

Section de l'Ingénieur



A. TAVEAU

ÉPURATION DES EAUX

D'ALIMENTATION DE CHAUDIÈRES

ET DÉSINCROUSTANTS

GAUTHIER-VILLARS

MASSON & C^{IE}

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE

DES

AIDE-MÉMOIRE

PUBLIÉE

SOUS LA DIRECTION DE M. LÉAUTÉ, MEMBRE DE L'INSTITUT

A. TAYEAU — Épuration des Eaux et Désinfectants 1

*Ce volume est une publication de l'Encyclopédie
scientifique des Aide-Mémoire; L. ISLER, Secrétaire
général, 20, boulevard de Courcelles, Paris.*

N° 315 B

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE DES AIDE-MÉMOIRE

PUBLIÉE SOUS LA DIRECTION

DE M. LÉAUTÉ, MEMBRE DE L'INSTITUT.

ÉPURATION DES EAUX

D'ALIMENTATION DE CHAUDIÈRES

ET

DÉSINCRUSTANTS

PAR

A. TAVEAU

Ingénieur des Arts et Manufactures

PARIS

GAUTHIER-VILLARS

IMPRIMEUR-ÉDITEUR

Quai des Grands-Augustins, 55

MASSON ET C^{ie}, ÉDITEURS,

LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

Boulevard Saint-Germain, 120

(Tous droits réservés)

PRÉLIMINAIRES

Les eaux naturelles qui servent à l'alimentation des chaudières à vapeur contiennent toutes des sels en dissolution. Par l'effet de la chaleur et de l'évaporation, ces sels se déposent sur la paroi des chaudières, tantôt sous forme de boues, tantôt sous forme d'incrustations qui sont souvent épaisses et dures, et que l'on désigne sous le nom de *tartre*.

Ces dépôts, le tartre en particulier, sont pour les industriels une cause de sérieux embarras, et parfois même de véritables dangers. Ils interceptent, en effet, la transmission de la chaleur, et, par là, non seulement ils diminuent la puissance de vaporisation de la chaudière, mais encore ils donnent souvent naissance à des coups de feu, accidents des plus graves qui peuvent entraîner l'explosion de celle-ci.

Pour se débarrasser de ces ennemis dangereux, les industriels doivent avoir recours à divers moyens. Il est nécessaire, tout d'abord, de

soumettre la chaudière à des nettoyages périodiques. Pour cela, on laisse refroidir celle-ci, on fait écouler l'eau qu'elle contient et l'on procède au lavage, au grattage et au piquage de la paroi intérieure, de façon à la débarrasser des boues et du tartre qui la recouvrent ; ces opérations doivent être renouvelées plus ou moins souvent, suivant la qualité des eaux d'alimentation et l'activité de la vaporisation ; elles sont parfois pénibles et toujours coûteuses, en raison du chômage qu'elles entraînent et de la main-d'œuvre qu'elles nécessitent, et elles ne sont pas sans produire, la plupart du temps, quelque détérioration de la chaudière ; enfin, avec les générateurs de forme compliquée, si usités à l'heure actuelle, elles sont généralement incomplètes, bien des parties de la chaudière étant inaccessibles.

On voit, par ce qui précède, tout l'intérêt qu'il y a, pour les industriels, à espacer, autant que possible, ces opérations de nettoyages périodiques, ou tout au moins à les rendre plus faciles, en évitant la formation des dépôts incrustants.

Il faut, pour y arriver, alimenter les chaudières avec des eaux pures ou épurées, ou bien y provoquer la formation de dépôts boueux à l'exclusion des dépôts incrustants.

L'emploi d'eaux pures ou épurées présente d'ailleurs de très grands avantages, non seulement pour l'alimentation des chaudières, mais aussi pour un très grand nombre d'industries : pour le lavage des laines et la blanchisserie, où il procure une sérieuse économie de savon, pour la teinturerie et l'apprêt des étoffes, où il réduit sensiblement la dépense de mordants ; dans la distillerie, la brasserie, les fabriques d'extraits tanniques, les bois de teinture, etc., où il procure de grandes facilités de travail.

Le but du présent ouvrage est de présenter au lecteur les divers moyens employés soit pour épurer les eaux, particulièrement celles qui servent à l'alimentation des chaudières, soit pour empêcher la formation dans ces chaudières de dépôts incrustants, lorsqu'il est fait usage d'eaux non épurées.

Les différents procédés d'épuration sont :

1° Le *procédé chimique* qui consiste à ajouter à l'eau des substances qui déterminent, par double décomposition, la précipitation des impuretés à éliminer ;

2° Le *procédé physique* consistant à éliminer une partie des matières incrustantes par un chauffage préalable de l'eau ;

3° Le *procédé mixte* dans lequel on a recours

8 ÉPURATION DES EAUX ET DÉSINCrustANTS

aux deux moyens précédents pour débarrasser l'eau de ses impuretés.

Avant d'aborder ces questions en détail, il nous paraît nécessaire d'étudier la composition des eaux d'alimentation, de faire connaître le principe des différents moyens d'épuration, et d'indiquer les procédés à employer pour faire l'analyse sommaire des eaux et pour en contrôler l'épuration.

CHAPITRE PREMIER

COMPOSITION DES EAUX D'ALIMENTATION

L'eau ne se rencontre jamais à l'état de pureté dans la nature : l'eau tombée sous forme de pluie ou de rosée a dissous dans l'atmosphère de l'oxygène, de l'azote et de l'acide carbonique, ainsi qu'une petite quantité d'ammoniaque et d'azotate d'ammoniaque ; l'eau, qui après s'être infiltrée dans le sol, en ressort pour former les sources, contient, outre les gaz dissous, diverses substances empruntées au sol qui lui communiquent des qualités variables avec la nature des terrains qu'elle a traversés.

Les sels incrustants qui se rencontrent le plus généralement dans l'eau sont les carbonates de calcium et de magnésium, qui sont tenus en dissolution grâce à l'acide carbonique dissous par l'eau, le sulfate de calcium et le sulfate de magnésium.

Carbonate de calcium (CaCO_3). — Le carbonate de calcium est un des corps les plus répandus dans la nature : la craie, les calcaires divers, le marbre, ne sont que des carbonates de calcium plus ou moins purs ; ce corps n'est que très légèrement soluble dans l'eau pure, mais il se dissout facilement sous forme de bicarbonate $(\text{CO}_3)^2\text{H}^2\text{Ca}$ dans l'eau chargée d'acide carbonique.

Par l'ébullition, l'acide carbonique est chassé de la solution, le bicarbonate est décomposé et le carbonate de calcium précipité, à l'exception de 0^{sr},03 par litre, ce qui correspond à la quantité de carbonate de calcium soluble dans l'eau pure. Les dépôts auxquels donne lieu le carbonate de calcium sont généralement boueux et peu adhérents, mais cet état est modifié par la présence d'autres sels dans le dépôt.

Carbonate de magnésium (MgCO_3). — Le carbonate de magnésium se trouve généralement dans la nature à l'état de carbonate double de calcium et de magnésium appelé *dolomie*. Il se comporte comme le carbonate de calcium, mais il est un peu plus soluble ; toutefois les incrustations formées par ce sel contiennent généralement des oxydes de magnésium hydratés, car ce

carbonate se décompose assez facilement aux températures élevées, en oxyde de magnésium hydraté et en acide carbonique.

Sulfate de calcium (CaSO_4). — Le sulfate de calcium est assez répandu dans la nature, où il se présente à l'état hydraté, sous la forme de gypse ou de pierre à plâtre. Il forme des incrustations excessivement dures et est, par suite, le plus pernicieux des sels incrustants. Il se dissout assez facilement dans l'eau à la température ordinaire, et présente un maximum de solubilité vers 34° : $2^{\text{gr}},12$ de sulfate de calcium anhydre par litre ; sa solubilité diminue rapidement au-delà de cette température et n'est plus que de $1^{\text{gr}},62$ par litre à 100° . La solubilité augmente également par la présence de chlorure de sodium et d'autres sels.

Sulfate de magnésium (MgSO_4). — Le sulfate de magnésium se trouve dans l'eau de mer, il se forme dans les eaux de sources, par le fait de l'infiltration d'eaux chargées de sulfate de calcium, dans les roches formées de carbonate de magnésium hydraté ou de dolomie hydraté ; il se produit alors une double décomposition

donnant naissance à du sulfate de magnésium et à du carbonate de calcium.

Par suite de sa solubilité, ce sel ne se trouve pas dans les incrustations, mais, à chaud, il réagit sur le carbonate de calcium et donne lieu, par une réaction absolument inverse de la précédente, à la production de carbonate de magnésium et de sulfate de calcium. Aussi ce sel doit-il être considéré comme donnant des incrustations quelle que soit sa proportion dans l'eau.

Les eaux peuvent encore contenir d'autres substances minérales en dissolution, notamment de la silice, des azotates et des chlorures; ces derniers sels sont particulièrement nuisibles, surtout en présence des sels de magnésium, car il se produit alors dans la chaudière un dépôt d'hydrocarbonate de magnésium insoluble, et de l'acide chlorhydrique qui se dégage avec la vapeur, en attaquant le métal de la chaudière et en provoquant des corrosions. Les eaux qui contiennent des quantités notables de ces sels doivent être écartées pour l'alimentation des chaudières, ou du moins soumises à une épuration préalable effectuée avec le plus grand soin.

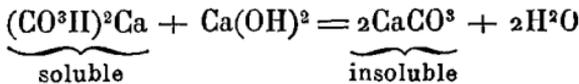
CHAPITRE II

ÉTUDE DES RÉACTIONS SERVANT DE BASE A L'ÉPURATION CHIMIQUE

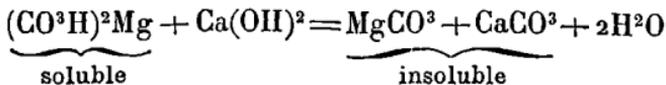
I. ACTION DE LA CHAUX

La chaux employée sous forme de lait de chaux ou d'eau de chaux, sature l'acide carbonique libre dissous dans l'eau, ainsi que l'acide carbonique demi-combiné de bicarbonates, et provoque ainsi la précipitation de ceux-ci sous forme de carbonates.

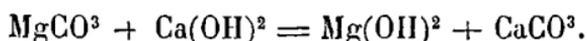
Cette réaction est exprimée par les formules suivantes :



de même, avec le carbonate de magnésium :

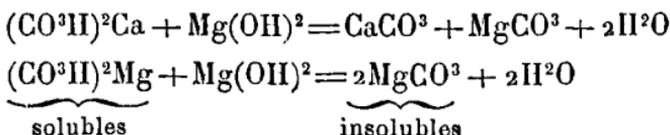


en présence d'un excès de chaux, une réaction ultérieure se produit avec le carbonate de magnésium précipité et donne de la magnésie et du carbonate de calcium

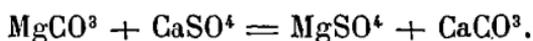


II. ACTION DE LA MAGNÉSIE

La magnésie donne lieu à des réactions analogues. On a :



Le carbonate de magnésie précipité dans les réactions précédentes, peut réagir à son tour sur le sulfate de calcium lorsque l'eau soumise à l'épuration en contient ; la réaction secondaire ainsi provoquée est la suivante :



Si l'eau ne contient que du carbonate et du sulfate de calcium, l'emploi de la magnésie peut

donner lieu à une épuration complète lorsque le rapport du poids de carbonate et de sulfate est compris entre certaines limites que nous indiquerons par la suite.

L'emploi de la magnésie ne paraît pas devoir être recommandé si les eaux contiennent des quantités de chlorures même très faibles, en raison des corrosions qui pourraient en résulter, ainsi que nous l'avons indiqué précédemment.

III. ACTION DE LA SOUDE ET DE LA POTASSE

L'emploi de la soude et de la potasse donne lieu à des réactions analogues aux précédentes.

