.

On emploie aussi, assez fréquemment, les liquides qui ont servi au traitement de la paille par la soude caustique dans les fabriques de papier.

On prépare aussi des désincrustants en traitant les résidus de bois de teinture par des solutions de soude caustique.

Nous donnons ci-dessous la composition de quelques désincrustants fréquemment employés :

| | |
|-------------------------------------|----------------------|
| Eau..... | 923gr. 70 par litre. |
| Carbonate de soude..... | 19 80 |
| Matières extraites du campêche..... | 56 50 |
| | <hr/> |
| Total..... | 1000 00 |
| | <hr/> |

Désincrustant liquide à 3°5 Baumé :

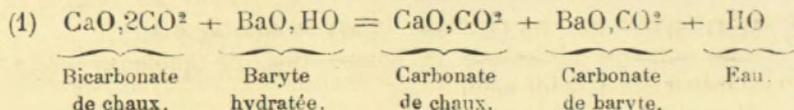
| | |
|---------------------------------------|---------------------|
| Eau..... | 972gr. 55 par litre |
| Soude caustique..... | 11 05 |
| Sulfate et chlorure de sodium..... | 6 90 |
| Matières organiques (du campêche).... | 9 50 |
| | <hr/> |
| Total..... | 1000 00 |
| | <hr/> |

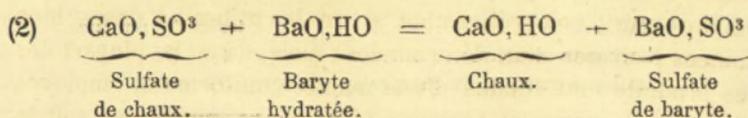
| | |
|--------------------------|----------------------|
| Eau..... | 899gr. 14 par litre. |
| Soude caustique..... | 94 16 |
| Carbonade de Soude..... | 6 70 |
| Matières organiques..... | traces. |
| | <hr/> |
| Total..... | 1000 00 |
| | <hr/> |

Emploi de la baryte, du chlorure de baryum, etc.

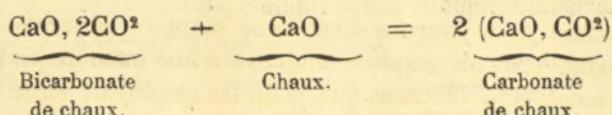
En présence des nombreux inconvénients résultant de l'emploi des carbonates alcalins et des alcalis caustiques, on a songé à employer des désincrustants peu solubles, mais insolubilisant d'une manière complète les sels calcaires contenus dans les eaux d'alimentation. Dans ce but on a préconisé la baryte et divers sels de baryum.

La baryte caustique hydratée, peu soluble, est introduite directement dans la chaudière. Elle se dissout peu à peu. Elle agit à la fois sur le bicarbonate et sur le sulfate de chaux, de la manière suivante :





Dans la réaction (2) la chaux (CaO, HO) réagit à son tour sur le bicarbonate et donne :



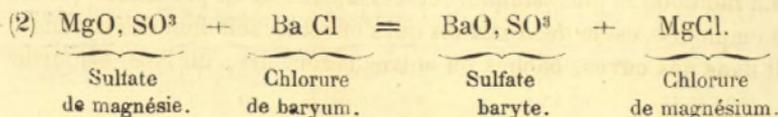
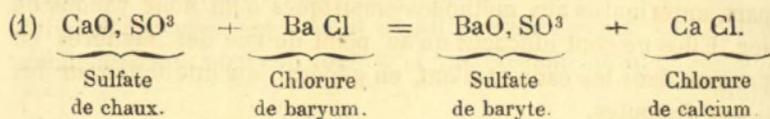
De sorte qu'on peut dire que, dans ce cas, la précipitation est complète ; mais la totalité des sels reste dans la chaudière, et, de plus, le réactif très coûteux entraîne à une dépense relativement considérable.

Ajoutons que la baryte est un poison violent dont l'emploi nécessite des précautions.

Dans le but de diminuer la dépense, on a songé à remplacer la baryte par le chlorure de baryum, ou mieux encore à employer un mélange de baryte et de chlorure de baryum.

Ce mélange ne conviendrait pas pour toutes les eaux, par exemple pour celles qui ne renferment que des bicarbonates ; mais comme le cas général s'applique à des eaux renfermant à la fois des bicarbonates et du sulfate de chaux, ainsi que des sels de magnésie, on peut dire que le chlorure de baryum contribue à diminuer le prix tout en permettant d'obtenir des résultats analogues à ceux que donne la baryte caustique.

Par l'emploi du chlorure de baryum, on précipite les sulfates de chaux et de magnésie à l'état du sulfate de baryte et on produit des chlorures de calcium et de magnésium :



Nous devons dire, à propos de cette sorte de désincrustants, que leur emploi serait compréhensible si on les utilisait à doses bien déterminées pour des eaux déterminées ; mais, dans la plupart des cas, ces produits sont vendus d'une manière uniforme et employés à des doses quelconques et toujours identiques, quelle que soit la nature de l'eau. Par suite leur effet est amoindri, souvent nul et parfois dangereux — plus dangereux même que le mal qu'on veut éviter.

En résumé nous pouvons dire d'une manière générale que les désincrustants, qu'on emploie toujours d'une manière empirique, ne pourraient être efficaces que si on les employait d'une manière rationnelle. — Autrement dit, toutes les fois qu'on désire se borner à ce moyen primitif de correction des eaux il est encore nécessaire d'étudier la composition de l'eau, de n'employer que des produits connus, à doses déterminées et de telle manière que les réactions qui se produisent ne soient pas de nature à occasionner des dépenses inutiles ou encore à détériorer les organes des chaudières et des machines. — Cette solution, qui laisserait encore subsister tous les inconvénients des dépôts pulvérulents, n'est guère possible avec le mode d'emploi actuel des désincrustants. Et si nous nous reportons à ce qui a été dit précédemment à propos des dépôts pulvérulents, nous pouvons conclure que l'emploi des désincrustants est un remède illusoire qui n'a guère, pour toute efficacité, que l'avantage de faciliter le nettoyage des chaudières.

CHAPITRE II.

MÉTHODES MÉCANIQUES.

Les méthodes mécaniques de purification des eaux sont, pour la plupart, antérieures aux méthodes empiriques dont nous venons de parler. Elles ne sont efficaces qu'au point de vue des matières en suspension dans les eaux et n'ont, en général, aucune action sur les matières dissoutes.

La méthode la plus simple, et certainement la première qui ait été employée, est la *décantation* qui s'effectue, soit dans des citernes, soit dans des cuves, baches ou autres réservoirs, où l'eau séjourne

pendant un temps plus ou moins long suivant la nature des matières en suspension.

Cette méthode est fort imparfaite, en ce sens que beaucoup d'eaux, notamment celles qui contiennent des matières organiques, se clarifient très lentement et, même après un long repos, ne deviennent pas complètement limpides. — De plus, elle est fort encombrante, intermittente, c'est-à-dire qu'elle se prête mal aux applications industrielles.

Ces considérations ont conduit à la recherche de moyens plus efficaces et plus rapides. C'est de cette recherche que sont nés les *filtres*.

Le filtre est un appareil contenant une substance suffisamment poreuse pour laisser passer les liquides en retenant les particules solides que ces liquides tiennent en suspension. Les matières poreuses ou filtrantes sont de différentes natures suivant les liquides à filtrer et les matières à séparer. Dans certains cas la substance filtrante doit exercer une action chimique sur les liquides. — Dans cet ordre d'idées on a employé le charbon de bois pour désinfecter, le noir animal ou noir d'os pour décolorer, comme c'est le cas dans les fabriques de sucre où cette matière filtrante a pour but, non seulement de décolorer les sirops, mais encore d'enlever une portion de la chaux dissoute qu'ils contiennent.

Les autres matières filtrantes généralement employées sont : le sable, les éponges, les copeaux de bois, le coke, etc., etc.

D'une manière générale, un filtre se compose d'un réservoir de forme quelconque, généralement cylindrique, muni de deux diaphragmes perforés entre lesquels on place la matière filtrante.

Les filtres sont des appareils qui fonctionnent ordinairement bien ; mais de ce fonctionnement il résulte nécessairement que les pores de la substance filtrante sont rapidement obstrués par les matières en suspension et que des nettoyages fréquents sont indispensables.

Cet inconvénient est le point de départ d'une série de modifications qu'on a fait subir à la forme primitive du filtre dans le but de faciliter le nettoyage.

Nous ne nous arrêterons pas ici pour décrire les filtres parce que nous aurons l'occasion d'y revenir à propos de la clarification des eaux chimiquement épurées.

Disons seulement qu'au point de vue de la clarification des eaux industrielles, on se sert surtout des filtres à coke, des filtres à éponges et des filtres à copeaux de bois. Les filtres désinfectants ne sont généralement employés que pour la purification des eaux destinées aux usages domestiques.

L'eau à clarifier arrive soit par-dessus, soit au-dessous de la couche filtrante qu'elle traverse sous l'influence d'une pression plus ou moins considérable. La meilleure solution paraît être celle qui consiste à faire arriver l'eau au-dessous de la couche poreuse, avec une pression assez élevée pour permettre un passage facile à travers une couche relativement serrée. — Le nettoyage s'opère par un courant d'eau qu'on fait passer en sens inverse, ou mieux encore par un renouvellement total de la couche filtrante. — Lorsqu'on emploie une substance poreuse d'une certaine valeur, comme l'éponge, on lui fait subir un lavage dès qu'elle est encrassée, ce qui arrive malheureusement très vite. — C'est là l'inconvénient capital des filtres. Il se fait notamment apprécier lorsqu'on a à traiter des eaux chargées de matières organiques; dans ce cas le dépôt est gélatineux et obstrue très rapidement les pores de la matière filtrante; alors le rendement du filtre diminue rapidement et le nettoyage devient extrêmement difficile. On atténuerait ce grave défaut en faisant subir au préalable à l'eau un traitement chimique épurateur; mais alors, on rentre dans les méthodes chimiques dont nous nous occuperons plus loin et au sujet desquelles nous aurons l'occasion de revenir sur les appareils de filtration en général.

Quelques inventeurs se sont préoccupés de maintenir leurs filtres dans un état continu de propreté, de manière à avoir un débit constant; mais les appareils qui ont été imaginés dans ce but n'ont pas eu, en général, grand succès et l'industrie ne les a guère employés. Nous citerons, dans cet ordre d'idées, le filtre Farquhar qui, théoriquement, est bien conçu, mais qui est coûteux et délicat comme fonctionnement. — Dans ce filtre, la couche filtrante est continuellement nettoyée par l'action d'une lame, montée sur un axe et qui tourne en raclant la surface de la matière filtrante, surface sur laquelle la majeure partie des dépôts s'effectue. L'impureté ainsi séparée est automatiquement emmagasinée dans un compartiment spécial de l'appareil et le rendement demeure à peu près constant. Comme on le voit, le fonctionnement de ce filtre se complique de

la nécessité d'une force motrice et nous ne pensons pas, en raison des complications qu'il présente, qu'il puisse jamais être appliqué dans le cas de la clarification d'eaux industrielles. Son usage semble plutôt se restreindre à quelques applications spéciales en vue desquelles il a été imaginé.

Étant donnés les inconvénients des bâches de décantation et des filtres, on a cherché à construire des appareils spéciaux permettant d'obtenir la constance et la régularité du débit de l'eau, et de simplifier l'évacuation des matières en suspension après leur séparation. On pourrait citer, dans cette catégorie, divers appareils de décantation continue ; mais, comme ils n'ont jamais été employés qu'après la purification chimique des eaux et que nous aurons l'occasion d'y revenir en détail au sujet des diverses méthodes d'épuration chimique, nous n'en parlerons pas ici, sauf pour dire qu'ils ont été un grand perfectionnement sur les appareils ordinaires, bâches et filtres, et qu'ils ont simplifié considérablement la solution du problème de la clarification des liquides en général et en particulier de l'épuration des eaux industrielles.

A côté des filtres et appareils de décantation qui sont d'une application générale, nous citerons d'autres appareils qui s'appliquent à l'eau destinée à l'alimentation des chaudières à vapeur et qui, pour cette raison, ont reçu le nom de *débourbeurs*.

Beaucoup de bruit ayant été fait récemment autour de ces appareils, nous entrerons dans quelques détails à leur sujet, bien que les merveilleux résultats qu'on leur attribuait n'aient pu être justifiés et que leur emploi ait été abandonné par la plupart des industriels qui les ont essayés.

Le principe de ces appareils est universellement connu. C'est un perfectionnement, ou plutôt une modification de la coutume qu'on avait, lorsque les chaudières contenaient une grande quantité de boues, de les purger par un robinet de vidange. De cette façon, la boue accumulée au fond de la chaudière, chassée par la pression, allait directement à l'égout. Pour que cette purge sommaire soit efficace, pour que le débourbeur ait une utilité, il faut donc nécessairement que les dépôts formés ne soient pas adhérents, c'est-à-dire que les eaux ne contiennent que de l'argile, du sable ou autres matières en suspension. Le carbonate de chaux et le sulfate de chaux continuent à incruster les chaudières, et cela d'une manière



d'autant plus dangereuse qu'ils sont plus purs, c'est-à-dire débarrassés des boues qui s'aggloméraient avec eux.

Cette solution imparfaite fit songer à employer, en même temps que les débourbeurs, des *désincrustants*, de façon à rendre tous les dépôts pulvérulents et à permettre leur évacuation facile et complète.

Certains inventeurs ont eu la prétention de précipiter complètement les sels calcaires contenus dans l'eau par l'échauffement de l'eau d'alimentation au moment même de son introduction dans la chaudière, cette eau traversant purement et simplement, dans le débourbeur, un jet de vapeur.

De là deux sortes de débourbeurs :

1° Ceux qui ont pour but d'extraire automatiquement de la chaudière les dépôts qu'on rend pulvérulents et non adhérents au moyen de désincrustants ;

2° Ceux qui, sans le secours de désincrustants, ont pour but de séparer les sels incrustants de l'eau d'alimentation avant l'introduction de celle-ci dans la chaudière.

Parmi les appareils de la première catégorie, nous décrirons le débourbeur de Hotchkiss (fig. 1). Il se compose d'un réservoir sphérique A séparé en deux compartiments par une paroi métallique B. Le haut de l'un de ces compartiments est mis en communication, par un tuyau C D, avec un entonnoir E fixé à l'intérieur de la chaudière à la hauteur du niveau normal de l'eau. — Le second compartiment est muni, à sa partie supérieure, d'un orifice relié par une tuyauterie F G avec le fond de la chaudière.

Le réservoir A est enfin muni, à sa partie inférieure, d'un tuyau de vidange H K.

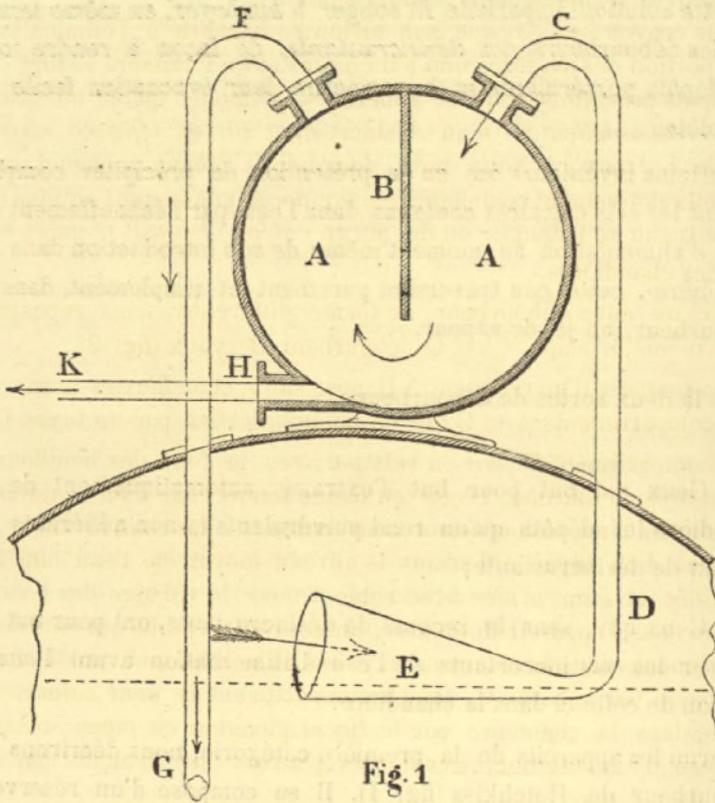


Fig. 1

Voici comment l'appareil doit fonctionner :

Quand le générateur est en marche un courant s'établit qui entraîne l'eau dans l'entonnoir E et la conduit, par le tuyau C D, dans le récipient A. Cette eau laisse déposer les matières qu'elle tenait en suspension et retourne, par le tuyau F G, au fond de la chaudière. De temps en temps on purge le récipient A pour envoyer les boues à l'égout. — Nous ne serions pas surpris d'apprendre que cet appareil, appliqué à une chaudière mal entretenue et contenant

des boues en abondance, ait donné quelques résultats, c'est-à-dire une évacuation de résidus par la purge; mais nous doutons fort qu'il délivre complètement des incrustations.

Nous croyons même que son action se bornera à l'élimination d'une portion des matières non adhérentes et qu'il laissera se former les dépôts cristallins, durs et adhérents, à moins qu'on ne fasse usage *rationnellement* d'un désincrustant *sûr* et *efficace*, assez difficile à trouver. Nous nous demandons même pourquoi cet appareil relativement compliqué fonctionnerait mieux que l'antique et simple tuyau de vidange, ou de purge, qu'on disposait naguère au fond des chaudières.

Voici un autre débourbeur, de forme différente, mais reposant sur le même principe. C'est le débourbeur Dervaux (fig. 2).

Il se compose d'un récipient A B, posé sur la chaudière et divisé en deux compartiments A et B mis en communication par un tuyau C.

Le compartiment B, mis en relation avec le fond des bouilleurs par un tuyau à fourche, reçoit en même temps l'eau d'alimentation additionnée d'un désincrustant convenable (?). Le compartiment A est muni d'un tuyau affleurant le niveau moyen de l'eau dans la chaudière et d'un orifice avec robinet pour la vidange des boues. Comme dans l'appareil Hotchkiss, un courant s'établit qui entraîne les sédiments dans le réservoir A, où ils se déposent, tandis que l'eau passe par le tuyau C, dans le compartiment B, pour retourner ensuite dans la chaudière par le tuyau plongeur en même temps que l'eau d'alimentation. Les dépôts peuvent être évacués par le tuyau de vidange.

Le fonctionnement de cet appareil nous semble très problématique et nous ne chercherons pas à en esquisser la théorie. Nous comprenons encore que, dans certains cas, le tuyau de purge puisse donner de la boue, mais nous sommes persuadés que le succès est très aléatoire. Nous pouvons même dire que ce succès est tout à fait contestable, puisque la plupart des industriels qui ont fait l'essai de cet appareil n'en ont pas continué l'emploi.

Son usage n'est pas non plus sans danger, car, pour assurer son fonctionnement, il est nécessaire d'ajouter à l'eau d'alimentation une quantité notable de soude qui épure l'eau *dans la chaudière*. Dans ces conditions les générateurs sont remplis d'une eau forte-

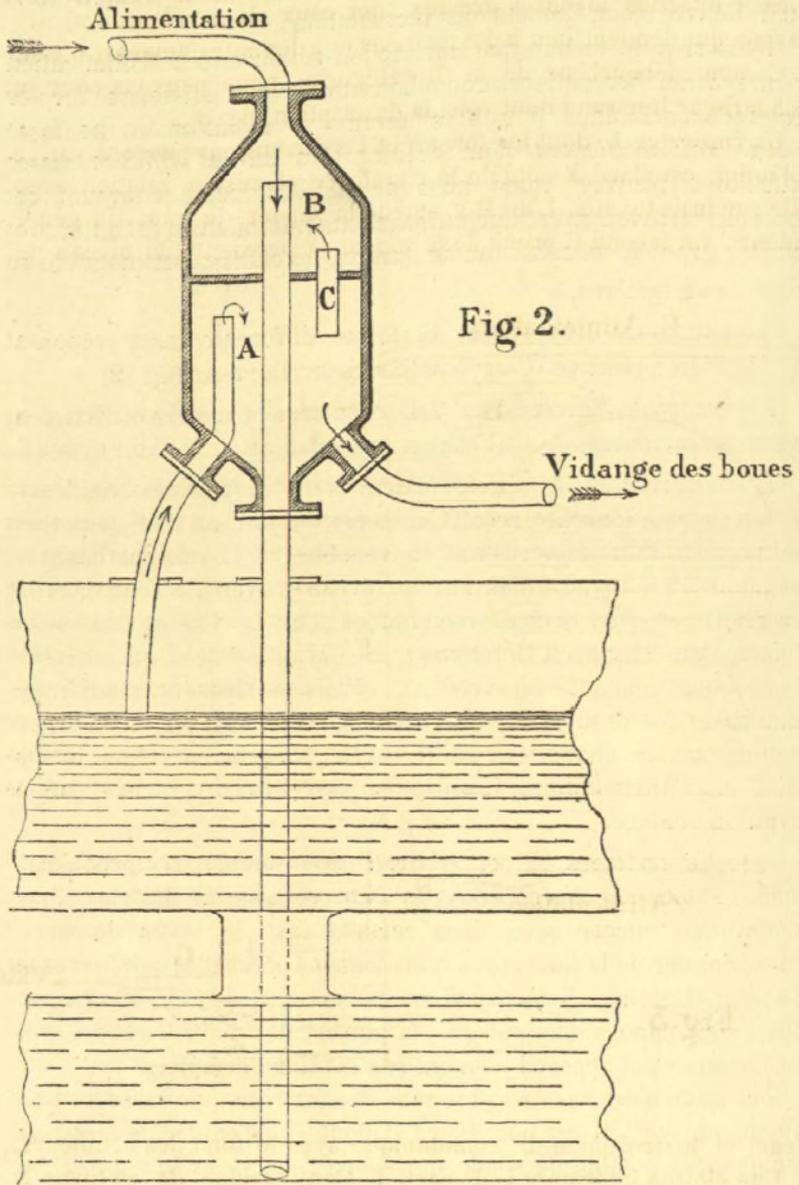


Fig. 2.

ment alcaline, capable d'attaquer la robinetterie de cuivre et de former avec les matières grasses (des eaux de condenseurs) des savons qui donnent lieu à des mousses et à des entraînements d'eau.

Comme débourbeur de la 2^e catégorie, nous pouvons citer le débourbeur Bertrand dont voici la description (fig. 3).

Un réservoir A, dont les formes et les dimensions peuvent varier à l'infini, est placé à côté de la chaudière et mis en relation avec elle par trois tuyaux. L'un B y amène la vapeur du haut du générateur ; un second C prend de la vapeur à proximité du niveau de

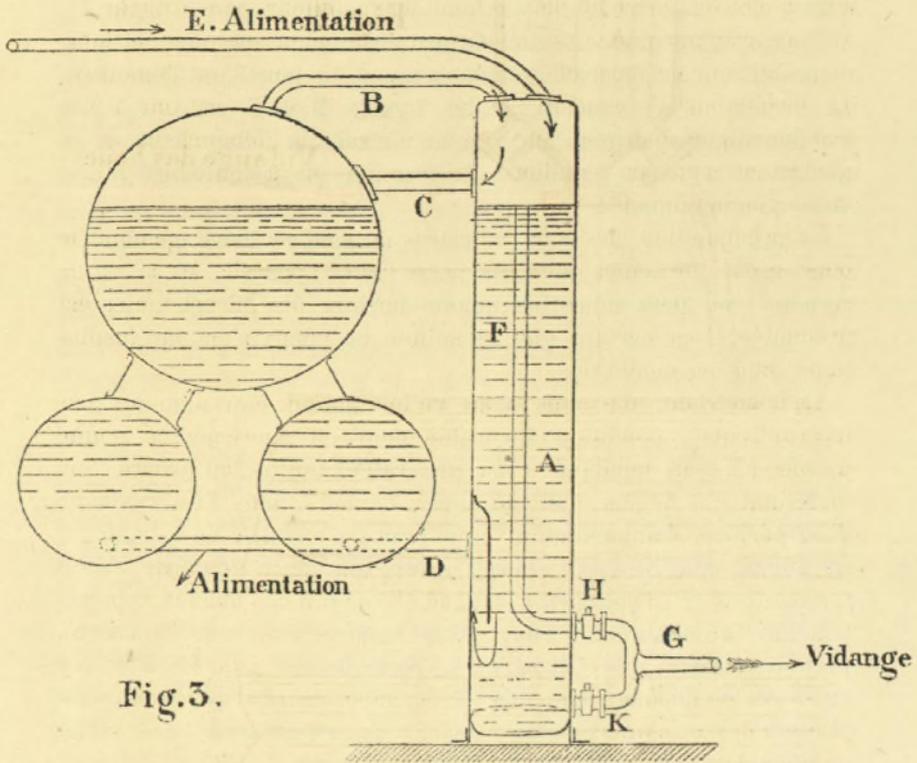


Fig. 3.

l'eau, et le troisième D communique avec le fond des bouilleurs.

Une cloison intérieure isole partiellement l'orifice de ce tuyau D du reste du débourbeur.

Enfin celui-ci est muni de deux robinets de vidange, l'un H prenant les dépôts au niveau supérieur, l'autre K les prenant au fond du débourbeur. Ces deux robinets sont reliés à une purge commune G.

L'alimentation E arrive à la partie supérieure de l'appareil. — L'inventeur prétend qu'il s'établit, par les tuyaux B et C, une circulation de vapeur et que l'eau d'alimentation traversant ce courant, brusquement saisie par la chaleur, laisse déposer tous les sels incrustants qui se réunissent, partie au niveau de l'eau, et partie au fond du vase; tandis que l'eau claire et purifiée, passant sous la cloison, se rend dans le fond des bouilleurs par le tuyau D.

Nous croyons que cette théorie est absolument erronée et nous avons fait, sur cet appareil, quelques essais qui nous l'ont démontré. La circulation de vapeur par les tuyaux B et C est tout à fait problématique, puisque, en régime normal, le débourbeur et le générateur sont en équilibre de pression et assimilables à des vases communiquants.

La précipitation des sels calcaires ne peut se faire pendant le court espace de temps que l'eau passe dans l'appareil, et si, à la rigueur, on peut admettre qu'une portion des bicarbonates est précipitée, il est certain que le sulfate de chaux n'est pas insolubilisé dans ces conditions.

Le débourbeur que nous avons vu fonctionner était alimenté par intermittence, condition favorable pour en apprécier la bonne marche; il était appliqué à un générateur tout à fait propre, ne marchant que depuis quelques jours. Quand, dans l'intervalle de deux périodes d'alimentation, on ouvrait les robinets de vidange, il ne sortait que de l'eau claire, preuve qu'*aucun dépôt ne s'était formé dans le débourbeur*. Quand on ouvrait ces mêmes robinets pendant l'alimentation, l'eau de la vidange était encore claire, preuve évidente que *l'appareil ne fonctionnait pas*. En effet, n'y eut-il pas de dépôts accumulés, il est incontestable que si la précipitation des sels incrustants s'opérait dans l'appareil l'eau serait troublée et sortirait telle au dehors.

Le fonctionnement de ce débourbeur nous paraît s'expliquer autrement. Pour nous, nous n'y voyons qu'un récipient communiquant en haut et en bas avec la chaudière, comme les tubes de niveau d'eau.

Il en résulte que, les pressions étant identiques dans le générateur et dans le débourbeur, les niveaux seront toujours sur un même plan.

Si l'on introduit de l'eau, pour l'alimentation, dans le débourbeur, cette eau entrera purement et simplement, par différence de niveau, dans la chaudière. Au contraire, lorsqu'on ouvre les robinets de vidange, c'est l'eau de la chaudière qui, du fond des bouilleurs, revient dans le débourbeur. Il en résulte que si la chaudière contient des dépôts, ceux-ci seront évacués, par l'intermédiaire du débourbeur, absolument comme s'il y avait sur les bouilleurs le simple robinet de purge dont nous avons parlé déjà. — Lorsque cette circonstance sera réalisée, l'appareil aura une efficacité *apparente* et son fonctionnement sera identique à celui des appareils que nous avons classés dans la 1^{re} catégorie, avec cette différence que, puisque l'on n'emploie plus de désincrustant, les sels adhérents continueront à former des incrustations, les autres étant en totalité ou en partie éliminés.

Il résulte de tout ce que nous venons de dire que les débourbeurs enlèvent, dans certains cas, une portion des dépôts, ce qui, à première vue, peut donner d'eux une opinion favorable. Mais il y a loin de là à la perfection et nous trouvons bien dangereuse la fausse sécurité que peut donner à un industriel l'emploi de tels appareils.

Nous conseillerons à ceux qui en font usage de continuer à ouvrir et à visiter leurs chaudières comme auparavant, quand même ils constateraient une amélioration quelconque. En effet, le fonctionnement de ces débourbeurs étant problématique, en agissant autrement ils s'exposeraient à de graves accidents.

On a aussi recommandé l'emploi des *réchauffeurs* qui ont un double avantage, celui d'utiliser une partie de la chaleur autrefois perdue dans les carnaux des chaudières et celui de purifier l'eau destinée à l'alimentation. Mais cette purification s'effectue aux dépens de l'appareil qui est bien vite inefficace. Les réchauffeurs tubulaires, qui seraient d'excellents appareils si on pouvait les employer avec des eaux pures, utilisés dans les conditions ordinaires, s'incrument, perdent leur conductibilité et entraînent à des nettoyages très pénibles et très coûteux. Lorsqu'on emploie des eaux

épurées, au contraire, ces appareils donnent d'excellents résultats et sont en tous points recommandables.

CHAPITRE III.

MÉTHODES CHIMIQUES.

La base de l'épuration chimique, lorsqu'il s'agit d'un travail industriel, doit être la suivante :

Éliminer les corps solubles nuisibles en solution dans l'eau au moyen de réactifs simples et peu coûteux et qui, après l'effet produit, ne peuvent laisser dans l'eau épurée des corps nouveaux nuisibles eux-mêmes.

Les principales méthodes d'épuration chimique sont les suivantes :

Épuration au carbonate de soude.

Épuration à la baryte et aux sels de baryum.

Épuration par les oxalates alcalins.

Épuration à la magnésie.

Épuration par les acides.

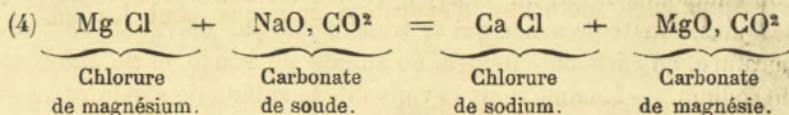
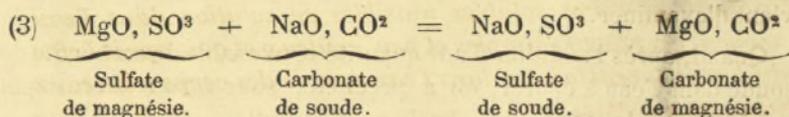
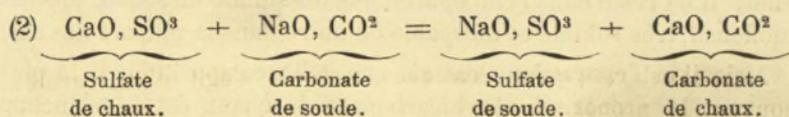
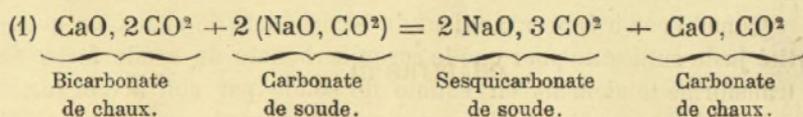
Épuration à la chaux et à la soude.

§ 1. — *Épuration au carbonate de soude.*

Le procédé d'épuration des eaux au carbonate de soude est fondé sur les réactions suivantes :

- (1) Le carbonate de soude précipite le *bicarbonate de chaux* à l'état de carbonate neutre en se transformant en sesquicarbonate ;
- (2) il transforme le *sulfate de chaux*, en carbonate de chaux en passant à l'état de sulfate de soude ; les *sels de magnésie*, sulfate (3)

et chlorure (4), en donnant du carbonate de magnésie et du sulfate de soude ou du chlorure de sodium.



Ces réactions ne peuvent avoir lieu à froid, car le sesquicarbonate de soude, en réagissant à son tour sur le sulfate de chaux, donnerait un sel de chaux également soluble. Il faut, pour que la précipitation soit complète, que la température soit de 70° centigrades environ; l'acide carbonique du sesquicarbonate de soude se dégage alors et la précipitation des sulfates en carbonate de chaux se fait rapidement. Toutefois, quand l'eau ne contient que des bicarbonates de chaux ou de magnésie, l'épuration peut se faire à froid.

L'opération se fait généralement dans des bâches, d'un volume suffisant pour que l'eau y séjourne environ 6 heures. On ajoute exactement la quantité de carbonate de soude nécessaire pour la précipitation; on élève la température à 70° C au moyen d'un jet de vapeur et on laisse reposer. La clarification s'effectue et le liquide clair, épuré, peut être employé.

Ce procédé assez simple, quoique coûteux lorsqu'il s'applique à

une quantité d'eau importante, ne donne des résultats satisfaisants que dans certains cas spéciaux. Les conditions les plus avantageuses pour son emploi sont les suivantes :

Quand l'eau à épurer contient du bicarbonate de chaux en quantité juste suffisante pour que le sesquicarbonate 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. En effet, il ne reste dans l'eau épurée que du sulfate de soude, produit inoffensif, très soluble et incapable de nuire dans la plupart des cas.

Mais il est rare qu'une eau ait une telle composition et, le plus souvent, la proportion de bicarbonate de chaux est de beaucoup supérieure à celle des sulfates. C'est donc ce cas général qu'il convient d'examiner.

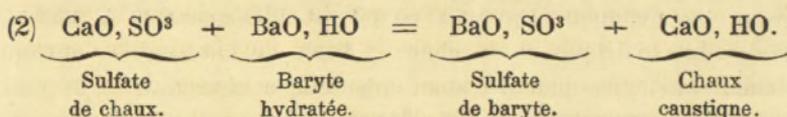
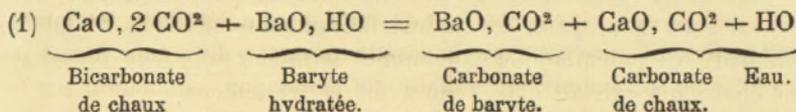
Quand, après l'addition d'une quantité convenable de carbonate de soude dans l'eau à épurer, on a précipité, sous forme d'un dépôt qui gagne le fond des baches d'épuration, toute la chaux contenue dans l'eau, il reste, d'après les formules précédentes, du sesquicarbonate de soude qui se transforme, par élévation de température, en carbonate neutre, du sulfate de soude et du chlorure de sodium. — Comme nous l'avons dit, le sulfate de soude et aussi le chlorure de sodium n'ont pas d'inconvénients dans la plupart des cas ; mais, il n'en est pas de même du *carbonate de soude* qui, dans le cas spécial de l'alimentation des appareils à vapeur, par exemple, se concentre dans les chaudières, attaque la robinetterie de cuivre, est entraîné jusque dans les organes des machines, forme des savons calcaires avec les huiles de graissage, etc., etc.

Pour certaines opérations de teinture, ce produit serait tout à fait nuisible ; par contre, dans le lavage des laines, le carbonate ne fait que favoriser l'action du savon. En résumé, l'épuration par ce procédé ne peut être appliquée que dans quelques industries spéciales et doit être rejetée dans la majorité des cas.

§ 2. — *Epuration par la baryte et les sels de baryum.*

Les procédés d'épuration par la baryte ou par les sels de baryum sont fondés sur l'insolubilité absolue des carbonates et sulfate de baryte dans l'eau, dans les conditions ordinaires de la pratique.

Les réactions qui donnent ces composés insolubles, comme résidu final de l'épuration, sont les suivantes :



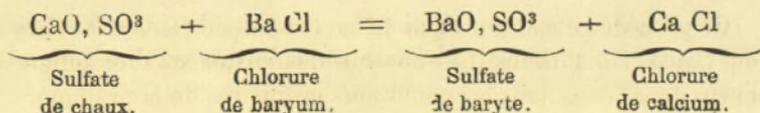
Par l'examen de la formule (1), on voit que, d'une part, on obtient du carbonate de baryte insoluble et du carbonate de chaux également insoluble, qu'il ne reste rien dans l'eau épurée après la décantation et la filtration, si cette eau ne contenait comme sel soluble de chaux que du bicarbonate, et qu'on a, dans ce cas, une épuration parfaite.

Mais quand l'eau contient en même temps du sulfate de chaux, et c'est, nous l'avons dit, le cas général, la réaction (2) s'opère en même temps que la réaction (1).

Il se forme du sulfate de baryte absolument insoluble et de la chaux caustique. Comme la solubilité à froid de la chaux est de 1 gramme par litre, cette chaux reste partiellement dissoute dans l'eau qui est alors alcaline.

Cette eau, pour l'alimentation des générateurs, ne saurait convenir puisqu'elle donnerait lieu à des dépôts qui sont au moins aussi dangereux que ceux dont nous avons montré les inconvénients. Elle ne conviendrait pas davantage pour les industries qui emploient l'eau à dissoudre du savon et devrait dans ce cas être absolument rejetée.

Pour remédier à ce grave inconvénient, on a ajouté à la baryte caustique du chlorure de baryum en quantité juste suffisante pour précipiter le sulfate de chaux.



Le chlorure de calcium très soluble, reste en dissolution et le sulfate de baryte se dépose.

Mais cette amélioration de la nature des eaux n'est qu'apparente, en se sens que, 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.

Pour les chaudières à vapeur, ce chlorure de calcium offre un grave inconvénient. En effet ce sel est décomposable à 150° en acide chlorhydrique et en chaux : l'eau de la chaudière devient alcaline et l'acide chlorhydrique, entraîné par la vapeur, va exercer son action corrosive dans les dômes de vapeur et jusque dans les organes des machines.

L'emploi de ce système présente encore un autre danger. On sait que les sels de baryte sont très vénéneux, il en résulte que l'emploi des réactifs, dans ce procédé, exige une attention toute particulière, la moindre erreur pouvant entraîner des accidents graves.

Il faut ajouter à ces inconvénient la dépense *énorme* qu'entraîne l'emploi d'un tel mode d'épuration.

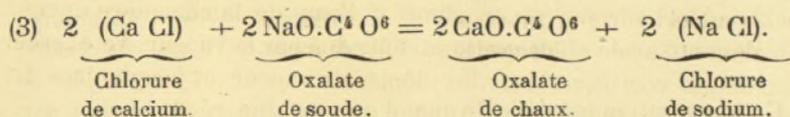
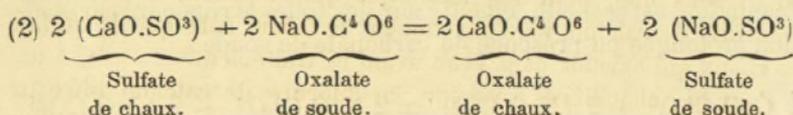
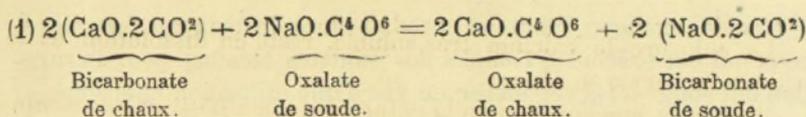
La baryte caustique, quoique produit industriel courant, est d'un prix très élevé. La quantité de baryte utile qu'elle contient n'est que les 45 centièmes du produit vendu, la baryte hydratée, la seule qu'on puisse employer pour une telle opération, ayant pour formule chimique : $BaO, HO, 9 HO$.

L'addition du chlorure de baryum diminue, dans une certaine mesure, le coût de l'épuration, mais le laisse encore à un taux très élevé, inabordable pour la grande industrie.

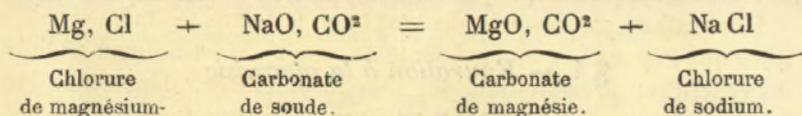
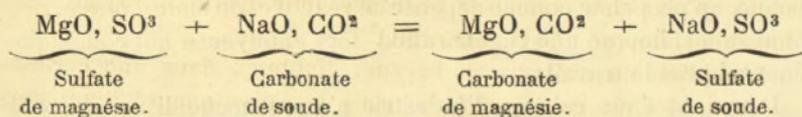
L'épuration par les sels de baryte se fait dans les mêmes conditions que l'épuration au carbonate de soude, c'est-à-dire : addition de réactif et précipitation des sels insolubilisés, dépôt dans des bâches de capacité suffisante et souvent filtration finale. — La précipitation peut se faire à froid.