Ainsi on a :

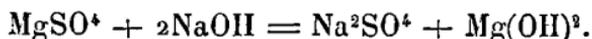


le carbonate de sodium formé peut réagir à son tour sur le sulfate de calcium que l'eau peut contenir, pour donner du carbonate :

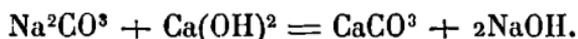


L'action de la soude sur le sulfate de magné-

sium provoque la précipitation de celui-ci sous forme de magnésie

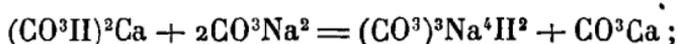


En général, on remplace la soude caustique par le carbonate de sodium, lequel, en présence de la chaux, donne du carbonate de chaux et de la soude caustique



IV. ACTION DES CARBONATES ALCALINS (SODIUM ET POTASSIUM)

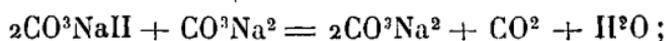
L'action des carbonates alcalins sur les sels incrustants peut être exprimée par les réactions suivantes :



le sesquicarbonat de sodium formé se décompose ensuite :



et finalement :



le carbonate de calcium se trouve ainsi précipité et le carbonate de sodium régénéré. Il suffit donc d'une faible quantité de carbonate de sodium pour précipiter ainsi successivement une quantité importante de carbonate de calcium.

Avec le sulfate de calcium, le carbonate de calcium formé se précipite et il reste du sulfate de sodium en solution :

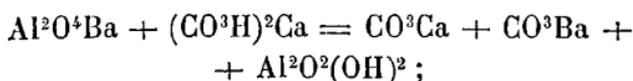


de même, avec les chlorures :



V. ACTION DE L'ALUMINATE DE BARYUM

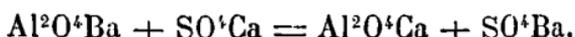
Avec ce sel, on effectue en même temps la précipitation des carbonates et des sulfates ; avec le bicarbonate calcique, la réaction est la suivante :



A. TAVEAU — Épuration des Eaux et Désincrustants 2

les carbonates de calcium et de baryum, ainsi que l'alumine hydratée, formés, se précipitent.

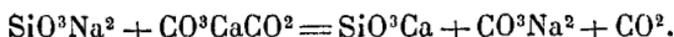
Avec les sulfates, on a un précipité de sulfate de baryum et d'aluminate de calcium :



La caractéristique de ce procédé d'épuration est donc de fournir une eau épurée ne contenant aucun produit de substitution des sels de chaux précipités, c'est-à-dire aucune substance soluble,

VI. ACTION DU SILICATE DE SODIUM

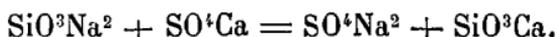
Ce sel peut être employé comme désincrutant; en effet, l'acide silicique se porte sur le métal alcalino-terreux du sulfate ou du carbonate calcique pour donner naissance à un précipité blanc gélatineux de silicate de calcium SiO^3Ca :



On vient de voir qu'avec le bicarbonate de calcium, il se produit du carbonate de sodium

qui peut donner lieu à une action secondaire en réagissant à son tour sur les sels calciques.

Sur une eau qui contiendrait du sulfate de calcium, le silicate de sodium donnerait des silicates alcalins mais avec formation de sulfate de sodium :

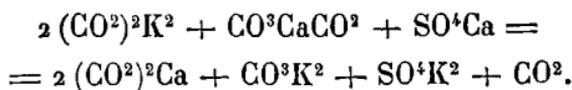


600 grammes d'une lessive de silicate de sodium à 35° B. par cheval-vapeur et renouvelée tous les mois, paraissent une bonne proportion pour désincruster la majeure partie des eaux de composition moyenne.

VII. ACTION DE L'OXALATE DE SODIUM

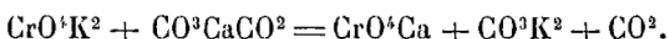
Ce sel serait un bon désincrustant si son prix élevé ne le faisait écarter par l'industrie.

Avec les sels calciques, il se forme un précipité d'oxalate de calcium remarquable par son insolubilité dans l'eau :



VIII. ACTION DES CHROMATES ALCALINS

Ce procédé a été proposé en Allemagne pour l'épuration des eaux, il est basé sur ce que ces sels donnent, avec les sels calciques solubles, du chromate de calcium; avec le bicarbonate calcique, on aurait :



La réaction avec le sulfate de calcium serait :



Le chromate de calcium formé est un corps soluble dans l'eau qui cristallise en prismes avec une molécule d'eau et qui a pour composition $\text{CrO}^4\text{Ca} + \text{H}^2\text{O}$; mais le chromate de potasse employé coûte cher, surtout si on fait attention que, pour précipiter seulement une molécule de calcium pesant 40, il faut une molécule de chromate de potassium dont le poids est de 194,5.

Le résidu de chromate de calcium peut avoir des applications dans la peinture, mais cela ne semble pas compenser le prix élevé des chromates alcalins.

Coefficient d'incrustation. — M. de la Coux appelle ainsi le rapport des poids moléculaires de sulfate de calcium et de carbonate de calcium

$$\text{SO}^4\text{Ca} = 136 \qquad \text{CO}^3\text{Ca} = 100.$$

$$\text{Ce rapport} = \frac{136}{100} = 1,36.$$

La considération de ce rapport a un certain intérêt dans la détermination des quantités de réactifs à employer pour pratiquer l'épuration lorsque l'eau ne contient que des sels de chaux. En effet, si le réactif employé donne avec le carbonate de calcium un produit susceptible d'une réaction secondaire avec les sulfates, cas de la magnésie, et du carbonate de soude, il permet de tenir compte de cette seconde réaction dans la détermination des quantités de réactifs à employer.

Pour cela, on fait le rapport des quantités de sulfate et de carbonate de calcium contenues dans l'eau épurée ; si ce rapport est inférieur ou égal au coefficient d'incrustation 1,36, le réactif employé pour précipiter le carbonate de chaux sera suffisant pour précipiter également le sulfate dans la réaction secondaire qui se produira.

Si, au contraire, ce rapport est supérieur à 1,36, ce réactif sera insuffisant et il faudra ajou-

ter une quantité du même réactif ou d'un réactif différent, que l'on calculera de la façon suivante :

Si P est le poids du carbonate de calcium contenu dans l'eau, et Q , celui du sulfate de calcium, la quantité de sulfate précipité dans la réaction secondaire sera $P \times 1,36$ et la quantité de sulfate restant à précipiter sera $Q - P \times 1,36$,

CHAPITRE III

ANALYSE DES EAUX ET DÉTERMINATION DES ÉLÉMENTS D'ÉPURATION

Lorsqu'on veut épurer une eau ou faire usage de désincrustant dans une chaudière, il importe tout d'abord de savoir quelles sont les impuretés que contient cette eau et dans quelles proportions elles s'y trouvent, afin de pouvoir ensuite déterminer la nature et la quantité des réactifs à employer.

Il ne rentre pas dans le cadre de cet ouvrage de faire connaître en détail toutes les méthodes d'analyse des eaux, ces opérations ne pouvant être effectuées que dans des laboratoires et confiées à des chimistes de profession ; nous indiquerons seulement quelques procédés relativement simples et faciles à appliquer qui permettent d'analyser sommairement une eau, de déterminer les éléments de son épuration et de contrôler les résultats de celle-ci.

Toutes les fois que l'on doit faire usage d'une eau dont la composition est tout à fait inconnue, il est d'ailleurs prudent d'en faire exécuter par un laboratoire compétent une analyse complète, à l'aide de laquelle il est alors facile de déterminer les éléments d'épuration ; les essais que nous allons indiquer ne servent plus alors qu'à suivre les variations de composition de l'eau et à contrôler l'épuration.

Manière de formuler une analyse. — Le moyen le plus simple de formuler une analyse d'eau d'une façon précise et sans aucune ambiguïté, consiste, d'une part, à compter isolément les éléments basiques et les radicaux acides, sans faire aucune hypothèse sur le groupement de ces éléments et, d'autre part, à chiffrer ces divers éléments non pas en grammes, mais en *valences*, c'est à-dire en unités chimiques.

Lorsqu'une analyse d'eau est confiée à un laboratoire, en vue de l'épuration, il y a un sérieux avantage à demander qu'elle soit exprimée de cette façon.

Voici comment les résultats doivent être alors représentés.

Type d'une analyse d'eau. — 1° *Éléments basiques en millivalences par litre.*

$\frac{\text{Ca}}{2}$	. . . . .	a
$\frac{\text{Mg}}{2}$	. . . . .	b
Na, K, etc.	. . . . .	c
Somme des valences basiques =		$a + b + c$

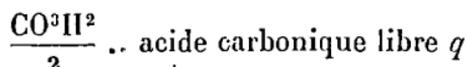
2° *Éléments acides en millivalences par litre.*

CO^3 (acide des bicarbonates)	. . . . .	g
$\frac{\text{SO}^4}{2}$	. . . . .	h
Cl, AzO^3 , etc.	. . . . .	k
Somme des valences acides =		$g + h + k$

On a

$$a + b + c = g + h + k,$$

à quoi on ajoute :



élément essentiellement mobile qui ne peut être dosé exactement que sur place.

Nota. — La somme

$$a + b + c = g + h + k$$

est la somme des valences salines de l'eau ; c'est la notion du *résidu minéral d'évaporation*, exprimé en valences au lieu d'être en grammes. On peut, pour se faire une idée des deux unités, multiplier cette somme de valences salines par 50 (équivalent du carbonate de calcium) et on aura à peu près en milligrammes, le poids du résidu d'un litre d'eau.

La somme $a + b$ représente la *dureté* de l'eau. C'est la même notion que celle du titre hydrotimétrique, mais exprimée en unités rationnelles, tandis que l'unité hydrotimétrique est arbitraire. Le titre hydrotimétrique est à peu près très égal à $5 \times (a + b)$.

Exemple :

Voici, par exemple, une analyse d'eau donnant par litre :

	milligrammes
Ca [Éq = 20].	282,8
Mg [Éq = 12].	82,1
Na [Éq = 23].	296,0
CO ³ [Éq = 30].	85,5
SO ⁴ [Éq = 24].	1 063,2
Cl [Éq = 35,5]	314,2
	<hr style="width: 100%; border: 0.5px solid black;"/>
	2 123,8

En appliquant les principes exposés précédemment, cette analyse prendra la forme suivante :

Éléments basiques	Éléments acides
$\frac{\text{Ca}}{2}$ 14,14	CO^3H . . . 2,85
$\frac{\text{Mg}}{2}$ 6,84	$\frac{\text{SO}^4}{2}$ 22,15
Na 12,87	Cl 8,85
Total . 33,85 =	. . . . 33,85

c'est la somme des valences salines.

Il est facile de passer de l'une à l'autre de ces formules ; il suffit, en effet, de diviser respectivement les poids de la première par les équivalents des éléments correspondants pour avoir les millivalences par litre de la seconde. (Nous avons indiqué ces équivalents entre parenthèse à côté des éléments dans la première formule).

**CALCUL DES ÉLÉMENTS D'ÉPURATION
D'UNE EAU
DONT ON A L'ANALYSE**

L'analyse de l'eau étant effectuée et exprimée comme il vient d'être indiqué, nous supposons que l'épuration doit être effectuée à l'aide de la chaux et du carbonate de sodium.

Les seuls éléments à faire intervenir sont a , b , g et q . On devra ajouter à l'eau en question un mélange contenant :

$$(q + g + b) \frac{\text{CaII}^2\text{O}^2}{2}$$

et

$$(a + b + g) \frac{\text{CO}^3\text{Na}^2}{2}$$

et on aura, après réaction

$$(a + b + g + q) \frac{\text{CO}^3\text{Ca}}{2} + b \frac{\text{MgII}^2\text{O}^2}{2}$$

qui se précipitent et

$$h \frac{\text{SO}^4\text{Na}^2}{2} + k \text{NaCl} + (g + q) \text{H}^2\text{O}$$

qui restent dissous.