§ 3. — *Epuration par les oxalates alcalins.*

Ce procédé repose sur l'action de l'oxalate de soude sur les sels de chaux : bicarbonate, sulfate ou chlorure en dissolution dans l'eau.



Par l'examen de ces 3 formules, étant donnée la composition la plus ordinaire des eaux, on conçoit que l'épuration est loin d'être parfaite. En effet, l'eau contient encore après traitement du carbonate de soude en quantité correspondante au bicarbonate de chaux, c'est-à-dire une très forte proportion, du sulfate de soude et du chlorure de sodium. — Les sels de magnésie ont été précipités par la réaction secondaire du carbonate de soude, à l'état de carbonate de magnésie.

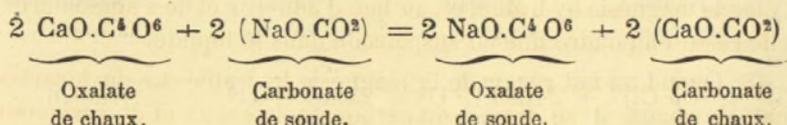


Toutes ces réactions peuvent, à la rigueur, se faire à froid, mais, dans ces conditions, le précipité très tenu d'oxalate de chaux se dépose lentement et il faut au moins douze heures pour avoir une eau, non pas limpide, mais en partie débarrassée des matières en suspension.

Le dépôt est plus rapide à chaud, quoique très long encore. — Il faut, dans tous les cas, avoir recours à la filtration.

L'acide oxalique étant un produit dont le prix est fort élevé, ceux qui ont préconisé l'emploi des oxalates alcalins pour l'épuration ont songé à les régénérer en vue d'une utilisation ultérieure.

Le précipité d'oxalate de chaux, déposé au fond des cuves de décantation, est recueilli, égoutté sur des toiles et régénéré par ébullition prolongée en présence de carbonate de soude :



Cette opération est délicate quand on veut une régénération parfaite et quand on veut éviter une perte considérable d'acide oxalique, perte qui entraînerait à des dépenses considérables pour l'épuration. — La solution d'oxalate de soude est employée pour une nouvelle opération.

En résumé, ce système d'épuration n'a pas sa raison d'être, puisque, après traitement, l'eau contient plus de matières nuisibles que dans aucun des systèmes que nous avons examinés jusqu'à présent.

Il est d'un maniement plus délicat, les dépôts s'effectuent moins rapidement, il exige une installation plus importante, il coûte beaucoup plus cher comme dépense de réactif et de main d'œuvre, et, finalement, impose une régénération fort ennuyeuse qui complique énormément le travail.

Pour toutes ces raisons, l'Industrie n'a pas accueilli ce procédé qui n'est remarquable que par sa complication et son imperfection

§ 4. — *Epuration à la magnésie*

Procédé Bohlig et Heyne.

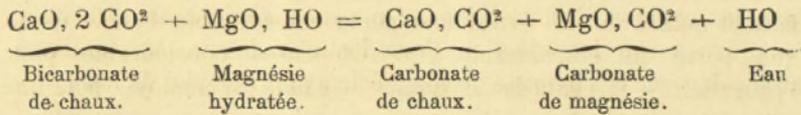
MM. Bohlig et Heyne ont proposé un procédé d'épuration qui est fondé sur les remarques et réactions suivantes :

(1). Si on fait bouillir une eau contenant des bicarbonates de chaux et de magnésie et du sulfate de chaux, on remarque qu'il se forme sur les parois du vase une croûte cristalline adhérente, formée de sulfate de chaux et de carbonate de chaux.

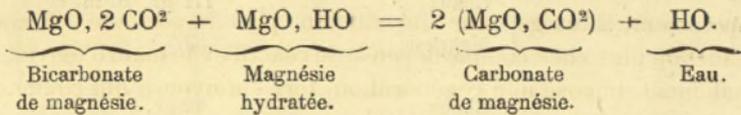
Le bicarbonate de magnésie se transforme, par l'ébullition, en hydrate de magnésie insoluble; cette poudre se dépose en même temps et contribue à durcir et à épaissir le dépôt qui s'effectue sur les parois du vase.

(2). 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.

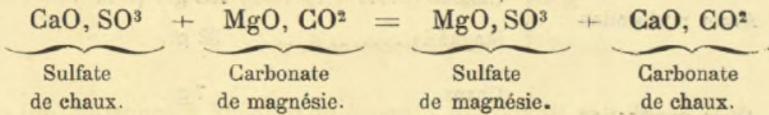
(3) Quand on fait réagir de la magnésie hydratée sur du bicarbonate de chaux, il se forme du carbonate de chaux et du carbonate de magnésie :



(4). Quand on traite du bicarbonate de magnésie par de la magnésie hydratée, la réaction, très longue à froid, donne rapidement à chaud :



(5). Le sulfate de chaux en présence de l'hydrate de magnésie est sans action, mais, quand on le traite par le carbonate de magnésie, il donne du carbonate de chaux et du sulfate de magnésie :



Étant données ces différentes réactions, il est clair qu'on pourra presque débarrasser de sa chaux un liquide contenant un mélange de bicarbonate de chaux et de sulfate de chaux. — Il restera, après la réaction, si le bicarbonate est en excès par rapport au sulfate, et c'est le cas général dans les eaux, 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 laissant précipiter de la magnésie hydratée qui, comme nous l'avons dit, reste en suspension dans le liquide et n'adhère pas aux parois du vase. On n'aura donc plus dans l'eau qu'une quantité de sulfate de magnésie correspondant au sulfate de chaux.

Au commencement de l'application de ce procédé pour l'épuration des eaux destinées à l'alimentation des générateurs, on faisait la réaction à froid, se basant précisément sur la précipitation du bicarbonate de magnésie en poudre non adhérente d'hydrate de magnésie. Mais, on ne tarda pas à trouver de graves inconvénients à cette poudre légèrement caustique, très fine, entraînée facilement dans les organes des machines. On pensa alors à faire bouillir l'eau, avant son introduction dans les chaudières, de manière à laisser déposer cet hydrate de magnésie avant l'emploi de l'eau.

Nous donnons ci-dessous la teneur en chaux et en magnésie d'une eau avant et après épuration, à chaud et à froid :

Traitement à froid :

| | | | |
|------------------------|---|---------------|---------------------|
| Avant purification.... | { | Chaux..... | 171 gr. p. m. cube. |
| | | Magnésie..... | 33,5 » |
| Après purification.... | { | Chaux..... | 12 gr. 5 » |
| | | Magnésie..... | 163 gr. » |

Traitement à chaud :

| | | | |
|------------------------|---|---------------|---------------------|
| Avant purification.... | { | Chaux..... | 183 gr. p. m. cube. |
| | | Magnésie..... | 32 gr. » |
| Après purification.... | { | Chaux..... | 7 gr. » |
| | | Magnésie..... | 130 gr. » |

A froid, on a *diminué* la proportion de chaux, par mètre cube, de 158 grammes et *augmenté* celle de magnésie de 129 grammes 1/2.

A chaud, on a *diminué* la proportion de chaux, par mètre cube, de 176 grammes et *augmenté* celle de magnésie de 98 grammes.

Il convient d'ajouter que la magnésie qui reste dans l'eau y étant à l'état de sulfate de magnésie ne peut donner d'incrustations.

Primitivement, on a pratiqué l'épuration de l'eau par la magnésie en agitant l'eau à épurer avec l'hydrate de magnésie dans un réservoir, puis en filtrant après clarification.

On a perfectionné ce procédé et on emploie actuellement un appareil dit « *batterie d'épuration*. » Cet appareil consiste en une série de cylindres réunis entre eux et remplis d'une matière filtrante sur laquelle on a placé une couche d'hydrate de magnésie. L'eau traverse successivement les différents cylindres et s'y débarrasse de sa chaux. Quand le premier cylindre est épuisé, on le décharge en le remplaçant par un cylindre nouvellement préparé. On prend le soin de faire circuler l'eau à la température de 75 à 80° C, pour obtenir, comme nous l'avons dit plus haut, un meilleur résultat.

Ce procédé qui, pour donner de médiocres résultats, oblige à chauffer à une température voisine de l'ébullition toute la masse de l'eau à épurer, n'est encore applicable qu'à l'eau destinée à l'alimentation des chaudières à vapeur. Il est évident qu'on ne peut songer à l'employer dans les industries où l'usage du savon est nécessaire, telles que les lavages de laines, de soies, blanchisseries, foulages de draps, etc., le savon magnésien présentant tous les inconvénients du savon calcaire et étant aussi insoluble que lui.

Ce procédé, qui a pris naissance en Allemagne, y a été employé sans grand succès. En France, il est peu connu, et, malgré la propagande d'une société financière, il ne paraît pas devoir y réussir, car il est, à tous les points de vue, inférieur aux procédés appliqués depuis longtemps.

§ 5. — *Epuration par les acides.*

Ce procédé n'est pas, en réalité, une épuration. Il a pour but la transformation des sels incrustants en sels solubles. On ne peut l'appliquer que dans le cas spécial de l'alimentation des chaudières à vapeur.

L'acide à employer est, bien entendu, celui qui donne, avec les sels dissous dans l'eau, tous sels solubles. Ce sera donc ou l'acide

nitrique ou l'acide chlorhydrique. Le premier de ces deux acides, l'acide nitrique, est rejeté en raison de son prix élevé.

Le traitement par l'acide chlorhydrique se fait de la manière suivante :

Étant donnée une eau d'une composition déterminée, on y ajoute, dans un volume donné, une quantité *théoriquement* exacte d'acide chlorhydrique pour transformer tous les bicarbonates en chlorures. Après ce traitement et une agitation suffisante l'eau doit être absolument neutre, c'est-à-dire qu'elle ne doit pas rougir le papier bleu de tournesol.

Ce procédé, très dangereux en ce sens qu'il est *pratiquement* difficile d'ajouter à un volume donné d'eau une quantité *théoriquement* exacte d'acide chlorhydrique, peut, par suite de la négligence d'un ouvrier, causer les plus graves accidents. Un excès d'acide chlorhydrique dans une chaudière à vapeur y produira des corrosions, particulièrement au niveau de l'eau dans le générateur.

En outre, l'acide chlorhydrique dissous dans l'eau se dégagera sous forme gazeuse par l'action de la chaleur, sera entraîné dans les organes des machines, dans les tuyaux de chauffage et occasionnera rapidement les avaries les plus graves.

De plus cette transformation des sels incrustants en chlorures solubles est en elle-même très mauvaise en raison d'une réaction déjà citée. Nous avons dit que le chlorure de calcium, soumis à une température de 150° donne lieu à un dégagement d'acide chlorhydrique. L'action de cet acide s'ajoutera à celle de l'acide libre dont nous venons de parler.

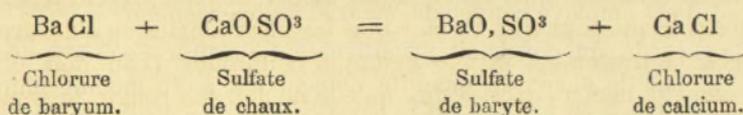
Il faudra encore vider assez fréquemment les chaudières, car le sulfate de chaux, quoique plus soluble dans une solution de chlorure de calcium faible que dans l'eau ordinaire, n'en restera pas moins un sel incrustant avec tous ses inconvénients.

En présence des défauts que présentait cette méthode de traitement des eaux, et particulièrement en raison de l'usure rapide des chaudières et des machines, on a songé à des modifications du procédé.

Dans le but d'éviter l'excès d'acide chlorhydrique dans les eaux on a employé le moyen suivant :

On ajoutait à l'eau une dose d'acide chlorhydrique un peu supé-

rieure à la quantité théoriquement nécessaire et on faisait circuler l'eau ainsi acidulée dans des vases, dans des citernes ou dans des rigoles contenant du carbonate de baryte naturel. Il se formait, dans ces conditions, du chlorure de baryum qui, réagissant sur le sulfate de chaux contenu dans l'eau, donnait finalement du chlorure de calcium soluble et du sulfate de baryte insoluble.



Ce procédé, dont on attendait les meilleurs résultats, est bien imparfait et inefficace.

Quand on fait passer un liquide froid, chargé de quelques millièmes d'acide chlorhydrique libre, sur du carbonate de baryte naturel, l'action de l'acide est excessivement lente, presque nulle et il faut plusieurs jours de contact pour que la formation du chlorure de baryum ait lieu. Même au bout de ce temps le liquide est encore légèrement acide. Il faut, pour que la réaction s'opère utilement, élever la température de l'eau à 60 ou 70° ce qui, dans la plupart des cas, est bien difficile.

De plus le sulfate de baryte formé à froid est très tenu, se dépose difficilement ce qui rend la décantation très longue. La filtration ne réussit pas mieux car les pores de la matière filtrante sont rapidement obstrués et les nettoyages sont longs et coûteux.

Quand la réaction est faite à chaud, le dépôt demande encore au moins six heures de repos, temps pendant lequel l'eau qu'on a chauffée à grand frais perd la plus grande partie de son calorique.

En présence de tous ces écueils il est clair que ce procédé n'est nullement recommandable. Il a, au premier abord, une apparence de simplicité tout à fait séduisante, mais il conduit à une installation encombrante et coûteuse, à des manipulations délicates et ne donne finalement que des résultats très imparfaits. Son emploi, qui s'était un peu développé en Angleterre et en Amérique, a été bientôt abandonné par les industriels soucieux du bon état de leur matériel et de la sécurité de leurs appareils à vapeur.

§ 6. — *Épuration à la chaux et à la soude.*

Pour en terminer avec les différents systèmes d'épuration chimique, nous allons décrire le procédé de Clark qui nous semble le plus simple, le plus économique et celui qui donne les meilleurs résultats quand il est employé convenablement et judicieusement.

Ce procédé, qui consistait primitivement à traiter l'eau à épurer par du lait de chaux en quantité déterminée, a été modifié d'une heureuse façon en remplaçant le lait de chaux par l'eau de chaux, et aussi, suivant les cas et la nature de l'eau épurée, en l'additionnant d'une solution convenablement préparée de soude caustique.

Disons de suite que l'épuration par le *lait de chaux* est imparfaite et que souvent même elle est dangereuse. En effet, la quantité de chaux à ajouter à une eau pour son épuration doit être déterminée exactement. En employant trop peu, on a une épuration incomplète ; un excès de chaux est encore plus nuisible. En raison de sa solubilité dans l'eau, la chaux se dissout et on a, non seulement une épuration imparfaite, mais encore une eau alcaline dangereuse dans beaucoup de cas.

Or, on comprend facilement qu'il n'est pas pratiquement possible d'ajouter, à un volume d'eau déterminé, exactement la quantité de lait de chaux qui serait nécessaire pour son épuration. La chaux a une composition fort variable, puisqu'elle renferme de 60 à 90 % de chaux pure, suivant sa provenance et sa plus ou moins bonne cuisson. La composition d'une chaux déterminée est elle-même sujette à variations suivant les incuits mal répartis qu'elle contient, sa plus ou moins grande hydratation, etc, etc.

Le lait de chaux, résultant de l'emploi d'un poids constant de chaux aura donc une teneur très variable en chaux caustique utile.

Il reste bien le contrôle de la densité du lait de chaux, mais là encore le résultat est aléatoire ; la chaux en suspension dans l'eau se déposant très facilement, il est difficile, pour l'épuration, de se rendre un compte suffisamment exact de la valeur d'un lait de chaux par sa densité.

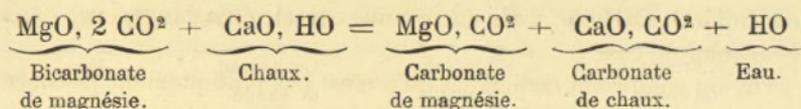
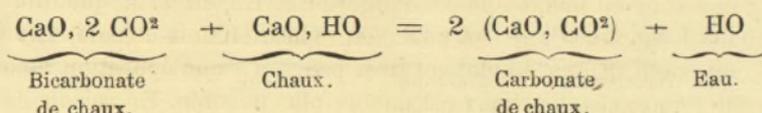
Malgré ces imperfections et les conséquences qui peuvent en résulter, un assez grand nombre d'industriels se contentent de cette

façon d'opérer. Ajoutons que le plus souvent on ne se rend pas compte du résultat obtenu, c'est-à-dire de la qualité de l'eau épurée.

L'épuration par l'eau de chaux est infiniment plus rationnelle.

On a remarqué que, bien que la solubilité de la chaux dans l'eau soit de 1 gr. 25 par litre, on ne dissolvait pratiquement, par une agitation de 10 à 15 minutes, qu'un gramme par litre et que la richesse de cette solution n'augmentait pas sensiblement, même en présence d'un grand excès de chaux. C'est donc d'après cette base qu'on calculera le volume d'eau de chaux à ajouter à une eau donnée pour son épuration. — On sera toujours sûr d'ajouter à l'eau exactement le poids de chaux nécessaire.

L'épuration à la chaux n'enlève que les bicarbonates de chaux et de magnésie :



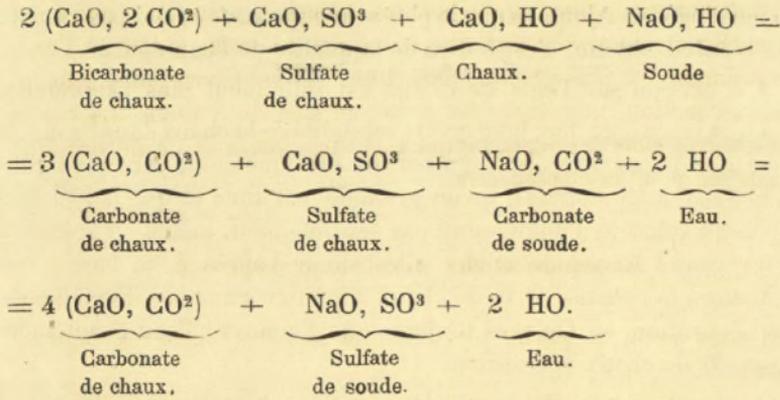
Il résulte de là que si l'eau contient du sulfate de chaux, et c'est le cas général comme nous l'avons dit, et aussi des sulfate de magnésie, chlorure de calcium et de magnésium, etc., l'épuration sera incomplète, et cela d'autant plus que la proportion de ces sels sera plus forte.

Certaines eaux même ne peuvent s'épurer par ce moyen.

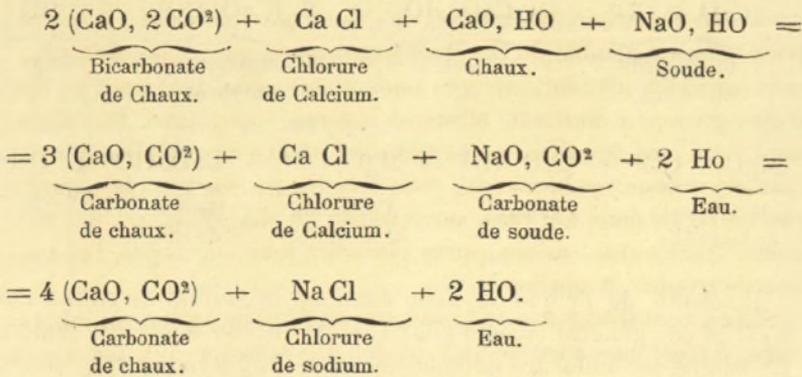
Il faut alors avoir recours au carbonate de soude.

Mais, comme le carbonate de soude n'est pas compatible avec l'eau de chaux, c'est-à-dire ne peut être mélangé avec elle, on doit se servir de la soude caustique.

Il faut toutefois que cette soude caustique puisse se transformer dans l'eau à épurer en carbonate de soude, lequel carbonate de soude réagira alors sur les sulfates et chlorures de calcium et de magnésium.



Avec le chlorure de calcium on a :



Les réactions qui se produisent avec le sulfate de magnésie et le chlorure de magnésium sont identiques à celles que nous venons de citer et donnent finalement du carbonate de magnésie insoluble.

Il ne reste donc, dans l'eau épurée après ce traitement, que du sulfate de soude et du chlorure de sodium, produits inoffensifs et qui ne peuvent nuire dans aucun cas, aussi bien pour l'alimentation des générateurs que pour tous autres emplois de l'eau épurée.

On a en outre remarqué que l'action du carbonate de soude ainsi formé au sein du liquide était notablement plus complète et

surtout beaucoup plus rapide, sur les sulfates à précipiter, que celle du carbonate de soude tout préparé qu'on pourrait ajouter à l'eau. Le précipité est plus grenu, plus lourd et se dépose plus rapidement, réaction importante au point de vue du volume des cuves nécessaires pour le dépôt complet ou des appareils de décantation employés pour la clarification.

Élimination des matières organiques.

Il nous reste à parler de l'élimination des *matières organiques*.

Les matières organiques qui, dans un grand nombre d'opérations industrielles, ne sont pas très nuisibles par elles-mêmes, ont souvent le grave défaut de s'opposer à la décantation ou à la filtration des eaux. On remarque, en épurant des eaux qui renferment une proportion assez notable de matières organiques, que les précipités formés par suite des réactions que nous avons citées plus haut, au lieu d'être grenus et concrets, affectent la forme spongieuse. En examinant l'eau qui les tient en suspension, on la voit remplie de petits mamelons blancs volumineux, mais très légers, et, si on laisse cette eau en repos dans un vase, on constate qu'elle s'éclaircit difficilement. Quelquefois même, après plusieurs jours de repos, l'eau est encore trouble et opaline.

Si l'on veut filtrer une telle eau sur un filtre de papier, au laboratoire, il n'est pas rare de voir le dépôt s'attacher aux parois du filtre sous la forme gélatineuse et obstruer complètement les pores du filtre qui cesse rapidement de débiter.

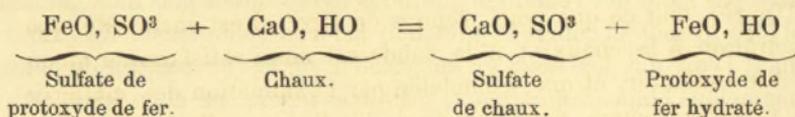
Ce qu'on constate en petit, dans un vase ou sur un filtre, se reproduit en grand avec mille inconvénients. Souvent, on ne peut clarifier l'eau par un simple dépôt, et, si on veut la filtrer sur des copeaux, du coke ou des éponges, on éprouve une grande difficulté. Si le filtre est convenablement serré, comme il convient pour obtenir une clarification parfaite, il s'obstrue très rapidement. Si, dans le but d'éviter cette obstruction, on ne serre que très modérément le filtre, on obtient alors du débit, mais l'eau n'est plus claire. — Nous avons reconnu qu'un traitement chimique spécial était alors indispensable.

Si la matière organique est en très petite quantité, il n'est pas rare de la voir entraînée mécaniquement par les précipités chimiques formés par l'épuration dans le sein du liquide. Dans ce cas, un traitement spécial n'a aucune utilité.

Si la matière organique abonde, comme dans le cas d'un grand nombre d'eaux de ruisseaux, d'étangs ou de rivières, il suffit généralement d'ajouter à l'eau, pendant son épuration, une petite quantité d'un sel de fer ou d'alumine. Ce sel donne, par l'action de la chaux, un précipité assez volumineux de sesquioxyde de fer ou d'alumine, ou, comme l'on dit, une laque qui se précipite facilement, englobe les matières organiques insolubilisées et opère la clarification rapide de l'eau.

Il y a lieu de faire un choix convenable du sel à employer pour produire la réaction. — On emploie d'ordinaire soit le protosulfate de fer, soit le sulfate d'alumine, ou encore le perchlorure de fer.

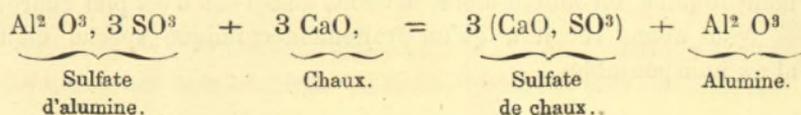
Voici les réactions, qui ont toutes pour base l'action de la chaux sur le sel métallique :



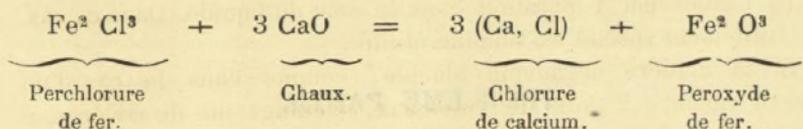
Dans cette réaction, on obtient un précipité d'hydrate de protoxyde de fer, qui se transforme assez rapidement en hydrate de peroxyde, et du sulfate de chaux qui sera précipité, par les réactions épurantes dont nous avons parlé, pour donner finalement du sulfate de soude, sel inoffensif.

Nous devons faire observer que l'hydrate de protoxyde de fer étant soluble dans une eau alcaline, il y a lieu de prendre certaines précautions lorsqu'on emploie le sulfate de fer, pour éviter d'avoir une eau épurée qui contiendrait du fer. — La présence du fer doit, en effet, être radicalement évitée quand on épure des eaux destinées aux blanchisseries, aux lavages, etc.

Il vaut mieux, dans ces cas, employer le sulfate d'alumine, qui donne lieu à la réaction suivante :



Avec le perchlorure de fer, on a :



On produit une laque de peroxyde de fer et il reste dans l'eau du chlorure de calcium. — Ce chlorure de calcium est, par l'épuration, converti en chlorure de sodium, sel sans inconvénient, c'est-à-dire incapable de nuire dans la plupart des cas.

En résumé, l'addition d'un sel métallique pour la séparation des matières organiques est d'une très grande efficacité et ne complique pas sensiblement l'épuration. Il suffit de calculer la composition du réactif de manière à tenir compte du sulfate de chaux ou du chlorure de calcium formés dans les réactions secondaires que nous venons d'indiquer.

D'après tout ce que nous venons de dire, il est manifeste que l'épuration à la chaux et à la soude est aussi satisfaisante qu'on peut le souhaiter, et que, complétée par l'élimination des matières organiques, comme nous venons de l'indiquer, elle permet d'atteindre un résultat pratique très voisin de la perfection.

Nous ne reviendrons donc plus sur les autres méthodes d'épuration chimique, et, dans la troisième partie de ce travail, consacrée à l'étude des dispositions pratiques employées pour l'épuration et la clarification des eaux, nous n'envisagerons que les dispositions s'appliquant d'une manière générale, à l'épuration par la chaux et à l'épuration par la chaux et la soude.

TROISIEME PARTIE.

Dispositions pratiques employées pour la purification et la clarification des eaux.

Les principales méthodes employées pour la purification et la clarification des eaux, au point de vue pratique, peuvent se classer sous les rubriques suivantes :

- 1^o *Épuration avec clarification par dépôt dans des citernes ou dans des baches.*
- 2^o *Épuration avec clarification par dépôt partiel et filtration.*
- 3^o *Épuration avec clarification par filtration totale.*
- 4^o *Épuration avec clarification par décantation continue.*

CHAPITRE I.

ÉPURATION AVEC CLARIFICATION PAR REPOS DANS DES CITERNES OU DANS DES BACHES.

Tous les procédés de clarification par dépôt reposent sur ce fait que, lorsqu'on laisse en repos complet un liquide tenant en suspension un corps solide d'une densité supérieure à la sienne, le corps solide gagne le fond du vase et le liquide devient limpide.

Le temps nécessaire pour l'obtention d'une clarification parfaite dépend de la nature du liquide et de celle du solide.

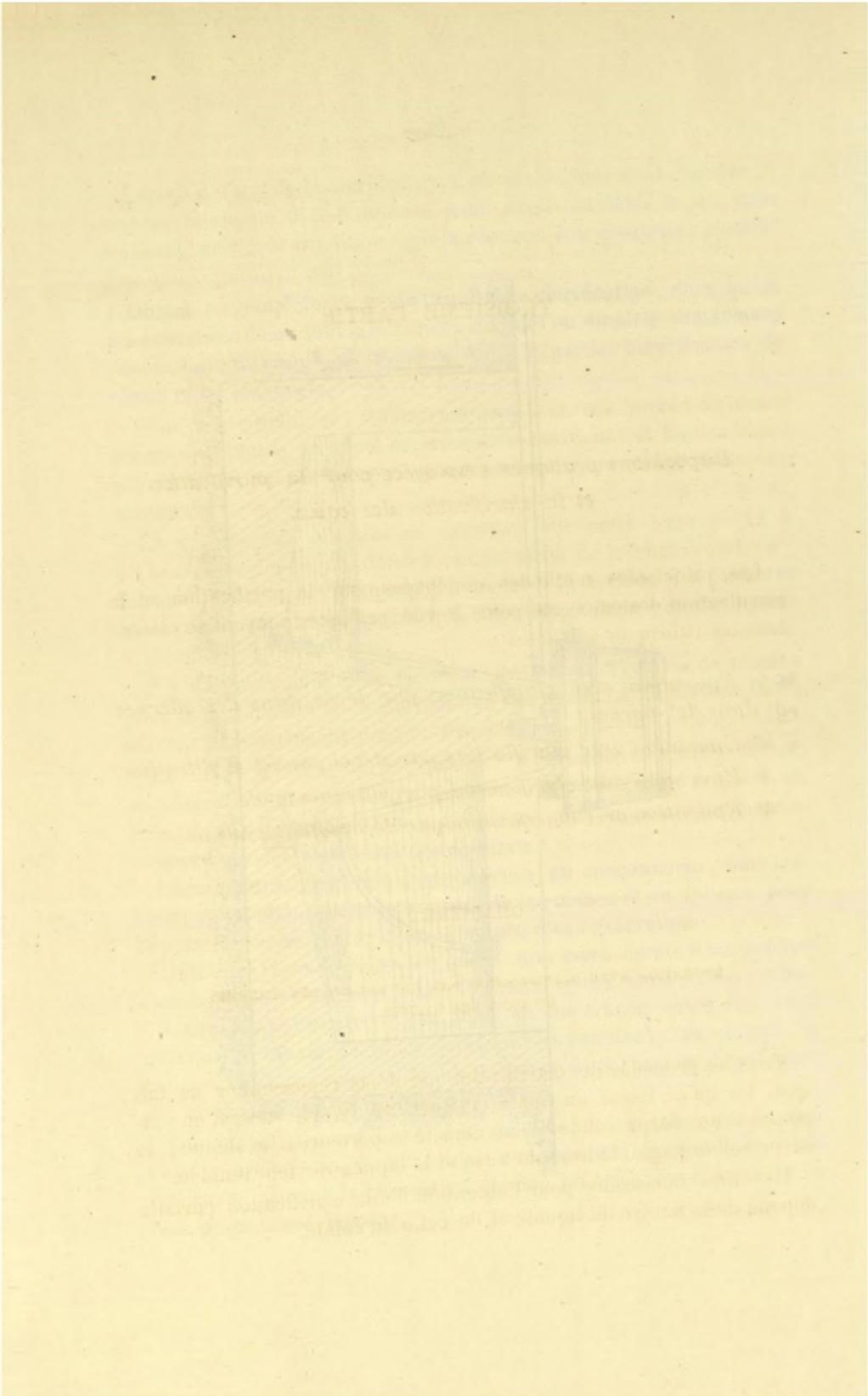
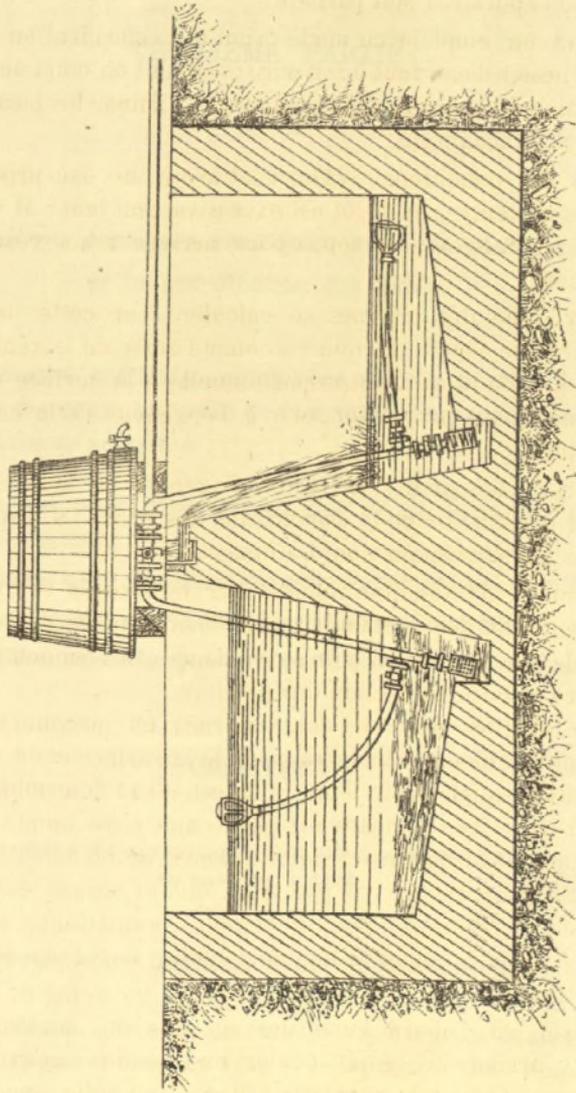


FIG. 4



Lorsqu'il s'agit de la clarification d'eaux chimiquement épurées, il faut au minimum 6 à 8 heures pour avoir un dépôt à peu près suffisant. cela à la condition que la réaction soit complète, c'est-à-dire que l'épuration soit parfaite.

Quand on emploie ce mode primitif de clarification, c'est qu'on n'a pas besoin d'eau tout à fait pure; souvent on emploie simplement l'épuration à la chaux, se contentant d'éliminer les bicarbonates de chaux et de magnésie.

Dans ces conditions, si l'on veut avoir une eau privée de bicarbonates et neutre, le dépôt est excessivement lent; il faut calculer sur 12 à 18 heures de repos pour arriver à un résultat encore médiocre.

Le volume des citernes se calculera sur cette base de 12 à 18 heures de dépôt; on tiendra compte aussi de la règle suivante: la rapidité du dépôt est proportionnelle à la surface des citernes et inversement proportionnelle à l'épaisseur de la couche liquide à clarifier.

Il y a évidemment mille façons d'agencer un système de bassins pour la purification et la clarification des eaux. La disposition varie suivant l'emplacement dont on dispose.

Le mode d'installation indiqué par le croquis ci contre (fig. 4) représente un des meilleurs agencements qu'on puisse réaliser, au point de vue de la facilité de surveillance, de l'économie de la main-d'œuvre et de la perfection des résultats.

L'installation comprend deux citernes en maçonnerie, convenablement calculées, sous le rapport de la surface et du volume, pour l'épuration satisfaisante d'une quantité d'eau déterminée.

Entre les deux citernes on place une cuve munie d'un robinet dans laquelle on prépare le lait de chaux, à une densité convenable.

L'eau à épurer arrive par une goulotte tracée entre les deux citernes et munie de deux déversoirs permettant, au moyen de vannes, de faire couler le liquide à épurer dans l'une ou dans l'autre des citernes.

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 pleine, on agite avec un rable en bois et on laisse déposer.

Le fond des bassins est incliné de manière à amasser, autant que possible, les dépôts dans un petit puisard disposé à l'un des angles. Une pompe, dont le tuyau d'aspiration est indiqué sur le croquis, permet, à l'aide d'un tuyau à flotteur, de prendre toujours le liquide clarifié. Ce tuyau d'aspiration est disposé de telle manière qu'on puisse, par la manœuvre de deux robinets, prendre la boue qui s'accumule au fond des citernes et la refouler dans l'aqueduc.

Lorsqu'on ne peut disposer d'un espace suffisant pour la construction de citernes, et surtout quand la quantité d'eau à épurer est relativement minime, on a recours à des baches en tôle qu'on dispose à une hauteur convenable. De cette manière l'eau épurée coule directement aux endroits où on doit l'utiliser, ou mieux encore dans un réservoir intermédiaire qui régularise sa distribution.

Le croquis ci-contre montre suffisamment le fonctionnement de l'installation. Celle-ci comprend deux baches, ou un plus grand nombre, posées sur un plancher, autant que possible à un étage de l'usine. A cheval sur ces deux cuves on place un petit bac dans lequel on prépare le lait de chaux. — Une pompe refoule l'eau à épurer dans l'une des cuves, tandis que l'eau épurée s'écoule de l'autre par un robinet à flotteur. Les boues d'épuration sont évacuées par des robinets de vidange.

Ce système d'épuration, par citernes ou baches, ne saurait être recommandé, surtout lorsqu'il s'agit de traiter des volumes d'eau un peu considérables. L'installation qui, à première vue, paraît très simple, devient alors encombrante et coûteuse. Il faut de grandes citernes ou de vastes réservoirs, des charpentes très solides ou un emplacement très considérable.

De plus, par ce moyen l'épuration est intermittente; elle demande une attention continuelle, beaucoup de soins, de la main-d'œuvre, etc., et tout cela pour arriver à un résultat médiocre.

On peut dire du reste que ce procédé, qui a été certainement le premier mis en usage pour l'épuration de l'eau, n'est plus pratiqué aujourd'hui que dans des cas tout à fait exceptionnels.

On l'a remplacé par des moyens plus perfectionnés : la filtration ou la décantation continue.