La somme des valences de l'eau après réaction et décantation ou filtration, est :

$$h + k = a + b + c - g$$

et elle consiste seulement en sels de sodium, abstraction faite de la légère solubilité du carbonate de sodium et de l'hydrate de magnésium.

On obtient le poids de réactifs à employer en multipliant les chiffres trouvés par les équivalents de ces réactifs, ainsi on devra employer :

$(q + g + b) \times 28$ grammes par mètre cube de chaux vive ;

et $(a + b - g) \times 59$ grammes par mètre cube de carbonate de sodium.

HYDROTIMÉTRIE

Cette méthode d'analyse due à MM. Boutron et Boudet, repose sur la propriété que possède le savon de rendre l'eau mousseuse quand elle est pure, et de ne produire de mousse dans les eaux chargées de sels terreux et particulièrement de sels à base de chaux et de magnésie, qu'autant que ces sels ont été décomposés par une portion équivalente de savon et qu'il reste un petit excès de celui-ci dans la liqueur.

Le volume de teinture alcoolique de savon nécessaire pour produire la mousse dans une certaine quantité d'eau est proportionnel à la quantité de sels terreux qu'elle contient, et peut, dans certaines conditions, donner la mesure de cette quantité.

Réactifs et appareils. — On fait usage pour ces essais d'une dissolution alcoolique titrée de savon, que l'on prépare de la façon suivante :

On prend :

Savon blanc de Marseille.	100 gr.
Alcool à 90° centésimaux.	1 600

On dissout le savon dans l'alcool en chauffant jusqu'à l'ébullition, on filtre et on ajoute à la dissolution filtrée :

Eau distillée pure à 0° hydrotimétrique. $\frac{1\ 000\ \text{gr.}}{4}$	
Total	2 700 gr.

Cette dissolution, que l'on trouve dans le commerce, doit *toujours* être titrée avant emploi au moyen, soit d'une solution de chlorure de calcium (CaCl^2) au $\frac{1}{4\ 000}$, c'est-à-dire à 0^{sr},25 par litre, soit d'une solution d'azotate de baryum contenant 0^{sr},59 par litre (solutions normales).

Appareils. — Les essais hydrotimétriques s'exécutent au moyen de :

1° Un flacon bouché à l'émeri de 80 centimètres cubes de capacité jaugé à 10, 20, 30 et 40 centimètres cubes par des traits circulaires ;

2° Une burette appelée *hydrotimètre*, graduée de telle manière qu'une capacité de $2^{\text{cm}^3},4$ prise à partir du trait circulaire placé au sommet, soit

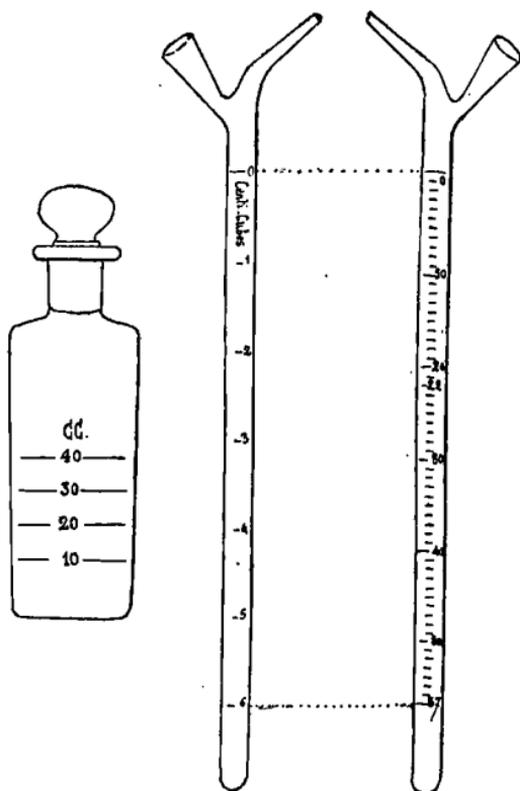


Fig. 1

divisée en 23 parties égales, et que les divisions suivantes soient parfaitement égales aux premières (*fig. 1*).

Chaque division représente un degré ; mais, bien que pour chaque essai la burette doive être rechargée jusqu'au trait circulaire, le zéro n'est marqué qu'au-dessous de la première division : cette division laissée entre le trait circulaire et le zéro correspond à la quantité de savon nécessaire pour maintenir la mousse persistante dans 40 centimètres cubes d'eau pure ; les divisions suivantes représentent ainsi exactement la quantité de savon décomposée par les matières en dissolution dans l'eau.

Le nécessaire hydrotimétrique comprend en outre :

- 3° Un flacon de liqueur hydrotimétrique ;
- 4° Un flacon d'eau distillée ;
- 5° Un flacon d'une dissolution d'oxalate d'ammoniaque au soixantième, c'est-à-dire contenant 166^{sr},66 d'oxalate par litre ;
- 6° Un flacon d'azotate de baryum titré à 20° pour 1 centimètre cube, c'est-à-dire contenant 2^{sr},14 d'azotate pour 100 grammes ;
- 7° Une pipette divisée en dixièmes de centimètre cube ;
- 8° Un ballon jaugé par un trait circulaire marqué à la base du col ;
- 9° Une lampe à alcool avec son support ;
- 10° Un entonnoir de verre ;

11° Un agitateur en verre ;

12° Un thermomètre pour déterminer la température de l'eau.

On peut y ajouter également :

13° Un flacon renfermant une solution normale d'azotate de baryum, contenant 0^{sr},59 par litre.

14° Un flacon renfermant une solution d'azotate d'argent titrée à 20° pour 1^o centimètre cube, c'est-à-dire contenant 2^{sr},78 d'azotate d'argent pour 100 grammes d'eau.

Mode opératoire. — Pour faire un essai hydrotimétrique, on met dans le flacon d'essai 40 centimètres cubes de l'eau ou de la solution à essayer, et on y ajoute progressivement la liqueur hydrotimétrique contenue dans la burette, en examinant de temps en temps si elle produit par l'agitation une mousse légère et persistante. Lorsque l'eau commence à mousser, il faut ajouter la liqueur de savon avec précaution, par demi-degrés, au fur et à mesure que la mousse a plus de persistance. Cette mousse doit former à la surface de l'eau une couche régulière de plus d'un demi-centimètre d'épaisseur et se maintenir dix minutes sans s'affaisser. Le degré qu'on lit sur l'hydrotimètre, quand on a obtenu

cette mousse, est le degré hydrotimétrique de l'eau essayée. On ne doit constater ce degré qu'après avoir attendu le moment où, la liqueur adhérente aux parois internes de la burette s'étant écoulée, il est devenu parfaitement fixe.

Titration de la solution alcoolique de savon. — Cette opération s'effectue en faisant l'essai qui vient d'être décrit, avec 40 centimètres cube, de la *solution normale* de chlorure de calcium, ou de celle d'azotate de baryum précédemment indiquées. Le nombre de degrés nécessaires pour maintenir la mousse persistante doit être de 22. S'il en est ainsi, la solution est parfaite ; s'il est inférieur à 22°, on étend cette liqueur d'eau, en calculant qu'il faut environ $1/23^{\circ}$ de son poids d'eau pour diminuer la force d'un degré. On fait ensuite un nouvel essai de vérification suivi d'une nouvelle correction s'il y a lieu.

Essai hydrotimétrique complet d'une eau. Essais préliminaires. — On commence par prendre 20 à 25 grammes de l'eau à essayer dans un verre à expérience ; on y verse un centimètre cube de la solution alcoolique savonneuse. Si, après quelques instants d'agitation,

au moyen d'une baguette de verre, l'eau prend une teinte laiteuse sans donner de grumeaux, on peut faire l'essai sans avoir recours à l'addition d'eau distillée. Si, au contraire, l'eau soumise à l'expérience donne naissance à des flocons ou grumeaux, on doit en conclure que cette eau est trop chargée de sels de calcium et de magnésium pour qu'on puisse l'essayer telle qu'elle est, et qu'il est nécessaire de la mélanger avec de l'eau distillée de manière à la ramener à un degré hydrotimétrique inférieur à 30°. On y ajoute donc 1, 2 ou un plus grand nombre de fois son volume d'eau distillée, suivant qu'elle est plus ou moins impure. Lorsque le mélange a été fait en proportions convenables, on fait l'essai ; le degré hydrotimétrique obtenu doit être multiplié par 2, 3 ou 4, suivant que l'on a ajouté 1, 2 ou 3 volumes d'eau distillée.

Nota. — L'eau distillée employée doit être soumise à un essai préalable, et titrée à 0°, c'est-à-dire n'exiger qu'une division de solution savonneuse pour donner la mousse persistante. S'il n'en est pas ainsi, il y aura lieu de tenir compte du titre de l'eau distillée dans le calcul du titre de l'eau soumise à l'essai. Soient :

A, le degré trouvé ;

a, le degré de l'eau distillée ;

$\frac{1}{n}$, la proportion du mélange,
on a, pour le degré cherché :

$$x = (n + 1) A - na.$$

Détermination de l'acide carbonique et des sels de calcium et de magnésium contenus dans l'eau. — Pour effectuer cette opération, il faut environ 400 à 500 grammes d'eau, sur lesquels on détermine successivement :

1° Le degré hydrotimétrique de l'eau à l'état naturel, soit a° ;

2° Le degré après avoir précipité la chaux au moyen de l'oxalate d'ammoniaque, soit b° ;

3° Le degré, après avoir éliminé par ébullition, l'acide carbonique et le carbonate de calcium (degré permanent) soit c° ;

4° Le degré, après avoir précipité par l'oxalate d'ammoniaque les sels de calcium qui n'ont point été isolés par l'ébullition, soit d° .

Mode d'opération. — On procède de la façon suivante :

Après avoir constaté le degré hydrométrique de l'eau à l'état naturel, on en mesure, au moyen du flacon d'essai, une nouvelle quantité égale à 50 centimètres cubes, et on y ajoute 2 centi-

mètres cubes de la solution d'oxalate d'ammoniaque au soixantième. On agite fortement le liquide en le battant au moyen d'une baguette de verre, et on l'abandonne pendant une demi-heure ; on filtre alors la liqueur qui ne contient plus de sels de calcium : on en mesure 40 centimètres cubes et on en prend le degré.

D'autre part, on remplit un ballon jusqu'à un trait de repère, de l'eau que l'on veut analyser et on fait bouillir doucement pendant une demi-heure, pour dégager l'acide carbonique et précipiter le carbonate de chaux ; on laisse refroidir complètement ; on rétablit le volume primitif de l'eau bouillie, en y ajoutant de l'eau distillée jusqu'au trait de repère ; puis après avoir fermé le ballon au moyen d'un bouchon, on agite le dépôt qui s'est formé : enfin on filtre et on prend le degré de 40 centimètres cubes de cette eau filtrée.

En dernier lieu, on prend 50 centimètres cubes de cette même eau bouillie et filtrée, et on y ajoute 2 centimètres cubes d'oxalate d'ammoniaque, qui élimine la chaux, que l'ébullition n'a pas précipitée, à l'état de carbonate. On agite avec une baguette de verre, on laisse reposer, on filtre, et on prend le degré de 40 centimètres cubes de la liqueur filtrée.

Calculs. — Soient a , b , c , d , les degrés hydrotimétriques ainsi déterminés ; on fait d'abord subir une correction au degré permanent c pour tenir compte du carbonate de calcium qui, en raison de sa légère solubilité, n'a pas été précipité par l'ébullition ; pour cela, on retranche 3° du chiffre observé. On a ainsi $c' = c - 3$.

Ceci fait, il est facile de déduire, des résultats obtenus, les conclusions suivantes :

1° Le degré total a , représente la somme des actions exercées sur le savon par l'acide carbonique, le carbonate de calcium, les sels de calcium divers et les sels de magnésium divers contenus dans l'eau essayée ;

2° Le degré b représente les sels de magnésium et l'acide carbonique qui restent dans l'eau après l'élimination de la chaux ; par suite : $a - b = c$ représente les *sels de calcium* ;

3° Le degré c' représente les sels de magnésium et les sels de calcium autres que le carbonate ; par suite, $a - c' = f$ représente le *carbonate de calcium* et l'*acide carbonique* ;

4° Le degré d représente enfin les sels de magnésium contenus dans l'eau. On voit ainsi, en fin de compte, que l'eau analysée contient :

1° Acide carbonique	$b - d = g$
2° Carbonate de calcium.	$f - g = h$
3° Sulfate de calcium ou sels de calcium autres que le carbonate . . .	$e - h$
ou	$c' - d$
4° Sels de magnésium	$= i$
Total	$\frac{d}{a}$

résultats que l'on transforme facilement en poids rapportés au litre en multipliant les degrés du tableau précédent par les coefficients indiqués ci-après :

Chlorure de calcium	08 ^r ,0114
Carbonate de calcium	0, 0103
Sulfate de calcium	0, 0140
Chlorure de magnésium.	0, 0090
Carbonate de magnésium	0, 0088
Sulfate de magnésium	0, 0125
Chlorure de sodium	0, 0120
Acide sulfurique	0, 0082
Chlore	0, 0073
Acide carbonique	0 ^{lit} ,005

Dans la plupart des cas de la pratique, on peut admettre, sans grande erreur, que les seuls sels de calcium sont le carbonate et le sulfate, et les seuls sels de magnésium, le sulfate ; dans ces conditions, l'eau examinée contiendrait :

Acide carbonique	$g \times 0lit,005$
Carbonate de calcium.	$h \times 08r,0103$
Sulfate de calcium.	$i \times 0, 0140$
Sulfate de magnésium	$d \times 0, 0125$

Détermination des sulfates et des chlorures. — Il est d'ailleurs facile de vérifier ce qui précède, en déterminant les proportions de sulfates et de chlorures contenus dans l'eau ; on opère de la façon suivante : après avoir déterminé le *degré hydrotimétrique total* et le *degré hydrotimétrique permanent*, on prend 40 centimètres cubes de l'eau bouillie et filtrée, dont le titre est c et on y ajoute l'équivalent de c° d'azotate de baryum à l'aide de la solution précédemment indiquée, dont 1 centimètre cube représente 20° , il faut, pour cela :

$$\frac{c}{20} \text{ de centimètre cube ;}$$

on obtient ainsi une liqueur représentant $2 \times c$ degrés hydrotimétriques dont moitié d'azotate de baryum ; mais la réaction de l'acide des sulfates contenus dans l'eau, sur le baryum, donne naissance à un dépôt de sulfate de baryum, qui fait baisser ce titre proportionnellement à la quantité de ce sel qui s'est formé ; après avoir laissé déposer et filtré la liqueur, on prend à nouveau son degré, soit k ; il y a eu perte de $2 \times c - k = l$ qui représentera l° d'acide sulfurique ou de sulfate.

Pour déterminer les chlorures, on suit exactement la même marche, en faisant usage de la

solution neutre et titrée à 20° d'azotate d'argent, indiquée précédemment ; soit m , le degré trouvé.

En rapprochant les degrés l et m ainsi trouvés des degrés i et d précédemment obtenus, on peut déterminer la proportion des sulfates de calcium et de magnésium contenus dans l'eau.

Essai pratique approché. — Dans la pratique, on peut obtenir des résultats suffisamment approchés, en se procurant seulement une burette hydrotimétrique, la solution alcoolique de savon du commerce, et en remplaçant les jaugeages par des pesées effectuées à l'aide d'une petite balance de bureau.

On détermine comme il a été indiqué précédemment :

- 1° Le degré hydrotimétrique total ;
- 2° Le degré hydrotimétrique permanent ; c'est-à-dire après ébullition.

Ce dernier est diminué de 3° par correction.

En le multipliant par 0^{sr},013, on obtient le poids approximatif des sulfates et chlorures contenus dans 1 litre d'eau.

Quant à la différence entre le degré total et le degré permanent corrigé, elle représente en centigrammes le poids approximatif des carbonates par litre d'eau.

MÉTHODE DE MM. LÉO VIGNON ET MEUNIER

La méthode suivante, due à MM. Léo Vignon et Meunier, peut également être employée pour déterminer rapidement et avec exactitude les éléments de l'épuration :

- 1° Par dosage de l'acide carbonique ;
- 2° Par mesure directe de la quantité de carbonate de sodium à employer (l'emploi de cette méthode suppose l'épuration effectuée à l'aide de la chaux et du carbonate de sodium).

I. DOSAGE DE L'ACIDE CARBONIQUE LIBRE
OU A DEMI-COMBINÉ

Principe. — L'acide carbonique libre ou à demi-combiné possède la propriété de décolorer la liqueur rouge formée par le mélange d'eau de chaux et de solution alcoolique de phénolpltaléine ; cette action est très rapide dans une solution renfermant 50 % d'alcool éthylique, le carbonate de calcium se précipitant immédiatement dans ce milieu.

Réactifs. — a) Solution d'eau de chaux saturée, renfermant à la température de 15°, 18°, 8 de

Ca(OH)^2 par litre, cette solution peut être titrée par l'acide sulfurique à $\frac{1}{5}$ normal.

b) Solution alcoolique neutre, de 5 grammes de phénolphtaléine dans 100 centimètres cubes d'alcool à 93°. Après une heure de digestion, la liqueur est filtrée.

c) Alcool éthylique 90-93° neutre, ayant bouilli immédiatement avant l'emploi.

Mode opératoire. — 1° Dans une éprouvette de verre cylindrique, graduée, de 100 centimètres cubes, bouchée à l'émeri, introduire 50 centimètres cubes d'eau distillée récemment bouillie, compléter le volume à 100 centimètres cubes avec de l'alcool à 93° récemment bouilli (ballon en verre); refroidir l'éprouvette extérieurement par un courant d'eau, ajouter 10 gouttes de la solution alcoolique de phénolphtaléine. Verser ensuite dans l'éprouvette, au moyen d'une burette graduée au dixième de centimètre cube, de l'eau de chaux saturée jusqu'à coloration rouge; il faut 1 centimètre cube. On a ainsi un type coloré.

2° Dans une deuxième éprouvette semblable à la précédente (même diamètre), introduire 50 centimètres cubes de l'eau à analyser, compléter le volume à 100 centimètres cubes avec de l'alcool 90-93° préalablement bouilli et re-

froidi, ajouter 10 gouttes de la solution de phénolphtaléine; puis verser dans l'éprouvette à l'aide de la burette, et en agitant de temps en temps, de la solution d'eau de chaux jusqu'à coloration rouge persistante, identique à celle du type.

Soit n , le nombre de centimètres cubes d'eau de chaux employée (déduction faite de 1 centimètre cube du type). Le volume d'acide carbonique libre ou demi-combiné, contenu dans 1 litre d'eau, sera en centimètres cubes (ou en litres par mètre cube d'eau) :

$$\text{Vol. CO}^2 = \frac{n \times 1,8 \times 22 \times 1\,000}{50 \times 37 \times 1,9774} = n \times 10,8.$$

II. DOSAGE DU CARBONATE DE SODIUM NÉCESSAIRE A LA TRANSFORMATION DES CHLORATES ET SULFATES

Principe. — *a)* Les chlorates et sulfates de calcium et de magnésium dissous dans l'eau sont intégralement et rapidement transformés en carbonates par l'action d'une solution de carbonate de sodium, si l'on a préalablement additionné l'eau de son volume d'alcool ;

b) La phénolphtaléine n'est pas colorée par les

sulfates et chlorures de calcium et de magnésium dans les conditions précédentes, mais le carbonate de sodium la colore.

Réactifs. — *a)* Une solution de carbonate de sodium à 1 gramme par litre ; cette solution étant préparée avec de l'eau distillée bouillie ;

b) Une solution de phénolphtaléine comme précédemment ;

c) De l'alcool à 93°, neutre et récemment bouilli.

Mode opératoire. — 1° On prépare un type coloré, en introduisant dans une éprouvette de verre cylindrique de 100 centimètres cubes, graduée, bouchée à l'émeri, 50 centimètres cubes d'eau distillée, complétant le volume à 100 centimètres cubes avec de l'alcool à 93° bouilli, refroidissant, additionnant de 10 gouttes de solution alcoolique de phénolphtaléine et de 3 centimètres cubes de la solution de carbonate de sodium. On obtient ainsi un type suffisamment coloré ;

2° Dans une capsule, on fait bouillir pendant cinq minutes, 50 centimètres cubes de l'eau à analyser ; on verse ensuite l'eau bouillie dans une éprouvette semblable à celle du type ; on

rinse la capsule avec de l'eau distillée que l'on fait bouillir et on complète le volume à 50 centimètres cubes avec cette eau ; on ajoute 50 centimètres cubes d'alcool récemment bouilli ; on refroidit l'éprouvette, puis on ajoute 10 gouttes de la solution de phénolphtaléine ; on verse alors la solution titrée de carbonate de soude à l'aide de la burette graduée, en agitant de manière à amener la coloration à être identique à celle du type.

Soit n , le nombre de centimètres cubes de la liqueur de carbonate de soude employée (déduction faite de 3 centimètres cubes du type), la quantité de carbonate de soude nécessaire pour la transformation intégrale des chlorures et sulfates sera, en grammes, pour 1 litre d'eau :

$$\varphi = \frac{n}{50} = 0,02 \times n.$$

Calculs. — Il faut distinguer deux cas :

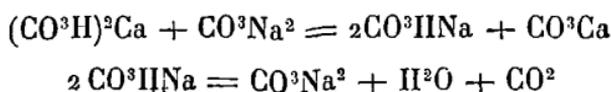
1° *Epuration par la chaux et le carbonate de soude dans un réservoir séparé.* — On emploiera 2^{gr},51 de CaO (préalablement éteinte et mise en lait tamisé) pour 1 litre de CO² et la quantité de carbonate de sodium indiquée directement par l'analyse.

Les quantités de réactifs ainsi fixées sont théoriques ; ce sont celles qui correspondent aux

réactions intégrales de l'épuration. Mais, dans la pratique, ces réactions ne s'accomplissent pas complètement ; il y a lieu de modifier les quantités par tâtonnements, suivant les conditions dans lesquelles se pratique l'épuration (température, durée de contact des réactifs et de l'eau, etc.). Ces conditions étant variables, elles doivent être prises en considération dans chaque cas particulier. Finalement, 50 centimètres cubes de l'eau épurée au moment de son emploi ne devront pas se colorer ou du moins se colorer très faiblement, à l'ébullition, par l'addition de 10 gouttes de la solution de phénolphtaléine.

2° *Emploi de l'eau dans les chaudières à vapeur (Désincrustation)*. — La réaction est ici intégrale, tant à cause de la température à laquelle se trouve portée l'eau que par suite de la concentration qu'elle subit.

Il faudra employer 4^{gr},76 de Na²CO³ pour 1 litre de CO². Cette quantité se régénérant constamment devra être employée une fois pour toutes, sans être renouvelée et pour le volume moyen de l'eau de la chaudière



Pour les chlorures et les sulfates, on prendra la quantité de carbonate de sodium indiquée directement par l'analyse ; comme ce carbonate de sodium est détruit, il y a lieu de l'employer proportionnellement au volume d'eau total introduit dans la chaudière.