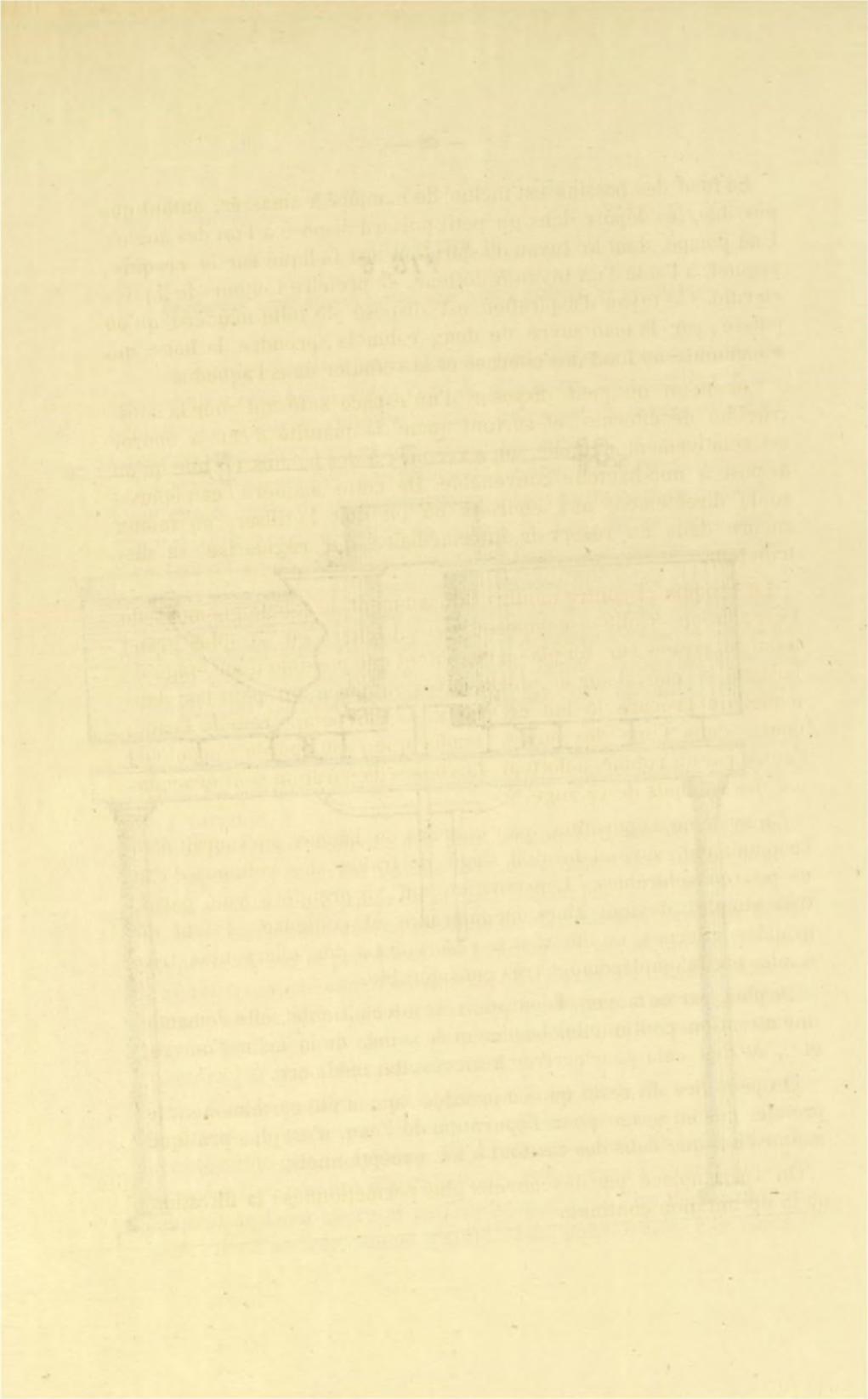
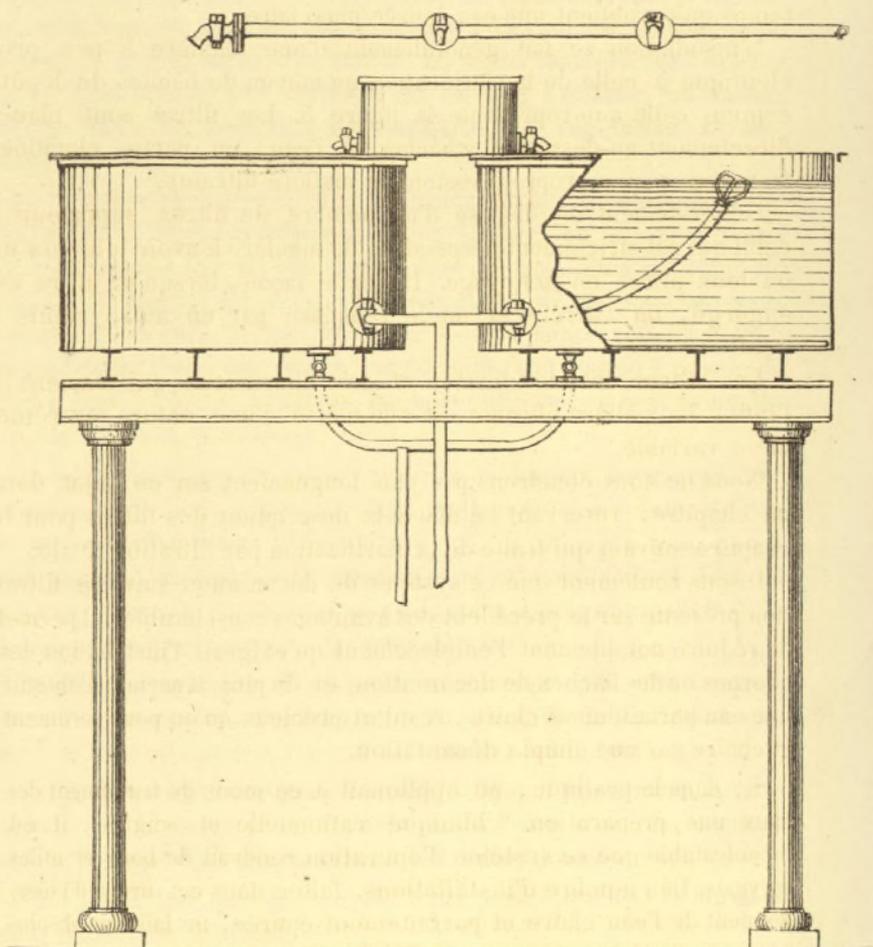


FIG. 5



CHAPITRE II.

ÉPURATION AVEC CLARIFICATION PAR DÉPÔT PARTIEL ET FILTRATION.

Comme simplification immédiate du procédé que nous venons de décrire on a songé à prendre l'eau épurée avant sa complète clarification et à la filtrer. De cette manière on gagne du temps, en même temps qu'on obtient une eau épurée plus claire.

L'installation se fait généralement d'une manière à peu près identique à celle de la clarification au moyen de bâches de dépôt, comme celle que représente la figure 5. Les filtres sont placés directement au-dessous des bâches, et l'eau, en partie clarifiée, traverse, par sa propre pression, la matière filtrante.

Généralement on dispose d'un nombre de filtres supérieur à celui qui est strictement nécessaire, de manière à avoir toujours un ou deux filtres en nettoyage. De cette façon, lorsqu'un filtre est engorgé, on l'arrête et on le remplace par un autre remis à neuf.

Les filtres ont des formes et des dimensions qui varient à l'infini. La matière filtrante est elle-même d'une nature extrêmement variable.

Nous ne nous étendons pas plus longuement sur ce sujet dans ce chapitre, réservant l'étude et la description des filtres pour le chapitre suivant qui traite de la clarification par filtration totale.

Disons seulement que ce système de décantation suivi de filtration présente sur le précédent des avantages considérables. Il permet de réduire notablement l'emplacement qu'exigeait l'installation des citernes ou des bâches de décantation, et, de plus, il permet d'obtenir une eau parfaitement claire, résultat précieux qu'on peut rarement atteindre par une simple décantation.

Si, dans la pratique, on appliquait à ce mode de traitement des eaux une préparation chimique rationnelle et soignée, il est incontestable que ce système d'épuration rendrait de bons et utiles services. Bon nombre d'installations, faites dans cet ordre d'idées, donnent de l'eau claire et parfaitement épurée, ne laissant absolument rien à désirer comme qualité. Mais, pour arriver à ce résultat,

il faut, comme nous venons de le dire, soigner tout particulièrement la préparation chimique de l'eau.

Les meilleurs résultats s'obtiendront par l'emploi de l'épuration à la chaux et à la soude, à condition d'employer l'eau de chaux et non le lait de chaux, pour les raisons que nous avons déjà indiquées.

C'est ici le cas de dire que, le plus souvent, ce système d'épuration est, au contraire, pratiqué avec l'emploi du lait de chaux, ce qui fait qu'il laisse à désirer sous le rapport de la régularité de l'épuration.

Le principe chimique de l'épuration par le lait de chaux étant identiquement le même que celui de l'épuration par l'eau de chaux, il est bien évident qu'il est possible d'atteindre le même résultat. Mais, si cela est possible théoriquement, il est facile d'établir que ce résultat peut rarement être obtenu pratiquement. C'est ce que nous avons fait en exposant la théorie chimique de l'épuration.

Nous avons montré que le lait de chaux préparé, dans un mélangeur, au moyen d'un poids déterminé de chaux solide et d'un volume déterminé d'eau, aurait, malgré ces précautions et la précision des dosages, une composition variable.

Cela résulte des variations que présente la chaux ordinaire dans sa composition. Une bonne chaux grasse renferme, en moyenne, 80 % de chaux caustique analytiquement pure; mais cette teneur peut varier de 70 à 85 % et même, accidentellement, dans de plus fortes limites. Il résulte de là que l'on n'est jamais sûr d'une pesée de chaux pour l'épuration.

De plus, le lait de chaux est rarement homogène et on ne peut connaître exactement sa teneur en chaux caustique, ni, par suite, la quantité à employer pour l'épuration d'un volume d'eau déterminé.

Enfin, chose plus grave, l'ouvrier peut se tromper dans les pesées. S'il met trop peu de chaux, l'épuration n'est plus complète; mais s'il en met trop, non seulement l'épuration est mauvaise, mais de plus l'eau épurée est dangereuse dans la plupart des cas, parce qu'elle est alcaline et qu'elle tient de la chaux caustique en dissolution.

Avec l'eau de chaux, au contraire, ces inconvénients ne sont plus à craindre, puisque le réactif a toujours une composition uniforme, la solubilité de la chaux dans l'eau étant limitée et invariable dans les conditions ordinaires de la pratique.

Nous nous étonnons fort qu'on persiste encore, dans la plupart des cas où l'on emploie la filtration après décantation, à faire usage de lait de chaux, quand il serait si simple et si pratique d'employer l'eau de chaux. On aurait alors un système véritablement rationnel d'épuration, tandis que, avec le mode d'épuration adopté, le résultat est toujours aléatoire.

Dans l'établissement d'une épuration d'eau par ce système, il ne faut pas perdre de vue ce que nous avons dit à propos de la durée de la réaction. Avant de filtrer l'eau, il faut que la réaction chimique épurante se soit produite et terminée; il faut donc que les bâches qui précèdent les filtres aient une capacité suffisante pour contenir l'eau pendant tout le temps nécessaire à cette réaction. On ne pourra donc réduire le volume des citernes ou des bâches que dans une mesure déterminée par l'importance de l'installation.

Si la bêche ou la citerne qui précède les filtres est d'une capacité insuffisante, que ce soit le résultat d'une erreur ou une économie mal raisonnée, la filtration s'opérant avant que la réaction soit complète donne, à la sortie des filtres, une eau claire qui ne tarde pas à se troubler à nouveau.

Les inconvénients que présente ce mode d'épuration sont comparables à ceux que présente le système de clarification par décantation. On a en moins l'inconvénient d'avoir des eaux mal clarifiées; mais la limpidité de l'eau épurée n'est obtenue qu'au prix de tous les inconvénients qu'entraîne la filtration.

Ces inconvénients, que nous avons signalés d'une manière générale dans la deuxième partie de ce travail, varient suivant le genre de filtre adopté et selon la nature de la matière filtrante employée.

Nous aurons l'occasion d'y revenir en détail au chapitre suivant, en décrivant les principaux types de filtres employés dans l'industrie.

En résumé le système d'épuration par décantation suivie de filtration est excellent en principe; toutes les fois qu'on y apporte, dans la pratique, les soins désirables, il donne de très bons résultats. Mais ces soins sont indispensables et, faute de les prendre, on arrive à une solution mauvaise ou imparfaite.

CHAPITRE III.

ÉPURATION AVEC CLARIFICATION PAR FILTRATION TOTALE.

En principe le système d'épuration avec clarification par filtration totale est moins logique que le précédent.

En effet, nous avons dit que, dans toute épuration, l'eau devait demeurer mélangée avec le réactif pendant un temps suffisant pour assurer la perfection de l'épuration chimique.

De là, quel que soit le système, la nécessité d'employer un récipient pour y faire la réaction, récipient qui doit avoir une capacité suffisante pour que l'eau y séjourne pendant toute la durée de cette réaction. Dans le système précédent, on profite de ce réservoir pour laisser décanter l'eau, de manière à n'envoyer aux filtres qu'un liquide peu chargé qui ne les encrasse pas trop vite.

Dans le système de la filtration totale, on envoie toute l'eau et tout le précipité dans les filtres qui s'engorgent alors beaucoup plus vite, ce qui est un inconvénient. Cet inconvénient n'est pas compensé par des avantages, puisqu'il ne permet même pas de diminuer la capacité des appareils qui servent à l'épuration.

Nous montrerons plus loin qu'il est cependant des cas où ce système, bien compris et bien agencé, peut être préféré au précédent.

En principe voici comment l'on procède pour épurer les eaux par ce moyen :

L'eau et le réactif sont amenés ensemble ou successivement dans un réservoir où on les maintient en agitation continue pendant tout le temps qu'exige la réaction.

Une fois que celle-ci est achevée on fait passer le liquide chargé de tous les précipités sur les filtres qui le clarifient.

Pendant qu'une cuve se filtre une autre est en préparation.

Ou bien encore, l'eau et le réactif arrivent d'une manière continue et régulière dans un réservoir mélangeur où se produit la réaction. Le liquide est maintenu en mouvement, soit par des agitateurs mécaniques, soit par sa propre circulation, et le réservoir est calculé et construit de telle manière qu'entre l'entrée de l'eau et sa

sortie du mélangeur il s'écoule un temps suffisant pour que la réaction ait eu le temps de se produire et de s'achever. Le liquide épuré mais complètement trouble passe alors d'une manière continue sur les filtres qui le clarifient et l'on obtient finalement un courant continu d'eau claire et épurée.

Nous ne répéterons pas ici ce que nous avons déjà dit, à plusieurs reprises, au sujet des précautions à prendre dans la préparation du réactif pour l'obtention d'une épuration satisfaisante. Bien installé, bien appliqué, ce système peut et doit donner d'excellents résultats. La partie chimique devra donc attirer l'attention d'une manière toute spéciale, et, si elle est soignée, elle assurera la perfection de l'épuration.

La partie pratique comprend tout particulièrement les *filtres*.

Les inconvénients du système seront donc ceux qui sont inhérents aux filtres et il serait difficile de les exposer d'une manière générale, sauf à répéter ce que nous avons déjà dit à ce sujet.

Nous allons décrire les principaux types de filtres employés par l'industrie, nous pourrons alors montrer leurs avantages et leurs inconvénients respectifs.

Nous décrirons ensuite quelques systèmes d'épuration basés sur le principe de la filtration totale.

DES FILTRES.

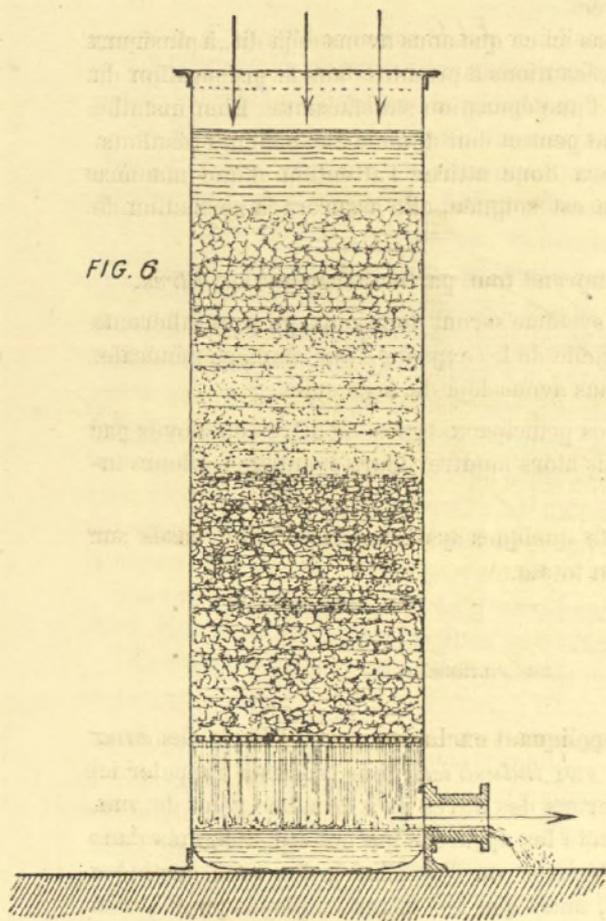
Le présent travail s'appliquant exclusivement à l'étude des *eaux naturelles* au point de vue *industriel*, nous tenons à rappeler ici que nous ne nous occuperons des filtres qu'à ce même point de vue, laissant absolument de côté les appareils qui ont été imaginés dans le but de clarifier, ou d'épurer, ou d'améliorer des eaux destinées aux usages domestiques, ainsi que les filtres employés pour toutes sortes d'opérations industrielles étrangères à la question qui fait l'objet de notre étude.

On appelle filtres, en général, des appareils permettant de séparer mécaniquement les matières solides et insolubles tenues en suspension dans les liquides en faisant passer ceux-ci au travers d'une couche perméable.

On peut diviser les filtres proprement dits en deux classes :

- 1° Les filtres à alimentation supérieure ;
- 2° Les filtres à alimentation inférieure.

FIG. 6



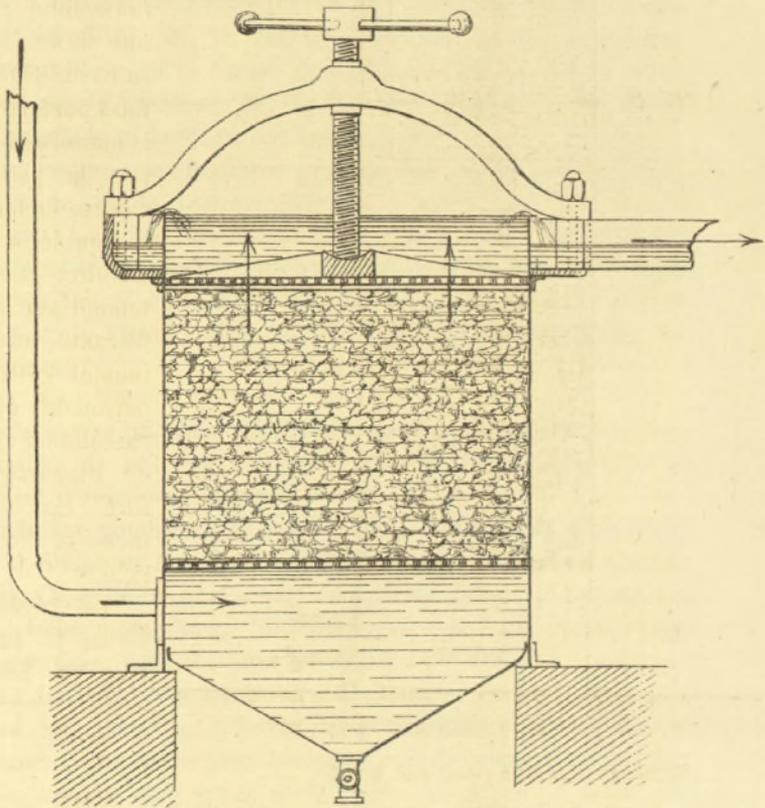
Le filtre à alimentation supérieure est généralement un vase de forme cylindrique (fig. 6). Il porte un faux fond perforé à une petite distance de sa base. Sur ce faux fond perforé on place la matière filtrante, et, par la partie supérieure, on fait arriver le liquide à clarifier. Celui-ci coule directement sur la matière filtrante, traverse lentement cette couche perméable et vient se rassembler au-dessous du diaphragme perforé. Un tuyau emmène le liquide clarifié.

Le récipient qui forme le filtre peut être en bois ou en métal ; souvent même on se sert d'un simple

tonneau agencé pour cet usage.

C'est là le filtre primitif dans lequel la matière filtrante est généralement formée de matières granuleuses : sable, gravier, coke, noir animal, etc. Son débit est très peu considérable et dépend du tassement et de la grosseur de la matière filtrante.

FIG. 7



Très souvent on le forme de couches superposées ayant soit des compositions différentes, soit une même composition mais des grosseurs variables. Par exemple, si on veut faire un filtre de coke, on place sur le fond perforé une couche de morceaux volumineux, puis une couche de fragments plus petits, puis une couche de poussier, et l'on termine fréquemment par une couche de morceaux plus volumineux.

Il est important, dans l'établissement d'un filtre de cette nature, de bien opérer la répartition et le tassement de la matière filtrante, de manière à distribuer également le liquide à clarifier sur toute la section du filtre. Si la matière filtrante est disposée d'une manière irrégulière, il se forme des courants de liquide dans les régions les moins tassées; la clarification s'opère alors d'une manière imparfaite et le filtre est mal utilisé.

Lorsqu'on emploie des matières granuleuses : sable, gravier, etc., la régénération de la matière filtrante s'opère par un simple lavage à l'eau. Lorsque l'on fait usage de matières en même temps poreuses : le coke, le charbon de bois, le noir d'os, etc., ce lavage sommaire est insuffisant. Dans ce cas, sauf pour le noir animal qui a une grande valeur, on se borne à renouveler totalement la matière filtrante.

Les *filtres à alimentation inférieure* sont de création relativement récente; ils ont été imaginés dans le but d'augmenter le rendement et d'améliorer la clarification.

D'une manière générale, ils sont formés (voir fig. 7) d'un vase cylindrique fermé en bas par un fond conique muni d'un robinet de vidange. Ce cylindre porte, sur sa hauteur, deux diaphragmes perforés : toile métallique, tôle perforée, etc. Le diaphragme inférieur est fixe; celui du haut est mobile.

Entre les deux on place la matière filtrante.

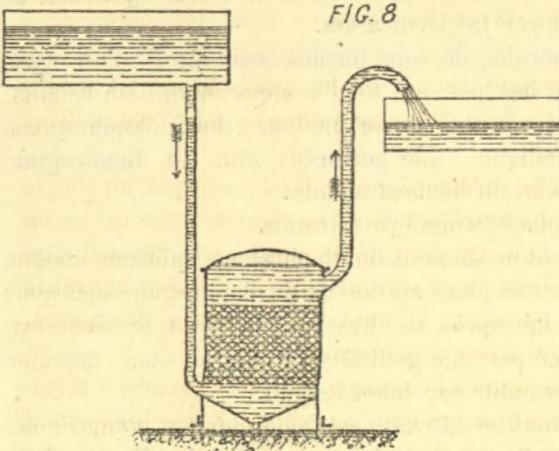
Un tuyau débouchant au-dessous du diaphragme inférieur amène l'eau à clarifier; un autre placé au-dessus du diaphragme supérieur emmène le liquide clair après sa filtration. Ce tuyau de sortie est fréquemment remplacé par une gouttière circulaire dans laquelle le liquide filtré se rassemble par débordement.

Dans ces filtres, la matière filtrante est généralement comprimée; c'est pourquoi le diaphragme supérieur est mobile. Un système quelconque, généralement un arc métallique avec vis de pression,

sert à appliquer ce diaphragme sur la matière filtrante et à régler la compression de celle-ci suivant sa nature et le régime du filtre.

On conçoit immédiatement qu'avec un tel agencement il est facile d'augmenter considérablement le débit du filtre en donnant au liquide à clarifier une pression convenable. Que ce liquide provienne directement d'une pompe ou d'un réservoir supérieur, plus sa pression sera grande et plus le débit du filtre sera élevé. Il faut naturellement que la matière filtrante soit appropriée au débit, c'est-à-dire à ce que nous appelons le régime du filtre. Si le débit doit être grand, les particules solides ayant une tendance à être entraînées par le courant rapide de l'eau, il faudra que la matière filtrante soit fortement comprimée. Si, au contraire, le débit doit être faible, on aura intérêt à ne pas contrarier inutilement la course du liquide, c'est-à-dire à desserrer le filtre.

Cet agencement des filtres à alimentation inférieure a quelquefois un autre avantage : il permet de relever le liquide clarifié à une certaine hauteur sans le secours d'aucune pompe. Le filtre est alors complètement fermé en haut, de telle sorte que la pression du liquide à filtrer refoule le liquide clair. — On peut ainsi remonter ce liquide clarifié à un niveau très rapproché du niveau initial. Mais, bien entendu, le filtre fonctionnant avec une pression réelle égale à la différence de la pression d'entrée et de la pression de sortie, il en résulte une diminution du débit. (Voir fig. 8).



Cette disposition est rarement adoptée. Outre la diminution de rendement qui en résulte, elle a des inconvénients sérieux, notamment en ce qui concerne le nettoyage ou le renouvellement de la matière filtrante. Pour opérer ce nettoyage il faut disposer un trou d'homme étan-

che ou bien démonter complètement le couvercle du filtre. Ce sont là des dispositions assez coûteuses et fort incommodes, aussi préfère-t-on, dans la plupart des cas, relever le liquide clarifié avec une pompe, lorsque cela est nécessaire.

Les matières filtrantes employées dans ces sortes de filtres peuvent être de toute nature ; mais, dans le cas spécial de l'épuration des eaux, on emploie généralement les éponges ou les copeaux de bois.

Sous le rapport de la filtration proprement dite, les éponges donnent d'excellents résultats, c'est-à-dire une clarification parfaite. Mais elles exigent un entretien considérable. Elles ont, en effet, le grave inconvénient de se pourrir facilement, de s'incruster profondément, de coûter fort cher et de se nettoyer difficilement.

La putréfaction des éponges se transmet rapidement à l'eau filtrée à laquelle elle communique une mauvaise odeur. De plus elle rend l'éponge glaireuse et l'obstrue rapidement. Cette pourriture de l'éponge ne résulte généralement pas d'une altération de la matière constitutive de l'éponge, mais plutôt de la corruption des matières qu'elle retient dans ses pores. Lorsque l'on filtre des eaux chargées de matières organiques, celles-ci pénètrent dans les interstices les plus petits et y entrent en putréfaction en donnant lieu à une production de gaz infects et en engorgeant tous les canaux de filtration. Il faut alors opérer fréquemment le renouvellement de la matière filtrante, et, comme dans ce cas particulier elle a une valeur importante, on est obligé de laver les éponges pour les employer à nouveau.

Le nettoyage des éponges se fait en les comprimant fortement dans l'eau, de manière à faire dégorger toutes les particules solides qui obstruent leurs pores.

La boue accumulée à la surface s'enlève facilement par un simple lavage ; on peut même quelquefois l'éliminer dans le filtre même en ouvrant le robinet de vidange dont nous avons parlé. Mais il n'en est pas de même pour la boue et surtout pour la matière glaireuse incorporées dans les éponges. Il faut un malaxage énergique, prolongé et une quantité d'eau considérable.

Dans certaines circonstances l'engorgement de l'éponge est formé par une véritable incrustation, ce que l'on reconnaît à son aspect et à son toucher rugueux. Il y a lieu alors de pratiquer un lavage à

l'acide chlorhydrique étendu. Cet acide dissout rapidement l'incrustation ; on lave et on rince ensuite énergiquement jusqu'à ce que l'eau qui s'écoule ne renferme plus la moindre trace d'acide. Cette opération qu'on doit répéter fréquemment est une des causes de la détérioration rapide des éponges ; de plus elle présente certains dangers, car, si l'on néglige de pousser le lavage assez loin, les premières portions de l'eau qui passe sur le filtre sont acidulées, et, par suite, tout à fait impropres aux usages industriels.

Les filtres à copeaux de bois sont plus économiques, d'un entretien plus facile, et donnent, quand on les prépare avec soin, d'excellents résultats.

La matière filtrante ayant dans ce cas une valeur insignifiante, on peut, sans grands frais, la renouveler facilement et se dispenser des lavages qui sont toujours ennuyeux. Lorsqu'on veut néanmoins pratiquer ce lavage, il est beaucoup plus simple que celui des éponges, en ce sens que les copeaux ne se salissent qu'à la surface et qu'il suffit de les agiter pendant quelques instants dans une eau courante pour les avoir propres.

Les copeaux de bois n'offrent pas, en présence de l'incrustation, les mêmes inconvénients que l'éponge. Cela résulte d'une différence capitale entre le mode d'action du filtre à copeaux et celui du filtre à éponges.

Tandis que l'éponge recevant l'eau trouble retient dans ses pores les matières en suspension pour ne laisser écouler que le liquide clair, les copeaux agissent d'une tout autre manière. Ils laissent passer entre leurs interstices le liquide à filtrer et retiennent par flottement, par contact, et par obstruction les matières en suspension. S'ils s'incrustent, cela n'a pour résultat qu'une augmentation de leur masse, sans grande influence sur le résultat final. Et, tandis que l'éponge incrustée exige un traitement spécial et des lavages prolongés, les copeaux incrustés sont régénérés par un simple lavage à l'eau.

Disons maintenant en peu de mots comment on dispose ordinairement la matière filtrante.

Dans le filtre à éponges on place généralement sur le diaphragme inférieur une toile de lin, de chanvre, ou de coton, ou encore des étoupes ou de la laine qui ont pour but de diviser le mieux possible la masse d'eau, de manière à la répartir uniformément sur

toute la section du filtre, pour éviter les courants dont nous avons parlé à propos des filtres à alimentation supérieure. Sur cette couche on tasse ensuite régulièrement les éponges, et, quand on a mis dans le filtre la quantité convenable, on pose le diaphragme supérieur et on comprime au moyen de la vis de pression. La compression est, comme nous l'avons dit, réglée selon la nature de l'eau à clarifier, selon la pression dont on dispose et aussi selon le débit qu'on veut obtenir. On conçoit qu'un filtre donné ne peut se plier à la fois à ces trois conditions et que, dans toute installation, on devra se servir de ces trois facteurs pour déterminer le nombre et les dimensions des filtres.

La constitution des filtres à copeaux et les règles qui président à leur établissement sont à peu près identiques. Cependant on se dispense généralement de la couche tamisante destinée à distribuer l'eau régulièrement, parce que le filtre à copeaux présente à l'eau une multitude d'interstices à peu près régulièrement disposés et qu'avec un peu de soins on peut éviter facilement les courants nuisibles.

Ces deux types de filtres ont donné naissance, dans la pratique, 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; mais tous ces appareils peuvent être rapprochés, sans difficulté, des filtres primitifs dont nous venons de donner une description. Nous n'entreprendrons donc pas de décrire ici les filtres divers actuellement employés; cela n'aurait, eu égard au but que nous nous sommes proposés d'atteindre, aucune utilité. De plus, la multiplicité des appareils rendrait leur énumération très longue, et, comme ils ont tous un fonctionnement identique, leur description n'offrirait aucun intérêt.

Les filtres dont nous venons de parler ne sont pas les seuls employés dans l'industrie et l'imagination des inventeurs a créé de nombreux types différents de ceux dont nous avons donné la description.

Industriellement et pour le but spécial de l'épuration des eaux, en dehors des matières filtrantes dont nous avons parlé précédemment, on a surtout fait usage, pour clarifier les eaux épurées, de la filtration sur des toiles serrées et sur des feutres.

Les filtres à toiles et les filtres à feutres ont reçu aussi toutes

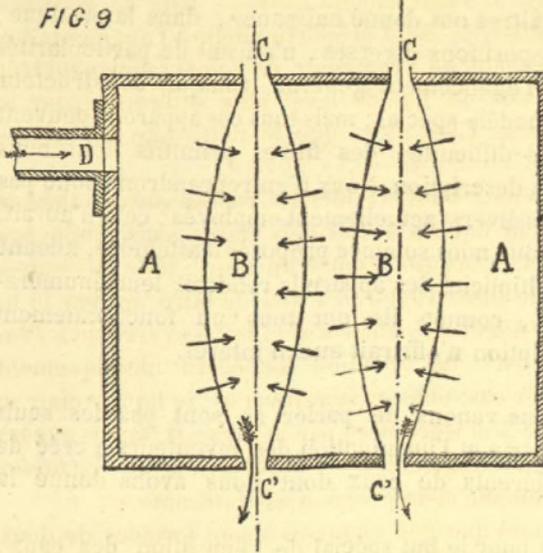
sortes de formes, et il est facile d'en imaginer à volonté puisque ces matières filtrantes se prêtent à une multitude de formes et d'agencements.

La plus remarquable application des tissus à la filtration est celle qui est connue sous le nom de *filtre-presse*. Le filtre-presse est très bien conçu, et, quoique généralement employé pour des usages étrangers à la clarification des eaux naturelles chimiquement épurées, il a reçu, dans cette voie, certaines applications intéressantes qui nous obligent à entrer dans quelques détails à son sujet.

FILTRE-PRESSE.

Le filtre-presse, comme son nom l'indique, est un appareil qui a pour but de clarifier les liquides, et, en même temps, d'agglomérer les matières en suspension. L'origine du filtre-presse peut être rattachée à celle du *filtre Taylor* dont le principe est le suivant :

Dans une caisse A (fig. 9) sont tendues des chausses en toile ou en feutre B B. Ces chausses, sortes de sacs ouverts aux deux bouts, sont maintenues au moyen d'une carcasse en métal ou en bois placée à l'intérieur. Leurs orifices c, c, c', c', sont ajustés dans les parois de la caisse, de manière à faire un joint hermétique. Le liquide à clarifier est envoyé



avec une certaine pression, par un tuyau D, dans la caisse A qui

se remplit. Ce liquide rencontrant les chausses perméables, les traverse, se rassemble à l'intérieur et s'écoule librement par les orifices *c'. c'*, tandis que les matières en suspension s'attachent aux parois extérieures des chausses. Peu à peu les pores de ces chausses s'obstruent, le débit diminue et il devient nécessaire d'opérer un nettoyage complet de l'appareil.

Les matières en suspension dans le liquide étant d'une grande ténuité, dans la plupart des cas, il est indispensable, pour éviter leur passage au travers du tissu, que celui-ci soit très serré. C'est-à-dire que les mailles du tissu doivent être d'autant plus serrées que les matières en suspension sont plus fines. Lorsque celles-ci sont d'une finesse extrême on emploie, comme tissu, le feutre qui forme une couche spongieuse très convenable pour l'obtention d'un liquide parfaitement clair.

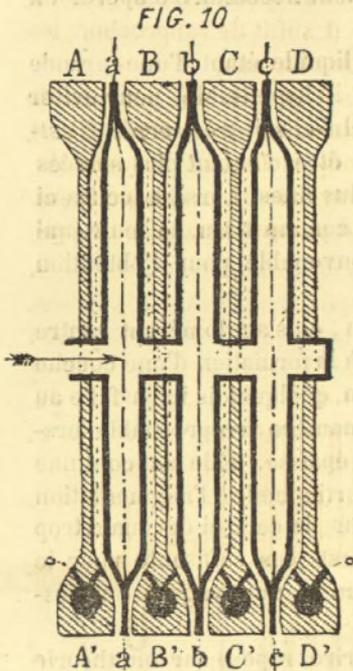
D'autre part les matières en suspension, en s'agglomérant contre le tissu filtrant, contribuent elles-mêmes à la formation d'une couche filtrante, de telle sorte que la clarification, quelquefois imparfaite au début, ne tarde pas à s'effectuer d'une manière irréprochable lorsque la couche filtrante est suffisamment épaisse. Elle se continue ainsi, avec une diminution de débit proportionnelle à l'augmentation du dépôt, jusqu'au moment où l'épaisseur de celui-ci devenant trop considérable, la pression du liquide n'est plus suffisante pour le faire passer au travers. C'est alors que le nettoyage est nécessaire.

Le filtre-pressé, que nous voulons décrire, repose sur une théorie identique. Ici encore le liquide à clarifier vient, sous l'influence d'une certaine pression, s'essorer contre un tissu, toile ou feutre. Supposons que, dans le filtre Taylor, au lieu de faire arriver le liquide à clarifier à l'extérieur des chausses on le fasse arriver à l'intérieur. Qu'arrivera-t-il? La filtration s'opèrera identiquement comme dans le premier cas, mais en sens inverse; le liquide clair se répandra dans la caisse A et s'écoulera par le tuyau D, tandis que les matières en suspension s'agglomèreront à l'intérieur des chausses qu'elles finiront par remplir si la pression est suffisante.

Supposons maintenant que ces chausses soient formées de deux parties symétriques par rapport à leur axe vertical; si, au moment où nous en sommes, on vient à écarter, de chaque côté de cet axe, les deux parties de la chausse, elles dégageront la masse de matières

solides qui tombera par son propre poids. En rapprochant ensuite les deux parties symétriques de la chausse on reconstituera le filtre étanche, prêt à fonctionner de nouveau.

Tel est le filtre-pressé.



Ses chaussees sont rectangulaires, ou carrées, quelquefois rondes; elles sont plates et formées de deux parties symétriques. La carcasse qui les maintient est à l'extérieur, elle est soit ondulée, soit perforée, de manière que le tissu, en s'appliquant contre elle, ne perde qu'une portion très minime de sa surface filtrante. Ces chaussees sont en nombre variables, mais toutes juxtaposées et semblables. — Le croquis ci-dessus en fera comprendre l'agencement. (Voir fig. 10).

Les gros traits noirs indiquent le tissu filtrant; les traits pointillés..... indiquent la carcasse qui maintient la chausse et empêche sa déformation.

Enfin la partie couverte de hachures représente une enveloppe rigide qui sépare chaque chausse, opère, par la juxtaposition de ses

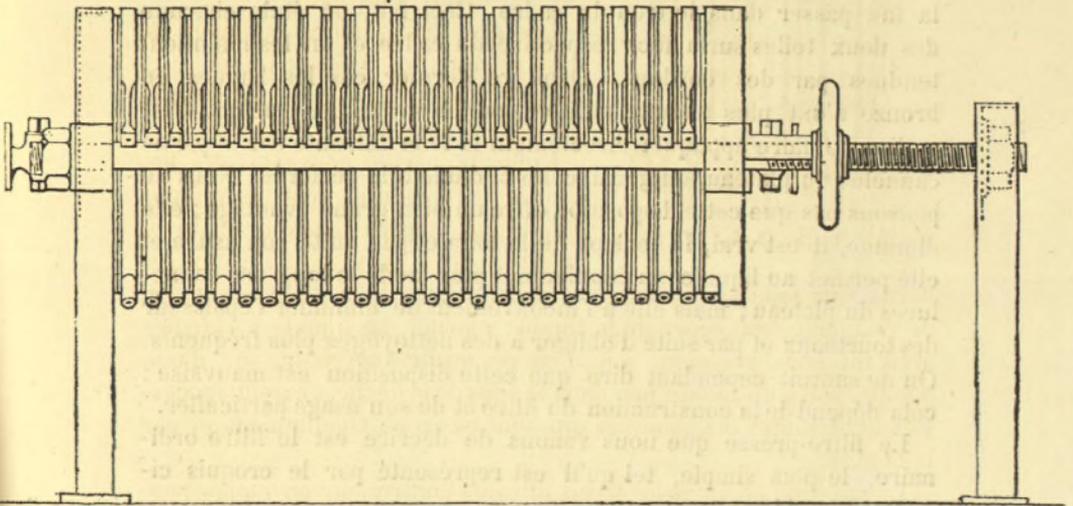
bords, une jonction étanche des deux parties de la chausse et sert de récipient pour recevoir le liquide clarifié. Le liquide à clarifier arrivant sous pression, soit d'un réservoir supérieur, soit d'une pompe, soit d'un monte-jus, dans le sens de la flèche, remplit successivement toutes les chaussees qui sont mises en communication par le centre.

La pression applique les tissus filtrants contre leur enveloppe perméable, le liquide clair filtre, coule le long des séparations et vient par des criffices *o, o*, se rassembler dans un canal collecteur ménagé dans ces séparations. De là il s'écoule au dehors. Pendant ce temps la matière solide remplit toutes les chaussees, s'y accumule, s'agglomère par la pression du liquide et finit par obstruer complé-

tement le passage de celui-ci. Le filtre-presse cesse alors de débiter. Il faut le nettoyer. Pour cela il suffit d'écarter successivement tous les cadres de manière à séparer chacune des moitiés des poches filtrantes; la matière solide qui s'y est accumulée sous forme de galette, de *tourteau*, comme l'on dit, se détache d'elle même et tombe. Lorsque l'on a vidé tous les compartiments, il suffit de rapprocher les cadres et le filtre est prêt à fonctionner de nouveau.

Le tissu filtrant est, comme nous l'avons dit, soit en toile de lin, de chanvre ou de coton, soit en feutre. Son choix dépendra et de la matière à filtrer et de la pression dont on dispose. Le débit du filtre augmente avec la pression; il est variable du commencement à la fin de l'opération, ce qui se comprend puisque la couche de ma-

FIG. 71



tière filtrante augmente en épaisseur en même temps qu'elle se comprime, jusqu'au moment où le débit s'arrête.

En pratique le filtre-presse (voir fig. 11) se compose d'une série de cadres rectangulaires en fonte, dont les bords sont dressés et dont la partie intérieure, plus mince, est cannelée et percée d'un trou central. Ces cadres (fig. 12) sont portés par des oreilles latérales qui glissent sur deux barres rigides assemblées sur un bâti. Un système convenable : vis de pression centrale ou vis latérales, sert à rapprocher les plateaux les uns contre les autres pour fermer le filtre. La garniture de toiles se fait de diverses manières. Ou bien on emploie des toiles doubles qu'on place à cheval sur le plateau et qui portent un trou correspondant à l'orifice central du cadre. Dans ce cas, on fixe les toiles, par cet orifice central, au moyen de deux bagues en bronze, filetées l'une à l'intérieur, l'autre à l'extérieur, comme l'indique le dessin ci-contre (fig. 13). Ou bien les toiles sont simples, et sont cousues deux à deux par les bords du trou central (fig. 14). Pour les mettre en place on replie l'une des toiles et on la fait passer dans le trou du cadre. Ceci fait, on étale chacune des deux toiles sur la face respective du cadre et on les maintient tendues par des cordons. Dans ce dernier cas les bagues en bronze n'ont plus aucune utilité et on les supprime. Quelque fois, au lieu de faire appliquer directement la toile filtrante sur la partie cannelée du plateau, on garnit celle-ci d'une tôle perforée. Nous ne pensons pas que cette disposition offre un bien grand avantage ; elle diminue, il est vrai, la tension de la toile et par suite son usure et elle permet au liquide un écoulement plus facile le long des cannelures du plateau ; mais elle a l'inconvénient de diminuer l'épaisseur des tourteaux et par suite d'obliger à des nettoyages plus fréquents. On ne saurait cependant dire que cette disposition est mauvaise ; cela dépend de la construction du filtre et de son usage particulier.

Le filtre-presse que nous venons de décrire est le filtre ordinaire, le plus simple, tel qu'il est représenté par le croquis ci-contre (fig. 11).