MÉTHODE DE M. DERENNES

Lorsque l'analyse complète de l'eau est confiée à un laboratoire, il s'écoule parfois un délai assez long entre la prise d'échantillon et le moment de l'opération ; pendant ce temps, la composition de l'eau a pu se modifier ; il est donc nécessaire de contrôler l'analyse primitive et d'évaluer, au moment même de l'opération, la quantité de réactifs à employer.

La méthode suivante, due à M. Derennes, Chef du service du Laboratoire du matériel des voies du Chemin de fer du Nord, permet d'arriver à ce résultat.

L'épuration est supposée effectuée au moyen de la chaux et du carbonate de soude.

Cette méthode est l'application rationnelle de procédés alcalimétriques connus, permettant de

mesurer, au moyen d'indicateurs colorés appropriés, les quantités d'alcalis ou d'alcalis terreux que contient une eau, soit à l'état de caustique, soit à l'état de carbonate neutre, soit à l'état de bicarbonate.

On emploie, comme réactif, l'acide sulfurique titré très étendu, et comme indicateurs colorés, le méthylorange (orangé de diméthylaniline, orangé Poirier n° 3) et la phénolphtaléine.

Principes. I. — Quand on ajoute à une eau contenant, soit des *alcalis caustiques*, soit des *carbonates*, soit des *bicarbonates*, quelques gouttes de méthylorange, on obtient une teinte *jaune* qui vire au *rose* quand on y ajoute une quantité d'acide sulfurique un peu supérieure à celle qui est nécessaire pour saturer l'alcali. (Le contraste des deux couleurs n'est pas très grand, mais le passage de l'une à l'autre se fait avec une certaine netteté et se reconnaît aisément sur un fond blanc.)

II. — Une eau contenant un *alcali libre* ou un *carbonate neutre*, prend une belle teinte rouge carmin quand on y projette une goutte d'une solution alcoolique de phénolphtaléine, tandis qu'une dissolution de bicarbonate n'est pas colorée.

On voit par là que, si on décolore, par un acide, une dissolution d'*alcali* préalablement colorée au moyen de la phénolphtaléine, la quantité d'acide employé donne la teneur du liquide en alcali ; tandis que si on décolore de la même façon une dissolution de *carbonate neutre*, la quantité d'acide employé ne correspond qu'à la moitié de ce qu'il y a d'alcali ; en effet, lorsque la moitié de l'alcali est saturée par l'acide ajouté, l'autre moitié est transformée par l'acide carbonique mis en liberté, en bicarbonate qui n'agit pas sur la phénolphtaléine.

Calculs. — L'emploi des deux indicateurs précédents permet de doser aisément des mélanges d'alcalis caustiques, carbonatés ou bicarbonatés. En effet, soient m , la quantité d'acide nécessaire pour virer au rose l'eau alcaline teintée par le méthylorange, et p , la quantité d'acide nécessaire pour décolorer une solution alcaline, rougie par la phénolphtaléine.

Si $p = 0$ (la phénolphtaléine ne colore pas la solution), il n'y a pas d'alcali caustique ou carbonaté, il n'y a que du bicarbonate en quantité m .

Si $p = m$, il n'y a que de l'alcali caustique en $p = m$.

Si $p = \frac{m}{2}$, il n'y a que du carbonate en quantité $m = 2p$.

Si $p > \frac{1}{2}m$, il y a $(2p - m)$ d'alcali caustique et, par conséquent, $m - (2p - m) = 2(m - p)$ de carbonate.

Si $p < \frac{1}{2}m$, il y a $(m - 2p) = 2p$ de carbonate.

Ces résultats sont susceptibles de la représentation graphique ci-contre qui montre clairement comme se répartissent alcalis, carbonates et bicarbonates, suivant la valeur de m et de p . On porte p en ordonnées et m en abscisses (*fig. 2*).

On remarque :
 1° que, par principe, p est toujours inférieur à m ; il n'y a pas de points dans la zone A ; 2° la zone située au-dessous de la droite $p = m$ est partagée en deux autres B et

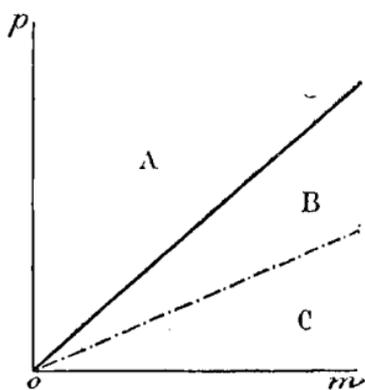


Fig. 2

C par la droite $p = \frac{m}{2}$; dans la zone supérieure B, il n'y a pas de bicarbonate, mais seulement des alcali et carbonate dans la proportion indiquées et dans la zone inférieure C, pas d'alcali, mais seulement des carbonate et bicarbonate dans la proportion indiquée ci-dessus.

Réactifs. — Les réactifs dont on fait usage sont les suivants :

1° *Eau de chaux.* — On l'obtient en éteignant par aspersion de la bonne chaux grasse; en mettant dans un flacon de 3 litres, 100 grammes environ de chaux éteinte et en remplissant à peu près le flacon avec l'eau même qu'il s'agit d'épurer. On agite à plusieurs reprises. Après repos et éclaircissement complet, on a une eau de chaux de composition à peu près constante dont 100 centimètres cubes sont saturés à très peu près par 46 centimètres cubes de l'acide décime ci-après indiqué.

2° *Acide sulfurique décinormal ou décime,* c'est-à-dire contenant par litre 4^{gr},5 d'acide monohydraté ;

3° *Liqueur normale de carbonate de soude,* c'est-à-dire contenant par litre 53 grammes de sel sec et pur ;

4° *Dissolution de méthylorange*, à raison de 1 gramme pour 1 litre d'eau distillée ;

5° *Dissolution alcoolique de phénolphtaléine*, à raison de 3 grammes pour 100 grammes d'alcool à 90°; ces deux solutions renfermées dans de petits flacons à col droit, de 100 centimètres cubes, munis de compte-gouttes, comme l'indique la *fig. 3*.



Fig. 3

Matériel d'essai. — Pour réaliser les essais, il est commode de faire usage des vases et ustensiles suivants :

1° Un flacon de 3 litres environ avec tubulure inférieure un peu au-dessus du fond, muni d'un robinet ou d'un tube en caoutchouc avec pince, pour décanter le liquide clair après réaction, comme l'indique la *fig. 4*. (Ce flacon est destiné à la préparation et à l'approvisionnement de l'eau de chaux).

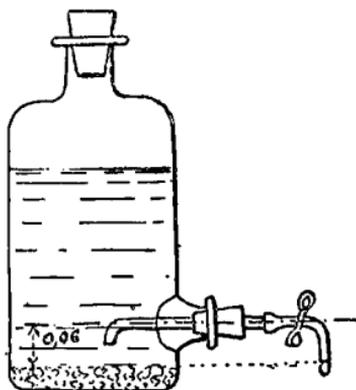


Fig. 4

2° Un flacon semblable de 1 500 centimètres cubes environ pour la détermination de la quantité de chaux à employer ;

3° Un flacon semblable de 750 centimètres cubes environ pour la détermination du carbonate de soude ;

4° Quatre ballons jaugés ayant respectivement 1 litre, 500 centimètres cubes, 200 centimètres cubes et 50 centimètres cubes ;

5° Trois pipettes jaugées, ayant respectivement 10, 5 et 1 centimètres cubes ;

6° Une burette anglaise graduée en dixièmes de centimètres cubes ;

7° Une capsule de porcelaine à fond plat de 84 millimètres de diamètre et de 60 centimètres cubes environ de capacité ;

8° Un agitateur en verre ;

9° Enfin, quelques flacons, entonnoirs et du papier-filtre ordinaire.

Détermination des éléments d'épuration.

— La détermination des quantités de chaux et de soude nécessaires à l'épuration s'effectue de la façon suivante :

On traite un certain volume de l'eau à épurer par une quantité de chaux A, en excès sur celle qui est présumée nécessaire à l'épuration.

Après réaction (en vase clos à cause de l'acide carbonique de l'air), on mesure par un essai alcalimétrique la quantité de chaux en excès t . ($A - t$) est la quantité de chaux nécessaire pour le volume d'eau sur lequel on a fait l'essai.

L'essai au méthylorange et celui à la phénolphthaléine doivent donner les mêmes résultats.

Pour déterminer la quantité de carbonate de sodium, on traite une certaine quantité de l'eau à épurer par un excès A de chaux, puis par une quantité B de carbonate de sodium, assez grande pour qu'il y en ait un excès. Après réaction et précipitation, on titre au méthylorange; soit t' , la quantité d'acide employé ($B - t'$), est la quantité de soude nécessaire pour le volume d'eau soumis à l'essai.

Ici le titre en méthylorange doit être sensiblement plus élevé que le titre à la phénolphthaléine.

Mode opératoire. — Voici comment on peut conduire pratiquement les essais dont le principe vient d'être exposé.

Prendre d'abord le titre de l'eau de chaux, sur 5 centimètres cubes. On opère dans une capsule de porcelaine avec l'acide sulfurique décime et le méthylorange. On trouvera, en géné-

ral, 2,2 à 2^{cc},3. Mettre ensuite dans un flacon de 1^l,5, 1 litre de l'eau à essayer, ajouter 400 centimètres cubes d'eau de chaux, agiter et laisser déposer le précipité, en abandonnant le flacon bouché pendant trois heures au moins. Mesurer 50 centimètres cubes de liquide clair et le verser dans une capsule. Mettre 1 goutte de phénolphtaléine qui rougit ce liquide, puis verser goutte à goutte l'acide décime en agitant jusqu'à ce que le liquide soit décoloré ; faire la lecture. .

Vérification. — Ajouter 2 gouttes de méthylorange, le liquide est jauni, il doit virer au rouge après une nouvelle addition de 2 à 3 gouttes d'acide décime, faire une nouvelle lecture.

Les nombres trouvés doivent être d'au moins 1 centimètre cube pour qu'il y ait un excès de chaux ; s'il n'en est pas ainsi, ou s'il y a une différence sensible entre les deux nombres obtenus, il y a manque de chaux.

L'essai ayant été fait sur 50 centimètres cubes, il faut, pour avoir l'excès de chaux sur 1 litre, multiplier le résultat obtenu par

$$\frac{1\ 000 + 400}{50} = 28.$$

Si les 400 centimètres cubes étaient insuffi-

sants, on recommencerait de la même façon en ajoutant 600 centimètres cubes ; le résultat devrait être alors multiplié par $\frac{1\ 000 + 600}{50} = 32$.

Pour déterminer le *carbonate de sodium* à employer, mettre dans un flacon 500 grammes de l'eau déjà teintée par la chaux et ajouter 20 centimètres cubes de carbonate. Agiter et laisser ensuite reposer pendant deux ou trois heures. Pour aller plus vite, on peut chauffer et filtrer.

Titrer ensuite 50 centimètres cubes du liquide clair (avec le méthylorange) et multiplier le nombre trouvé par $\frac{520}{50} = 10,4$.

On a ainsi l'alcalinité sur un demi-litre ; en retranchant les 20 centimètres cubes employés, on a le carbonate de sodium nécessaire à l'épuration d'un demi-litre ; il faut doubler pour avoir ce chiffre sur 1 litre.

Le titre au méthylorange doit dépasser très notablement le titre à la phénolphtaléine ; sinon, il y a manque de carbonate de sodium. Dans ce cas, on recommencera en ajoutant quelques centimètres cubes de carbonate titré en plus.

Remarque. — Si, pour l'épuration, on fait usage de lait de chaux, la proportion théorique

de chaux, déterminée de la façon qui vient d'être décrite, n'est qu'une première indication; en effet, dans ce cas, la chaux est prise à l'état de chaux vive et, par suite de la présence dans celle-ci, des incuits, des impuretés et aussi en raison de l'hydratation et de la carbonatation de l'air, il faut compter en pratique 20 à 50 % en plus de la quantité théorique.