On le fait de toutes dimensions et avec un nombre de cadres variables. Il n'est pas nécessaire qu'il soit en fonte et on en a construit beaucoup en bois. Mais l'emploi du bois n'est à conseiller que pour la filtration de liquides qui attaquent la fonte. Autrement l'économie qu'on réalise sur la dépense de première installation

FIG. 12

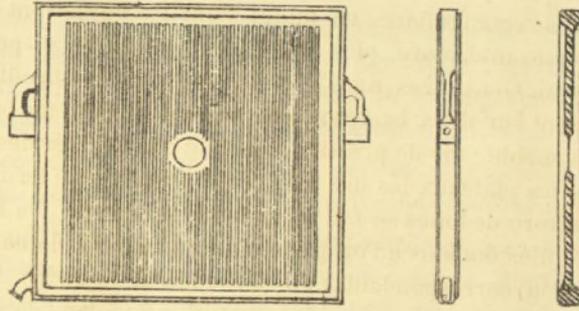


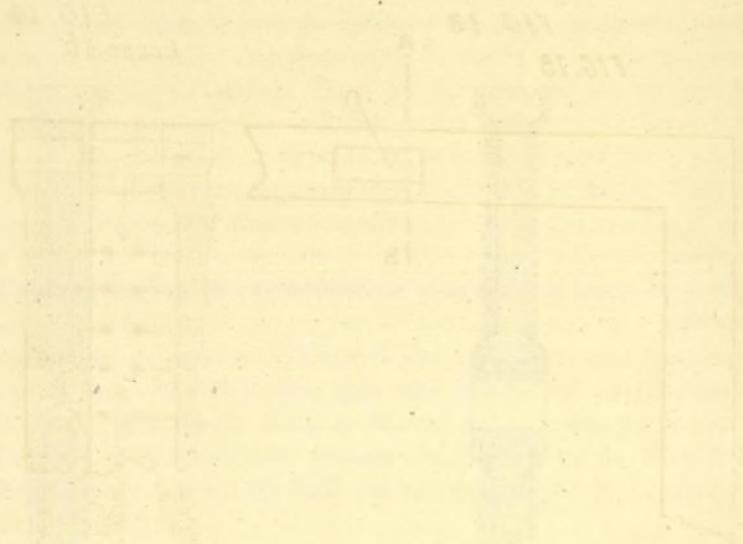
FIG. 13



FIG. 14



... l'année 1871, l'État a été obligé de recourir à l'emprunt pour couvrir ses dépenses. Cette situation a été aggravée par la perte de l'Alsace-Lorraine en 1871, ce qui a entraîné une perte de recettes importantes. Le gouvernement a dû donc augmenter les impôts et emprunter à l'étranger pour faire face à ses obligations. Cette situation a conduit à une crise financière majeure, qui a été résolue par la loi de finances de 1873, qui a réorganisé le système fiscal et a permis de réduire le déficit. Cette réforme a été une étape importante dans la consolidation de la République et dans la mise en place d'un État moderne.

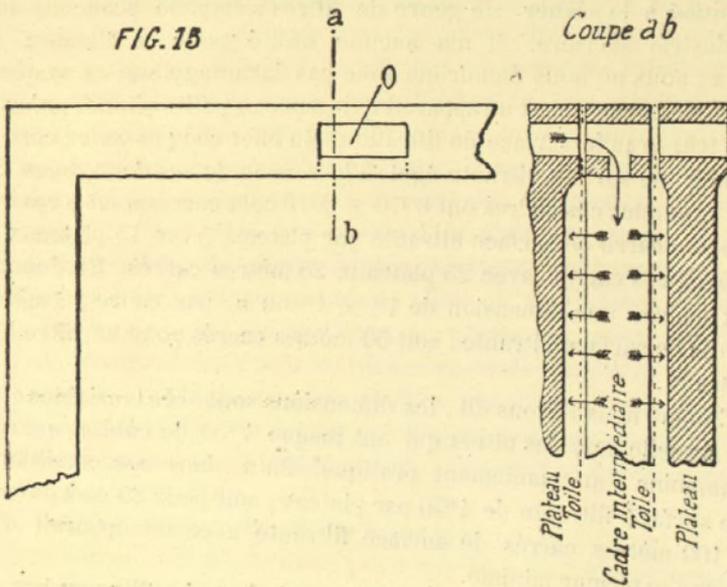


est illusoire. Tandis que le filtre en fonte, de construction rustique, a une durée pour ainsi dire illimitée, le filtre en bois est sujet à toutes sortes d'avaries : déformation, séparation des joints, etc.

Le filtre-presse, qui est actuellement du domaine public, a reçu une multitude de modifications et on trouve dans le commerce des types nombreux qu'il est néanmoins facile de rapprocher de la disposition générale que nous venons de décrire.

Les principales modifications reposent sur le déplacement de l'orifice d'alimentation et sur l'adjonction d'organes accessoires.

Dans un grand nombre de filtres, et notamment dans ceux de construction allemande, l'alimentation, au lieu de se trouver au centre, est reportée sur l'un des côtés du cadre, soit en haut, soit en bas ; soit à droite, soit à gauche. Comme elle se trouve alors ménagée dans les parties du cadre qui forment joint, il est évident



que, pour la mettre en communication avec l'intérieur des toiles, il faut user d'un artifice.

On emploie dans ce but des cadres intermédiaires dont le centre est complètement évidé. Ce sont, en réalité, de simples châssis métalliques qu'on intercale entre les plateaux du filtre; ils viennent ainsi entre les deux toiles et limitent l'épaisseur du tourteau. Ils sont munis d'une ouverture *o* qui correspond à celle des cadres. La section de cette ouverture est représentée par la coupe *a b* ci-contre (fig. 15).

Les flèches indiquent la marche suivie par le liquide.

Il est bien évident que cette disposition est une complication tout à fait inutile lorsqu'il s'agit d'une filtration ordinaire.

Aussi ne s'emploie-t-elle quand dans des cas spéciaux, notamment lorsqu'il y a nécessité de laver, dans le filtre, la matière solide qui s'y est accumulée. On peut alors, indépendamment de l'orifice d'alimentation dont nous venons de parler, ménager dans les plateaux d'autres orifices par lesquels on enverra, à un moment donné, de l'eau destinée à laver le tourteau ou de la vapeur destinée à le sécher. Ce genre de filtres s'emploie beaucoup dans l'industrie sucrière. Il n'a aucune utilité pour la filtration des eaux; nous ne nous étendrons donc pas davantage sur ce système.

Le filtre-pressé est un appareil qui, sous un petit volume, présente une très grande surface de filtration. En effet chaque cadre correspond à une surface filtrante égale à la somme de ses deux faces. Si, par exemple, ces cadres ont $0^m70 \times 0^m70$ cela correspond à environ 1 mètre carré de surface filtrante par plateau. Avec 15 plateaux on a 15 mètres carrés, avec 25 plateaux 25 mètres carrés. En donnant aux cadres une dimension de $1^m \times 1^m$ on a, par cadre, 2 mètres carrés de surface filtrante, soit 50 mètres carrés pour un filtre à 25 plateaux.

Comme nous l'avons dit, les dimensions sont très variables; on fait actuellement des filtres qui ont jusque 4^m50 de côté et qui sont néanmoins d'un maniement pratique. On a, dans ces conditions, une surface filtrante de 4^m50 par plateau, soit pour 25 cadres, plus de 100 mètres carrés de surface filtrante avec un appareil d'un volume extérieur minime.

Ce sont là des avantages précieux qui font du filtre-pressé un appareil extrêmement remarquable et appelé à une multitude

d'applications. Puissance considérable sous un petit volume, nettoyage facile, agglomération des matières séparées du liquide, tels sont les résultats que donne le filtre-pressé.

Nous aurons l'occasion d'en reparler un peu plus loin en décrivant un procédé d'épuration des eaux basé sur l'emploi de ce système de filtre.

FILTRES A NETTOYAGE AUTOMATIQUE.

Dans le but de diminuer, de supprimer si possible, les inconvénients résultant de la nécessité de nettoyer fréquemment les filtres, bon nombre d'inventeurs ont cherché des dispositions permettant le nettoyage automatique.

On ne s'est approché de ce résultat que pour le nettoyage des filtres composés de matières solides non poreuses : filtres à gravier, à sable, à copeaux. Dans ce cas, on se borne généralement à renverser le courant d'eau, autant que possible en le rendant extrêmement violent. Le courant inverse a alors pour effet de détacher toutes les matières boueuses adhérentes à la matière filtrante et de les entraîner dans le fond du filtre, d'où on les évacue par un robinet de vidange. Le résultat n'a guère été satisfaisant que pour des applications étrangères à l'industrie, par exemple pour la filtration des eaux destinées aux usages domestiques. Dans ce cas l'engorgement de la matière filtrante est relativement lent et peu important ; on peut alors, par des chasses fréquentes, éliminer en partie les impuretés qui souillent le filtre, et, sinon le purger complètement, du moins prolonger considérablement sa durée. Mais dans les applications industrielles où les masses d'eau sont considérables, où les matières en suspension sont abondantes, l'engorgement des filtres est tel que ce mode primitif et séduisant de nettoyage est bien imparfait et bien insuffisant. Il est bon de se ménager le moyen de l'employer, tout au moins comme atténuation, mais il ne faut pas compter sur lui, ce serait se bercer d'un espoir qui serait vite déçu.

Le filtre-pressé offrirait des avantages sur la plupart des filtres ordinaires, s'il n'entraînait pas à des dépenses d'installation assez considérables, et s'il n'exigeait pas une pression relativement élevée pour assurer un bon fonctionnement et un débit raisonnable.

Quand on peut l'employer, c'est, comme nous l'avons montré, un appareil dont le nettoyage est rapide, facile, et qui est exempt de bon nombre d'inconvénients inhérents aux filtres ordinaires.

On a voulu et on a cru faire mieux, mais à notre avis la solution reste à trouver. Nous citerons cependant, à titre de curiosité, une tentative intéressante faite dans cette voie. Nous allons décrire le *filtre Farquhar*.

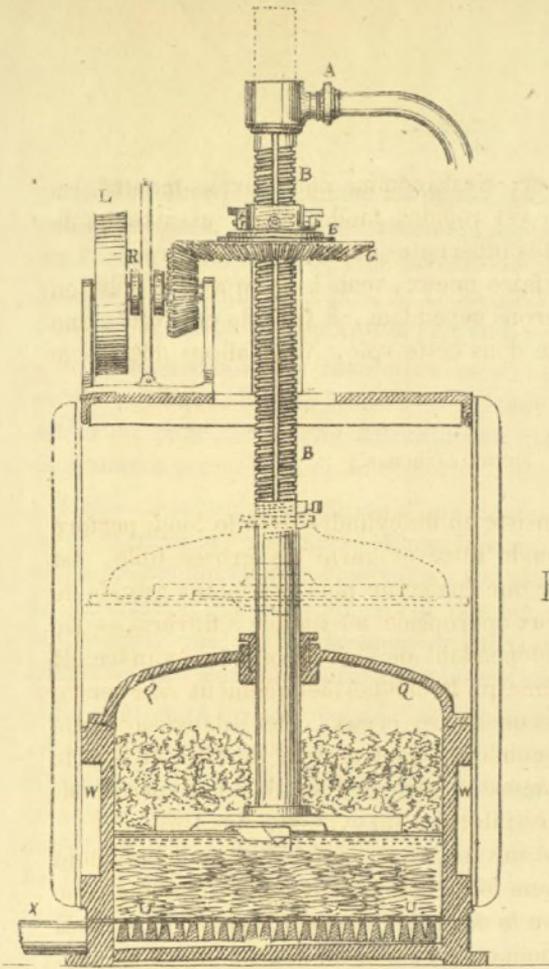
FILTRE FARQUHAR.

« Le filtre Farquhar consiste en un cylindre dont le fond, perforé pour l'écoulement du liquide filtré et garni de grosse toile, est recouvert à l'intérieur par une épaisseur plus ou moins grande de la matière filtrante la mieux appropriée au liquide à filtrer; — (le choix de la matière est indépendant de l'invention). Le cylindre est fermé au dessus par un dôme qui le clôt hermétiquement. Au centre ce dôme est traversé par un arbre creux, fileté dans sa partie supérieure, qui sert de conduit d'alimentation du filtre et dont le bout inférieur porte à demeure un plateau d'un diamètre correspondant à peu près au diamètre intérieur du cylindre (fig. 16).

» Ce plateau est entaillé sur un rayon en forme de secteur, dont l'un des bords est garni dans toute la longueur du rayon d'une lame de rabot dépassant un peu la face inférieure du plateau. — Des engrenages disposés au sommet de l'arbre lui impriment un mouvement de rotation nécessaire pour promener circulairement la lame du rabot sur la surface de la matière filtrante. — Dans ce mouvement la lame chasse devant elle les matières retenues par la couche filtrante, et ces matières prises entre la lame et une plaque inclinée placée devant elle, grimpent sur le plateau où elles s'accumulent avec les portions de la couche filtrante qui se sont mêlées avec elles, ce qui permet au liquide à filtrer de rencontrer toujours une surface filtrante propre et dégagée de toute obstruction.

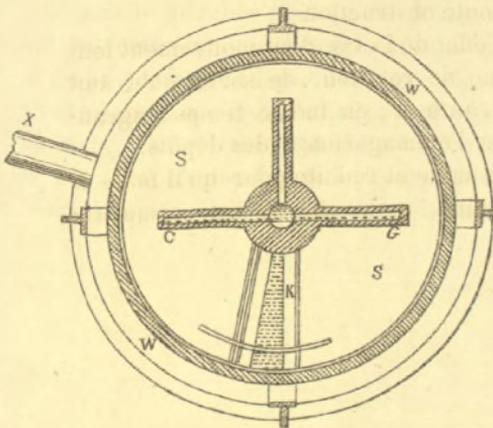
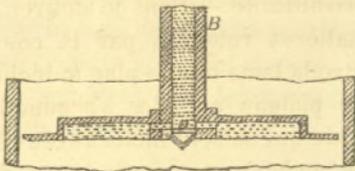
» Le plateau est animé, par l'effet de la vis, d'un mouvement lent de descente en même temps que de rotation, de sorte qu'il suit l'abaissement de la surface filtrante et, en même temps, agrandit l'espace au-dessus de lui pour l'emmagasinage des dépôts.

» Lorsque la couche est suffisamment réduite pour qu'il faille la renouveler, on arrête l'alimentation, on insuffle de l'air comprimé

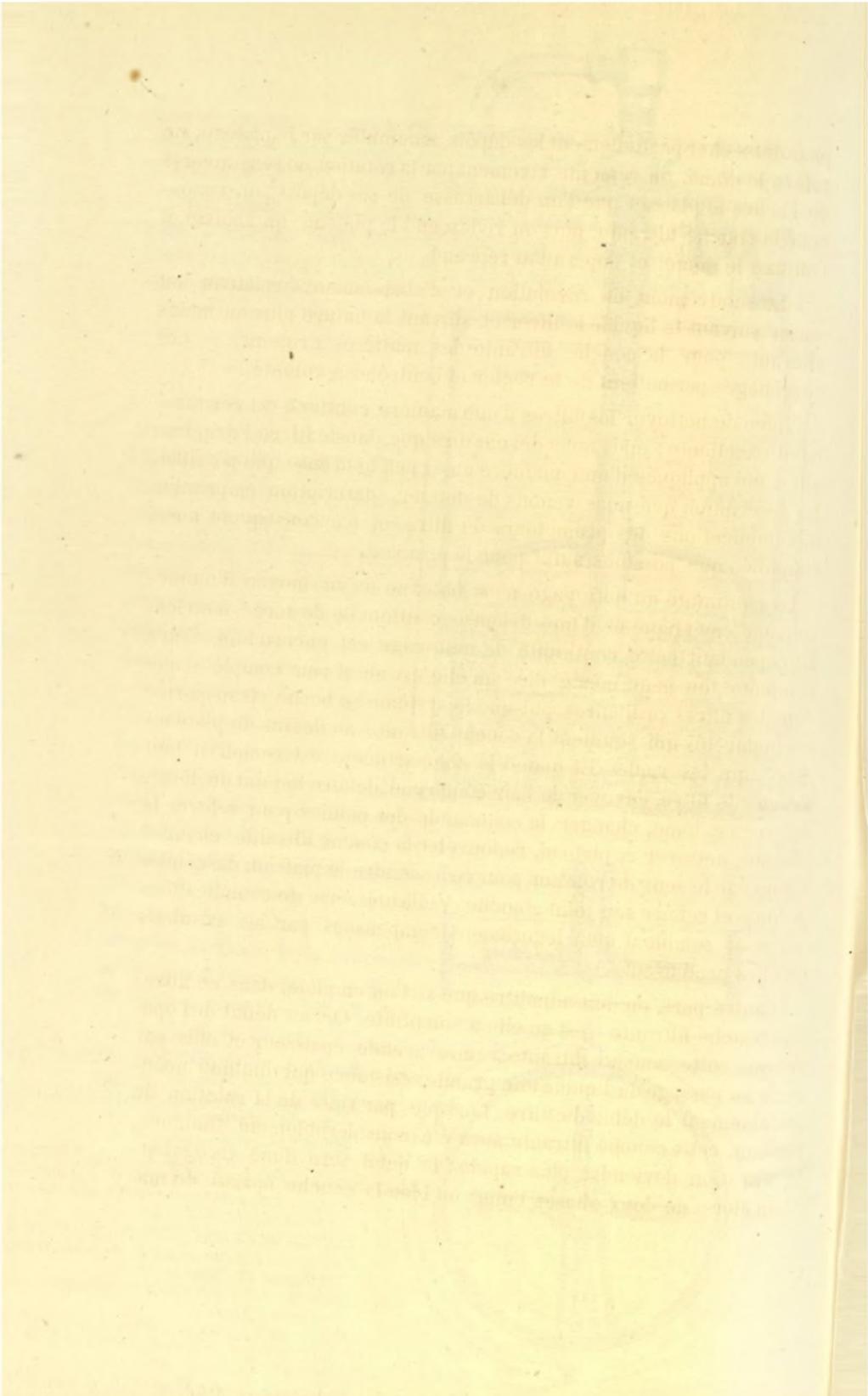


FILTRE FARQUHAR.

FIG. 16



- A Bouche d'arrivée du liquide à filtrer amené par un tuyau flexible.
- B Arbre creux fileté conduisant le liquide à la couche filtrante.
- W Cylindre du filtre.
- U Fond perforé du dît. — X tuyau d'écoulement.
- Q Dôme recouvrant le cylindre; le pointillé indique son point de relevage lors du renouvellement de la couche.
- S Plateau fixé au bout inférieur de l'arbre B.
- C Rigoles taillées en dessous du plateau pour la diffusion du liquide.
- K Lame de rabot garnissant le secteur entaillé dans le plateau.
- L Poulie de commande de l'engrenage FG qui fait tourner et descendre l'arbre B et le plateau S.
- R Engrenage de renversement du mouvement de l'arbre B pour le relevement du plateau.



pour dessécher partiellement les dépôts accumulés sur le plateau, on relève le dôme, on remonte vivement par la rotation en sens inverse de l'arbre le plateau que l'on débarrasse de ses dépôts, on renouvelle la couche filtrante, puis on redescend le plateau, on abaisse et l'on fixe le dôme, et l'opération reprend.

» Le mouvement de révolution et d'abaissement du plateau doit varier suivant le liquide à filtrer et suivant la nature plus ou moins altérante pour la couche filtrante des matières à retenir. — Les engrenages permettent de le régler et contrôler à volonté. »

L'idée de nettoyer les filtres d'une manière continue est certainement excellente ; mais nous devons dire que, dans le filtre Farquhar, elle a été appliquée d'une manière aussi peu heureuse que possible. La description que nous venons de donner, description empruntée aux publications des promoteurs du filtre, et par conséquent aussi simplifiée que possible, suffit pour le prouver.

La continuité du nettoyage n'est obtenue qu'au moyen d'un mécanisme compliqué et d'une dépense continuelle de force motrice. Et cependant cette continuité de nettoyage est encore loin d'être complète ; on peut même dire qu'elle est aussi peu complète que dans les filtres ordinaires, puisque le système se borne à transporter les impuretés qui souillent la couche filtrante au dessus du plateau-rabot qui les racle. Et quand le compartiment est rempli il faut *arrêter* le filtre, envoyer de l'air comprimé, défaire le joint du dôme, relever ce dôme, changer la commande des poulies pour relever le plateau, nettoyer ce plateau, renouveler la couche filtrante, changer à nouveau le sens de rotation pour redescendre le plateau, descendre le dôme et refaire son joint étanche. Voilà une série de complications qui nous semblent bien légèrement compensées par les résultats qu'elles produisent.

D'autre part, on doit admettre que si l'on emploie, dans ce filtre, une couche filtrante c'est qu'elle a son utilité. Or, au début de l'opération, cette couche filtrante a une grande épaisseur et offre par suite au passage du liquide une grande résistance qui diminue incontestablement le débit du filtre. Lorsque, par suite de la rotation du plateau, cette couche filtrante aura été considérablement diminuée, la filtration deviendra plus rapide ; le débit sera donc irrégulier. Mais alors, de deux choses l'une : ou bien la couche épaisse de ma-

tière filtrante est nécessaire, où elle ne l'est pas. Si elle l'est, la filtration s'opérera dans de mauvaises conditions lorsque le plateau aura diminué son épaisseur ; si elle ne l'est pas, il vaudrait mieux se borner à lui donner l'épaisseur raisonnable et nécessaire, en modifiant l'allure du plateau.

La surface filtrante est, dans le filtre Farquhar, extrêmement réduite par rapport aux dimensions du filtre, et cela est d'autant plus fâcheux que l'appareil est compliqué et coûte fort cher.

L'inventeur a prévu l'application de ce filtre à toutes sortes de clarification de liquides, c'est pourquoi nous en parlons à propos de la clarification des eaux chimiquement épurées. Mais nous ne croyons pas qu'il puisse jamais être appliqué pour cet objet. Ce serait chercher des complications inutiles.

Nous trouvons que le *filtre-presse*, décrit précédemment, est susceptible de rendre tous les services que peut rendre le filtre Farquhar, sans présenter les mêmes inconvénients. Il n'exige ni force motrice, ni complication, et le nettoyage s'effectue avec la plus grande facilité sans demander plus de temps que celui de filtre Farquhar. Ajoutons que les filtres-presses qu'on construit maintenant sont des appareils extrêmement pratiques et qu'ils ont l'avantage de présenter, sous un très petit volume, une surface filtrante très considérable. On peut dire exactement le contraire du filtre Farquhar qui, à notre avis, ne peut convenir que pour quelques cas tout-à-fait exceptionnels et n'est pas appelé à prendre une place dans la pratique industrielle courante.

Après avoir exposé, d'une manière générale, les principes généraux qui régissent les procédés d'épuration des eaux avec clarification par filtration totale, il nous resterait à faire la description des divers agencements employés dans la pratique.

En raison de la multiplicité des filtres, en raison des variantes nombreuses qu'on peut apporter à leur installation, on conçoit qu'il serait impossible d'entreprendre une telle description.

Nous nous bornerons donc à décrire trois procédés présentant quelque originalité et qu'on peut considérer comme des types auxquels on peut rapporter toutes les installations d'épuration avec filtration totale.

Nous décrivons :

Le système Demailly ;

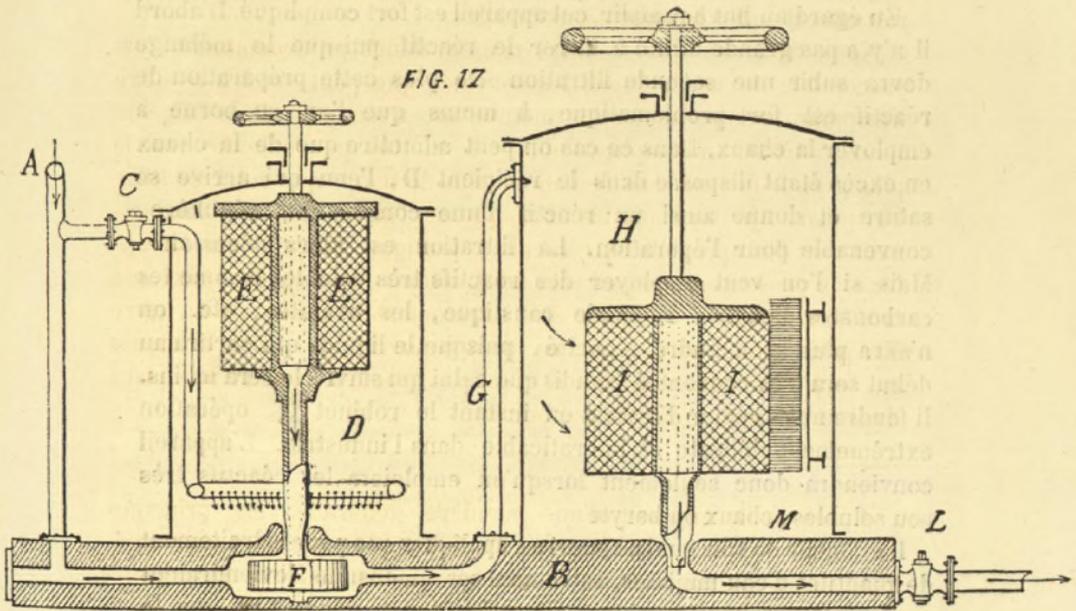
Le système J. A. Béranger et J. Stingl (ancien) ;

Et le système Porter, dit Porter-Clark.

SYSTÈME DEMAILLY.

Le système Demailly, que nous rangeons dans la catégorie des épurations avec filtration totale, n'est applicable que pour l'alimentation des chaudières à vapeur. L'appareil est placé sur le tuyau d'alimentation, entre la pompe alimentaire et la chaudière.

Il se compose de deux parties essentielles (F. 17) : l'une D où se prépare le réactif ; l'autre H où s'opère l'épuration et la filtration de l'eau.



Le tuyau d'alimentation A amène la majeure partie de l'eau dans le bâti de l'appareil, tandis qu'un tuyau secondaire, muni d'un robinet C envoie le reste dans le récipient D où l'on place la provision de réactif épurant. L'eau qui arrive en D, par un tuyau percé de petits trous, y dissout une certaine dose de réactif, traverse le filtre E et descend, dans le bâti, au centre d'une petite roue à ailettes placée dans le courant principal et mue par celui-ci.

L'eau et le réactif se mélangent ainsi et passent, par le tuyau G

dans l'appareil clarificateur proprement dit H. Ce clarificateur est un récipient fermé, muni, à l'intérieur, d'un filtre I. L'eau chimiquement épurée traverse ce filtre et revient, par un conduit ménagé dans le bâti, à un robinet L d'où elle se rend aux chaudières. Par le réglage des robinets C et L on peut arriver à obtenir une eau convenablement préparée.

Le récipient H est muni d'un orifice de vidange M pour l'enlèvement des boues d'épuration. Pour activer le travail du filtre I, on l'a placé sur un axe qui peut être mu de l'extérieur par un volant représenté sur le dessin; une brosse K est disposée de manière à nettoyer automatiquement la surface extérieure du filtre. Le filtre E du préparateur de réactif peut être muni de la même disposition.

Eu égard au but à remplir, cet appareil est fort compliqué. D'abord il n'y a pas grande utilité à filtrer le réactif puisque le mélange devra subir une seconde filtration. De plus cette préparation de réactif est fort problématique, à moins que l'on se borne à employer la chaux. Dans ce cas on peut admettre que de la chaux en excès étant disposée dans le récipient D, l'eau qui arrive se sature et donne ainsi un réactif d'une composition régulière, convenable pour l'épuration. La filtration est alors nécessaire. Mais si l'on veut employer des réactifs très solubles comme les carbonates alcalins, la soude caustique, les oxalates, etc., on n'aura plus la moindre sécurité, puisque le liquide qui sortira au début sera très concentré, tandis que celui qui suivra le sera moins. Il faudra alors régler d'instant en instant le robinet C, opération extrêmement délicate et impraticable dans l'industrie. L'appareil conviendra donc seulement lorsqu'on emploiera les réactifs très peu solubles, chaux ou baryte.

Il est facile de voir qu'il ne pourra s'appliquer que pour le traitement de quantités d'eau minimales, autrement ses dimensions deviendraient excessivement considérables. En effet il est nécessaire que le récipient H contienne l'eau pendant tout le temps nécessaire pour l'épuration chimique. Nous avons dit que cette épuration demandait 2 heures en moyenne. Si l'on voulait seulement épurer 10 mètres cubes d'eau à l'heure, le récipient H devrait donc avoir une capacité de $2 \times 10 = 20$ mètres cubes. L'appareil étant intercalé sur le tuyau d'alimentation doit être susceptible de résister à la pression qui introduit cette eau dans les chaudières. D'où résulte la nécessité de

donner aux parois une forte résistance, de soigner les joints des tuyaux, robinets et trous d'homme. Il n'est pas douteux que ces nécessités de construction entraînent à une dépense considérable.

Il est juste de reconnaître qu'on pourrait se dispenser de placer l'appareil sur le tuyau d'alimentation, ce qui permettrait de le simplifier considérablement et de diminuer en même temps son prix.

Les filtres tournants de l'appareil Demailly ne sont pas exempts des inconvénients que nous avons signalés en parlant des autres filtres. L'idée de faire tourner le filtre, pour le nettoyer extérieurement au moyen d'une brosse, n'est pas très heureuse ; elle impose, pour un nettoyage superficiel, l'emploi d'une force motrice. Lorsqu'on veut opérer un nettoyage complet, il faut défaire puis refaire de grands joints qui doivent être étanches, déplacer et replacer le filtre dont le poids est considérable et l'assujettir sur une crapaudine dont l'entretien est fort difficile.

Si l'ensemble du système présente quelques points ingénieux, il ne permet pas d'atteindre une épuration complète et il reste, au point de vue industriel, inférieur au système ordinaire de filtration.

SYSTÈME J. A. BERENGER ET J. STINGL.

Messieurs Berenger et Stingl qui emploient actuellement, pour l'épuration de l'eau, un système de décantation continue que nous aurons à étudier plus loin, faisaient autrefois usage de la filtration totale. L'agencement qu'ils employaient mérite d'être décrit car il était bien étudié et permettait d'obtenir d'excellents résultats.

Leur système d'épuration avec filtration totale comprend 3 parties, savoir :

- 1° La préparation du réactif ;
- 2° Le mélangeur ;
- 3° Les filtres.

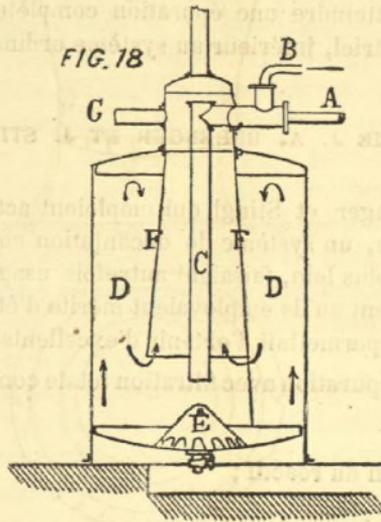
Comme réactif ils font usage de l'eau de chaux, c'est-à-dire qu'ils emploient, d'une manière rationnelle, la méthode de Clark. L'eau de chaux est additionnée de soude caustique lorsque la nature de l'eau l'exige. La préparation du réactif est, de la part de Messieurs

Berenger et Stingl, l'objet d'une attention toute spéciale, ee qui assure l'efficacité de l'épuration.

Dans une cuve en bois ou en tôle ils préparent un certain volume d'eau de chaux, auquel ils ajoutent la quantité de soude nécessaire pour compléter le réactif. Dès que celui-ci s'est clarifié par dépôt, ils font écouler toute la partie claire dans un réservoir de réactif et recommencent, dans la cuve citée, la préparation d'une nouvelle dose de réactif. De cette manière, cette préparation est indépendante de la marche de l'épuration et le reservoir de réactif ne renferme que du réactif bien clair, bien homogène qu'il suffit d'envoyer en proportions déterminées avec l'eau à épurer.

Dans d'autres circonstances, Messieurs Berenger et Stingl suppriment le reservoir de réactif et emploient deux cuves de préparation desquelles le réactif s'écoule directement à l'épuration. Pendant qu'une cuve se vide l'autre est en préparation.

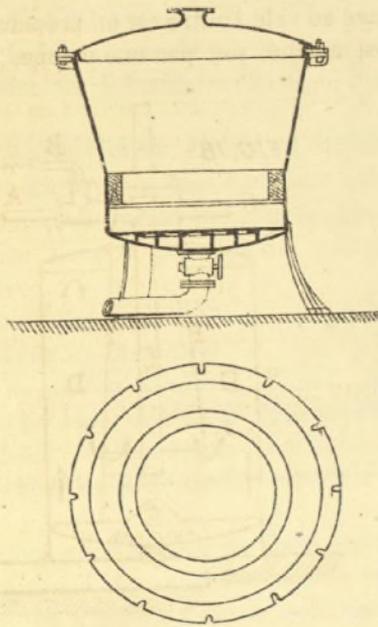
Le réactif est amené, soit par une pompe, soit par différence de

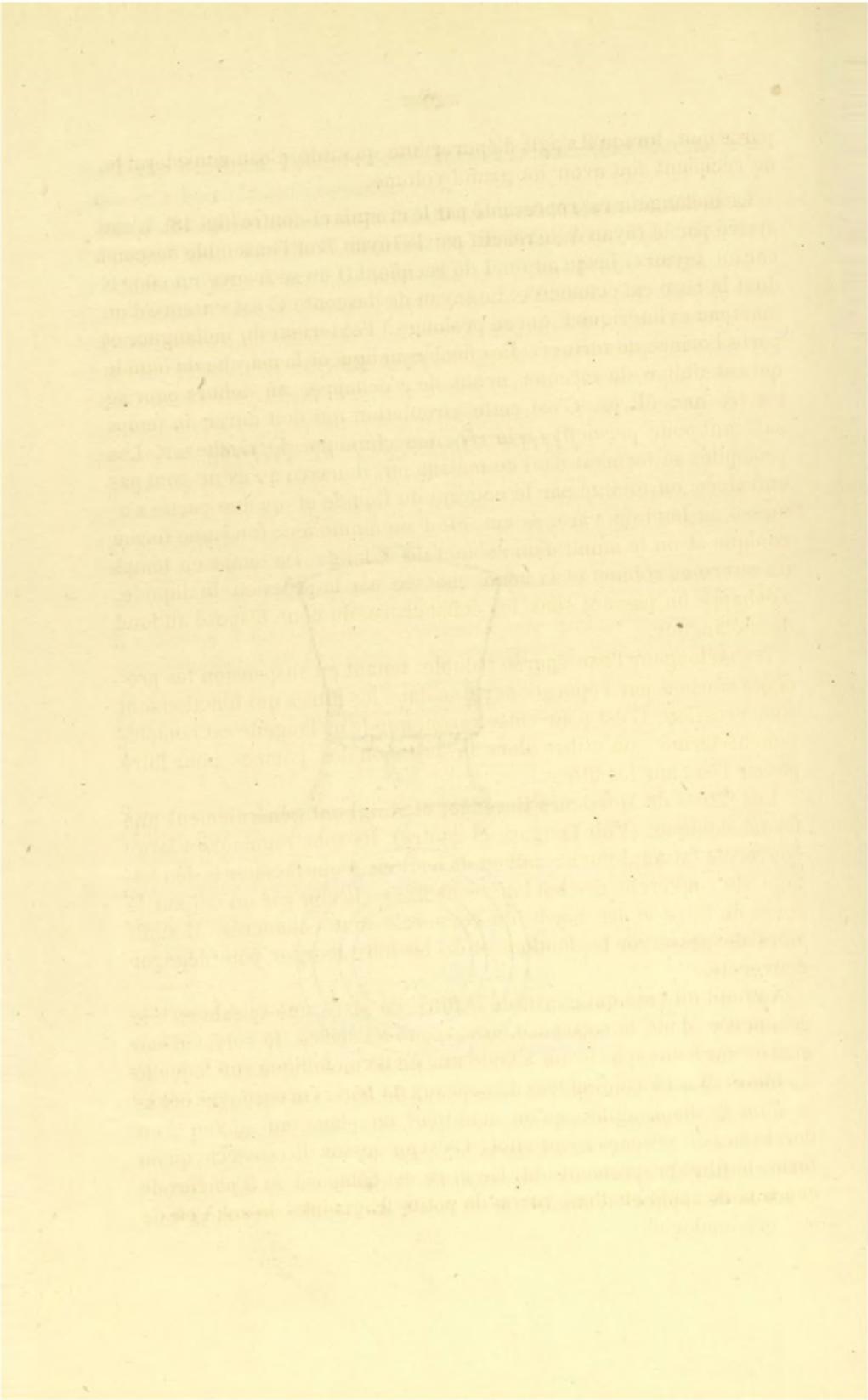


niveau, en proportion déterminée, dans un récipient fermé qui sert de *mélangeur*. L'eau y est envoyée, également en proportion déterminée, par une pompe ou par différence de niveau. La capacité de ce mélangeur doit être suffisante pour que la réaction chimique épurante ait le temps de s'y achever. C'est là un des écueils du système,

FIG. 19

Filtre Berenger et Stingl.





parce que, lorsqu'il s'agit d'épurer une quantité d'eau considérable, ce récipient doit avoir un grand volume.

Ce mélangeur est représenté par le croquis ci-contre (fig. 18). L'eau arrive par le tuyau A, le réactif par le tuyau B et l'ensemble descend par un tuyau C jusqu'au fond du récipient D où se trouve un cône E dont la base est échancrée. Le tuyau de descente C est entouré d'un manteau cylindrique F qui se prolonge à l'extérieur du mélangeur et porte l'orifice de sortie G. Les flèches indiquent la marche du liquide qui est obligé de circuler avant de s'échapper au dehors pour se rendre aux filtres. C'est cette circulation qui doit durer un temps suffisant pour permettre à la réaction chimique de s'achever. Les précipités se formant dans ce mélangeur, il arrive qu'ils ne sont pas entraînés en totalité par le courant du liquide et qu'une partie s'accumule au fond du vase. A cet effet on donne à ce fond une forme conique et on le munit d'un robinet de vidange. De temps en temps on ouvre ce robinet et la boue, chassée par la pression du liquide, s'échappe en passant sous les échancrures du cône disposé au fond du mélangeur.

Du mélangeur l'eau épurée trouble, tenant en suspension les précipités formés par l'épuration, passe dans les filtres qui fonctionnent sous pression. C'est pour cette raison que le mélangeur est complètement fermé ; on utilise alors la pression des pompes pour faire passer l'eau sur les filtres.

Les filtres de Messieurs Berenger et Stingl ont généralement une forme conique. (Voir la figure ci-contre). Ils sont munis d'un large couvercle faisant joint au moyen de boulons. Pour faciliter le démontage du couvercle ces boulons sont fixés chacun par un œil sur le corps du filtre et les bords du couvercle sont échancrés. Il suffit alors de desserrer les boulons et de les faire tourner pour dégager le couvercle.

Au fond du vase qui constitue le filtre on place une spirale en tôle échancrée dont la naissance correspond à l'orifice de sortie d'eau claire ; sur cette spirale on adapte une grille métallique sur laquelle on tasse 10 à 15 centimètres de copeaux de bois. On recouvre ceux-ci d'un 2^e diaphragme qu'on maintient en place au moyen d'un cercle en bois préparé à cet effet. C'est au dessus de ce cercle qu'on forme le filtre proprement dit. Ce filtre est composé de 3 parties de copeaux de sapin et d'une partie de petits fragments de coke ou de matière analogue.

L'eau arrive par le haut et se déverse sur la matière filtrante à laquelle elle cède ses impuretés ; elle arrive ensuite sur la couche fortement tassée qui termine le filtre et achève de se clarifier. Elle s'écoule par un robinet placé à la partie inférieure.

Lorsqu'un filtre est sale, on ferme le robinet d'introduction, puis le robinet de sortie, de manière à l'isoler de l'épuration. On démonte le couvercle, on enlève la matière filtrante souillée d'impuretés, on la remplace par de la matière neuve ou régénérée par un lavage, on referme le filtre et on le remet en marche.

Les installations basées sur ce principe et faites par Messieurs Berenger et Stingl ont été généralement soignées et donnent de très bons résultats. Mais elles ont eu l'inconvénient de coûter excessivement cher. Le prix élevé a été un obstacle à la propagation de ce système d'épuration qui n'a reçu, du moins en France, qu'un très petit nombre d'applications.

L'entretien des filtres est aussi un inconvénient très sérieux : il entraîne à des dépenses élevées, à une main d'œuvre difficile. On peut dire que si le fonctionnement de ces installations a été et est encore satisfaisant, c'est grâce aux soins apportés par les inventeurs pour la distribution et le mélange de l'eau et du réactif, grâce aussi à la bonne construction des appareils. Autrement leur système de filtres n'est pas recommandable, car ces filtres sont beaucoup plus compliqués que le filtre ordinaire à pression que nous avons décrit et ils n'offrent sur lui aucun avantage. Il suffirait de renverser la circulation de l'eau pour permettre de faire de ces filtres étanches des filtres ouverts en même temps qu'on supprimerait les principales difficultés du nettoyage.

Hâtons nous de dire que Messieurs Berenger et Stingl, préoccupés d'abaisser le prix des installations et de supprimer les inconvénients inhérents à leurs filtres, ont imaginé un système d'épuration entièrement nouveau, dont nous aurons à nous occuper plus loin, et renoncé au procédé que nous venons de décrire, en ne conservant, de cet agencement, que ce qui concerne la préparation du réactif.

SYSTÈME PORTER-CLARK.

Le système Porter est peu connu sur le continent ; mais il est

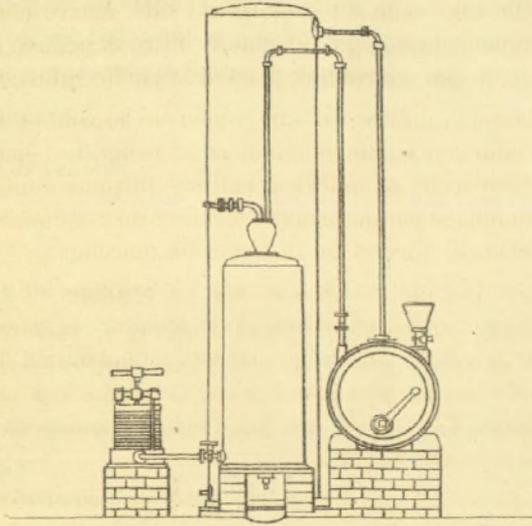
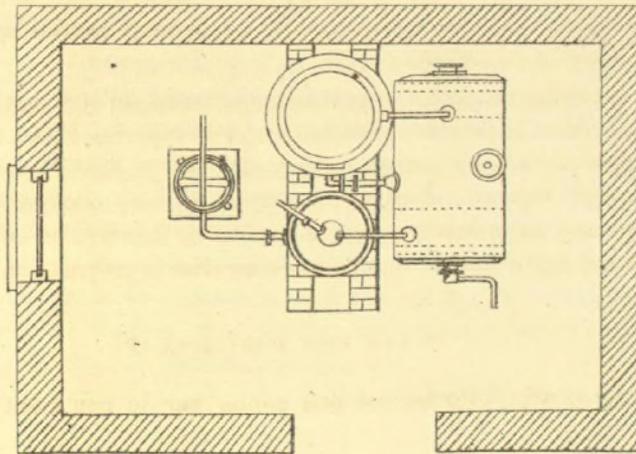
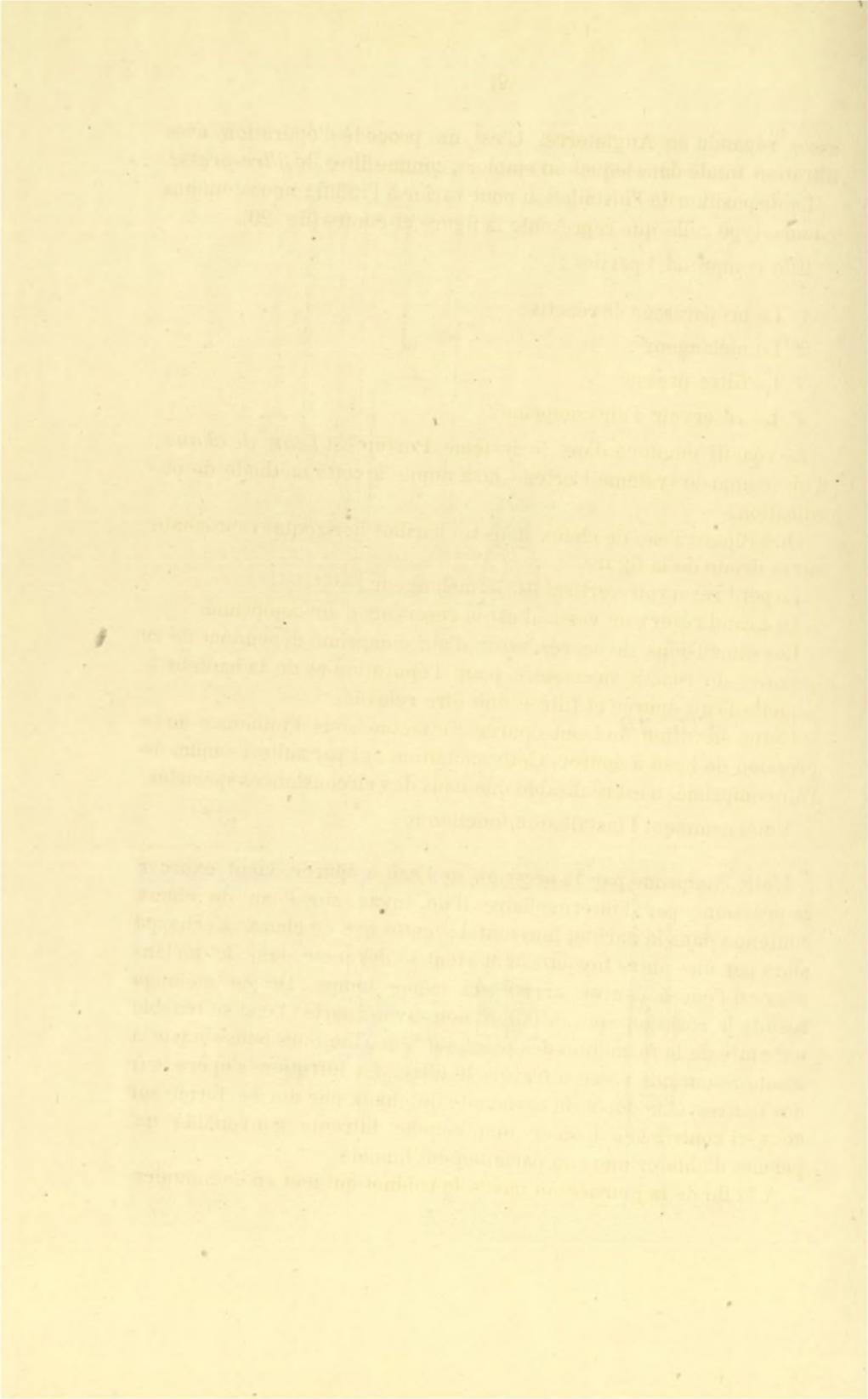


FIG. 20





assez répandu en Angleterre. C'est un procédé d'épuration avec filtration totale dans lequel on emploie, comme filtre, le *filtre-presse*.

La disposition de l'installation peut varier à l'infini ; nous donnons comme type celle que représente la figure ci-contre (fig. 20).

Elle comprend 4 parties :

1° Le préparateur de réactif ;

2° Le mélangeur ;

3° Le filtre-presse ;

4° Le réservoir d'air comprimé.

Le réactif employé dans le système Porter est l'*eau de chaux*, d'où le nom de système Porter-Clark donné à cette méthode de purification.

On prépare l'eau de chaux dans un barillet horizontal représenté sur la droite de la figure.

Le petit réservoir vertical est le mélangeur.

Le grand réservoir vertical est le réservoir d'air comprimé.

Les dimensions de ce réservoir d'air comprimé dépendent de la quantité de réactif nécessaire pour l'épuration et de la hauteur à laquelle l'eau épurée et filtrée doit être relevée.

Cette élévation de l'eau épurée s'effectue sous l'influence de la pression de l'eau à épurer. Cette condition, et par suite l'emploi de l'air comprimé, n'est réalisable que dans des circonstances spéciales

Voici comment l'installation fonctionne :

L'air, comprimé par la pression de l'eau à épurer, vient exercer sa pression, par l'intermédiaire d'un tuyau, sur l'eau de chaux contenue dans le barillet horizontal ; cette eau de chaux s'échappe alors par une autre tuyauterie et vient se déverser dans le mélangeur où l'eau à épurer arrive en même temps. De ce mélange résulte la réaction épurante dont nous avons parlé ; l'eau se trouble par suite de la formation des précipités, et, toujours poussée par la compression elle passe à travers le filtre. La filtration s'opère sur des feutres et le dépôt de carbonate de chaux pur qui se forme sur ceux-ci contribue à former une couche filtrante convenable qui permet d'obtenir une eau parfaitement limpide.

A la fin de la journée on ouvre le robinet qui met en communica-

tion par le bas le barillet à eau de chaux et le cylindre à air comprimé. Alors l'eau qui, pendant le jour, s'était introduite dans ce cylindre en comprimant l'air, descend par son propre poids et vient remplir le barillet, en même temps que l'air revient à la pression atmosphérique. On tourne alors à la main, ou mécaniquement, la manivelle du barillet, après avoir introduit dans celui-ci une dose convenable de chaux. La saturation de l'eau s'opère, on arrête l'agitation, on laisse le liquide s'éclaircir et on peut ensuite en faire usage pour l'épuration.

Tous les jours ou plusieurs fois par jour, il est nécessaire de nettoyer le filtre, ce qui se fait de la manière que nous avons indiquée en parlant du filtre-presse en général.

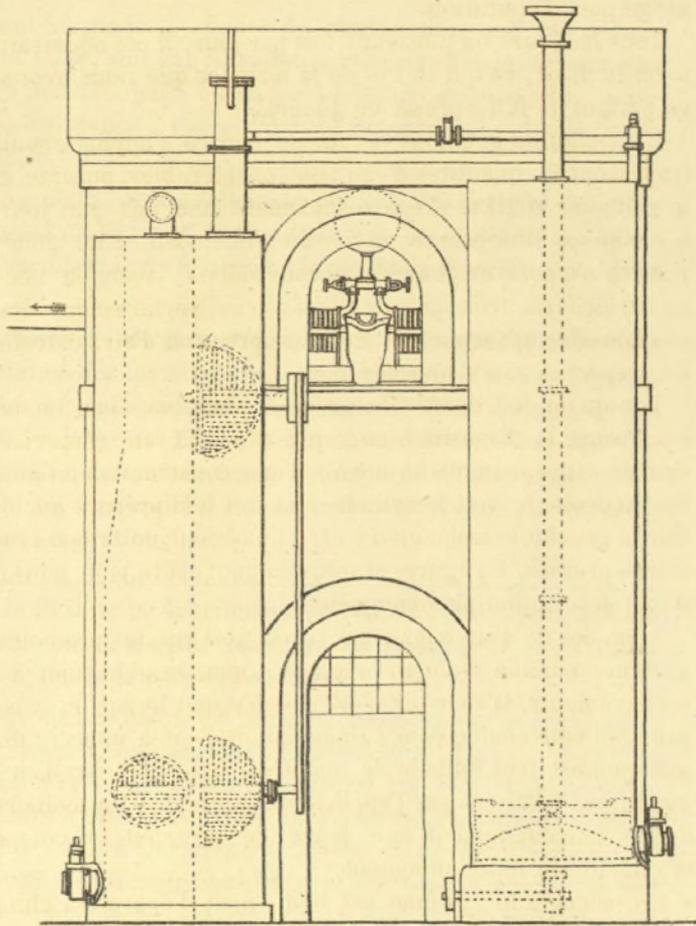
L'installation que nous venons de décrire s'applique seulement au traitement de quantités d'eau peu considérables, puisque, comme on le voit, le réactif se prépare seulement une fois par jour et qu'il n'y a qu'un filtre-presse de petite dimension. Elle pourrait à la rigueur s'employer pour de grands débits, mais la nécessité de construire de très grands réservoirs, parfaitement étanches et capables de supporter une certaine pression d'air, entraîne alors à des dépenses assez considérables.

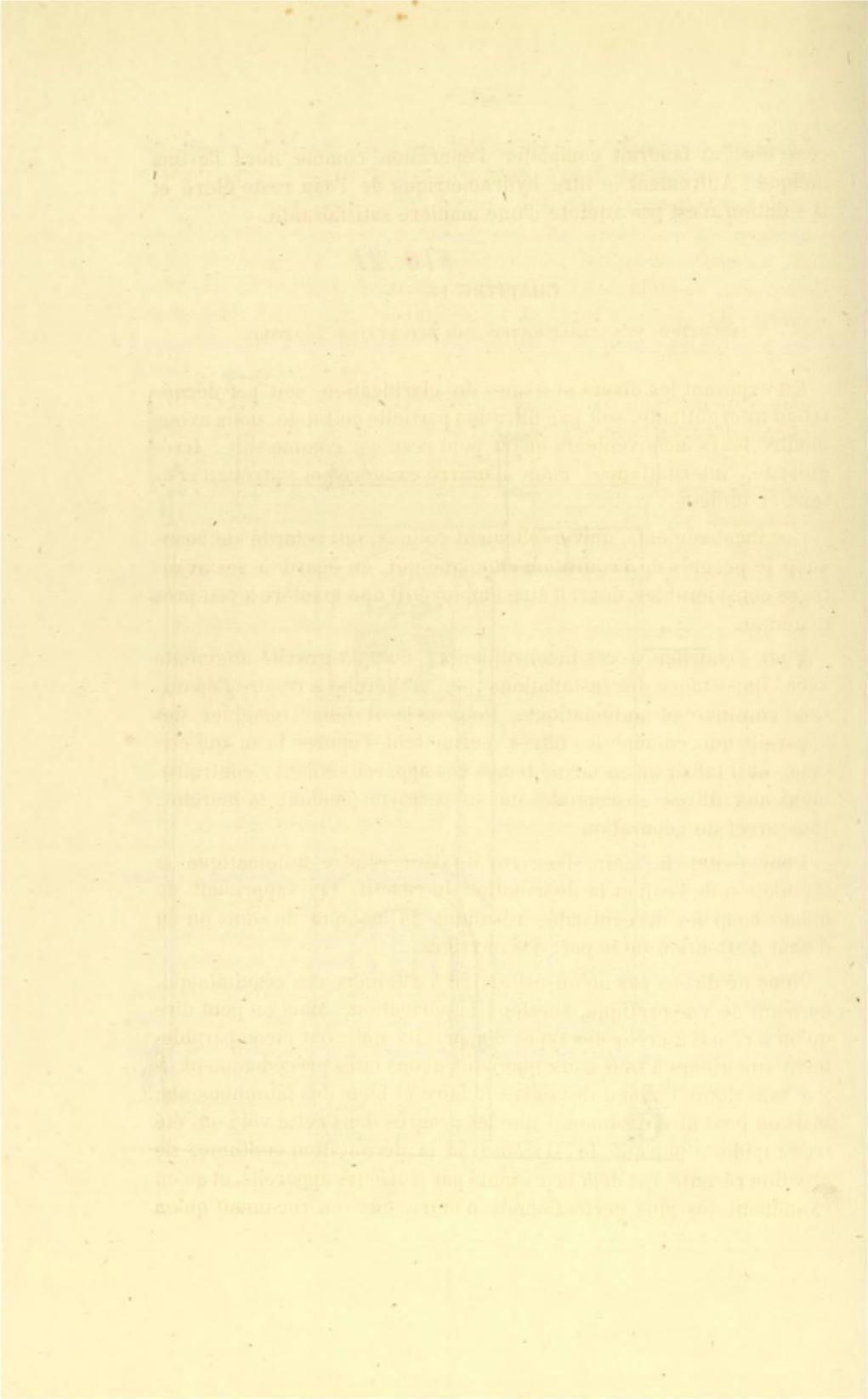
Lorsqu'on doit épurer de grandes quantités d'eau on emploie de préférence la disposition ci-contre (fig. 21). Le réservoir d'eau à épurer est représenté au-dessus d'une construction en maçonnerie. Sur la droite on voit le cylindre qui sert à la préparation du réactif. Sur la gauche le mélangeur, et, à l'intérieur de la construction, les filtres-presses. La figure est suffisamment claire pour nous dispenser d'une description plus complète.

L'emploi de l'air comprimé, préconisé par les promoteurs de ce système comme étant avantageux, nous semble sujet à bien des inconvénients. D'abord il n'est possible que lorsqu'on dispose d'une pression convenable pour l'alimentation d'eau à épurer; de plus, on sait qu'il est très difficile de maintenir une pression d'air dans les conditions réalisées par l'application présente. La moindre fissure donne immédiatement une perte de pression et compromet la régularité du fonctionnement.

En principe le système est bon, mais l'épuration chimique est généralement insuffisante, sauf lorsqu'on traite des eaux qui ne renferment que des bicarbonates. Pour les eaux sulfatées, chloru-

FIG. 21





rées, etc., il faudrait compléter l'épuration comme nous l'avons indiqué. Autrement le titre hydrométrique de l'eau reste élevé et la solution n'est pas atteinte d'une manière satisfaisante.

CHAPITRE IV.

ÉPURATION AVEC CLARIFICATION PAR DÉCANTATION CONTINUE.

En exposant les divers systèmes de clarification, soit par décantation intermittente, soit par filtration partielle ou totale, nous avons montré leurs inconvénients qu'on peut résumer comme suit : Irrégularité, intermittence, main d'œuvre exagérée et entretien coûteux et difficile.

Ces inconvénients, universellement connus, ont retardé de beaucoup le progrès de l'épuration chimique qui, eu égard à ses avantages considérables, devrait être employée d'une manière à peu près générale.

Pour remédier à ces inconvénients, dont la gravité augmente avec l'importance des installations, on a cherché à rendre l'épuration continue et automatique. Pour cela il fallait imaginer des appareils qui, comme les filtres, permettent d'épurer l'eau qui circule, et il fallait qu'en même temps ces appareils soient, contrairement aux filtres, susceptibles de se nettoyer pendant la marche, sans arrêt de l'épuration.

Pour éviter la main d'œuvre, il fallait rendre automatique la circulation de l'eau et la distribution du réactif. On supprimait du même coup les irrégularités résultant du manque de soins ou du défaut d'attention de la part des ouvriers.

Nous ne dirons pas qu'on est arrivé à atteindre ces résultats qui, au point de vue pratique, seraient la perfection. Mais on peut dire qu'on a réussi à créer des types d'appareils qui sont incomparablement supérieurs à tous ceux que nous avons cités précédemment. Il y a sans doute eu bien des essais à faire et bien des tâtonnements; mais on peut dire néanmoins que les progrès dans cette voie ont été très rapides, puisque le système de la décantation continue, de création récente, est déjà représenté par plusieurs appareils, et qu'en examinant les plus perfectionnés d'entre eux on reconnaît qu'on

s'est approché, autant que possible, de la perfection pratique, c'est-à-dire de l'épuration *automatique, régulière et continue*.

Nous allons donner maintenant quelques détails sur les principaux systèmes de clarification par décantation continue actuellement employés par l'industrie.

SYSTÈME NOLDEN.

L'appareil de Nolden a été imaginé spécialement dans le but de traiter les eaux destinées à l'alimentation des chaudières à vapeur. Nous le rangeons dans la catégorie des appareils de décantation continue bien que ce soit plutôt un débourbeur. Nous pensons qu'il n'a jamais été réalisé d'une manière bien pratique; nous n'en con-

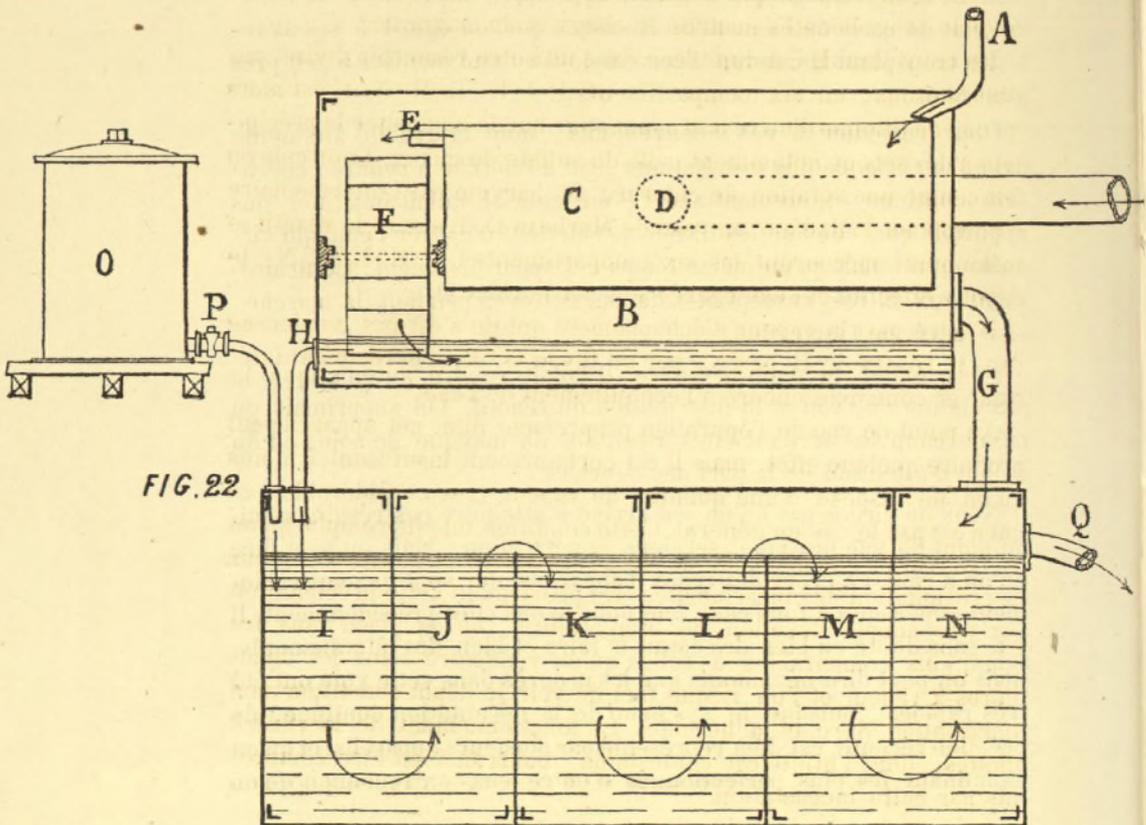


FIG. 22

naissons aucune application industrielle qui ait donné des résultats bien satisfaisants.

En principe, cet appareil (F. 22) se compose de deux réservoirs métalliques complètement fermés. L'un d'eux B renferme une bêche ouverte C munie d'un déversoir E qui laisse déborder l'eau dans les auges d'une roue à ailettes légère F. L'eau arrive par un tuyau A dans le réservoir C qui est chauffé par des vapeurs d'échappement amenées par un tuyau D. L'élévation de la température a pour conséquence la précipitation d'une portion du carbonate de chaux qui se dépose au fond et sur les parois du récipient C. L'eau, débordant par le déversoir E, met en mouvement la roue à ailettes F, dont les aubes inférieures sont immergées de manière à obtenir un mouvement lent et régulier, et vient s'accumuler à la partie inférieure du réservoir B. L'effet calorifique continue la précipitation des bicarbonates à l'état de carbonates neutres de chaux et de magnésie.

Un trop-plein H conduit l'eau dans un autre réservoir divisé, par des cloisons, en six compartiments I, J, K, L, M, N. C'est alors qu'on l'additionne d'un réactif ayant pour but de compléter la précipitation des sels et notamment celle du sulfate de chaux. Pour cela on fait couler une solution de chlorure de baryum par l'intermédiaire d'un robinet P fixé sur un vase de Mariotte O. L'eau et le réactif se mélangent, parcourent les six compartiments I, J, K, L, M, N ; le dépôt s'effectue et l'eau épurée soit par l'orifice Q.

D'autre part la vapeur d'échappement qui ne s'est pas condensée dans le réservoir B passe, par un tuyau G, dans le récipient inférieur et contribue encore à l'échauffement de l'eau.

Au point de vue de l'épuration proprement dite, cet appareil peut produire quelque effet, mais il est certainement insuffisant, à moins qu'on ne dispose d'une quantité de vapeur très considérable, ce qui n'est pas le cas en général. Cette condition fut-elle remplie qu'on se trouverait encore dans de très mauvaises circonstances pour la précipitation des bicarbonates. En provoquant cette précipitation par une simple élévation de température, on se place dans des conditions comparables à celles qu'on rencontre dans les chaudières à vapeur et l'on risque fort de voir le dépôt constituer une incrustation dure et adhérente. Le fonctionnement de la roue à ailettes, dont l'utilité est contestable, pourrait bien être compromis par cette incrustation.

Il nous semblerait plus logique d'opérer la précipitation par l'une des méthodes chimiques que nous avons exposées, par exemple en employant la chaux.

L'emploi du chlorure de baryum est défectueux ainsi que nous l'avons montré ; il y aurait certainement beaucoup mieux à faire au point de vue de l'épuration chimique.

Sous le rapport de l'agencement mécanique, cet appareil est mal étudié ; à l'inspection du dessin on voit qu'aucun moyen de nettoyage n'a été ménagé. Ce système ne saurait s'appliquer au traitement de quantités d'eau un peu considérables ; son emploi doit être spécial à l'alimentation des chaudières à vapeur et, comme nous l'avons dit, il laisse encore beaucoup à désirer sous ce rapport.

SYSTÈME J. A. BERENGER ET J. STINGL.

Messieurs Bérenger et Stingl qui s'occupent d'épuration des eaux depuis un certain nombre d'années ont, au début, employé l'épuration chimique suivie de filtration totale. Nous avons décrit précédemment leur manière d'opérer. La partie chimique de leur procédé était soignée et les appareils servant à la préparation et à la distribution du réactif étaient bien agencés. Mais l'emploi des filtres avait tous les inconvénients que nous avons signalés dans le chapitre précédent, et, de plus, les installations étaient tellement coûteuses qu'elles n'étaient guère à la portée de l'industrie.

D'une manière générale les résultats obtenus étaient satisfaisants ; l'eau était bien et régulièrement épurée.

Dans le but de diminuer la dépense énorme qu'entraînait l'application de leur procédé, Messieurs Bérenger et Stingl ont cherché d'autres dispositions. Par une méthode empirique et une succession de tâtonnements que leur brevet montre clairement, ils sont arrivés à établir un appareil de décantation continue dont nous allons donner la description :

La théorie de cet appareil est la suivante :

Lorsque dans un vase cylindrique on fait arriver par le haut et d'une manière continue un liquide qui tient en suspension des matières étrangères, celles-ci ne peuvent jamais se déposer, parce que le choc produit par le liquide qui arrive et les couches liquides qui

s'élèvent, maintient en mouvement continuels la masse contenue dans le récipient. — Mais si au lieu de faire arriver le liquide par le haut on le fait arriver, à l'aide d'un tuyau plongeur, au fond du vase dans lequel on opère, et si au lieu de faire déboucher l'extrémité du tuyau plongeur directement dans l'intérieur du récipient, on reçoit le liquide qui arrive dans un vase plus petit, de forme conique, placé à cet effet au fond et dans l'axe du récipient, les choses vont changer. Le liquide, chargé de matières en suspension, en tombant au fond du vase conique, va éprouver un choc qui l'obligera à prendre une direction inverse, c'est-à-dire de bas en haut. Une fois cette direction ascensionnelle prise, suivant les parois du vase conique, les couches liquides la conserveront jusqu'à ce qu'elles arrivent au haut du récipient. Mais la vitesse initiale du courant, très grande au moment où le liquide arrive dans le vase conique, diminuera lorsque ce liquide se répandra dans le récipient cylindrique, le rapport des deux vitesses étant en raison inverse des diamètres des deux vases. Si la hauteur du récipient est beaucoup plus considérable que celle du vase conique, les matières en suspension dans le liquide, plus lourdes que celui-ci, se trouvant soumises dans l'intérieur du récipient à une force ascensionnelle relativement faible, tendront, en vertu des lois de la pesanteur, à se séparer du liquide et à prendre une direction inverse de celle du courant, c'est-à-dire à descendre. Puis, lorsqu'elles auront atteint la couche où plonge le vase conique, couche qui est toujours tranquille, n'étant soumises à aucune force vive et étant complètement à l'écart de tout courant, elles continueront à descendre et viendront se déposer au fond du récipient principal. Dès lors elles seront complètement séparées et il sera facile de les éliminer en ouvrant un robinet placé sur le fond du récipient.

Tel est le principe de l'appareil imaginé par MM. Bérenger et Stingl.

Mais toutes les matières en suspension dans le liquide, précipités chimiques ou autres substances solides, ne possèdent pas la même densité. Les plus lourdes et les plus volumineuses parmi celles-ci se déposeront les premières et les autres seront entraînées par le courant avec le liquide qui débordera. — Si maintenant on recueille celui-ci dans une gouttière placée au haut du récipient pour le conduire, ainsi que les matières en suspension qu'il renferme encore,

dans un nouveau récipient de même forme, mais d'un diamètre plus considérable que celui du premier, muni également d'un tuyau plongeur et d'un vase conique, l'effet hydrostatique que nous avons indiqué plus haut va se reproduire. En vertu des dimensions de ce nouveau récipient, la vitesse ascensionnelle des couches liquides sera encore moindre que dans le premier et les précipités, se trouvant dans un milieu relativement plus tranquille, prendront, en vertu de leur poids spécifique, une direction inverse à celle du courant et se déposeront partiellement au fond de ce second appareil. Si, de ce deuxième appareil, le liquide passe dans un troisième, puis dans un quatrième, et ainsi de suite, c'est-à-dire dans autant de récipients successifs *aux dimensions toujours croissantes*, dans lesquels la vitesse ascensionnelle ira toujours en diminuant, qu'il est jugé nécessaire, il arrivera un moment où tous les précipités, en un mot toutes les matières en suspension, se trouveront déposées et par conséquent séparées du liquide.

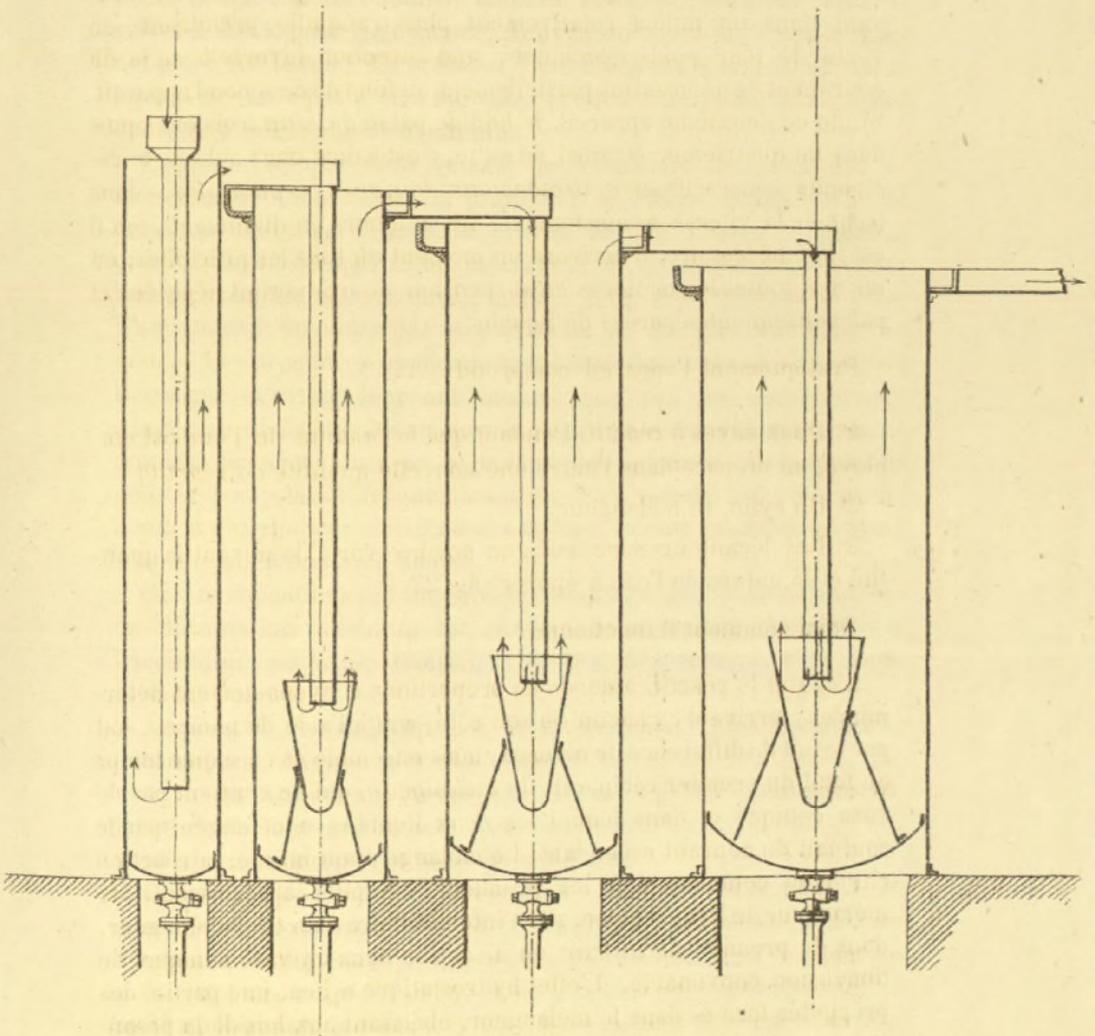
Pratiquement l'appareil comprend :

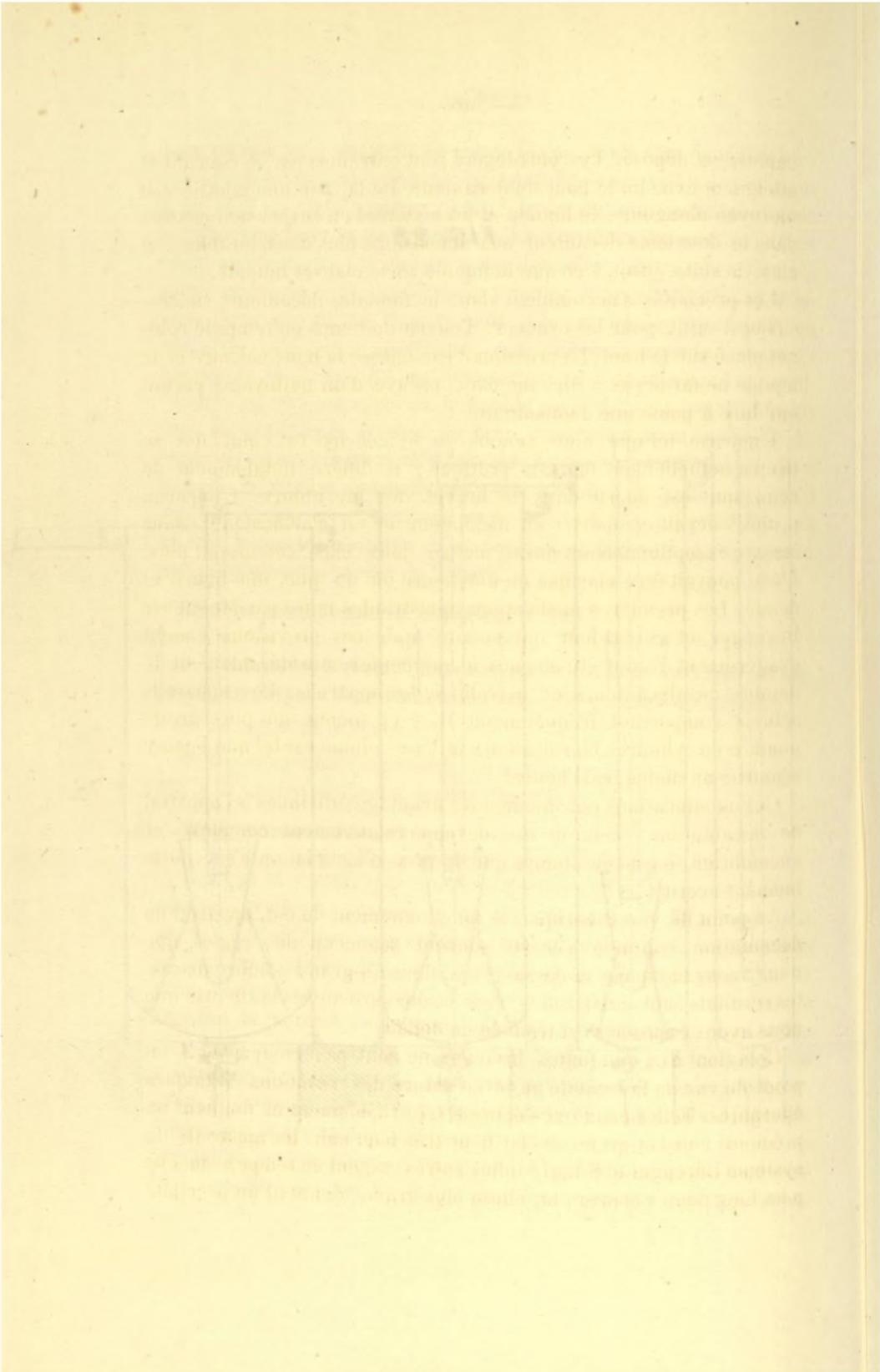
- 1° Deux cuves à réactif. Pendant que le contenu de l'une est employé, on prépare dans l'autre une nouvelle quantité de réactif ;
- 2° Un cylindre mélangeur ;
- 3° Les décanteurs successifs, en nombre variable suivant la quantité et la nature de l'eau à épurer (fig. 23).

Voici comment il fonctionne :

L'eau et le réactif, amenés en proportions convenablement déterminées, arrivent, chacun de son côté, soit à l'aide de pompes, soit par le fait de différence de niveaux, mais ensemble et en même temps au fond du premier récipient, le *mélangeur*, qui ne contient pas de vase conique et dans lequel les deux liquides se mélangent par le seul fait du courant ascendant. Le mélange étant intime, la réaction chimique commence et les premiers précipités apparaissent. Du mélangeur, le liquide passe, par l'intermédiaire d'un tuyau plongeur, dans le premier *décanteur* où il arrive dans un vase conique de dimension convenable. L'effet hydrostatique a lieu, une partie des précipités formés dans le mélangeur, obéissant aux lois de la pesanteur combinées avec la diminution de vitesse des couches ascen-

FIG. 23





dantes, se dépose. Les plus légers sont entraînés par le courant et atteignent avec lui le haut du décanteur. De là, par une gouttière et un tuyau plongeur, le liquide et les matières en suspension passent dans le deuxième décanteur aux dimensions plus considérables, et ainsi de suite, jusqu'à ce que le liquide sorte clair et limpide.

Les précipités s'accumulent dans le fond des décanteurs successifs et il suffit, pour les évacuer, d'ouvrir de temps en temps le robinet placé sur le fond. La pression d'eau chasse la boue calcaire et le liquide ne tarde pas à être limpide, preuve d'un nettoyage parfait qui dure à peine une demi-minute.

L'appareil tel que nous venons de le décrire est celui qui se trouve actuellement dans la pratique ; il diffère notablement de celui qui est décrit dans le brevet des inventeurs. L'appareil primitif devait comporter un mélangeur et un clarificateur ; dans les cas exceptionnels on devait mettre deux clarificateurs au plus. L'eau pouvait être clarifiée en une heure ou au plus une heure et demie. Les premières applications industrielles faites par Messieurs Bérenger et Stingl leur ont montré que ces prévisions étaient exagérées et ils ont été amenés à augmenter considérablement le nombre des décanteurs et le volume des appareils. Les appareils actuels comportent fréquemment 6, 8 et même un plus grand nombre de cylindres clarificateurs et leur volume est tel que l'eau y séjourne au moins trois heures.

Ces modifications ont diminué les avantages attribués à l'appareil de décantation ; celui-ci est devenu relativement complexe et encombrant, en même temps que le prix d'installation s'est notablement accru.

Au point de vue théorique, le fonctionnement de cet appareil de décantation continue s'écarte souvent beaucoup des règles que nous avons indiquées ci-dessus, et si, dans un grand nombre de cas, les résultats sont satisfaisants, dans beaucoup d'autres la théorie que nous avons exposée s'est trouvée en défaut.

Cela tient à ce que toutes les eaux ne sont pas comparables au point de vue de la rapidité et de la nature des réactions chimiques épurantes. Telles eaux qui s'épurent très rapidement et donnent un précipité dur et grenu se clarifient très bien dans les appareils du système Bérenger et Stingl ; telles autres exigent un temps beaucoup plus long pour s'épurer, et, chose plus grave, donnent un précipité

volumineux, spongieux, relativement léger, qui se dépose très lentement, même dans des vases en repos complet.

Dans cet ordre d'idées nous citerons notamment les eaux qui tiennent en dissolution des matières organiques et qu'il est quelquefois impossible de clarifier par une simple décantation.