On fait une première opération d'épuration en grand avec la quantité théorique augmentée de 30 %, par exemple, on contrôle ensuite le résultat obtenu de la façon indiquée ci-après, et, suivant le cas, on augmente ou on diminue ce dosage.

Si on fait usage d'eau de chaux, celle-ci est, en général, moins chargée d'hydrate de calcium que celle faite au laboratoire. On en prend le titre sur 5 centimètres cubes dans une capsule, à l'acide décime et au méthylorange; la quantité d'eau de chaux à employer est obtenue en multipliant la quantité trouvée à l'essai par le rapport du titre de l'eau de chaux servant aux essais à celui de l'eau de chaux destinée à l'épuration.

Pour le carbonate de soude, le sel Solvay étant un produit pur et bien constant, on emploiera le chiffre donné par l'essai.

Contrôle de l'épuration. — La proportion de réactifs à employer ayant été déterminée, il reste à contrôler le résultat de l'épuration de façon à pouvoir rectifier le dosage si le résultat n'est pas satisfaisant. Deux cas se présentent, suivant que l'épuration est faite à l'aide de la chaux seule ou qu'elle nécessite l'emploi simultané de la chaux et du carbonate de soude.

1° *Épuration à l'aide de la chaux seule.* — On prend le titre alcalimétrique de l'eau au méthylorange de la façon indiquée précédemment, en opérant sur 50 centimètres cubes.

Si l'opération est bien faite, le titre rapporté au litre ne doit pas dépasser 0^{cc},6. Si le titre est plus élevé, l'épuration est mal faite, soit qu'il y ait trop ou pas assez de chaux ; on le vérifie en faisant tomber 1 goutte d'eau épurée sur une bande de papier (jaune) de *curcuma* ; s'il y a excès de chaux, la goutte produit sur le papier une tache rouge ou tout au moins s'entoure d'une auréole rougeâtre. La quantité de chaux, excédante ou manquante, est proportionnelle à la quantité d'acide titré qu'il faut ajouter pour arriver à la teinte rose, dans l'essai alcalimétrique précédent.

2° *Épuration à l'aide de la chaux et du carbonate de sodium.* — Si l'épuration exige l'em-

ploi de la chaux et du carbonate de sodium, l'essai de contrôle devient plus compliqué. Voici comment on peut procéder :

On ajoute à l'eau épurée un excès de chaux A, puis un excès B de carbonate de sodium suffisant pour précipiter et au delà toute la chaux qui resterait. Après réaction, repos et décantation, on prend le titre alcalimétrique p à la phénolphtaléine et m au méthylorange. Si l'épuration a été faite avec des dosages exacts, l'eau contiendra, A d'hydrate et $B - A$ de carbonate, et on devra trouver :

$$2p - m = A \quad \text{et} \quad m = B$$

Mais si on a :

$A > 2p - m$, il manque $(A - 2p + m)$ de chaux,

$A < 2p - m$, il y a excès de $(2p - m - A)$ de chaux,

$B > m$, il manque $(B - m)$ de carbonate de soude,

$B < m$, il y a excès de $(m - B)$ de carbonate de soude.

En raison de la lenteur des réactions que nécessite cet essai, il faut, pour avoir les résultats en temps utile, faire la prise d'échantillon d'eau

épurée aussitôt après l'addition du réactif, y ajouter l'excès de chaux A et de carbonate de sodium B, laisser reposer jusqu'au lendemain et faire alors en même temps l'essai alcalimétrique de l'eau épurée et celui de la prise d'échantillon.

Des résultats obtenus, on déduit les modifications à apporter au dosage des réactifs pour l'opération suivante.

Mode d'opération. — On procède, pour exécuter ces essais, de la même façon que pour déterminer les quantités de réactifs à employer pour l'épuration.

Nota. — Pour éviter les erreurs, il faut avoir bien soin, dans les calculs, de rapporter toujours au litre les titres alcalimétriques trouvés.

CHAPITRE IV

—

RÉACTIFS EMPLOYÉS POUR L'ÉPURATION

Chaux. — La chaux est employée sous deux formes : lait de chaux et eau de chaux.

La chaux servant à la préparation de ces deux réactifs doit être de la chaux grasse de bonne qualité ; il y a avantage à l'éteindre le plus tôt possible en l'arrosant avec de l'eau, sinon il faut l'enfermer dans un coffre bien clos afin de l'empêcher de se carbonater en absorbant l'acide carbonique de l'air. Le prix de la chaux vive est de 14 à 16 francs environ les 1 000 kilogrammes au lieu de production.

Lorsqu'elle est employée sous forme de lait, il faut maintenir le réactif homogène en l'agitant pendant tout le temps qu'il se mélange à l'eau à épurer. La quantité effective de chaux à employer doit, dans ce cas, dépasser de 20 à 50 % la quantité théorique, à cause des va-

riations de qualité de la chaux grasse qui contient des matières étrangères et des parties non cuites, et aussi parce qu'une certaine quantité de chaux non utilisée reste incorporée à l'état caustique dans le dépôt de carbonate de calcium.

On voit, d'après cela, que la teneur d'un lait de chaux est assez incertaine, son emploi exige, par suite, un contrôle sérieux de l'épuration.

L'emploi d'eau de chaux permet, au contraire, un dosage plus exact; en effet, en présence d'un excès de chaux, l'eau dissout 1^{er},3' de chaux vive (CaO) par litre. Pratiquement, il faut compter, pour la préparation de l'eau de chaux, 2 grammes de chaux brute par litre.

Cette faible solubilité de la chaux dans l'eau est un des inconvénients de l'emploi de ce réactif, principalement dans les installations d'épuration à fonctionnement intermittent un peu importantes, car il faut alors préparer des quantités considérables d'eau de chaux, ce qui peut entraîner quelques difficultés.

On compte, en effet, 51,5 d'eau de chaux par par mètre cube d'eau à épurer et par degré hydrotimétrique, en carbonatés; si le degré atteint 10 ou 20°, ce qui est encore assez fréquent, on voit que la quantité d'eau de chaux à préparer

atteint le 20° et même le 10° du volume de l'eau à épurer, ce qui est considérable.

Dans les appareils d'épuration à fonctionnement continu, cet inconvénient est beaucoup moindre, la préparation de l'eau de chaux pouvant se faire d'une façon continue; aussi, dans ces appareils, est-il fait généralement usage de l'eau de chaux comme réactif.

Carbonate de Soude. — On emploie, en général, le carbonate de soude sec ou sel Solvay, qui est, pour ainsi dire, du carbonate de sodium pur à 1 ou 2 % près, consistant surtout en humidité. Son prix est de 12 à 14 francs environ les 100 kilogrammes.

Il faut environ 10,6 grammes de sel Solvay par mètre cube et par degré hydrotimétrique en sulfate.

On peut également faire usage de cristaux de carbonate de soude hydraté; il faut en employer environ le double, soit 21 grammes par mètre cube et par degré en sulfate.

Soude caustique. — La soude caustique ou hydrate de soude, que l'on emploie, est généralement impure et contient un peu de chaux et de carbonate de soude. Ce produit a l'incon-

vénient d'être déliquescent, c'est-à-dire d'absorber l'humidité de l'air, et aussi son acide carbonique; de plus, sa manipulation exige quelques précautions, car il attaque la peau et les substances organiques.

Aussi préfère-t-on généralement le préparer au moment de l'emploi en lui substituant la chaux et le carbonate de soude en proportion d'équivalent. La réaction obtenue a été précédemment indiquée.

Aluminate de Baryte. — Ce produit peut être obtenu par différents procédés, notamment en calcinant dans un four un mélange en proportions convenables de beauxite (alumine hydratée naturelle), de withérite (carbonate de baryte naturel) et de houille. Le produit obtenu, désigné sous le nom de *frittes*, contient une quantité importante d'impuretés. On l'épuise par l'eau et on obtient ainsi une solution d'aluminate de baryte prête à servir de réactif pour l'épuration.

Le prix des frittes est de 58 à 60 francs les 100 kilogrammes, et la solution d'aluminate de baryte préparée, comme il est indiqué ci-après, revient à 5 ou 6 centimes le litre.

L'épuisement des frittes par l'eau peut s'ef-

fectuer industriellement dans un malaxeur, sorte de bac en tôle dans le fond duquel se trouvent des palettes en hélices actionnées mécaniquement ; l'eau est chauffée à 80 ou 100° par un jet de vapeur et l'agitation maintenue pendant une heure ou deux ; on laisse décanter la liqueur et on soutire ; les frites épuisées, restant comme résidus, sont ensuite évacuées par un bouchon de vidange.

Il faut 1 partie de frites et 11 parties d'eau, pour obtenir 11 parties de solution d'aluminate titrant 50° Baumé.

Cette solution s'altère facilement à l'air, il convient de la renfermer dans des récipients hermétiquement clos, et de ne pas la conserver trop longtemps en approvisionnement.

Ce produit a l'inconvénient d'être toxique, l'eau épurée par ce procédé doit donc être exclue de l'alimentation. On peut objecter que la réaction étant complète, il ne doit pas rester d'aluminate de baryte dans l'eau épurée. Mais il faut prévoir une épuration mal effectuée, un excès de réactif et le mieux est de s'abstenir.

CHAPITRE V

APPAREILS D'ÉPURATION CHIMIQUE A FONCTIONNEMENT INTERMITTENT

Les appareils d'épuration chimique peuvent se diviser en trois catégories :

- 1° Les appareils à fonctionnement intermittent,
- 2° Les appareils à fonctionnement continu non automatique,
- 3° Les appareils à fonctionnement continu automatique.

Dans leur ensemble, ces appareils comportent des dispositifs permettant de réaliser : la préparation des réactifs, le mélange de ceux-ci et de l'eau à épurer, la décantation du mélange et généralement la filtration de l'eau épurée avant qu'elle ne soit livrée à la consommation.

Il convient de remarquer que, dans l'épuration, les réactions fondamentales que nous avons

70 APPAREILS D'ÉPURATION CHIMIQUE INTERMITTENTS

étudiées au début de cet ouvrage se produisent au sein de solutions très peu concentrées, et que, par suite, ces réactions sont très lentes et souvent même incomplètes, il importe donc, pour laisser à ces réactions le temps de se produire, ce qui exige 6 à 12 heures environ, de donner aux appareils des dimensions convenablement proportionnées à leur débit; il faut favoriser, en outre, par les dispositions adoptées, la précipitation des dépôts que ces réactions provoquent.

Appareils d'épuration à fonctionnement intermittent. — Les réactifs sont préparés dans des bacs spéciaux munis d'agitateurs, soit mécaniques, soit à air.

Les agitateurs mécaniques sont généralement formés par un arbre vertical muni de palettes tournant au milieu du réactif pour produire une bonne agitation; le bac doit être également muni de palettes fixes, de façon à empêcher le liquide de prendre simplement au mouvement de rotation.

Lorsque le réactif est brassé au moyen de l'air, celui-ci est fourni sous pression par une pompe ou par un éjecteur compresseur et amené par le fond du bac.

L'agitation par injection d'air détermine un brassage plus complet et donne un réactif plus homogène.

Le mélange du réactif, avec l'eau à épurer, se fait à l'entrée de celle-ci dans les appareils d'épuration, le réglage du débit du réactif étant assuré au moyen d'un robinet manœuvré soit à la main, soit automatiquement.