Ces considérations entraînent à prendre beaucoup de précautions pour la construction des appareils Berenger et Stingl ; il faut, pour ainsi dire, expérimenter l'eau, l'épurer en petit pour arriver à la détermination de la forme et des dimensions des épurateurs.

Ces essais ne suppriment pas tous les aléas, car l'on sait que bien souvent les essais de laboratoire donnent des résultats qui diffèrent sensiblement des résultats industriels. En résumé, il est difficile de dire, à priori, si un appareil déterminé épurera convenablement et surtout clarifiera bien une eau donnée.

Si le précipité est lourd et grenu, il se déposera facilement, parce que sa pesanteur l'emportera aisément sur la force ascensionnelle du liquide. Si, au contraire, il est léger et spongieux, il pourra arriver qu'on soit amené à diminuer considérablement la vitesse de l'eau, c'est-à-dire le débit d'un appareil déterminé, — ou encore à donner aux appareils un volume exagéré pour arriver à un débit donné. Ces considérations expliquent pourquoi certains appareils fonctionnent très bien, tandis que d'autres ne donnent jamais d'eau claire et limpide.

Ces inconvénients se sont présentés à maintes reprises, ce qui a amené M. Cornut, ingénieur en chef de l'Association des propriétaires d'appareils à vapeur du Nord, à recommander l'adjonction d'un filtre à la suite des appareils Berenger et Stingl.

Nous lisons, en effet, dans le compte-rendu du Congrès des ingénieurs en chef des Associations des propriétaires d'appareils à vapeur, ce qui suit, au sujet du système Berenger et Stingl :

« Ce procédé est assez simple, mais il n'a pas paru possible à
» M. Cornut, à moins d'exagérer considérablement le nombre des
» cuves servant à la décantation d'enlever tout le dépôt contenu
» dans les eaux ; aussi il lui paraît bien préférable d'ajouter un
» filtre à la suite des décanteurs.

» Ce filtre recevant des eaux déjà très déchargées de matières
» solides, a une durée beaucoup plus grande et n'offre plus alors

» les inconvénients de nettoyage et d'entretien qu'on leur reproche
» si justement. »

Ajoutons que Messieurs Béranger et Stingl ont reconnu l'exactitude de cette observation et ajouté un ou plusieurs filtres à leurs appareils de décantation. Dans certains cas ces filtres n'ont pour ainsi dire aucune utilité ; dans d'autres, ils ont une grande efficacité et sont indispensables.

En résumé le système Béranger et Stingl réalise certainement un progrès notable sur ses devanciers et permet d'obtenir d'une manière assez simple l'épuration des eaux.

SYSTÈME PICHLER ET SEDLACEK.

Nous ne dirons que deux mots de ce procédé qui n'offre rien de bien particulier, si ce n'est qu'il est une contrefaçon inintelligente et évidente du précédent.

Messieurs Pichler et Sedlacek placent les cylindres du système Berenger et Stingl, les uns dans les autres. Cette idée n'est pas neuve puisque, dans leur brevet, Messieurs Berenger et Stingl avaient prévu cette disposition.

Cet agencement que nous allons décrire, à titre de curiosité, n'a aucune valeur pratique. Il donne à l'installation une certaine apparence de simplicité ; mais il ne supporte pas l'examen, comme nous le montrerons.

L'appareil de Messieurs Pichler et Sedlacek se compose d'une série de récipients cylindriques à fonds coniques placés concentriquement les uns dans les autres. Les fonds coniques sont tous raccordés à une gaine conique, en fonte, dans laquelle sont percées des ouvertures qui servent pour la vidange. A cet effet cette gaine est munie d'une clef de robinet portant des ouvertures correspondantes : cette clef est creuse et se termine extérieurement par un tube qui sert à l'évacuation des boues.

Chacun des cylindres intérieurs est muni, sur la plus grande partie de sa hauteur d'un manteau concentrique, et, à la partie intérieure d'un diaphragme conique rivé au bas du cylindre et formant une sorte de gouttière circulaire dans laquelle le manteau pénètre de quelques centimètres.

Le cylindre extérieur est muni simplement d'une gouttière comme celle des appareils Berenger et Stingl.

Comme on le voit à l'inspection du dessin ci-contre (fig. 24), les cylindres ont une hauteur qui va en décroissant du centre à l'extérieur. Voici comment l'appareil fonctionne :

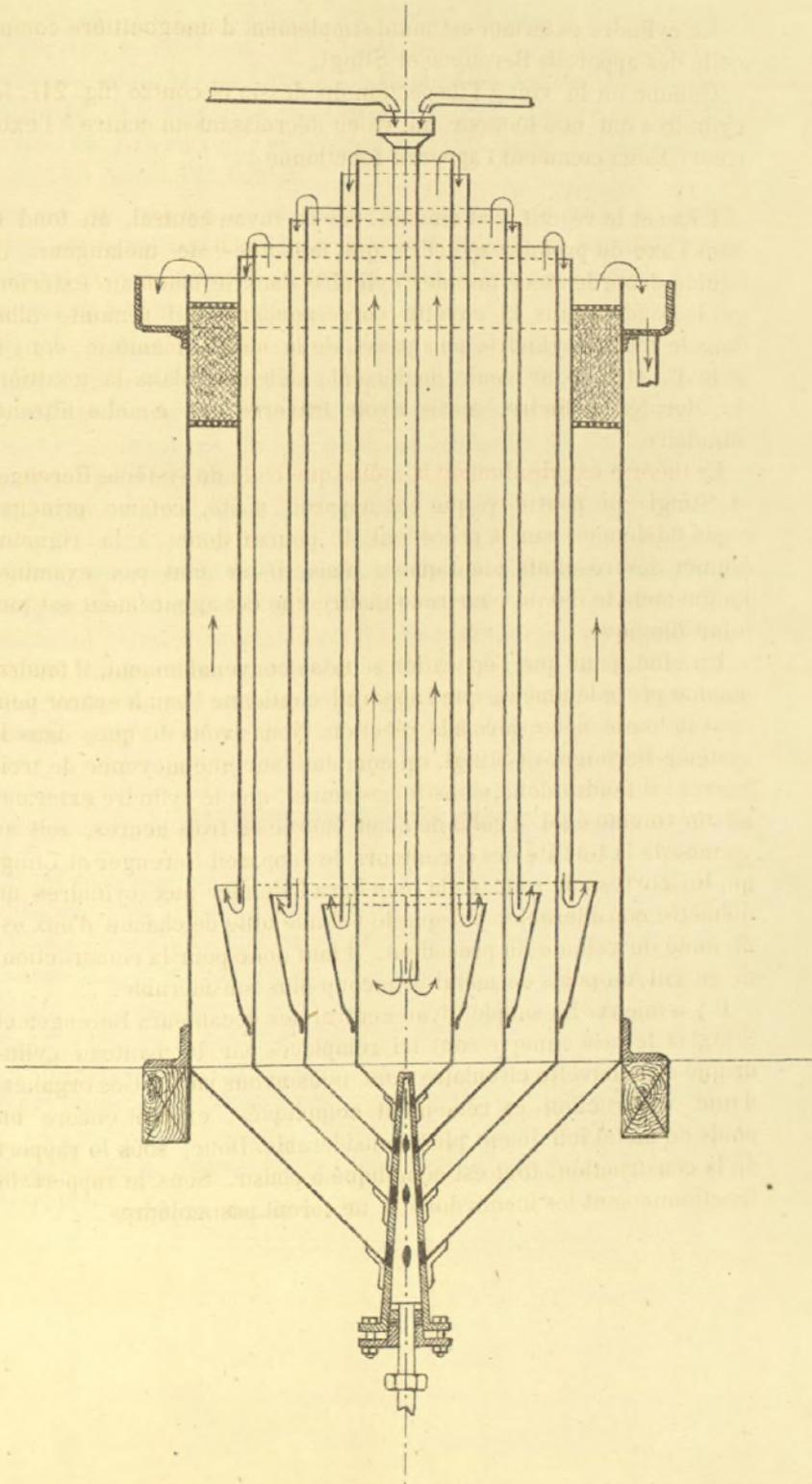
L'eau et le réactif sont amenés, par un tuyau central, au fond et dans l'axe du premier cylindre qui fait office de mélangeur. Le liquide déborde de ce premier cylindre dans le manteau extérieur qui le conduit dans la cuvette correspondante ; il remonte alors dans le second cylindre, puis passe, de la même manière, dans le 3^e le 4^e, etc., pour venir finalement, déborder dans la gouttière du dernier cylindre, après avoir traversé une couche filtrante annulaire.

La théorie est absolument la même que celle du système Berenger et Stingl, on peut dire que cet appareil a été, comme principe, copié fidèlement sur le précédent. Il pourra donc, à la rigueur, donner des résultats identiques ; mais, il ne faut pas examiner longuement le dessin pour reconnaître que cet agencement est tout à fait illogique.

En effet, pour que l'épuration se fasse convenablement, il faudra, comme précédemment, que l'appareil contienne l'eau à épurer pendant le temps nécessaire à la réaction. Nous avons dit que, dans le système Berenger et Stingl, on comptait sur une moyenne de trois heures ; il faudra donc, dans le cas actuel, que le cylindre extérieur ait un volume égal à celui de l'eau épurée en trois heures, soit au volume de la totalité des décanteurs de l'appareil Berenger et Stingl qui lui correspondrait. Cela conduira à donner aux cylindres un diamètre considérable, puisque le volume utile de chacun d'eux est diminué du volume du précédent. Il faut donc pour la construction, de ce fait, un poids de métal beaucoup plus considérable.

Il y a mieux. Le simple tuyau central des décanteurs Berenger et Stingl et le vase conique sont ici remplacés par le manteau cylindrique et la cuvette circulaire dont nous avons parlé. Ces organes, d'une construction extrêmement compliquée, exigent encore un poids de métal infiniment plus considérable. Donc, sous le rapport de la construction, tout est compliqué à plaisir. Sous le rapport du fonctionnement les inconvénients ne seront pas moindres.

FIG. 24



Si l'on met, pour la vidange, un robinet commun, comme celui que représente le dessin, ce robinet mettra, en même temps et pendant le même temps, tous les cylindres en communication avec la vidange. Si les orifices de l'un de ces cylindres se trouvaient bouchés on ne pourrait s'en apercevoir et l'appareil s'engorgerait sans qu'on puisse s'en douter.

De plus, on sait que les dépôts ne se font pas également dans tous les cylindres, de sorte que pour les vider tous à fond de leur boue il faudra laisser écouler beaucoup d'eau de ceux qui sont peu chargés de résidus.

Si l'on voulait mettre des robinets indépendants pour chaque cylindre, la construction serait encore plus compliquée et nous ne voyons pas le moyen de l'exécuter d'une manière pratique.

Enfin le nettoyage de l'appareil, en cas de besoin, nous paraît tout à fait impraticable.

En résumé cet appareil qui, extérieurement, se présente sous une forme assez simple, est non-seulement très compliqué comme construction, mais encore très incommode comme fonctionnement. Nous avons dit précédemment qu'il n'avait même pas le mérite de la nouveauté ; c'est donc seulement à titre curiosité que nous pouvons le citer. Nous sommes persuadés qu'il ne recevra aucune application sérieuse ; il ne saurait, à quelque titre que ce soit, être recommandé.

SYSTÈME GAILLET ET HUET.

Nous venons de passer en revue les principaux systèmes d'épuration des eaux ; nous avons montré les avantages et les inconvénients de chacun d'eux en les citant, pour ainsi dire, par ordre inverse de mérite, passant du plus primitif au plus perfectionné. Nous avons montré que le système Berenger et Stingl était l'un des plus simples et des plus efficaces et qu'il offrait sur ses devanciers des avantages très marqués. C'est une étude approfondie de ces divers procédés qui nous a amenés à concevoir un nouvel appareil de décantation entièrement différent des précédents, tant sous le rapport de la forme et de l'agencement qu'au point de vue théorique.

Nous avons constaté les faits suivants :

Avec certaines eaux, donnant des précipités très légers, il faut, comme nous l'avons dit, dans les décanteurs du système Berenger, une vitesse excessivement faible pour obtenir la chute des dépôts. Si la vitesse ascensionnelle de l'eau est seulement un peu supérieure à la vitesse théoriquement nécessaire, le dépôt ne se fait plus d'une manière complète et la clarification devient impossible.

D'autre part, on remarque, dans ces appareils, que les précipités s'attachent aux parois des décanteurs en formant une couche dont l'épaisseur augmente continuellement. Dans les gouttières où l'eau a une grande vitesse, il y a un dépôt considérable et même notable par rapport à celui qui se fait dans les décanteurs eux-mêmes où la vitesse de l'eau est très faible.

Ce dépôt est même abondant sur l'arête de débordement de la tôle du décanteur, comme d'ailleurs sur tous les objets en saillie : boulons, cornières, etc. . . . que renferment les appareils. Cette observation conduit tout naturellement à conclure que le repos relatif ne contribue pas seul à la chute des précipités et que les obstacles opposés à la course de l'eau ont une grande importance.

Dans cet ordre d'idées nous avons été amenés à placer dans le le décanteur, des lames de formes diverses, inclinées dans différentes directions.

Nous avons alors constaté, d'une manière évidente, que *plus la marche de l'eau était contrariée plus le dépôt était rapide*, — c'est-à-dire qu'en contrariant la marche de l'eau on pouvait arriver à faire de la faible vitesse d'ascension un élément tout à fait accessoire de la décantation.

Si, dans un réservoir vertical, nous plaçons une série de lames horizontales n'obstruant pas complètement la section, — ou une série de diaphragmes horizontaux, percés de trous, nous constatons que l'eau chargée de particules solides qu'on fait arriver, de bas en haut, dans ce réservoir se clarifie beaucoup plus vite que dans un réservoir identique, comme forme et dimensions extérieures, mais ne renfermant pas d'obstacles.

En concevant l'augmentation progressive du nombre des diaphragmes perforés ou des lames horizontales, on arrive à établir un véritable *filtre* entièrement métallique, et cette conception

permet d'établir une théorie rationnelle de la filtration sur les corps non poreux, comme les graviers, les copeaux de bois, etc. — Le filtre de gravier, comme le filtre métallique dont nous parlons ci-dessus, agit non par porosité, ni par capillarité, comme le font les filtres poreux, mais simplement par frottement, en offrant au passage du liquide chargé de particules solides des obstacles sur lesquels ces particules tendent à se déposer et se déposent effectivement d'une manière plus ou moins complète.

Plus les obstacles seront nombreux, plus la clarification se fera rapidement, et plus la vitesse de l'eau dans le filtre pourra être considérable. Telle eau qui demanderait 3 ou 4 heures pour se clarifier dans un réservoir sans obstacles, pourra se clarifier en 1 h. 1/2, 1 heure ou même 1/2 heure, dans le même réservoir, muni de diaphragmes.

Conclusion : on pourra diminuer le volume des appareils, pour un débit déterminé, en interposant dans les épurateurs des obstacles appropriés. — D'où : économie de matériel et économie d'emplacement.

Mais, en *épuration d'eau*, il ne faut pas oublier que la rapidité de la clarification n'est pas le but unique à atteindre ; il faut que l'épuration soit parfaite, et, comme cette épuration demande un temps déterminé, il faudra que les appareils de clarification aient un volume *suffisant* pour que la réaction chimique épurante ait le temps de se produire et de s'achever. Mais alors ce volume suffisant sera la capacité maximum de l'appareil, si la clarification est assurée par les dispositions dont nous venons de parler. — Au contraire, avec les appareils de décantation par simple diminution de vitesse, le volume nécessaire pour la réaction n'est plus un élément *suffisant*, c'est le volume correspondant à la vitesse *nécessaire* qu'il faut adopter, et, comme nous l'avons dit, cela conduit à exagérer les dimensions des appareils et aussi le nombre de ceux-ci, sans qu'on puisse, *a priori*, être sûr de la perfection de la décantation.

Une fois ce principe admis qu'il était avantageux d'interposer, sur le parcours de l'eau, des obstacles, il s'agissait de déterminer la nature et la forme de ceux-ci. — En premier lieu il fallait écarter tout ce qui ressemblait à un filtre proprement dit, attendu que les filtres ont l'inconvénient d'exiger des nettoyages difficiles et entraî-

nant, comme nous l'avons déjà dit, des arrêts et toutes sortes d'ennuis.

Il fallait écarter aussi les cloisons horizontales et les diaphragmes perforés horizontaux qui ont l'inconvénient de ne pas pouvoir se nettoyer, sans imposer le démontage de l'appareil

Ces considérations nous ont amenés à garnir nos appareils d'épuration et de décantation de diaphragmes inclinés, de manière à obtenir des pentes convergeant vers des orifices de sortie, pour l'évacuation des dépôts. Pour choisir la pente la plus convenable, il suffisait de déterminer le talus nécessaire pour assurer le glissement des particules solides déposées. Des expériences pratiques nous ont montré qu'en donnant aux diaphragmes une inclinaison à 45° on était sûr d'un dégagement rapide et complet. — C'est cette pente que nous avons adoptée.

Des considérations purement mécaniques nous ont amenés à donner à nos appareils de décantation une forme rectangulaire; mais notre théorie s'appliquerait de même à la forme cylindrique ou à toute autre. La structure des diaphragmes dépendra naturellement de la forme du vase dans lequel ils seront placés, et aussi des dimensions de ce récipient. Ceci dit, nous rappelons ci-dessous les divers principes hydrostatiques qui nous ont servi à combiner notre appareil rationnel de décantation, ce sont :

1° Quand un liquide tenant un corps solide en suspension est placé dans un vase en repos, le corps solide, dont la densité est supérieure à celle du liquide, tend à se déposer et se dépose effectivement après un temps plus ou moins long. La durée du dépôt dépend à la fois de la nature du liquide, de la nature du solide et aussi de la forme du vase.

La nature du liquide et celle du solide étant données, il s'agit de combiner le récipient de manière à avoir un dépôt aussi rapide que possible.

2° On constate que le dépôt s'effectue mieux dans un vase de peu de hauteur que dans un récipient élevé. Cela se comprend, puisque, dans un vase élevé, les molécules solides qui descendent des tranches supérieures du liquide viennent souiller les tranches inférieures qui tendent à se clarifier les premières. La couche inférieure, qui se clarifierait rapidement si elle était isolée, reçoit, au fur et à mesure, toutes les impuretés des tranches supérieures. D'après ce

fait, on serait conduit à donner à un appareil rationnel de décantation une forme basse dans laquelle l'eau séjournerait en nappes minces.

3° Si, pour la bonne économie d'une installation, le liquide à clarifier doit circuler, c'est-à-dire traverser l'appareil d'une manière régulière et continue, il est incontestable que le mouvement du liquide viendra modifier la loi de chute des corps solides. Il faudra choisir ce mouvement de manière à arriver à la solution la plus satisfaisante.

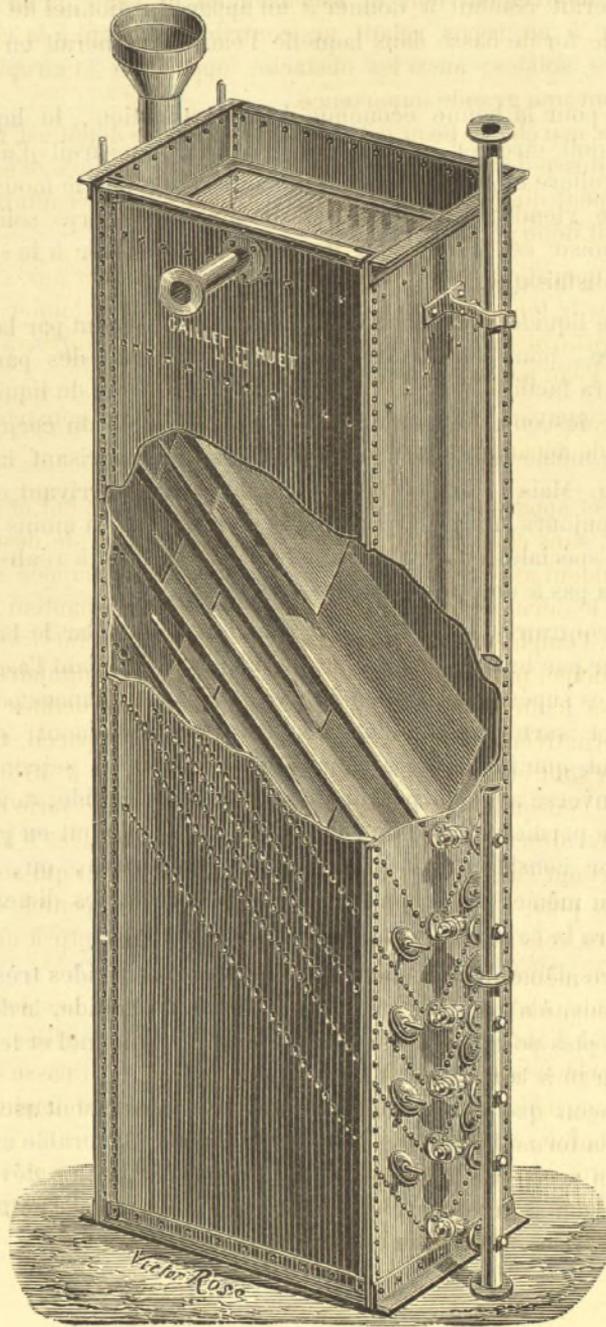
4° Si le liquide à clarifier arrive dans le récipient par la partie supérieure, pour s'échapper par le bas, la chute des particules solides sera facilitée par le mouvement de descente du liquide. La vitesse de descente, se composant avec la pesanteur du corps solide et dans le même sens, donnera une résultante favorisant la chute de celui-ci. Mais, dans ce cas, le liquide chargé arrivant en haut viendra toujours troubler les couches clarifiées et, à moins de dispositions spéciales qui nous paraissent impossibles à réaliser, on n'arrivera pas à une clarification satisfaisante.

5° Au contraire, si le liquide à clarifier arrive par le bas pour s'échapper par le haut, la clarification s'opérant pendant l'ascension les couches supérieures auront beaucoup plus de chances pour s'éclaircir et surtout pour demeurer limpides. Seulement, dans ce cas, il faut que la vitesse ascensionnelle du liquide, se composant en sens inverse avec la pesanteur spécifique du solide, donne une résultante permettant la chute de celui-ci. Cela conduit en pratique à diminuer considérablement la vitesse d'ascension, ou, ce qui revient au même, à augmenter considérablement les dimensions, c'est-à-dire la capacité de l'appareil de décantation.

Il arrive même que, si on a affaire à des corps solides très-légers dont la densité n'est guère supérieure à celle du liquide, la décantation n'est plus possible avec le mouvement ascensionnel et le liquide reste chargé à la sortie de l'appareil.

On conçoit que si l'on voulait concilier le mouvement ascensionnel avec la forme basse, que nous avons dit être favorable au dépôt rapide, on arriverait à concevoir un appareil ayant un développement horizontal très considérable et peu pratique par conséquent dans l'industrie où l'espace est souvent mesuré.

FIG. 25.



6° Le mouvement lent et ascensionnel de l'eau qu'on pourrait assimiler à un repos relatif ne contribue pas seul à la chute des particules solides ; aussi les obstacles opposés à la circulation du liquide ont une grande importance.

Plus la marche de l'eau est contrariée, plus le dépôt est rapide et plus la vitesse de l'eau dans l'appareil peut-être grande, c'est-à-dire plus on peut diminuer la capacité de l'appareil de décantation pour un travail déterminé.

7° En épuration d'eau il est *nécessaire* de donner aux réactions chimiques le temps de s'achever, ce qui conduit à donner, comme volume *minimum*, aux appareils une capacité *suffisante* pour contenir l'eau pendant toute la durée de l'épuration.

Nous appuyant sur ces principes, nous avons construit notre appareil de décantation de la manière suivante :

Dans cet appareil, le liquide possède successivement et alternativement, sans changement brusque, le mouvement de descente et le mouvement ascensionnel. De plus, il circule en nappes minces, bien que le développement de l'appareil soit tout en hauteur, et que, par suite, l'emplacement qu'il occupe soit fort restreint.

En principe, notre épurateur est un réservoir rectangulaire divisé, suivant sa hauteur, par une série de diaphragmes inclinés à 45° et rivés alternativement sur deux faces opposées de l'appareil. Ces diaphragmes sont eux mêmes formés de lames inclinées à 45°, de telle sorte que l'ensemble de l'appareil se compose d'une série de compartiments alternés dont toutes les faces sont inclinées à 45°, sauf celles qui sont empruntées aux parois de l'appareil et qui sont verticales. De plus, d'après la disposition adoptée, les pentes convergent toutes vers la même face de l'appareil pour aboutir à une série de robinets d'évacuation. (Voir le dessin et-contre).

Le liquide, chargé de particules solides, arrive au bas de l'appareil, prend d'abord un mouvement *ascensionnel* et glisse, si l'on peut s'exprimer ainsi, sur le premier diaphragme ; il passe ensuite dans le compartiment suivant et *descend* sur le second diaphragme, pour remonter sur le troisième, et ainsi de suite.

Dans cette marche contrariée, sans mouvement brusque, les particules solides, soumises à l'action de la pesanteur, et, d'autre part, retenues par les diaphragmes, tendront à se déposer et se déposent-

ront effectivement et rapidement si l'appareil est convenablement construit. A l'inspection du dessin ci-contre, on voit que ces particules solides, glissant sur les parois inclinées, viendront se rassembler à la partie inférieure et angulaire des compartiments, d'où on pourra les évacuer facilement et rapidement en ouvrant les robinets.

Les nombreuses applications industrielles que nous avons déjà faites de cet appareil, pour l'épuration chimique et la clarification des eaux, nous ont montré que la décantation s'y opérerait très rapidement et avec une grande perfection. Grâce à l'inclinaison à 45° , le dépôt descend au fur et à mesure au bas des compartiments et échappe ainsi au courant d'eau; c'est-à-dire qu'il se rassemble dans une portion de liquide située en dehors de la veine mobile, et que, une fois déposé, il ne peut plus être entraîné. Le nettoyage est facile et presque instantané.

QUATRIÈME PARTIE

SYSTÈME GAILLET ET HUET.

*Organisation pratique de l'épuration. — Calcul des réactifs. —
Contrôle des résultats.*

Nous avons dit que l'installation d'une épuration d'eau comprenait deux parties :

- 1^o La préparation du réactif;
 - 2^o L'épuration et la clarification de l'eau chimiquement épurée.
- Nous décrivons ci-dessous notre manière d'opérer.

CHAPITRE 1^{er}

§ I. — PRÉPARATION DU RÉACTIF.

La préparation du réactif, dans le procédé que nous employons, est la seule opération qui exige une attention spéciale, puisque, comme nous le verrons plus loin, notre appareil de clarification est automatique et continu.

On devra donc, en pratique, s'attacher à rendre la préparation du réactif aussi simple que possible. On dispose pour cela de deux moyens :

1^o Ou bien on aura des réservoirs d'une capacité suffisante pour contenir le réactif nécessaire au travail pendant une période de temps assez longue, douze heures, par exemple. Dans ce cas, il suffira de préparer le réactif une fois par jour si l'usine marche douze heures et deux fois si elle marche vingt-quatre heures par jour;

2^o Ou bien, on emploiera un appareil automatique préparant le réactif au fur et à mesure des besoins et ne nécessitant des chargements de matières premières qu'à des intervalles éloignés de douze en douze heures par exemple.

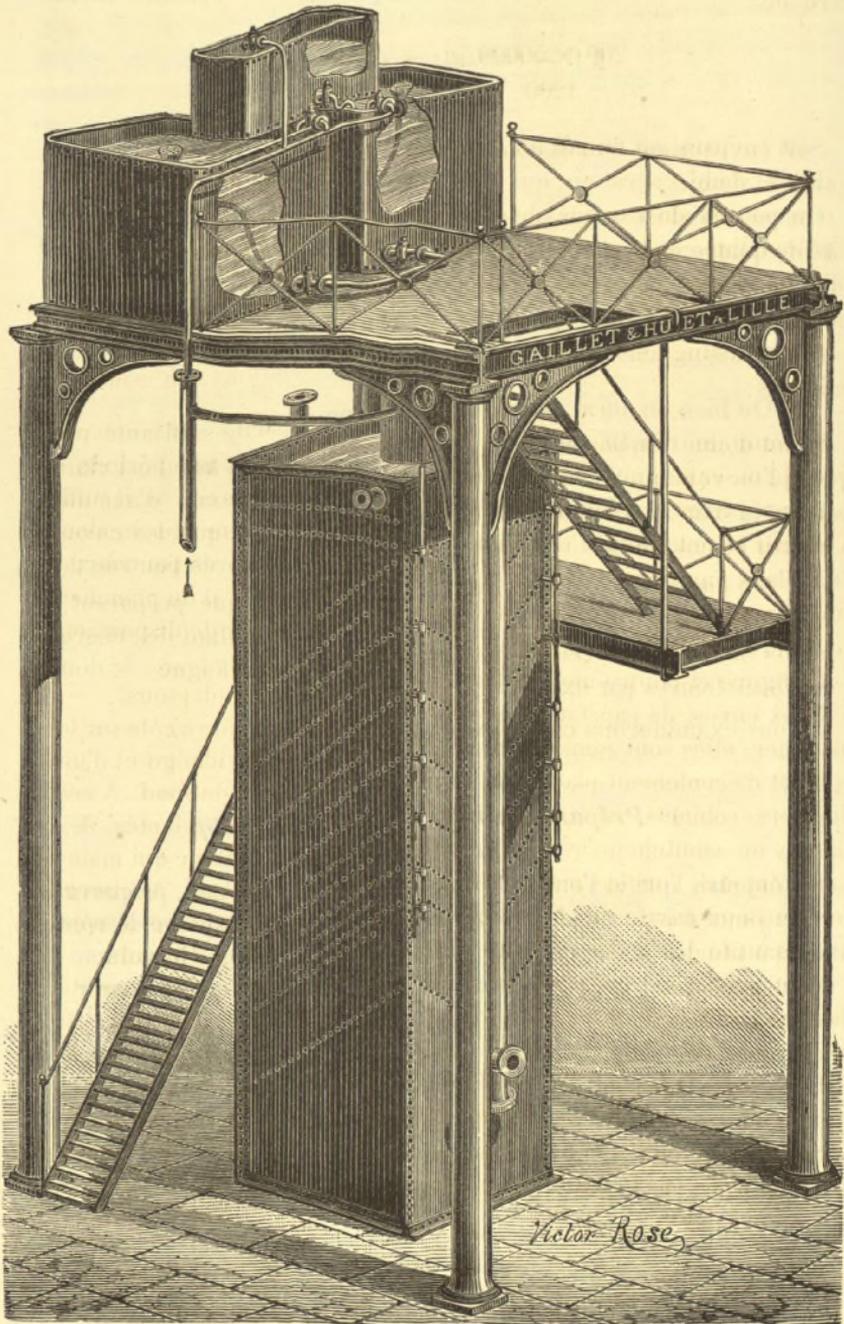
Nous examinerons ces deux hypothèses.

1^o *Préparation intermittente du réactif.*

Il est clair que si l'on veut, dans une épuration d'eau, préparer le réactif une fois toutes les douze heures, il faudra disposer de réservoirs à réactifs d'une capacité suffisante pour contenir le volume de réactif nécessaire à l'épuration de la quantité d'eau à épurer en douze heures.

Si, par exemple, il s'agit d'épurer 100 mètres cubes d'eau en vingt-quatre heures et si l'analyse chimique a montré qu'il faut employer, par mètre cube d'eau, 200 litres de réactif pour obtenir 1200 litres d'eau épurée, on en conclura que, étant donné que les réservoirs à réactif doivent contenir le réactif nécessaire pour

FIG. 26.



l'épuration de $\frac{100}{2} = 50$ mètres cubes, leur capacité devra être de :

$$\frac{200 \times 50000}{1200} = 8333 \text{ litres.}$$

Soit environ, en tenant compte des espaces perdus, huit mètres cubes et demi.

On pourra alors employer deux bâches ayant chacune une capacité de quatre mètres cubes un quart, et ces bâches, une fois remplies de réactif, pourront servir au travail d'une journée de douze heures.

Nous distinguons deux cas dans les installations, ce sont les suivants :

Etant donné l'appareil où s'opère l'épuration de l'eau, il est clair que si l'on veut que le réactif s'y écoule sans le secours d'aucune pompe, ni d'aucune main d'œuvre, il sera nécessaire que les cuves à réactif soient placées à un niveau supérieur à celui de l'entrée de l'eau dans l'appareil d'épuration. Lorsqu'on disposera d'un plancher supérieur ou qu'on pourra facilement en établir un, cette disposition sera certainement la meilleure.

La figure ci-contre montre l'agencement que nous adoptons.

Deux cuves, de capacité convenable, sont placées côte à côte sur le plancher, elles sont munies chacune d'un robinet de vidange et d'un robinet d'écoulement placé à environ 10 centimètres du fond. A ces derniers robinets, et à l'intérieur des cuves, sont adaptés des tuyaux en caoutchouc avec entonnoir, munis d'un flotteur qui maintient toujours l'orifice à la partie supérieure du liquide. A cheval sur ces deux cuves, on place le bac à soude dans lequel on dissout une quantité de soude suffisante pour le travail de 10 à 15 jours.

Pour préparer le réactif, on commence par éteindre une quantité de chaux suffisante pour l'une des cuves, on délaie cette chaux, et, tandis que l'eau s'écoule dans la bâche à réactif, on y fait arriver le lait de chaux. Lorsque la bâche est aux trois quarts pleine, l'ouvrier agit avec un rable et fait couler lentement la quantité de soude nécessaire, ce qu'il vérifie au moyen d'un flotteur et d'une échelle graduée fixée sur le bac à soude. On achève de remplir la cuve et

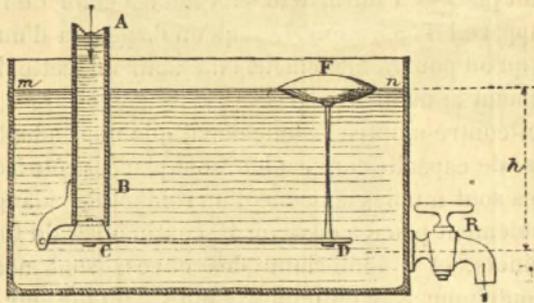
on agite encore pendant dix minutes. Le réactif est préparé ; on laisse déposer et on peut alors faire usage du liquide clair pour l'épuration. — Il est avantageux d'avoir deux bâches, lorsque le travail est continu, parce que tandis qu'une bâche se vide, on peut préparer l'autre et il n'y a alors aucune interruption dans l'épuration.

Il est important d'arriver à régulariser l'écoulement du réactif, et, lorsqu'on emploie ce mode de préparation, on doit s'attacher à rendre parfaitement constant le débit de l'eau, d'une part, et le débit du réactif, d'autre part.

On conçoit que lorsque le réactif s'écoule librement d'un réservoir supérieur, le volume qui s'écoule par un orifice donné est proportionnel à la pression du liquide, c'est-à-dire à la hauteur du réactif dans la bâche réservoir. Il en résulte que, lorsque la bâche est presque vide, l'écoulement est moindre que lorsqu'elle est pleine.

Nous employons, pour régulariser ce débit, la disposition suivante :

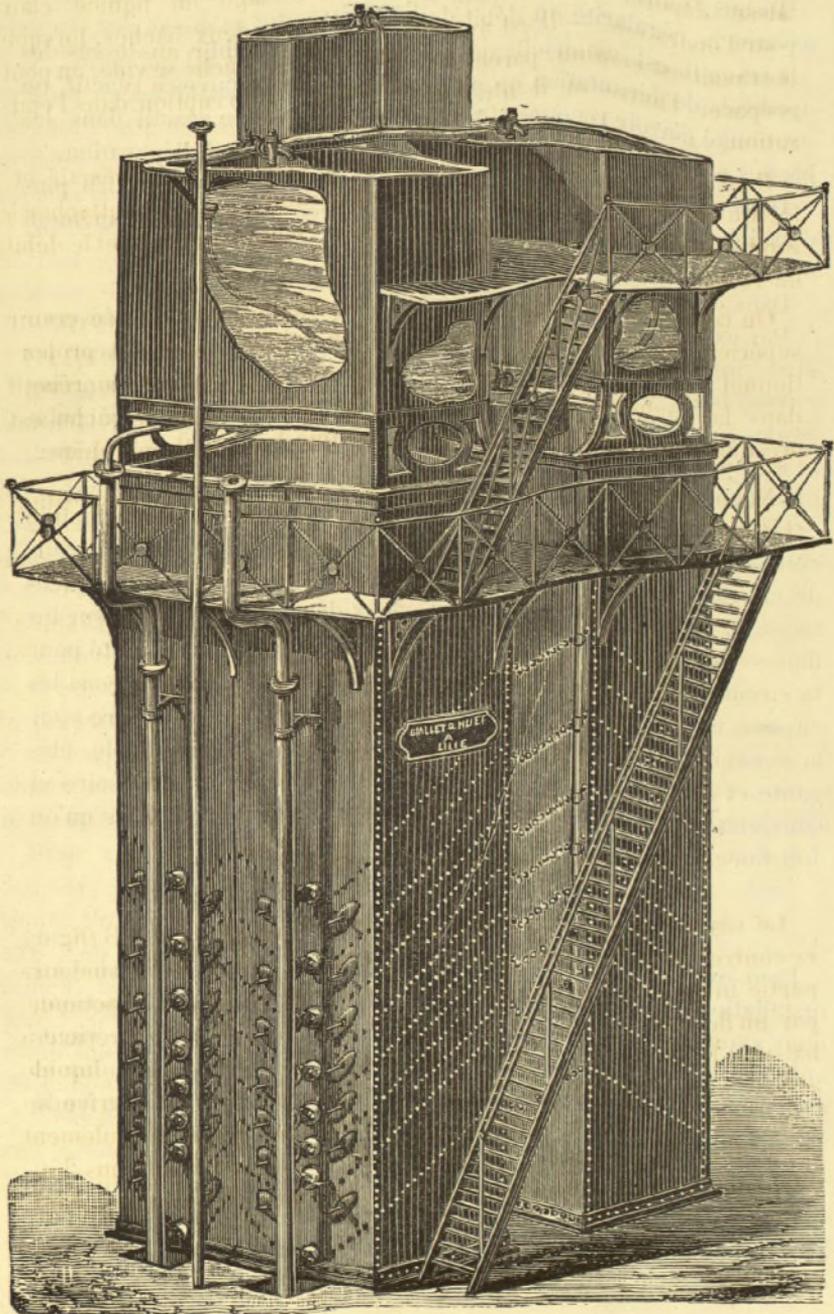
FIG. 27.



Le réactif sortant du réservoir est amené par un tuyau A B (figure ci-contre) dans un petit bac auxiliaire. Ce tuyau est fermé à sa partie inférieure par un clapet C maintenu par un levier C D actionné par un flotteur F réglé pour un niveau mn . Si le niveau mn vient à baisser, le flotteur F s'abaisse, le clapet C s'ouvre et le liquide arrive par le tuyau A B. Bientôt, le flotteur s'élevant, arrive au niveau normal, le clapet ferme l'orifice du tuyau A B et l'écoulement cesse. Il en résulte que le débit du robinet R s'effectue sous l'influence d'une pression constante h , et, par suite, demeure constant.

DEPOSE
COMMERCIAL
LILLE

FIG. 28.



Disons, en passant, que la même disposition est excellente pour assurer la régularité du débit de l'eau.

Lorsqu'il est matériellement impossible d'établir au-dessus des appareils de décantation un plancher portant les cuves à réactif, on est obligé d'avoir recours à une pompe qui puise le réactif dans les bâches posées sur le sol et le refoule dans l'appareil d'épuration.

Dans ce cas, le régulateur dont nous venons de parler n'a plus d'utilité, la régularité du débit étant assurée par le fonctionnement de la pompe.

Dans certains cas, cette solution peut encore se simplifier.

Par exemple, lorsque l'eau à épurer doit être relevée pour être introduite dans l'appareil épurateur, on peut placer les cuves, *avec le régulateur*, sur le bord d'une citerne où arrive également l'eau à purifier. Il suffit alors d'une seule pompe qui puise le mélange d'eau et de réactif et le refoule, par un conduit unique, dans l'appareil de clarification. Cette disposition est excellente.