La décantation se produit dans un réservoir,

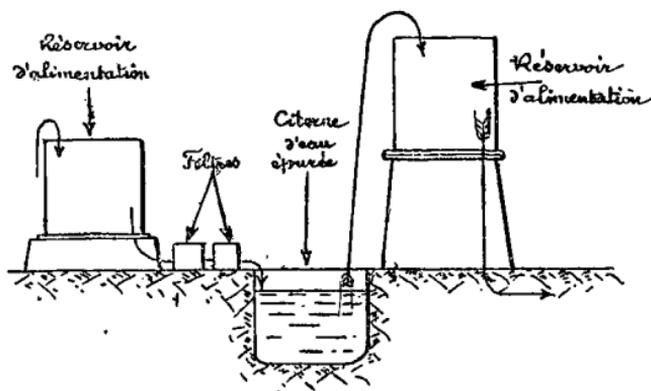


Fig. 5

dans lequel le mélange de l'eau à épurer et du réactif séjourne 12 heures environ ; l'eau est prise dans ce réservoir au moyen d'un tuyau muni d'un flotteur, elle traverse ensuite des filtres et se rend dans une citerne où elle est reprise par une pompe qui l'élève dans le réservoir de distribution.

La *fig. 5* donne une idée de ce genre d'installation.

Installation de faible importance. — Pour une installation de faible importance, on peut adopter la disposition de la *fig. 6* qui permet d'épurer une provision d'eau suffisante pour une journée, la décantation s'étant effectuée pendant la nuit.

On fait usage d'un bac A pouvant contenir une fois et demie la consommation journalière, et dont la hauteur ne soit pas trop considérable afin de permettre à la décantation de s'effectuer complètement en dix heures au maximum ; le fond doit être plat ; un fond incliné rend le prix du bac plus élevé et ne facilite guère le nettoyage.

Dans un panier en tôle perforée C, on fait fondre chaque soir, après l'arrêt de l'usine, la quantité de carbonate de soude nécessaire au remplacement de l'eau épurée consommée dans la journée.

Cette quantité est indiquée en poids ou plus simplement en mesures par un flotteur dont le contrepoids court le long d'une échelle graduée D ; cette même échelle indique également le nombre de litres d'eau de chaux à ajouter pour épurer la même quantité d'eau.

La graduation de l'échelle est établie d'après la composition de l'eau à épurer, ceci suppose que cette dernière varie peu ; s'il n'en était pas ainsi, il serait préférable de graduer l'échelle en litres ou en mètres cubes, et d'avoir un tableau préparé à l'avance, indiquant les quantités de réactifs à ajouter, suivant le degré hydrotimétrique naturel et le degré permanent.

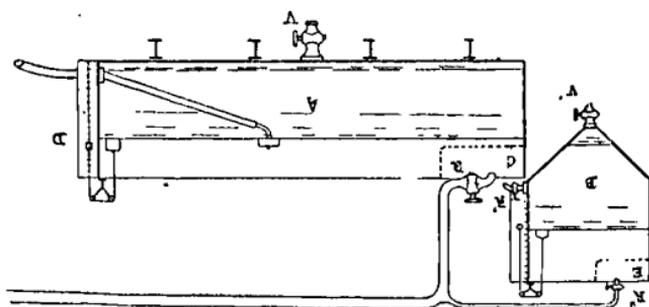


Fig. 6

L'eau de chaux se prépare dans un deuxième bac B, dont le fond est à parois inclinées et est situé au-dessus du premier. Un flotteur combiné à une échelle graduée permet de faire écouler chaque soir, par le robinet R', le nombre de litres d'eau de chaux indiqué par l'échelle du bac A.

Cette eau de chaux, que l'on a soin de préparer chaque soir pour le lendemain, a eu le temps de

se décanter pendant 24 heures, elle est donc parfaitement claire.

La chaux est mise dans le panier E, tandis que l'eau se déverse par le robinet R'' de façon à ramener le niveau dans le bac B à une valeur telle que le contrepoids revienne au zéro de l'échelle; on agite de façon à bien mettre l'eau en contact avec la chaux. On a eu soin de faire préalablement la vidange partielle des dépôts par le robinet V'. La prise d'eau épurée dans le bac A se fait à la surface au moyen d'un flotteur et d'un tuyau en caoutchouc.

Toutes ces opérations peuvent être effectuées très rapidement chaque soir par le chauffeur ou par un manœuvre, à la disposition duquel on met deux mesures convenables correspondant : la première, pour la soude, à un poids déterminé de soude ; la deuxième, pour la chaux, à la quantité nécessaire pour faire un certain nombre de litres d'eau de chaux, 100 litres, par exemple (il faut compter pratiquement 2 grammes de chaux vive brute par litre).

Installations importantes. — Dans tous les cas où, par suite des conditions d'exploitation, il est nécessaire d'avoir des réserves d'eau importantes, ce procédé d'épuration est tout in-

diqué, il permet, en effet, de se servir des réservoirs eux-mêmes pour y produire la décantation. Ce cas est celui des Compagnies de chemins de fer et ce procédé est celui qui a été adopté par la Compagnie du Nord.

Autant que possible, l'eau employée par cette Compagnie est exempte de sulfate de calcium et son épuration est faite à l'aide de la chaux. Dans les cas où l'eau contient néanmoins une proportion notable de sulfate de calcium, l'épuration est complétée par une addition de carbonate de sodium.

Quelle que soit leur importance, toutes les installations de cette Compagnie sont faites à peu près sur le même plan.

L'eau élevée par les pompes est amenée alternativement dans les réservoirs par un jeu de vannes et additionnée, pendant qu'elle s'écoule, d'un filet de lait de chaux coulant de bâches placées à un niveau supérieur à celui des réservoirs. Le lait de chaux est préparé dans ces bâches qui sont munies d'un appareil agitateur; suivant les installations, ces agitateurs sont mus à la main ou mécaniquement, ou bien le brassage est fait à l'aide de l'air comprimé.

L'eau additionnée de chaux séjourne 6 heures au moins dans les réservoirs; elle est ensuite

reprise par un tuyau à flotteur et envoyée au réservoir de distribution, après avoir traversé une batterie de filtres.

Filtres. — Bien que, dans ces appareils, la séparation du précipité de carbonate de chaux se fasse presque complètement par décantation, les installations sont généralement complétées par des batteries de filtres qui ont pour but de retenir les flocons calcaires déjà plus ou moins rassemblés et formés, qui peuvent se détacher des parois des appareils, réservoir, tuyaux, etc., par le mouvement de l'eau, et qui pourraient s'amasser dans les coudes, robinets, etc., et y causer des obstructions.

Les matières filtrantes employées peuvent être soit les éponges communes de Bahama, qui coûtent 2^{fr},50 le kilogramme environ, soit les copeaux fibreux de sapin employés pour les emballages, qui ont le grand avantage de ne coûter que 0^{fr},15 le kilogramme.

La disposition des filtres employés par la Compagnie du chemin de fer du Nord est indiquée par la *fig. 7*. L'eau circule de bas en haut, abandonnant sur le fond du récipient et dans le filtre la plus grande partie des matières en suspension. Pour opérer le nettoyage de ces

appareils, il suffit de renverser le courant d'eau pendant quelques secondes, en ouvrant le robinet

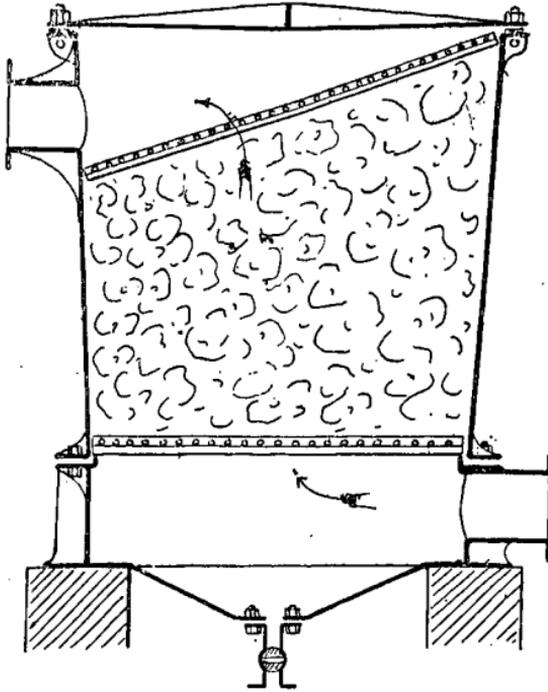


Fig. 7

de vidange et en fermant la vanne d'arrivée d'eau.

Ces appareils ne permettent de réaliser qu'une légère filtration convenant à l'eau déjà épurée.

Pour filtrer, d'une façon sérieuse, de l'eau trouble en quantité importante, il faut avoir recours à des appareils plus efficaces, analogues aux filtres-presses des sucreries.

CHAPITRE VI

APPAREILS D'ÉPURATION A FONCTIONNEMENT CONTINU NON AUTOMATIQUE

Le principal inconvénient des appareils que nous venons d'examiner est d'exiger des emplacements considérables lorsque la quantité d'eau à épurer est un peu importante, c'est pour y remédier que les appareils d'épuration continus ont été imaginés ; parmi ceux-ci, nous signalerons l'appareil de MM. Béranger et Stingl, et celui de MM. Gaillet et Huet.

Les parties de ces appareils où s'opèrent la préparation des réactifs et leur mélange avec l'eau à épurer ne présentant pas de particularités bien intéressantes, nous ne nous y arrêterons pas et nous décrirons seulement les décanteurs qui en sont la partie originale.

Décanteur Béranger et Stingl. — Cet appareil se compose d'une série de vases cylindriques à fond conique, dont les hauteurs décroissent et les sections croissent progressivement ; dans l'axe de ces vases se trouve placé

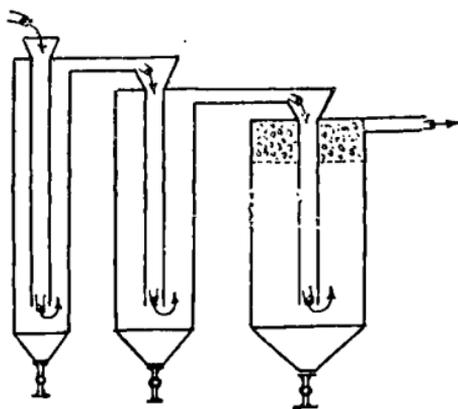


Fig. 8

un tube par lequel le liquide à décanter arrive dans chacun d'eux (fig. 8). L'eau circule dans cet appareil, suivant le sens indiqué par les flèches.

Grâce à la disposition de l'appareil, les matières en suspension dans l'eau à épurer se déposent au fond des éléments du décanteur ; ce dépôt est favorisé, à la fois, par les brusques changements du sens du courant dans chaque élément et par la diminution de la vitesse de ce

courant, diminution qui résulte de l'augmentation progressive de la section des éléments.

Les dépôts ainsi formés sont évacués au moyen de robinets disposés à cet effet à la partie inférieure de ces éléments.

La section des appareils dépend de la quantité d'eau à épurer ; quant au nombre d'éléments à placer en série, il varie de 3 à 6 et même 8, lorsque la décantation de l'eau présente des difficultés. Malgré l'augmentation du nombre des éléments, il est difficile d'avoir de l'eau claire à la sortie de cet appareil, et l'épuration a généralement besoin d'être terminée par une filtration.

Décanteur Gaillet et Huet. — Cet appareil se compose d'une caisse rectangulaire garnie de chicanes entre lesquelles circule l'eau à épurer. Ces chicanes sont formées par des sortes de gouttières en V inclinées à 45°, comme l'indique la *fig. 9*.

Ces gouttières sont rivées sur les parois de la caisse ; un de leurs bords, supérieur ou inférieur, reste seul libre pour laisser le passage de l'eau.