Pour les installations importantes nous avons encore simplifié cette solution en faisant reposer les cuves à réactif sur les appareils de clarification. La figure ci-contre (fig. 28) représente cet agencement. L'installation se compose de deux décanteurs doubles sur les flancs desquels sont fixées des passerelles donnant toute facilité pour la circulation et la surveillance. Sur les décanteurs nous plaçons les cuves à réactif qui portent elles-mêmes le plancher nécessaire pour la manœuvre de l'ouvrier. Cette solution est à la fois simple, élégante et économique ; elle supprime tout agencement accessoire et convient tout particulièrement pour les grandes installations qu'on doit faire en plein air.

2° Préparation continue du réactif.

Pour éviter l'emploi des bâches à réactif, dans les cas où leur installation n'est pas très commode ou impose l'emploi d'une pompe, nous avons imaginé un dispositif très simple qui permet de préparer automatiquement le réactif au fur et à mesure des besoins et d'en régler le débit d'une manière sûre. Ce dispositif est fondé sur les principes suivants :

1° Lorsqu'on agite de la chaux en excès avec de l'eau, celle-ci se sature rapidement de chaux, à la dose d'environ 1 gramme par litre, d'une manière tout à fait régulière et constante ;

2° La décantation d'une eau tenant un excès de chaux en suspension est très facile et très rapide ;

3° Lorsqu'on fait écouler un liquide d'un même vase par deux orifices de sections déterminées, l'écoulement par chaque orifice demeure proportionnel à la hauteur du liquide. Autrement dit, les orifices d'écoulement étant déterminés, les débits demeurent en rapport constant, quelle que soit la hauteur du liquide dans le vase.

Notre appareil de préparation automatique comprend d'abord un barillet en fonte ou en tôle, cylindrique et muni d'un arbre à palettes, commandé de l'extérieur par une petite poulie à gorge et une corde.

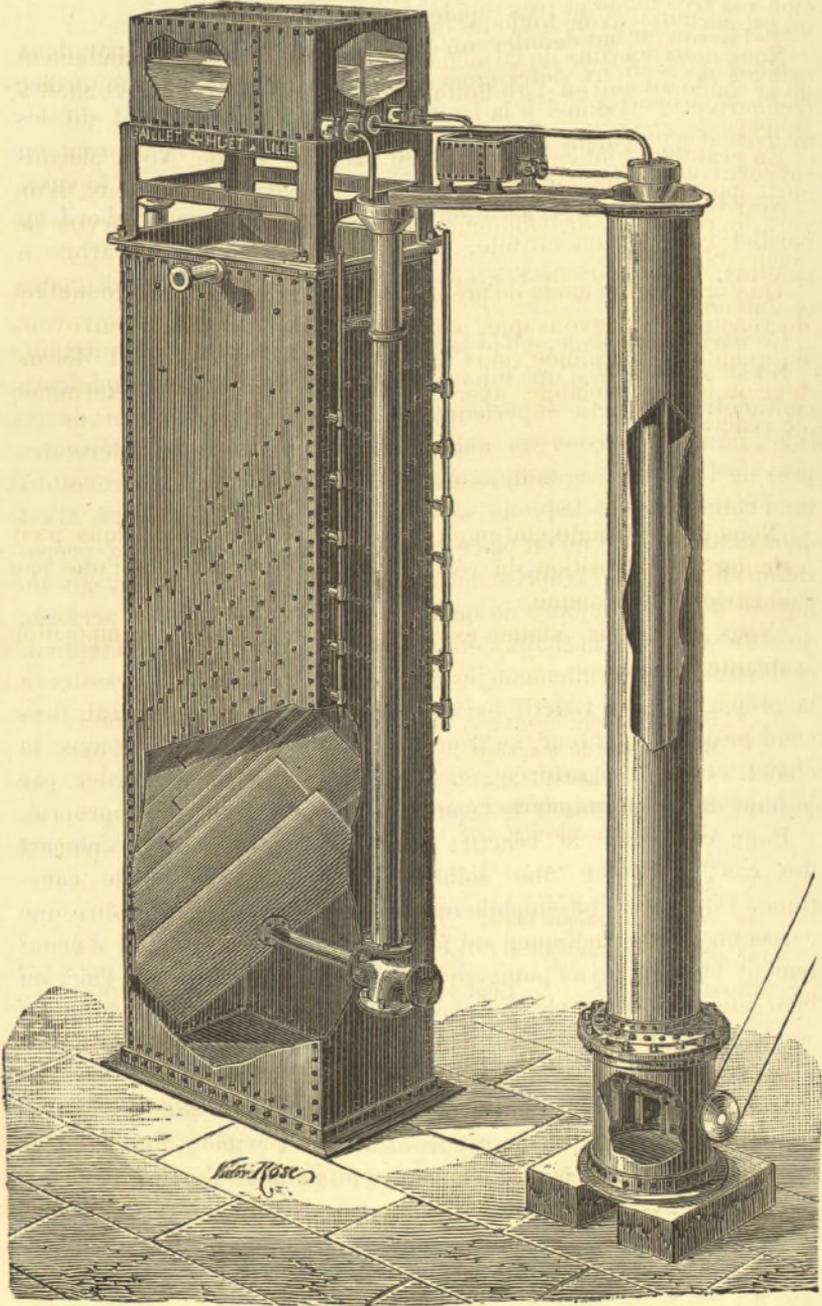
Ce barillet est placé sur le sol, à côté de l'appareil de décantation.

Il est surmonté d'un tube cylindrique dépassant de quelques centimètres la partie supérieure de l'épurateur. Dans l'axe de ce tube, nous en plaçons un autre débouchant à la partie inférieure, près de l'axe de l'agitateur, et terminé en haut par une cuvette à fond conique, dans laquelle se trouve un faux fond perforé. C'est dans cette cuvette qu'on place la chaux nécessaire pour la préparation du réactif. D'après la disposition adoptée, le niveau du liquide dépasse toujours de quelques centimètres le fond perforé, de telle sorte que la chaux s'éteigne d'elle-même, sans manutention, et descende naturellement jusqu'à l'agitateur. L'eau nécessaire à la préparation du réactif arrive aussi dans ce tube central, descend jusqu'à l'agitateur, se trouve ainsi en contact intime avec la chaux, et remonte saturée, en s'éclaircissant, pour déborder par le haut dans l'entonnoir de l'épurateur, par un déversoir approprié.

Pour compléter le réactif, il convient alors, dans la plupart des cas, d'ajouter une solution convenable de soude caustique. Pour cela, on emploie un vase de Mariotte, c'est-à-dire une caisse en tôle hermétiquement fermée, munie d'un robinet d'écoulement et d'un tuyau plongeur permettant la rentrée de l'air, ou bien encore un simple réservoir muni d'un régulateur de débit semblable à celui que nous avons décrit plus haut. (Voir la figure 28 ci-contre).

L'eau à épurer arrive dans une petite bêche reposant sur l'appareil lui-même. Cette bêche est munie de deux orifices, l'un débitant l'eau dans l'appareil épurateur, l'autre alimentant l'appareil produisant le réactif ; de sorte que le rapport des sections une fois établi, la proportionnalité des débits est assurée. Si l'eau manque, le

FIG. 29.



réactif manquera; si l'eau abonde, le réactif abondera, et, dans tous cas, les écoulements étant réglés par la hauteur dans le réservoir, on est certain d'avoir toujours des débits proportionnels.

Nous nous servons de ce même réservoir pour régler l'écoulement de la soude au moyen d'un flotteur qui ouvre ou ferme un robinet à soupape.

En pratique, tout cet agencement est très simple. Nous plaçons sur l'appareil de décantation une bêche à deux compartiments. L'un sert de réservoir distributeur d'eau; l'autre sert de réservoir de soude diluée.

Quel que soit le mode de préparation employé pour la production du réactif, nous savons que, pour épurer une eau, nous l'envoyons en quantité déterminée dans notre appareil épurateur et décanteur où elle se mélange avec une quantité également déterminée de réactif.

§ II. — CALCUL DU RÉACTIF.

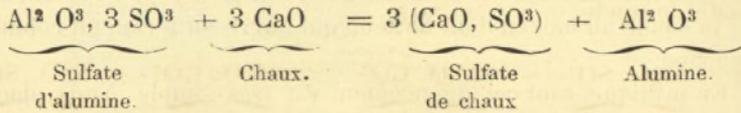
Nous allons maintenant montrer comment nous procédons pour calculer la composition du réactif qui sert à l'épuration d'une eau industrielle quelconque.

Nous prendrons comme exemple une eau ayant la composition suivante :

| | | |
|------------------------------|--------|----------------|
| Bicarbonate de chaux..... | 0,5414 | gr. par litre. |
| Bicarbonate de magnésie..... | 0,1754 | » |
| Sulfate de chaux..... | 0,0580 | » |
| Sulfate de magnésie..... | 0,0160 | » |
| Chlorure de calcium..... | 0,0120 | » |
| Alumine..... | 0,0080 | » |
| Silice..... | 0,0090 | » |
| Acide carbonique libre..... | 0,0140 | » |
| Matières organiques..... | 0,0110 | » |
| Total par litre..... | 0,8448 | par litre. |

Nous supposerons qu'il est nécessaire, pour la précipitation des matières organiques, d'employer du *sulfate d'alumine*, bien que, dans ce cas, cela ne soit pas nécessaire. Nous montrerons ainsi comment on calcule l'épuration d'une manière générale. Nous nous basons sur l'expérience acquise pour fixer la dose à employer; pour l'eau, en question, nous supposons 10 grammes par mètre

cube, puisque le traitement est empirique. Nous pouvons donc calculer la quantité de sulfate de chaux qui résultera de ce traitement, par la formule :



$$\text{Eq. : } \quad 172 \quad + \quad 3 \times 28 = \quad 3 \times 68 \quad + \quad 52$$

Le sulfate d'alumine ordinaire a pour formule $\text{Al}^2 \text{O}^3, 3 \text{SO}^3 + 18 \text{HO}$
Soit pour équivalent 334 .

Les 10 grammes que nous employons contiennent donc en $\text{Al}^2 \text{O}^3, 3 \text{SO}^3$:

$$\frac{172 \times 10}{334} = 5 \text{ gr. } 14.$$

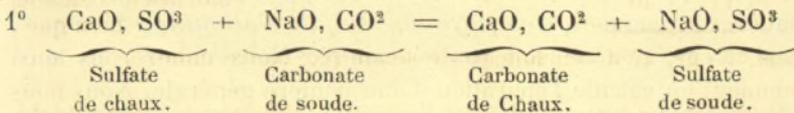
Pour 172 de $\text{Al}^2 \text{O}^3, 3 \text{SO}^3$ on a $3 \times 68 = 204$ de CaO, SO^3

Pour 5,14 » on aura : $\frac{204 \times 5,14}{172} = 6 \text{ gr. } 09$ de sulfate de chaux par mètre cube.

La quantité totale de *sulfate de chaux* à décomposer, par mètre cubé, sera donc :

$$58 \text{ gr.} + 6 \text{ gr. } 09 = 64 \text{ gr. } 09.$$

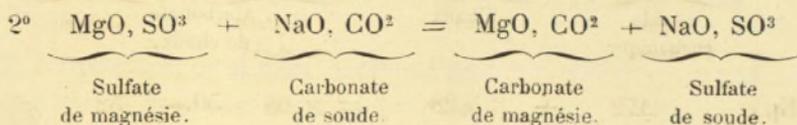
Pour l'épuration de l'eau en question, il faut transformer la totalité de l'acide sulfurique, combiné à la chaux et à la magnésie, en sulfate de soude et le chlore du chlorure de calcium en chlorure de sodium.



$$\text{Eq. : } \quad 68 \quad + \quad 53 \quad \quad \quad 50 \quad + \quad 71$$

Pour 68 de CaO, SO³ il faut 53 de NaO, CO². ;

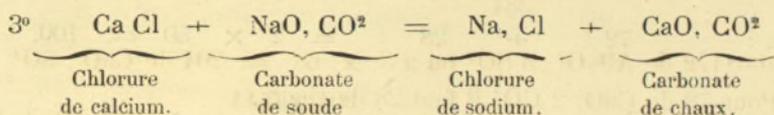
Pour 64,09 il faudra : $\frac{53 \times 64,09}{68} = 49 \text{ gr. } 94$ de carbonate de soude.



$$\text{Eq. : } 60 \quad + \quad 53 \quad = \quad 42 \quad + \quad 71$$

Pour 60 de MgO, SO³ il faut 53 de NaO, CO²

Pour 16 gr. » il faudra : $\frac{53 \times 16}{60} = 14 \text{ gr. } 13$ de carbonate de soude.



$$\text{Eq. : } 55 \quad + \quad 53 \quad = \quad 58 \quad + \quad 50$$

Pour 55 de Ca Cl, il faut 53 de NaO, CO²

Pour 12 de Ca Cl, il faudra $\frac{53 \times 12}{55} = 11 \text{ gr. } 40$ de carbonate de soude.

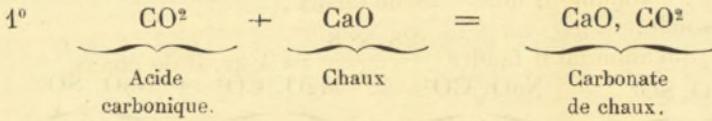
En résumé, il faut, pour l'épuration :

| | | | | |
|----|-----------|-----------------------|---------------------------|-----------------------|
| | 49 gr. 94 | de carbonate de soude | pour le sulfate de chaux. | |
| | 14 | 13 | » | » sulfate de magnésie |
| et | 11 | 40 | » | » chlorure de calcium |

Total. 75 gr. 47 de carbonate de soude par mètre cube.

Nous devons, pour compléter l'épuration, ajouter une quantité de chaux telle que l'acide carbonique libre passe à l'état de carbonate

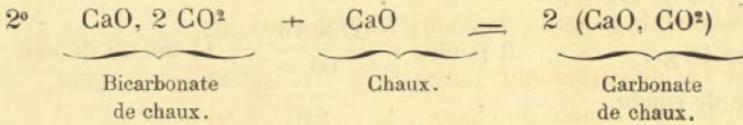
de chaux et que les bicarbonates de chaux et de magnésie soient précipités.



$$\text{Eq. :} \quad 22 \quad + \quad 28 \quad = \quad 50.$$

Pour 22 de CO² il faut 28 de CaO ;

Pour 14 de CO² il faudra $\frac{28 \times 14}{22} = 17$ gr. 89 de chaux.

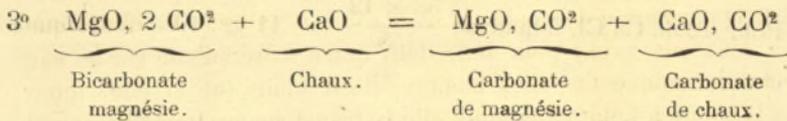


$$\text{Eq. :} \quad 72 \quad + \quad 28 \quad = \quad 2 \times 50 = 100.$$

Pour 72 de CaO, 2 CO² il faut 28 de chaux.

Pour 541,40 de CaO, 2 CO², il faudra :

$$\frac{28 \times 541,40}{72} = 210 \text{ gr. } 5 \text{ de chaux.}$$



$$\text{Eq. :} \quad 64 \quad + \quad 28 \quad = \quad 42 \quad + \quad 50$$

Pour 64 de MgO, 2 CO² il faut 28 de chaux ;

Pour 175,70 de MgO, 2 CO² il faudra $\frac{28 \times 175}{64} = 76$ gr. 7 de chaux.

Enfin, il nous reste à précipiter la silice et l'alumine par la chaux.

1° L'équivalent de l'alumine ($Al^2 O^3$) est 52.

Celui de la chaux (CaO) est 28.

Pour 52 d'alumine il faut 28 de chaux ;

Pour 8 d'alumine il faudra $\frac{28 \times 8}{52} = 4$ gr. 3 de chaux.

2° L'équivalent de la silice (SiO^2) est 38.

Celui de la chaux (CaO) est 28.

Pour 38 de silice il faut 28 de chaux ;

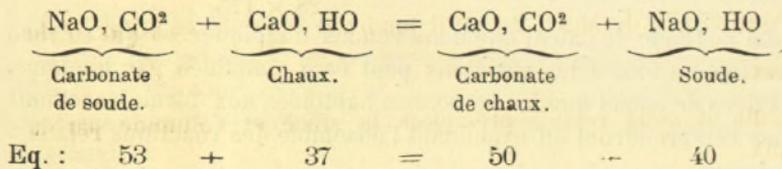
Pour 9 de silice il faudra $\frac{28 \times 9}{38} = 6$ gr. 60 de chaux.

En résumé, la quantité de chaux à ajouter est de :

| | | |
|------------------------------------|------------|--------------|
| Pour l'acide carbonique libre..... | 17 gr. 89 | par m. cube. |
| Pour le bicarbonate de chaux..... | 210 | 50 » |
| Pour le bicarbonate de magnésie... | 76 | 70 » |
| Pour l'alumine..... | 4 | 30 » |
| Pour la silice..... | 6 | 60 » |
| | <hr/> | |
| Total..... | 315 gr. 99 | » |

Comme nous l'avons dit en exposant la théorie de l'épuration, il est plus avantageux, au point de la rapidité de la réaction, de remplacer le carbonate de soude par de la soude caustique. La chaux que nous ajoutons ayant pour but, d'un autre côté, d'enlever à l'eau l'acide carbonique des bicarbonates, il est clair que si nous ajoutons la soude à l'état caustique, elle se transformera immédiatement en carbonate de soude et remplacera une quantité équivalente de chaux.

On a la formule :



On voit qu'un équivalent de soude caustique remplacera exactement un équivalent de chaux pour l'épuration, en se transformant en carbonate de soude.

Comme nous devons ajouter 75 gr. 47 de carbonate de soude, il nous suffit d'ajouter :

$$\frac{40 \times 75,47}{53} = 56 \text{ gr. } 90 \text{ de NaO, HO.}$$

puisque l'équivalent du carbonate de soude est de 53 est celui de la soude (NaO, HO) de 40.

Ces 56 gr. 90 remplaceront en chaux (CaO = 28) :

$$\frac{28 \times 56,90}{40} = 39 \text{ gr. } 80 \text{ de CaO.}$$

Comme nous devons employer par mètre cube 315 gr. 99 de chaux, il suffira d'en employer :

$$315,99 - 39,80 = 276 \text{ gr. } 19$$

En résumé, il faut pour l'épuration d'un mètre cube de l'eau en question :

276 grammes 19 de chaux (CaO)
et 56 grammes 90 de soude (NaO, HO)

Ces nombres expriment des produits purs. — Or, la chaux du commerce renferme en moyenne 80 % de chaux pure, et la soude en plaques environ 75 % de soude pure (NaO, HO). — On emploiera donc, en pratique :

350 grammes de chaux ordinaire
et 76 grammes de soude du commerce.

La méthode de calcul que nous venons d'indiquer et qui retrace exactement toutes les réactions peut être simplifiée par quelques artifices de calcul que les personnes habituées aux formules chimiques comprendront en examinant l'ensemble des réactions relatées ci-dessus.

Les résultats que nous venons d'obtenir et qui nous donnent la composition du réactif vont nous permettre de déterminer le volume de réactif à employer pour l'épuration de l'eau, et, par suite, de calculer les appareils servant à la préparation de ce réactif.

Deux cas peuvent se présenter :

1° Ou bien on emploie, pour la préparation du réactif, de l'eau épurée ;

2° Ou bien, ce qui est généralement plus commode, on emploie pour cette préparation de l'eau ordinaire non épurée.

Dans le premier cas, on tiendra compte de ce fait qu'un litre d'eau peut dissoudre pratiquement un gramme de chaux et, pour chaque mètre cube de réactif à préparer, on emploiera 1 kilogramme de chaux pure. c'est-à-dire une quantité correspondante de chaux ordinaire.

Comme il faut, pour épurer un mètre cube d'eau, employer 276 grammes de chaux (CaO), cela revient à dire qu'il faudra employer 276 litres d'eau de chaux. Et, comme il faut aussi 56,9 grammes de soude pure, on fera dissoudre ces 56 gr., 9 de soude, ou la quantité correspondante de soude du commerce, dans les 276 litres d'eau de chaux, ce qui fera, par mètre cube :

$$\frac{56,9 \times 1000}{276} = 206 \text{ grammes.}$$

La composition du réactif sera donc, par mètre cube :

1 kilogramme de chaux pure
et 206 grammes de soude pure,

et il faudra tout simplement ajouter à un mètre cube d'eau à épurer 276 litres du réactif ainsi préparé pour obtenir finalement 1276 litres d'eau complètement épurée.

Dans le second cas, si on prépare le réactif avec de l'eau ordinaire, il faudra tenir compte de la quantité de chaux et de soude nécessaire pour l'épuration de l'eau employée à la préparation du réactif.

Les proportions à employer, par mètre cube de réactif, seront donc :

$$\begin{aligned} \text{Chaux} & 1 \text{ kil.} + 276 \text{ gr.} = 1 \text{ kil. } 276. \\ \text{Soude} & 206 \text{ gr.} + 56 \text{ gr. } 9 = 0 \text{ kil. } 262 \text{ gr.} \end{aligned}$$

et, après sa préparation, le réactif ainsi fait contiendra comme éléments utiles :

$$\begin{aligned} \text{Chaux} & 1 \text{ kilogr.}, \\ \text{Soude} & 206 \text{ gr.} \end{aligned}$$

C'est-à-dire exactement les proportions indiquées précédemment.

CHAPITRE II.

ÉPURATION ET CLARIFICATION DE L'EAU CHIMIQUEMENT ÉPURÉE.

L'épuration chimique, autrement dit les réactions chimiques qui insolubilisent les matières nuisibles dissoutes, s'opère dans l'appareil que nous avons décrit. Elle résulte du simple mélange de l'eau et du réactif et demande, avons-nous dit, un temps plus ou moins long suivant la nature des sels à précipiter. La notion de cette durée de la réaction servira de base pour calculer le volume de l'épurateur.

Il ne faut pas baser uniquement ce calcul sur l'analyse chimique de l'eau et sur les déductions théoriques qu'on peut en faire. Le moyen le plus sûr consiste à faire un essai d'épuration sur quelques litres d'eau pour déterminer la durée pratique de l'épuration ; cet essai permet, en outre, de vérifier la composition du réactif calculé théoriquement comme nous l'avons montré plus haut.

Supposons que cet essai ait montré que la réaction était tout à fait complète en 1 heure $\frac{3}{4}$, nous donnerons à l'appareil de clarification une capacité suffisante pour contenir l'eau pendant 1 h. $\frac{3}{4}$ — ou, pour plus de sûreté, pendant deux heures.

S'il faut épurer 100 mètres cubes en 24 heures, cela fait à l'heure :

$$\frac{100}{24} = 4^{\text{m}} \text{ cube } 166 \text{ à l'heure.}$$

L'eau devant séjourner deux heures dans l'appareil, celui-ci devra avoir une capacité de :

$$4,166 \times 2 = 8^{\text{m}^3}, 332$$

Le volume étant donné nous calculerons les trois dimensions : longueur, largeur et hauteur, en tenant compte des règles pratiques adoptées pour la construction de nos appareils.

Il serait superflu d'indiquer ici comment nous établissons les relations des trois dimensions et comment nous déterminons le nombre et l'écartement des diaphragmes pour assurer la perfection de la clarification. Ce sont là des détails pratiques inutiles pour la compréhension de notre système.

Disons seulement que le compartiment inférieur a une capacité plus grande que tous les autres, parce que la réaction donne lieu *immédiatement* à la formation d'une quantité considérable de précipités, qu'il y a intérêt à séparer de suite.

Après ce premier compartiment, l'écartement des diaphragmes va en progressant et leur longueur en diminuant, de telle sorte que les dimensions de la veine liquide vont en augmentant du bas au haut de l'appareil. Cela correspond à une diminution de vitesse qui facilite la clarification.

Nous avons indiqué (fig. 26 et fig. 28), l'ensemble d'installations d'épuration des eaux, comportant, au dessus des appareils épurateurs, les cuves à réactif dont nous avons parlé précédemment — et fig. 29, une installation avec préparation automatique de réactif.

Ces dispositions sont si simples que l'inspection du dessin suffit pour les faire comprendre.

Dans les deux cas, l'eau et le réactif arrivent en même temps et ensemble dans l'entonnoir de l'épurateur, en proportions déterminées.

La réaction a lieu immédiatement, l'eau se trouble, devient laiteuse, circule dans les divers compartiments de l'appareil, y dépose les précipités chimiques formés par l'épuration, et, finalement, sort claire, limpide et épurée à la partie supérieure de l'appareil.

En résumé, on voit que notre système est combiné de manière à donner automatiquement et régulièrement l'eau parfaitement épurée.

Cette eau sort à quelques centimètres seulement au dessous du niveau d'entrée, c'est-à-dire sans perte de charge sensible. L'installation occupe fort peu de place et peut, sans inconvénient, se faire en plein air. Elle est susceptible de traiter, à volonté, des eaux froides ou chaudes, c'est-à-dire des eaux provenant soit directement des forages ou des rivières, soit d'appareils de condensation. Dans ce dernier cas, la perte de chaleur occasionnée par la circulation dans l'épurateur est très minime.

D'après tout ce que nous venons de dire, on voit que le fonctionnement de l'épuration n'exige pour ainsi dire aucune main-d'œuvre, puisque dans le cas d'installations très importantes, la préparation du réactif ne demande guère plus d'une demi-heure par jour de 12 heures.

Le nettoyage quotidien de l'épuration, c'est-à-dire la manœuvre des robinets de vidange, se fait une fois en vingt-quatre heures et ne demande certainement pas plus de cinq minutes, quelle que soit l'importance de l'appareil.

En dehors de ces soins, de la plus grande simplicité, il ne reste qu'à opérer, de temps en temps, un nettoyage des cuves à réactif.

En effet, dans ces cuves, il se forme un dépôt, comprenant le carbonate de chaux résultant de la précipitation des sels contenus dans l'eau employée pour la préparation du réactif, et aussi les impuretés insolubles de la chaux employée. Tous les quinze jours, ou même tous les mois, on fait écouler ce dépôt par les robinets de vidange, disposés sur le fond des cuves.

Lorsqu'on emploie le préparateur mécanique que nous avons décrit, le nettoyage consiste simplement à ouvrir, de temps en temps, le robinet de vidange placé sur le fond du barillet.

Dans le dessin qui représente la coupe de notre appareil de décantation (voir fig. 25), on remarque à la partie supérieure deux rivures horizontales ; elles correspondent à deux diaphragmes perforés et horizontaux. Ces diaphragmes servent à la confection d'un filtre de sécurité, dont nous devons dire quelques mots.

Ce filtre a pour but de retenir les particules solides qui pourraient avoir échappé à la décantation — ou qui pourraient être entraînées mécaniquement par suite de circonstances imprévues. En général il a peu d'utilité, l'eau étant claire avant de l'atteindre ; mais il est

avantageux en ce sens qu'il permet, à certains moments, de forcer le débit des appareils sans qu'on ait à craindre d'avoir de l'eau trouble. Il arrive, dans une usine, que dans diverses circonstances on a besoin d'un excédent d'eau, par exemple lorsqu'on remplit une chaudière à vapeur ; on peut alors gagner du temps en augmentant la production d'eau épurée. Si, par suite de cette augmentation accidentelle, la décantation n'est pas tout à fait complète, le filtre assure la clarification, et, comme il ne reçoit des dépôts que dans ces circonstances exceptionnelles, il en résulte qu'il ne se salit que très lentement et qu'il peut fonctionner pendant des mois sans exiger le moindre entretien.

Pour faire ce filtre nous employons tout simplement des copeaux de bois ordinaires qui n'ont par suite aucune valeur. Lorsque le filtre a besoin d'être nettoyé, on ne prend pas la peine de laver les copeaux, on les remplace purement et simplement.

Les diaphragmes qui contiennent la matière filtrante sont mobiles. Pour faire le filtre, on pose, sur une cornière disposée à cet effet, le diaphragme inférieur ; puis on tasse uniformément et légèrement les copeaux de bois. On place ensuite le diaphragme supérieur qui doit comprimer ces copeaux ; la compression est limitée par une cornière et le diaphragme est maintenu en place par quatre pattes serrées par des boulons.

Inutile de dire que l'emploi des copeaux n'a rien d'absolu et qu'on peut les remplacer par toute autre matière filtrante. Les copeaux nous paraissent, à tous égards, mériter la préférence.

On voit aussi, sur la face opposée aux robinets (fig. 26), figurer de petits tuyaux verticaux dont voici le but. En se reportant aux explications que nous avons données sur l'établissement des diaphragmes inclinés, on voit qu'ils forment, en quelque sorte, des pyramides triangulaires dont les sommets sont situés sur les arêtes de l'appareil. Il en résulte que, lors de l'emplissage, l'air contenu dans ces pyramides serait comprimé et empêcherait l'eau de remplir l'appareil si l'on n'avait établi une communication avec l'extérieur, au moyen de la tuyauterie figurée sur le dessin.

Chaque sommet est muni d'un petit tuyau se reliant à un tube vertical commun pour tous les sommets d'une arête. Il y a donc un tube de chaque côté de l'appareil, et, de cette manière, le fonction-

nement régulier est assuré. On n'a jamais à s'occuper de cette tuyauterie accessoire une fois que l'appareil est installé.

Comme entretien matériel des appareils d'épuration, nous n'avons qu'à recommander de les peindre extérieurement, ou encore de les goudronner. La peinture intérieure n'aurait aucune utilité. En effet, dans les cuves à réactif l'eau est toujours alcaline et conserve la tôle d'une manière sûre en la mettant à l'abri de l'oxydation. Cette alcalinité se maintenant pendant la durée de la réaction épurante, le décanteur est également préservé de l'oxydation.

L'entretien matériel n'exige donc aucun soin particulier.

CHAPITRE III.

CONTRÔLE DE L'ÉPURATION. — HYDROTIMÉTRIE.

Lorsqu'une épuration d'eau a été installée et mise en marche conformément aux règles que nous avons exposées dans les chapitres précédents, on peut être assuré d'avoir les résultats satisfaisants que nous avons indiqués en exposant la théorie chimique de l'épuration.

Il sera bon, néanmoins, de s'assurer de temps en temps de la qualité de l'eau épurée, de manière à contrôler la marche de l'épuration. Nous pensons qu'il est bon de mettre entre les mains de l'ouvrier, chargé de la préparation du réactif, un appareil de contrôle qui puisse le renseigner sur les résultats que donne l'installation qui lui est confiée.

Cet ouvrier doit pouvoir apprécier la qualité de l'eau épurée, comparativement à celle de l'eau à épurer ; ce qui revient à faire l'essai de l'eau *avant* et *après* l'épuration.

L'*hydrotimétrie* permet d'apprécier très rapidement, et d'une façon très suffisante, la valeur d'une eau au point de vue des usages industriels, et c'est à cette méthode qu'on aura recours pour le contrôle de l'épuration.

La méthode hydrotimétrique de Boutron et Boudet, avec ses burettes et sa liqueur, sera parfaite entre les mains d'un chimiste ou d'un contre-maître intelligent, bien que, dans ce dernier cas, les instruments soient trop délicats et trop fragiles pour une personne

qui n'est pas habituée aux travaux de laboratoire. Entre les mains de l'ouvrier chargé de l'épuration, cette méthode ne saurait convenir.

Trouvant qu'il était logique et utile de confier le contrôle de l'épuration à cet ouvrier, nous avons construit un hydrotimètre spécial où tout ce qui est fragile est protégé, en même temps que les opérations délicates et qui demandent à être faites avec soin se font automatiquement.

La méthode de Boutron et Boudet a pour base une liqueur alcoolique de savon ayant la composition suivante :

| | |
|-------------------------------|--------|
| Savon blanc de Marseille..... | 50 gr. |
| Alcool à 90°..... | 800 » |
| Eau... .. | 500 » |

Elle correspond, quand on l'ajoute à une eau jusqu'à mousse persistante, avec la burette de 6 centimètres cubes, divisée en 58 divisions, à un décigramme de savon neutralisé par degré de la burette et par litre d'eau. — Le titre se fait sur 40 centimètres cubes.

Nous sommes partis de ces données pour titrer avec une burette plus volumineuse, ayant par suite des divisions plus visibles et donnant une approximation plus grande.

Nous avons fait notre burette cinq fois plus grande, c'est-à-dire quelle contient 30 centimètres cubes pour 58 degrés. Nous avons également porté la prise d'essai de 40 centimètres cubes à 100 centimètres cubes, afin d'opérer sur un volume plus commode à mesurer et de diminuer les causes d'erreur résultant du rinçage des vases. Nous faisons donc le titre dans un flacon qui contient environ 200 centimètres cubes, et nous mesurons les 100 centimètres cubes qui sont nécessaires dans une éprouvette à pied qui porte les graduations 25 c.c. 50 c.c. et 100 c.c.

Ces modifications nous ont conduit à faire notre liqueur hydrotimétrique *deux fois et demie* plus faible que celle de Boutron et Boudet, de manière à arriver finalement à la concordance des titres. En effet, nous titrons avec une burette dont les degrés sont cinq fois trop forts; le titre trouvé serait donc cinq fois trop faible. Par contre, nous opérons sur un volume 2 fois $1/2$ plus considérable, c'est-à-dire que le titre serait, par ce fait, 2 fois $1/2$ trop fort;

la liqueur étant elle même 2 fois $1/2$ plus faible, le titre deviendrait encore 2 fois $1/2$ trop fort, Donc d'un côté, il serait 5 fois trop faible et de l'autre 5 fois trop élevé, ce qui fait que le titre réel correspond exactement à celui de la liqueur Boutron et Boudet, c'est-à-dire à un décigramme de savon par litre et par degré.

De cette façon nous avons une burette à grandes divisions, faciles à lire; nous opérons sur un grand volume d'eau, plus facile à mesurer avec moins d'erreur; il ne reste donc comme opération un peu délicate que le remplissage de la burette et son affleurement au zéro. Nous faisons ces dernières opérations, remplissage et affleurement, d'une manière automatique.

La liqueur hydrotimétrique est contenue dans un flacon fermé par un bouchon percé de deux trous. Dans l'un est un tube plongeant, en relation avec la burette par un tube effilé dont la pointe est sur le même plan horizontal que le trait zéro. L'autre est muni d'un tube débouchant au-dessus du liquide et relié avec une poire en caoutchouc. La burette, qui est droite, est fermée, à la partie supérieure, par un bouchon qui maintient le tube effilé; elle porte une ouverture qui permet la rentrée de l'air au-dessus du niveau du liquide.

Quand on presse la poire en caoutchouc, l'air comprimé refoule la liqueur par le tube effilé jusqu'à un niveau supérieur au zéro. Si, à ce moment, on cesse de comprimer la poire, celle-ci revient à sa forme primitive, et, comme l'extrémité du tube effilé plonge dans le liquide de la burette, ce liquide est aspiré et rentre dans le flacon. Le niveau s'établit donc exactement au zéro, après quoi l'air rentre. On peut alors faire usage de la burette.

Cette burette est une burette droite avec écoulement inférieur, réglé par une pince de Mohr.

Nous la plaçons à la partie antérieure d'un nécessaire, sous une glace qui la protège.

Nous ajoutons, dans ce nécessaire, les autres réactifs utiles pour l'essai de l'eau.

Quand on fait le titre d'une eau épurée, il est indispensable de s'assurer si le titre trouvé n'est pas dû, par exemple, à un excès de réactif, ce réactif, composé d'eau de chaux et de soude, titrant également avec la liqueur hydrotimétrique. Pour cela, il suffit de s'assurer que l'eau n'est pas alcaline. L'hydrotimètre devra donc

contenir des papiers de curcuma et de tournesol pour faire cette vérification.

D'un autre côté, il est également fort utile, indispensable même, de pouvoir s'assurer de la qualité du réactif employé pour l'épuration, lorsque l'on reconnaît, par un titre, que l'eau n'est pas suffisamment épurée et qu'il y a lieu de chercher la cause de cette imperfection. Celle-ci tient, ou bien à une modification de l'eau à épurer, ou bien à un réactif non complètement saturé de chaux, ce qui peut arriver lorsque la préparation de ce réactif n'est pas convenablement faite. Le contrôle du réactif se fait par l'hydrotimétrie.

Comme le titre d'une eau saturée de chaux est de 200° hydrotimétriques environ, il faudra en prendre un volume tel qu'on puisse faire le titre dans les conditions ordinaires et avec la burette employée pour le contrôle de l'eau.

On prendra, par exemple, le 1/10 du volume habituel, soit 10 centimètres cubes qu'on mesurera avec une pipette de 10 centimètres cubes et qu'on versera dans l'éprouvette de 100 c.c.; on achèvera de compléter le volume avec de l'eau distillée. Le titre trouvé, multiplié par 10, donnera le titre du réactif. Comme nous le disions plus haut ce titre doit varier de 180 à 200° hydrotimétriques.

Pour permettre les opérations ci-dessus, nous plaçons dans l'hydrotimètre un flacon d'eau distillée muni d'un tube siphon, fermé par une pince de Mohr et débouchant sur le devant du nécessaire.

Cette eau distillée servira encore toutes les fois qu'on devra examiner une eau naturelle dont le titre sera supérieur à 35-40°. Dans ce cas on prendra 50 centimètres cubes de l'eau à essayer, on complètera 100 c.c. avec de l'eau distillée; le titre trouvé, multiplié par 2, donnera le titre réel de l'eau.

Si le titre de l'eau naturelle dépassait 80° on n'opérerait que sur 25 c.c. de cette eau, en ajoutant 75 c.c. d'eau distillée. Il faut alors multiplier par 4 le titre trouvé pour avoir le titre réel.

Le nécessaire contient, en outre, une solution d'*oxalate d'ammoniaque* renfermée dans un flacon muni également d'un tube siphon fermé par une pince de Mohr, comme pour l'eau distillée.

L'oxalate d'ammoniaque permet de vérifier si l'eau épurée contient encore des sels de chaux. C'est une vérification qui doit aller de pair avec le titre de l'eau épurée. En effet, certaines eaux con-

tiennent, outre les sels incrustants de chaux de magnésie, des sels solubles divers qui peuvent titrer hydrotimétriquement. Il ne faudrait pas conclure de ce titre qui peut-être de 2, 4, 6 et même 8 degrés que l'eau est mal épurée. De l'oxalate d'ammoniaque, ajouté dans ce cas à un peu de cette eau, ne la troublera pas et indiquera que l'épuration est complète, c'est-à-dire poussée à son maximum.

Pour tous ces petits essais, l'hydrotimètre contient divers accessoires, verres : entonnoirs, filtres, agitateurs, etc.

Pratiquement cet hydrotimètre est une caisse munie à sa partie antérieure d'une glace sous laquelle on place la burette (fig. 30).

Il contient de la liqueur hydrotimétrique, de l'eau distillée, de l'oxalate d'ammoniaque et les divers papiers réactifs. La poire en caoutchouc est placée extérieurement et sur le côté. Un tiroir contient les divers accessoires : éprouvette, pipette, verres, entonnoirs, etc., dont nous avons parlé.

FIG. 30

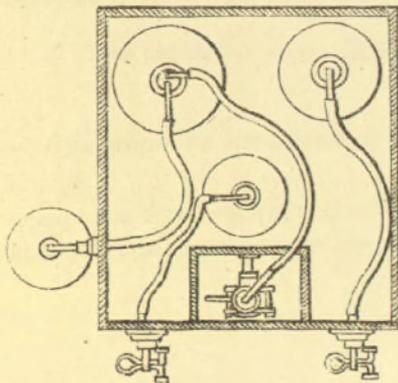
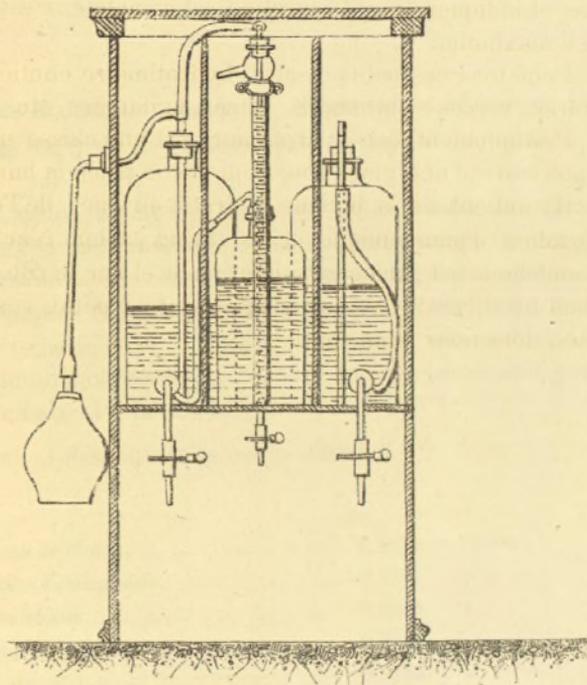
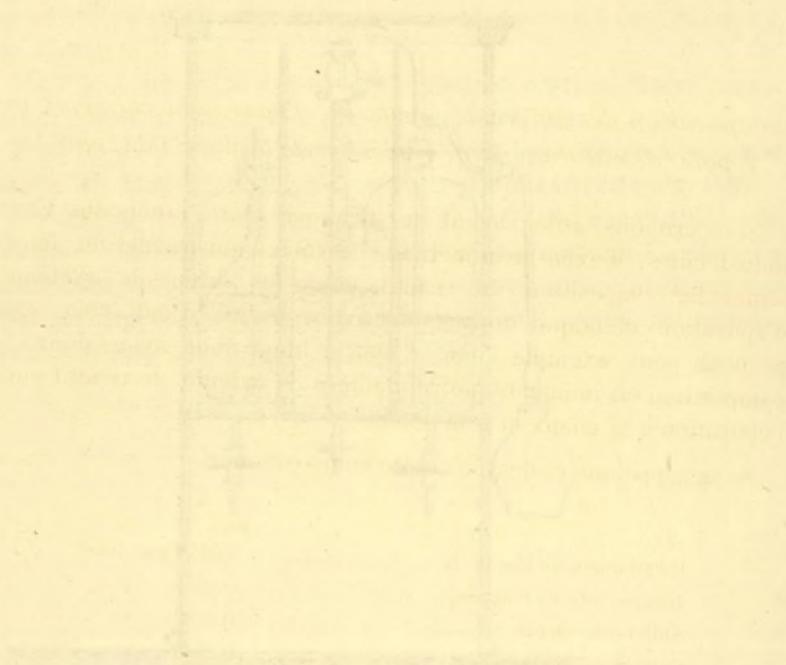


Fig. 30

APPENDIX



APPENDICE.

Comparaison des différentes méthodes d'épuration chimique au point de vue du prix de revient et de la pureté de l'eau.

Nous croyons utile, avant de terminer cette étude des Eaux industrielles, d'exposer la méthode de calcul qui permet de déterminer la composition du réactif pour les différents systèmes d'épuration chimique dont nous avons parlé. Pour cela nous prenons pour exemple l'eau à épurer dont nous avons donné la composition en indiquant notre manière de calculer le réactif pour l'épuration à la chaux et à la soude.

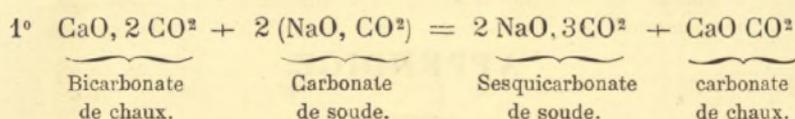
Nous rappelons ci-dessous cette composition :

| | gr. |
|------------------------------|-------------------|
| Bicarbonate de chaux..... | 0,5414 par litre. |
| Bicarbonate de magnésie..... | 0,1754 » |
| Sulfate de chaux..... | 0,0580 » |
| Sulfate de magnésie..... | 0,0160 " |
| Chlorure de calcium..... | 0,0120 » |
| Alumine..... | 0,0080 » |
| Silice..... | 0,0090 » |
| Acide carbonique libre..... | 0,0140 » |
| Matières organiques..... | 0,0110 " |
| Total par litre..... | 0,8448 " |

§ 1. — *Épuration au carbonate de soude.*

Nous allons rappeler les formules qui régissent l'élimination des éléments incrustants de l'eau que nous avons prise comme type

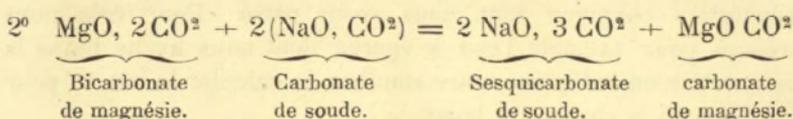
quand on la traite par une quantité convenable de carbonate de soude :



$$\text{Eq. : } 72 \quad + \quad 2 \times 53 \quad = \quad 125 \quad + \quad 50.$$

L'eau contenant, par mètre cube, 541 gr. 40 de bicarbonate de chaux, la quantité de carbonate de soude à employer sera de :

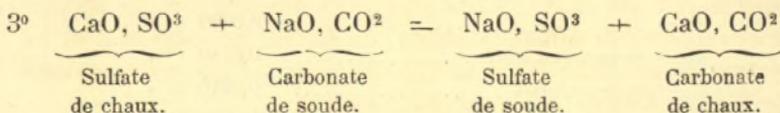
$$\frac{541,40 \times 106}{72} = 797 \text{ grammes.}$$



$$\text{Eq. : } 64 \quad + \quad 2 \times 53 \quad = \quad 125 \quad + \quad 42.$$

La quantité de carbonate de soude nécessaire pour la précipitation du bicarbonate de magnésie sera, l'eau contenant 175 gr. 40 de bicarbonate de magnésie par mètre cube, de :

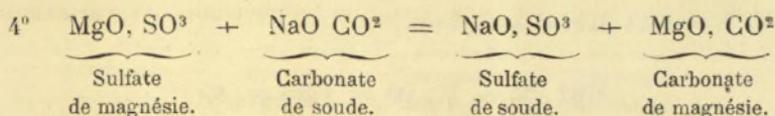
$$\frac{175,40 \times 106}{64} = 290 \text{ gr. } 50.$$



$$\text{Eq. : } 68 \quad + \quad 53 \quad = \quad 71 \quad + \quad 50.$$

L'eau contenant 58 grammes de sulfate de chaux, il faudra, pour l'épuration :

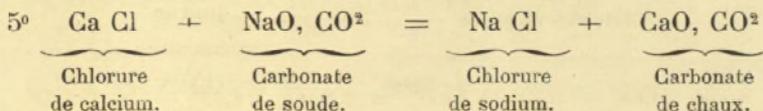
$$\frac{58 \times 53}{68} = 45 \text{ gr. } 20 \text{ de carbonate de soude.}$$



$$\text{Eq. : } 60 \quad + \quad 53 \quad = \quad 71 \quad + \quad 42.$$

Pour précipiter les 16 grammes de sulfate de magnésie que l'eau contient, par mètre cube, il faudra :

$$\frac{16 \times 53}{60} = 14 \text{ gr. } 10 \text{ de carbonate de soude.}$$



$$\text{Eq. : } 55 \quad + \quad 53 \quad = \quad 58 \quad + \quad 50.$$

Ce qui donne pour le carbonate de soude nécessaire à la précipitation des 12 grammes de chlorure de calcium que contient l'eau :

$$\frac{12 \times 53}{55} = 11 \text{ gr. } 60.$$

La quantité de sesquicarbonate de soude formée par les réactions (1) et (2), transformée en carbonate neutre par l'élévation de la température à 70° ou 80°, étant plus que suffisante pour la précipitation complète du sulfate de chaux, du sulfate de magnésie et du chlorure de calcium, il est inutile d'ajouter ce qui est nécessaire pour l'élimination de ces produits, c'est-à-dire :

$$45, 20 + 14, 10 + 11, 60 = 70 \text{ gr. } 90.$$

Il faudra donc employer, par mètre cube :

$$797, 20 + 290, 50 = 1087 \text{ gr. } 70$$

de carbonate de soude.

Et il restera dans l'eau épurée :

$$1087,70 - 70,90 = 1016 \text{ gr. } 80$$

de carbonate de soude.

Les formules (3), (4) et (5) permettent de calculer les proportions de sulfate de soude et de chlorure de sodium qui restent dans l'eau épurée, soit :

| | |
|--------------------------|--------------|
| Sulfate de soude. | gr. 79,50 |
| Chlorure de sodium. | 12,70 |
| Carbonate de soude. | 1016,80 |
| <hr/> | |
| Total..... | 1109,00 |

de sels solubles par mètre cube.

L'excès de carbonate de soude réagit également sur l'alumine et la précipite.

Il est facile maintenant de calculer la dépense de réactif pour l'épuration d'un mètre cube d'eau.

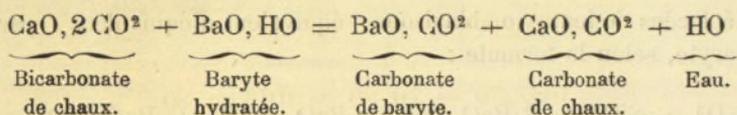
Le prix moyen du carbonate de soude étant de 25 francs les cent kilogrammes, on a :

$$\frac{1,0877 \times 25}{100} = 0 \text{ fr. } 27 \text{ centimes.}$$

Inutile d'ajouter que l'eau épurée sera très fortement *alcaline* et impropre à une foule d'usages. Nous n'insisterons pas davantage sur le prix élevé de l'épuration; nous avons, en temps utile, signalé tous les inconvénients que présente ce système d'épuration des eaux.

§ 2. *Épuration à la baryte et au chlorure de baryum.*

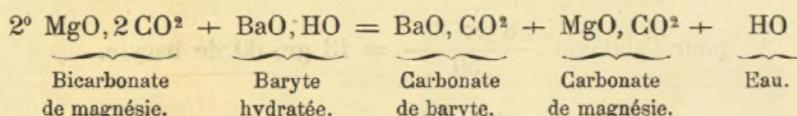
L'épuration de l'eau prise comme type, par la baryte et le chlorure de baryum, se fait d'après les réactions ci-dessous :



Eq. : 72 + 85 = 98 + 50 + 9.

c'est-à-dire qu'il faudra, pour précipiter les 541 gr. 40 de bicarbonate de chaux, en baryte caustique hydratée :

$$\frac{541,40 \times 85}{72} = 639 \text{ gr. } 10.$$

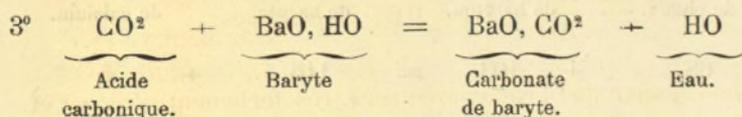


Eq. : 64 + 85 = 98 + 42 + 9.

Pour précipiter les 175 gr. 40 de bicarbonate de magnésie, il faudra :

$$\frac{175,40 \times 85}{64} = 233 \text{ grammes.}$$

Pour l'acide carbonique on a :



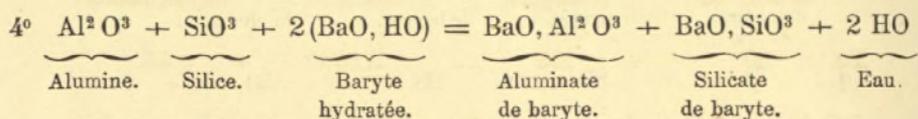
Eq. : 22 + 85 = 98 + 9.

Il faudra :

$$\frac{14 \times 85}{22} = 45 \text{ gr. } 50 \text{ de baryte.}$$

Enfin l'alumine et la silice seront précipitées par la baryte à l'état d'aluminate et de silicate, ou, ce qui revient au même,

déplacées de leurs combinaisons, équivalent à équivalent, par la baryte, selon la formule :



$$\text{Eq. : } 50 + 48 + 2 \times 85 = 126 + 124 + 2 \times 9.$$

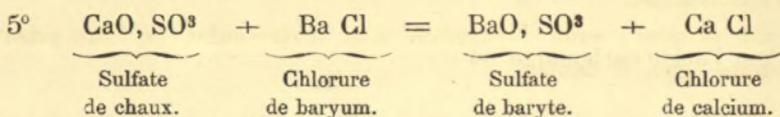
L'eau renfermant, par mètre cube, 8 grammes d'alumine et 9 de silice, il faudra :

$$\text{pour l'alumine : } \frac{8 \times 85}{50} = 13 \text{ gr. } 60 \text{ de baryte.}$$

$$\text{et pour la silice : } \frac{9 \times 85}{48} = 16 \text{ gr. de baryte.}$$

Soit $13,60 + 16 = 29 \text{ gr. } 60$ — soit 30 grammes.

La précipitation des sulfates de chaux et de magnésie ne pouvant se faire par la baryte caustique, il faut avoir recours au chlorure de baryum qui produit les réactions suivantes :



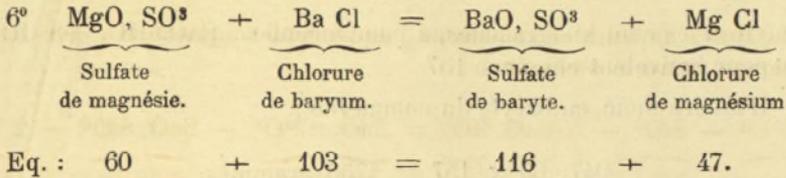
$$\text{Eq. : } 68 + 103 = 116 + 55$$

Il y a 58 grammes de sulfate de chaux par mètre cube, il faudra donc :

$$\frac{58 \times 103}{68} = 88 \text{ grammes de chlorure de baryum}$$

qui donneront naissance à :

$$\frac{58 \times 55}{68} = 47 \text{ grammes de chlorure de calcium.}$$



Il faudra, pour précipiter les 16 grammes de sulfate de magnésie contenus dans l'eau :

$$\frac{16 \times 103}{60} = 27 \text{ gr. } 40 \text{ de chlorure de baryum}$$

et il restera dans l'eau épurée :

$$\frac{16 \times 47}{60} = 12 \text{ gr. } 5 \text{ de chlorure de magnésium.}$$

Nous croyons utile de faire remarquer que ces deux dernières réactions ne sont utiles que lorsqu'il s'agit d'épurer des eaux destinées à l'alimentation de chaudières à vapeur. La réaction (5) qui transforme le sulfate de chaux, sel incrustant, en chlorure de calcium, sel soluble, est seule utile ; mais nous devons aussi donner la réaction (6) car elle se produira forcément en même temps que la réaction (5).

En résumé, pour l'épuration d'un mètre cube de l'eau prise comme type, il faudra :

639, 10 + 233 + 45, 50 + 30 = 947 gr. 60 de baryte caustique (BaO, HO) et 88 + 27, 40 = 115 gr. 40 de chlorure de baryum.

L'eau après cette épuration contiendra :

| | |
|--|--------|
| Chlorure de calcium, non transformé..... | 12 gr. |
| Chlorure de calcium, de la réaction (5)..... | 47,5 |
| Chlorure de magnésium, de la réaction (6)..... | 12,5 |
| | <hr/> |
| Résidu total par mètre cube..... | 71,5 |

Calculons maintenant la dépense de réactif, par mètre cube.

La baryte caustique du commerce, dont le prix est de 60 fr

environ les cent kilogrammes, a pour formule : $BaO, HO + 8 HO$ et pour équivalent chimique 157.

Il faudra donc, en baryte du commerce :

$$\frac{947,60 \times 157}{85} = 1750 \text{ grammes.}$$

dont le prix sera :

$$1,750 \times 0 \text{ fr. } 60 = 1 \text{ fr. } 05.$$

Le chlorure de baryum du commerce a pour formule $Ba Cl, 2HO$ et pour équivalent chimique 121.

Il faudra donc, en chlorure de baryum du commerce :

$$\frac{115,40 \times 121}{103} = 135 \text{ grammes.}$$

Ce produit valant environ 22 fr. les cent kilos, la dépense sera ,

$$0,135 \times 0,22 = 0 \text{ fr. } 029.$$

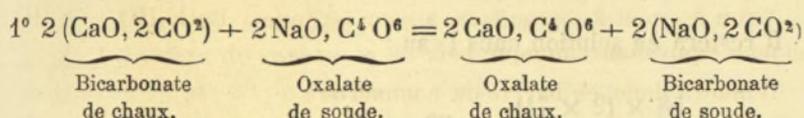
La dépense totale, par mètre cube d'eau, sera donc :

$$1 \text{ fr. } 05 + 0 \text{ fr. } 029 = 1 \text{ fr. } 079.$$

Un tel prix d'épuration est évidemment inabordable pour la grande industrie; nous avons signalé déjà le danger résultant de l'emploi des sels de baryte et le calcul que nous venons de faire montre que le résultat final est, au point de vue chimique, loin d'être parfait.

§ 3. *Épuration par les oxalates alcalins.*

L'eau dont nous avons donné la composition s'épurera suivant les formules chimiques que nous rappelons ci-dessous :



$$\text{Eq. : } 2 \times 72 \quad + \quad 134 \quad = \quad 128 \quad + \quad 2 \times 75.$$

Les 541 gr. 40 de bicarbonate de chaux, par mètre cube, exigent donc :

$$\frac{541,40 \times 134}{(72 \times 2)} = 503,80 \text{ d'oxalate de soude}$$

et il se formera :

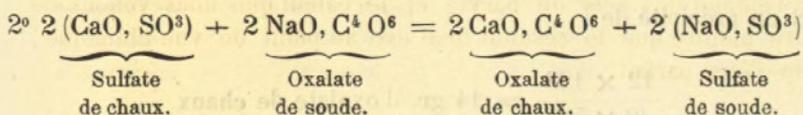
$$\frac{503,80 \times (75 \times 2)}{134} = 564 \text{ grammes de bicarbonate de soude ;}$$

et il se précipitera :

$$\frac{503,80 \times 128}{134} = 481 \text{ grammes 10, d'oxalate de chaux.}$$

On doit nécessairement employer de l'oxalate de soude pour la précipitation du sulfate de chaux, car si l'on n'ajoutait à l'eau que la quantité d'oxalate de soude exigée pour la précipitation du bicarbonate de chaux, la réaction s'effectuerait à la fois sur ce bicarbonate et sur le sulfate de chaux et serait, par ce fait, incomplète.

On détermine la quantité d'oxalate à employer, pour le sulfate de chaux, par la formule :



$$\text{Eq. : } 2 \times 68 \quad + \quad 134 \quad = \quad 128 \quad + \quad 2 \times 71.$$

Pour les 58 grammes de sulfate de chaux il faudra donc :

$$\frac{58 \times 134}{(2 \times 68)} = 57 \text{ gr. 10 d'oxalate de soude.}$$

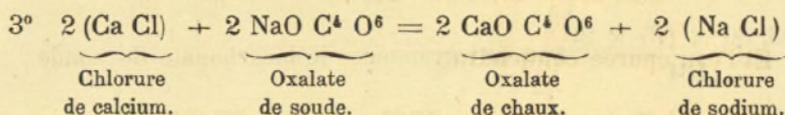
Il restera en solution dans l'eau :

$$\frac{58 \times (2 \times 71)}{(2 \times 68)} = 60 \text{ gr. de sulfate de soude.}$$

et on précipitera :

$$\frac{58 \times 128}{(2 \times 68)} = 54 \text{ gr. 60 d'oxalate de chaux.}$$

Pour le chlorure de calcium, on a :



$$\text{Eq. : } 2 \times 55 + 134 = 128 + 2 \times 58.$$

Pour les 12 gr. de chlorure de calcium, il faudra :

$$\frac{12 \times 134}{(2 \times 55)} = 14 \text{ gr. 60 d'oxalate de soude.}$$

On aura en solution :

$$\frac{12 \times (2 \times 58)}{(2 \times 55)} = 12 \text{ gr. 60 de chlorure de sodium,}$$

et un précipité de :

$$\frac{12 \times 128}{(2 \times 55)} = 14 \text{ gr. d'oxalate de chaux.}$$

Le bicarbonate de magnésie se transformera en carbonate neutre par l'élévation de température.

Les 564 grammes de bicarbonate de soude produits par la réaction (1) se transformeront aussi en carbonate neutre en donnant 397 gr. 20 de carbonate de soude.

Le sulfate de magnésie, sous l'influence de ce carbonate de soude, donnera du carbonate de magnésie et laissera en solution dans l'eau 14 gr. 20 de sulfate de soude, la quantité de carbonate de soude, utile pour cette réaction, étant de 14 gr. 10 comme nous l'avons vu en calculant l'épuration au carbonate de soude. (Voir § 1).

L'alumine se précipitera également à la faveur de l'excès de carbonate de soude.

En résumé, la quantité d'oxalate de soude à employer pour l'épuration de un mètre cube de l'eau, sera de :

$$503,80 + 57,10 + 14,60 = 575 \text{ gr. } 50.$$

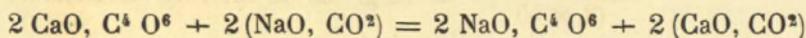
Et l'eau épurée contiendra .

| | | | | |
|--------------------------|------------|---|-------|-------------|
| Carbonate de soude | 397,20 | - | 14,10 | = 383 gr.10 |
| Sulfate de soude | 60 + 14,20 | = | 74 | 20 |
| Chlorure de sodium. | | | 12 | 60 |

Total par mètre cube..... 469 gr.90

D'autre part, les différentes réactions ont produit :

481,80 + 54,60 + 14 = 550 gr. 40 d'oxalate de chaux qu'on régénère par la réaction suivante :



| | | | |
|----------------------|------------------------|----------------------|------------------------|
| Oxalate de chaux. | Carbonaté de soude. | Oxalate de soude. | Carbonate de chaux. |
|----------------------|------------------------|----------------------|------------------------|

$$\text{Eq. : } 128 \quad + \quad 2 \times 53 \quad = \quad 134 \quad + \quad 2 \times 50.$$

On obtiendra :

$$\frac{550,40 \times 134}{128} = 576 \text{ gr. } 20 \text{ d'oxalate de soude,}$$

en employant :

$$\frac{576,20 \times (2 \times 53)}{134} = 455 \text{ gr. } 80 \text{ de carbonate de soude.}$$

La dépense d'épuration sera donc, en réalité, celle qui correspond :

1° A 455 gr. 80 de carbonate de soude, soit :

$$0,455 \times 0,25 = 0 \text{ fr. } 113.$$

2° A 10 % au minimum de perte en acide oxalique, par la régénération, soit, en acide oxalique du commerce 54 grammes à 1 fr. 50 le kilogr., soit 0 fr. 08.

Le prix total de l'épuration au mètre cube sera donc :

$$0 \text{ fr. } 113 + 0,08 = 0 \text{ fr. } 193$$

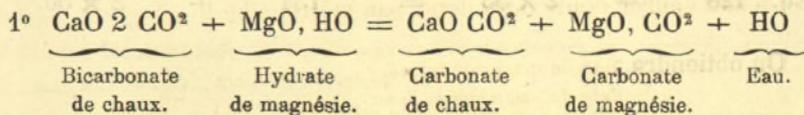
sans tenir compte, bien entendu, des frais notables de la régénération et de tous les ennuis qu'elle entraîne avec elle.

L'eau épurée sera fortement alcaline et sensiblement analogue à celle qu'on obtient par l'épuration au carbonate de soude.

Nous ne reviendrons pas sur les nombreux inconvénients de cette méthode ; nous les avons signalés dans la deuxième partie de ce travail.

§ 4. *Épuration de la magnésie.*

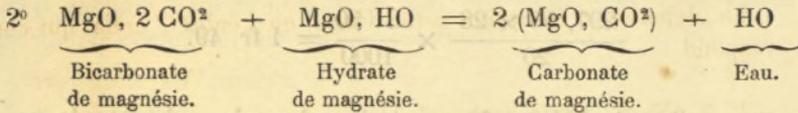
Les formules sur lesquelles repose l'épuration à la magnésie sont les suivantes :



$$\text{Eq. : } 72 \quad + \quad 29 \quad = \quad 50 \quad + \quad 42 \quad + \quad 9.$$

Pour les 541 gr. 40 de bicarbonate de chaux il faut :

$$\frac{541,40 \times 29}{72} = 218 \text{ grammes de magnésie.}$$



$$\text{Eq. : } 64 \quad + \quad 29 \quad = \quad 2 \times 42 \quad + \quad 9.$$

Pour les 175 grammes 40 de bicarbonate de magnésie on emploiera :

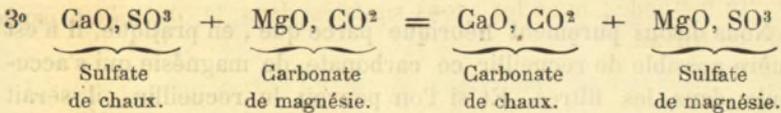
$$\frac{175,40 \times 29}{64} = 79 \text{ gr. 50 de magnésie.}$$

Il faudra donc employer pour ces deux réactions :

$$218 + 79,50 = 297 \text{ gr. 50 de magnésie.}$$

et il se formera 431 grammes de carbonate de magnésie.

En vertu de la réaction suivante (3) ce carbonate de magnésie réagit sur le sulfate de chaux :



$$\text{Eq. : } 68 \quad + \quad 42 \quad = \quad 50 \quad + \quad 60.$$

Cette réaction utilisera 35 gr. 80 de carbonate de magnésie et donnera naissance à 51 grammes de sulfate de magnésie.

L'eau épurée contiendra donc, par mètre cube :

| | |
|-----------------------------------|--------|
| Sulfate de magnésie tormé. | 51 gr. |
| Sulfate de magnésie de l'eau..... | 16 |
| Chlorure de calcium..... | 12 |

Total par mètre cube..... 79 gr.

Établissons maintenant le prix de revient.

Nous avons dit qu'on employait 297 gr. 50 de magnésie. Son prix étant de 3 fr. 50 le kilogramme pour la magnésie anhydre MgO (Eq. : = 20), on a pour les 297 gr. 50 de MgO, HO :

$$\frac{297,50 \times 28}{20} \times \frac{3,50}{1000} = 1 \text{ fr. } 49.$$

Il y a lieu de déduire de ce prix la valeur du carbonate de magnésie qu'on pourrait à la rigueur recueillir.

Nous avons dit qu'il se formait 431 grammes de carbonate de magnésie dans les réactions (1) et (2) et que la réaction (3) utilisait 35 gr. 80 de ce carbonate.

Il reste donc

$$431 - 35,80 = 395 \text{ gr. } 20$$

qui estimés à 1 fr. 30 le kilogramme donneraient une valeur de

$$0,3952 \times 1,30 = 0 \text{ fr. } 51.$$

Le prix, purement théorique, du mètre cube d'eau serait donc :

$$1 \text{ fr. } 49 - 0,51 = 0 \text{ fr. } 98.$$

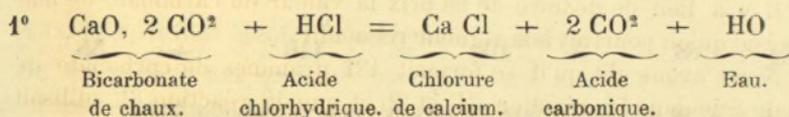
Nous disons purement théorique parce que, en pratique, il n'est guère possible de recueillir ce carbonate de magnésie qui s'accumule dans les filtres. Et si l'on pouvait le recueillir, il serait encore loin d'avoir, dans ces conditions, la valeur commerciale à laquelle nous l'estimons.

Il est juste aussi d'ajouter que le prix de 3 fr. 50 le kilogramme pour la magnésie est sujet à des variations. Nous avons dit, dans la deuxième partie, qu'une société s'était formée en France pour fabriquer industriellement ce produit. Mais jusqu'ici la consommation de magnésie ne s'est pas suffisamment développée pour qu'on puisse établir un prix industriel, et il est peu probable que cette consommation s'accroisse notablement en raison des imperfections de ce système d'épuration et en raison du prix de revient considérable de l'eau épurée par ce moyen.

§ 5. *Épuration par les acides.*

Comme nous l'avons dit, ce système de correction des eaux n'est pas une épuration dans le sens propre du mot. C'est plutôt un simple remède contre les incrustations.

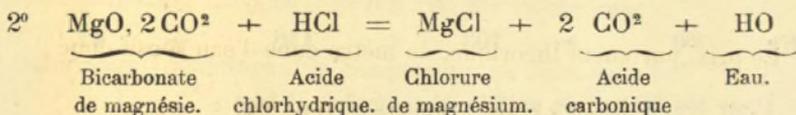
Rappelons les formules :



$$\text{Eq. :} \quad 72 \quad + \quad 36 \quad = \quad 55 \quad + \quad 2 \times 22 \quad + \quad 9.$$

Pour les 541 gr. 40 de bicarbonate de chaux on emploiera :

$$\frac{541,40 \times 36}{72} = 270 \text{ gr. } 70 \text{ d'acide chlorhydrique.}$$



$$\text{Eq. :} \quad 64 \quad + \quad 36 \quad = \quad 47 \quad + \quad 2 \times 22 \quad + \quad 9.$$

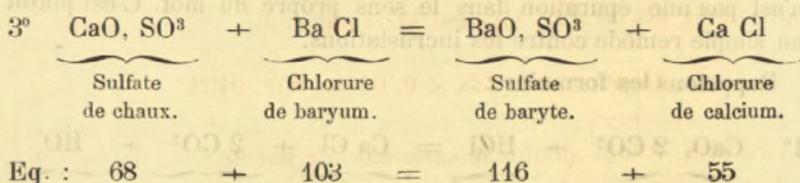
Il faudra, pour les 175 gr. 40 de bicarbonate de magnésie, employer :

$$\frac{175,40 \times 36}{64} = 100 \text{ gr. d'acide chlorhydrique.}$$

Il y a lieu d'éliminer le sulfate de chaux, sel très incrustant et pour cela il faudra éliminer en même temps le sulfate de magnésie. Cela se fera au moyen du chlorure de baryum. Pour réaliser avantageusement cette solution, on emploiera, comme nous l'avons dit, un excès d'acide chlorhydrique et on filtrera l'eau sur du carbonate de baryte. Pour opérer convenablement, il y a lieu de

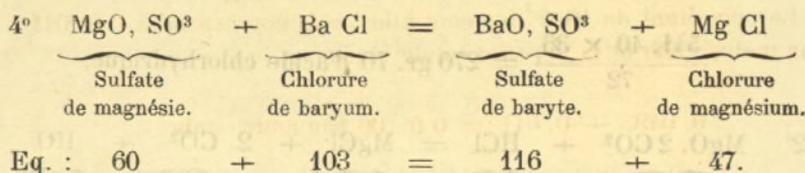
calculer cet excès d'acide chlorhydrique de manière qu'il forme exactement la quantité de chlorure de baryum nécessaire pour compléter l'épuration.

Calculons ce chlorure de baryum :



Il y a 58 gr. de sulfate de chaux, cela correspond à :

$$\frac{58 \times 103}{68} = 88 \text{ gr. de chlorure de baryum.}$$



Pour les 16 gr. de sulfate de magnésie il faut :

$$\frac{16 \times 103}{60} = 27 \text{ gr. } 40 \text{ de chlorure de baryum.}$$

Il faut donc en tout :

$$88 + 27, 40 = 115 \text{ gr. } 40$$

de chlorure de baryum qui correspond à :

$$\frac{115, 40 \times 36}{103} = 40 \text{ gr. } 30 \text{ d'acide chlorhydrique.}$$

La quantité totale d'acide chlorhydrique à employer est donc de

$$270, 70 + 100 + 40, 30 = 411 \text{ grammes.}$$

L'acide chlorhydrique du commerce contenant le $\frac{1}{3}$ de son poids d'acide HCl, il faudra :

$411 \times 3 = 1 \text{ k. } 233 \text{ gr.}$ d'acide ordinaire
dont le prix est de 4 fr. les cent kilos environ.

Dépense : $1, 233 \times 0, 04 = 0 \text{ fr. } 0493.$

A ce prix, il faut ajouter le carbonate de baryte.

On en emploie une quantité correspondant aux 115 gr. 40 de chlorure de baryum, soit :

$$\frac{115, 40 \times 98}{103} = 110 \text{ grammes.}$$

Le prix étant de 10 fr. les cent kilos, cela correspond à 0 fr. 011 par mètre cube et la dépense totale est de :

$$0, 0493 + 0, 011 = 0 \text{ fr. } 06 \text{ par mètre cube.}$$

Déterminons maintenant la composition de l'eau épurée :

1° Tout le bicarbonate de chaux a été transformé en chlorure de calcium :

$$(1) \quad \frac{541, 40 \times 55}{72} = 413 \text{ gr. } 50 \text{ de chlorure de calcium.}$$

2° De même pour le bicarbonate de magnésie :

$$(2) \quad \frac{175, 40 \times 47}{64} = 128 \text{ gr. } 80 \text{ de chlorure de magnésium.}$$

3° Le sulfate de chaux est transformé en chlorure de calcium : 47 gr. (Voir épuration à la baryte et au chlorure de baryum).

4° Le sulfate de magnésie en chlorure de magnésium : 12 gr. 50 (même observation).

5° Les 12 gr. de chlorure de calcium contenus dans l'eau naturelle restent intacts.

On a donc, par mètre cube :

| | | |
|---------------------------|--------------------|-----------|
| Chlorure de calcium ... | 413,50 + 47 + 12 = | 472 gr.50 |
| Chlorure de magnésium. | 128,80 + 12, 50 = | 141 30 |
| | | <hr/> |
| Total par mètre cube..... | | 613 gr.80 |

Ce résultat confirme ce que nous avons dit précédemment et montre bien que ce système de traitement des eaux n'épure pas mais remplace purement et simplement les sels insolubles par des sels solubles. — Il est, de plus, très difficile de priver l'eau de toute acidité.

§ 6. *Épuration à la chaux et à la soude.*

Puisque nous avons précédemment calculé le réactif servant à l'épuration par cette méthode (voir 4^e partie, chap, I, § 2) nous n'y reviendrons pas et rappellerons qu'il faut pour l'épuration complète :

350 gr. de chaux grasse ordinaire.

et 76 gr. de soude caustique en plaques.

La chaux coûtant, en moyenne, 1 fr. 50 % kilos, cela correspond à :

$$\frac{0,0350 \times 1,50}{100} = 0 \text{ fr. } 00525.$$

La soude coûtant 35 fr. les cent kilos, on a :

$$\frac{0,076 \times 35}{100} = 0 \text{ fr. } 026.$$

Dépense totale :

$$0 \text{ fr. } 005 + 0 \text{ fr. } 026 = 0 \text{ fr. } 031.$$

Soit environ trois centimes par mètre cube.

La composition de l'eau à épurer sera, d'après les réactions que nous avons données précédemment :

| | |
|--|--------|
| Sulfate de soude (du sulfate de chaux)..... | 67 gr. |
| Sulfate de soude (du sulfate de magnésie)..... | 48 |
| Chlorure de sodium (du chlorure de calcium)... | 40 |

Total par mètre cube..... 95 gr.

de sels solubles. Réaction *neutre*.

Inutile de revenir sur les appréciations que nous avons données relativement à ce procédé qui est incontestablement le plus pratique lorsqu'il s'agit de l'épuration industrielle des eaux.

TABLEAU synoptique résumant la dépense d'épuration et la composition de l'eau obtenue par l'application des différentes méthodes d'épuration chimique.

| S Y S T È M E d'épuration chimique. | RÉACTION de l'eau épurée. | P O I D S E T C O M P O S I T I O N D U R É S I D U P A R M È T R E C U B E . | | | | | | P O I D S du résidu par mètre cube. | P R I X de l'épura- tion de un mètre cube d'eau. |
|--|---------------------------------|--|----------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|--------------------------------|---|--|
| | | Sulfate de soude. | Sulfate de magnésie. | Chlorure de sodium. | Chlorure de calcium. | Carbonate de soude. | Chlorure de magné- sium. | | |
| 1. Carbonate de soude, | Alcaline, | gr. 79.50 | gr. » | gr. 12.70 | gr. » | gr. 1016.80 | gr. » | gr. 1109.00 | fr. c. 0.27 |
| 2. Baryte et chlorure de baryum | Neutre | » | » | » | 59.00 | » | 12.50 | 71.50 | 1.02 |
| 3. Oxalates alcalins, | Alcaline, | 74.20 | » | 12.60 | » | 383.40 | » | 469.90 | 0.19 |
| 4. Magnésie, | Neutre | » | 67.00 | » | 12.00 | » | » | 79.00 | 0.98 |
| 5. Acide chlorhydrique, | Souvent acide, .. | » | » | » | 472.50 | » | 141.30 | 613.80 | 0.06 |
| 6. Chaux et soude, | Neutre | 85.00 | » | 10.00 | » | » | » | 95.00 | 0.03 |

TABLE DES MATIÈRES.

| | |
|-------------------|------------|
| INTRODUCTION..... | Pages 7 |
|-------------------|------------|

PREMIÈRE PARTIE.

| | |
|---|----|
| § 1. <i>Nature des eaux</i> | 9 |
| § 2. <i>Composition des eaux</i> | 10 |
| § 3. <i>Inconvénients des impuretés des eaux dans les travaux industriels</i> | 14 |
| Alimentation des chaudières à vapeur..... | 15 |
| Lavage des laines..... | 22 |
| Blanchisserie..... | 23 |
| Fabrication du sucre..... | 24 |
| Distillerie et industries similaires..... | 25 |
| Tannerie, mégisserie..... | 26 |
| Teinturerie..... | 27 |

DEUXIÈME PARTIE.

| | |
|--|----|
| <i>Principaux moyens employés pour remédier aux inconvénients résultant de l'impureté des eaux</i> | 28 |
| CHAPITRE I. — MÉTHODES EMPIRIQUES..... | 29 |
| Désincrustants..... | 29 |
| Emploi du carbonade de soude..... | 31 |
| Emploi de la baryte, du chlorure de baryum, etc..... | 35 |
| CHAPITRE II. — MÉTHODES MÉCANIQUES..... | 37 |
| Décantation..... | 37 |
| Filtres..... | 38 |
| Débourbeurs..... | 40 |
| Réchauffeurs..... | 47 |

| | Pages |
|---|-------|
| CHAPITRE III. — MÉTHODES CHIMIQUES..... | 48 |
| § 1. Épuration au carbonate de soude..... | 48 |
| § 2. » par la baryte et les sels de baryum..... | 50 |
| § 3. » par les oxalates alcalins..... | 52 |
| § 4. » par la magnésie (système Bohlig et Heyne)..... | 54 |
| § 5. » par les acides..... | 57 |
| § 6. » par la chaux, par la chaux et la soude..... | 60 |
| Élimination des matières organiques..... | 63 |

TROISIÈME PARTIE.

| | |
|---|----|
| <i>Dispositions pratiques employées pour la purification et la clarification des eaux</i> | 66 |
|---|----|

| | |
|---|----|
| CHAPITRE I. — ÉPURATION AVEC CLARIFICATION PAR REPOS DANS DES CITERNES OU DANS DES BACHES | 66 |
|---|----|

| | |
|--|----|
| CHAPITRE II. — ÉPURATION AVEC CLARIFICATION PAR DÉPÔT PARTIEL ET FILTRATION..... | 69 |
|--|----|

| | |
|--|----|
| CHAPITRE III. — ÉPURATION AVEC CLARIFICATION PAR FILTRATION TOTALE | 72 |
|--|----|

Des filtres :

| | |
|--|----|
| Fitres à alimentation supérieure..... | 74 |
| Fitres à alimentation inférieure..... | 75 |
| Filtre-presse..... | 80 |
| Filtre à nettoyage automatique. — Filtre Farquhar..... | 87 |
| Système Demailly..... | 91 |
| Système Bérenger et Stingl..... | 93 |
| Système Porter-Clark. | 96 |

| | |
|---|----|
| CHAPITRE IV. — ÉPURATION AVEC CLARIFICATION PAR DÉCANTATION CONTINUE..... | 99 |
|---|----|

| | |
|--|-----|
| Système Nolden | 100 |
| Système J. A. Bérenger et J. Stingl..... | 102 |
| Système Pichler et Sedlaceck..... | 107 |
| Système Gaillet et Huet. | 109 |

QUATRIÈME PARTIE

Systeme Gaillet et Huet.

| | Pages. |
|---|--------|
| <i>Organisation pratique de l'épuration. Calcul du réactif. — Contrôle des résultats.....</i> | 116 |
| CHAPITRE I. — | |
| § 1. Préparation du réactif..... | 117 |
| Préparation intermittente..... | 117 |
| Préparation continue. | 122 |
| § 2. Calcul du réactif..... | 125 |
| CHAPITRE II. — ÉPURATION ET CLARIFICATION DE L'EAU CHIMIQUEMENT ÉPURÉE..... | |
| | 132 |
| CHAPITRE III. — CONTRÔLE DE L'ÉPURATION. — HYDROTIMÉTRIE. | |
| | 136 |

APPENDICE.

| | |
|--|-----|
| <i>Comparaison des différentes méthodes d'épuration chimique, au point de vue du prix de revient et de la pureté de l'eau.....</i> | 141 |
| § 1. Épuration au carbonate de soude | 141 |
| § 2. » par la baryte et les sels de baryum..... | 144 |
| § 3. » par les oxalates alcalins..... | 148 |
| § 4. » par la magnésie..... | 152 |
| § 5. » par les acides..... | 155 |
| § 6. » par la chaux, la chaux et la soude..... | 158 |
| <i>Tableau synoptique résumant la dépense d'épuration et la composition de l'eau obtenue par l'application des différentes méthodes d'épuration chimique</i> | 160 |