L'eau est introduite à la partie inférieure de l'appareil, où elle dépose les matières en suspension les plus denses, elle remonte ensuite entre

les chicanes et sort à la partie supérieure, après avoir traversé un filtre ; la section de passage entre les chicanes va en augmentant, de l'entrée

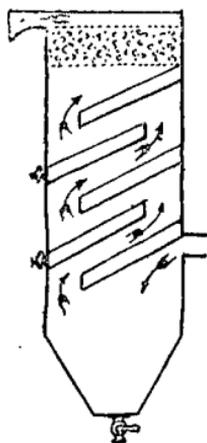


Fig. 9

vers la sortie de l'eau, de façon à réduire progressivement la vitesse de celle-ci et permettre ainsi, à la partie supérieure de l'appareil, le dépôt des précipités légers qui ont pu être entraînés par le courant plus rapide à sa partie inférieure.

Les dépôts se rassemblent dans le fond de chaque gouttière et sont entraînés par l'action même du courant à la partie inférieure de celle-ci, où sont placés des robinets qui en permettent l'évacuation.

La disposition de cet appareil est meilleure que celle du précédent et son action est aussi plus efficace que celle de celui-ci.

CHAPITRE VII

APPAREILS D'ÉPURATION CONTINUS AUTOMATIQUES

Les appareils continus automatiques présentent, sur les appareils cités dans le chapitre précédent, certains avantages : ils sont moins encombrants, ils exigent une main-d'œuvre moindre et leur fonctionnement est plus régulier.

Nous décrirons deux seulement de ces appareils, dont les dispositions nous ont paru les mieux étudiées et qui sont, à notre connaissance, les plus répandues ; ce sont :

- 1° L'appareil Desrumeaux ;
- 2° L'appareil Howatson.

Épurateur automatique, système H. Desrumeaux. — Dans cet appareil, les réactifs employés sont la chaux et le carbonate de soude, ou la soude caustique.

La préparation de ces réactifs est effectuée dans un *saturateur* J pour l'eau de chaux, et dans un *bac à réactif* G muni d'un *flotteur régulateur* I pour le carbonate de soude et la soude.

Le mélange en proportions convenables de l'eau à épurer et de réactifs se produit à l'entrée du *décanteur* N dans lequel s'effectuent ensuite les réactions et la clarification de l'eau, cette dernière opération étant complétée par un *filtre* Q d'où l'eau sort claire et épurée.

La *fig. 10* montre l'ensemble de l'appareil.

Saturateur. — Ainsi que nous l'avons déjà dit précédemment, le dosage exact de la chaux nécessaire à l'épuration de l'eau présente quelques difficultés.

Pour arriver à ajouter à l'eau le poids de chaux strictement nécessaire à sa correction, on met à profit, dans cet appareil, la propriété que possède ce produit de ne pas se dissoudre dans l'eau au delà d'une proportion déterminée, soit 1^{gr},3 par litre; c'est-à-dire qu'on fait usage d'eau saturée de chaux préparée au moment même de l'emploi dans la partie de l'appareil sous le nom de *saturateur* J.

Dans cet appareil, la saturation de l'eau de chaux est obtenue en malaxant automatique-

ment la chaux avec l'eau à saturer au moyen d'une roue hydraulique E, actionnée par l'eau à épurer elle-même.

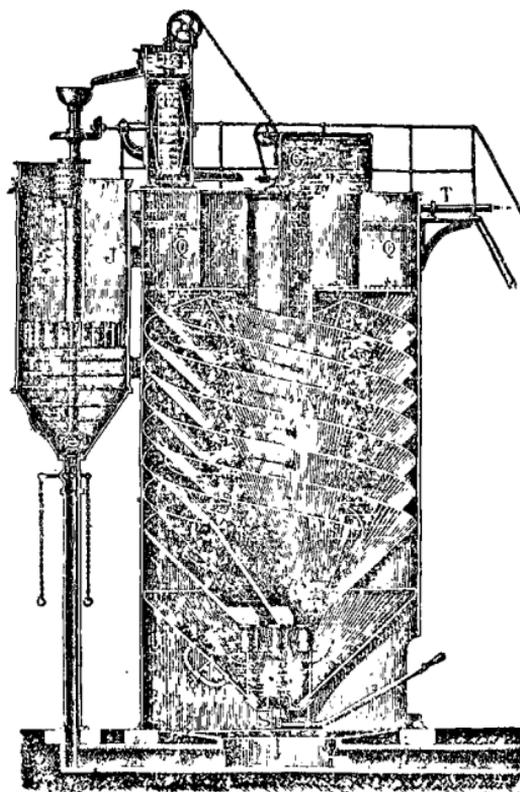


Fig. 10

Le saturateur de forme cylindro-conique porte à sa partie supérieure un récipient demi-cylin-

drique en tôle perforée servant à l'extinction de la chaux ; il se termine à la partie inférieure par un clapet de purge, auquel fait suite une colonne creuse supportant tout l'appareil, et servant, en outre, à l'évacuation de la chaux épuisée.

La partie centrale du saturateur est traversée dans toute sa longueur par un tube vertical armé, à sa partie inférieure, de palettes ; ce tube central sert tout à la fois d'arbre pour le malaxage et de conduit pour l'introduction de l'eau à saturer sous les palettes.

La chaux en pierres est versée une fois par jour, en quantité déterminée dans l'extincteur, où, baignée par l'eau, elle s'éteint d'elle-même. Le moment arrivé de charger l'appareil, on la fait descendre dans la caisse du malaxeur, en ouvrant une vanne à crémaillère qui met en communication le fond de l'extincteur avec un large conduit, concentrique au tube central, et qui s'arrête un peu au-dessus des palettes. La bouillie de chaux remplit ainsi la caisse de malaxage.

Quant à l'eau servant à la préparation du réactif, elle se déverse dans le godet qui termine le tube central à la partie supérieure, suit ce conduit jusqu'au fond du saturateur et sort par des ouvertures ménagées dans le pivot pour re-

monter ensuite en se mêlant intimement à la chaux contenue dans la caisse de malaxage. Par suite du mouvement des palettes, l'eau se sature de chaux, et poursuit son mouvement ascensionnel en se décantant rapidement. L'excès de chaux, momentanément entraîné, retourne dans la caisse de malaxage, où il est repris jusqu'à épuisement complet. Au-dessus du malaxeur, des cloisons fixes rayonnantes facilitent la décantation en arrêtant le remous dû aux révolutions des palettes.

Après sa saturation et sa clarification, l'eau de chaux sort par le haut du saturateur et va se mélanger à l'eau à épurer tombant du moteur hydraulique et à la solution contenue dans le *réservoir à réactif* G posé directement sur le *décanteur* N.

Réservoir à réactifs. — Cet appareil est disposé de manière à donner un écoulement régulier, quel que soit le niveau de la solution qu'il contient (*fig. 11*).

Ce résultat est obtenu en prenant cette solution au moyen d'un *flotteur régulateur* en ébonite I, dans lequel elle pénètre, sous une charge invariable, par un orifice placé dans le tube central du flotteur.

Ce tube central, relié par cette tubulure latérale, à un conduit de décharge flexible, étant maintenu par le flotteur annulaire à une dis-

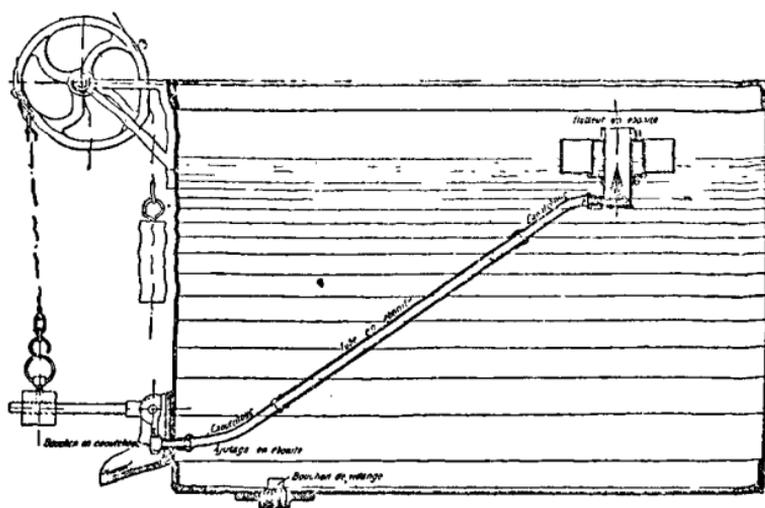


Fig. 11

tance constante du niveau du liquide, la pression de ce dernier, au-dessus de l'orifice d'écoulement, reste effectivement constante, ainsi que le débit.

Le tube central du flotteur-régulateur peut être élevé ou abaissé à volonté selon que l'on veut réduire ou augmenter le débit du réservoir à réactif ; on le fixe à la hauteur voulue au moyen d'une vis de pression.

Décanteur. — Cet appareil comprend essentiellement un grand récipient cylindrique vertical, fermé, dans le bas, par un fond conique muni d'une soupape de vidange. Dans l'axe du décanteur, on trouve un cylindre ouvert à chaque extrémité, autour duquel s'enroulent plusieurs rangées superposées de lames métalliques de forme hélico-conoïdales (c'est-à-dire, tenant du cône par leur inclinaison, et de l'hélice par leur développement).

Cette disposition a pour objet :

1° De diviser la masse de l'eau en nappes minces, de façon à activer la clarification, en réduisant la hauteur de chute des particules solides qu'il s'agit de décanter ;

2° De donner aux surfaces de décantation une forme qui, tout en favorisant le glissement des particules, et en les soustrayant à l'action des veines liquides en mouvement, assure, à l'eau, la direction la plus favorable à sa clarification, et aux dépôts, l'acheminement le plus direct pour leur élimination.

Voici le fonctionnement de cet appareil :

L'eau et les réactifs épurants se déversent dans le cylindre intérieur, formant colonne de réaction, et descendent vers le fond de l'appareil. Passant ensuite sous la tranche du cylindre

centrale, l'eau prend un mouvement ascensionnel, et se divise également entre les rangées superposées des surfaces de décantation.

En s'élevant ainsi, le liquide se trouve partagé en tranches distinctes séparées les unes des autres par les surfaces de décantation, de telle sorte que les dépôts abandonnés par les couches supérieures ne peuvent, en tombant, souiller les nappes des spires inférieures en train de se clarifier.

Grâce à la forme de ces surfaces de décantation, les particules solides, aussitôt déposées, se rassemblent vers les parties centrales où les pentes sont le plus fortement accusées, ce qui facilite leur descente vers le fond de l'appareil.

Pour que ces dépôts, à l'extrémité de leur trajet, ne puissent être repris par l'eau affluente, les lames hélicoïdales ont leur bord inférieur relevé verticalement, de manière à arrêter les boues et à les diriger vers des poches terminales d'où elles descendent, par des collecteurs distincts, dans le fond conique du décanteur, servant de réservoir à boues.

On opère l'extraction des dépôts en ouvrant chaque jour la soupape de vidange jusqu'à apparition de l'eau claire.

Dans la pratique, pour simplifier la cons-

truction, les surfaces de décantation sont formées de segments plans, se succédant de manière à tracer sur la paroi du décanteur une spirale brisée, régulière ; ces segments plans se joignent par recouvrement, et sont simplement emboîtés par leur pointe dans des supports en fonte boulonnés sur le cylindre central, agencement qui facilite, en cas de besoin, le démontage rapide des surfaces de décantation.

Pour effectuer le nettoyage de ces surfaces, lorsque cela devient nécessaire, on fait arriver un courant d'eau dans l'espace annulaire compris autour du cylindre intérieur ; cette eau tombe sur les surfaces de décantation et les parcourt dans leur entier développement, en entraînant les dépôts.

Pour terminer l'épuration, l'eau traverse, en dernier lieu, un *filtre Q* placé à la partie supérieure du décanteur. Ce filtre est constitué par un lit de fibres de bois légèrement comprimé entre deux rangées de tôles perforées.

Dans les appareils ne dépassant pas un certain diamètre, le nettoyage et le remplacement de la matière filtrante peuvent se faire assez rapidement, en raison du volume relativement faible du filtre.

Dans les appareils de grandes dimensions, le

filtre est divisé en un certain nombre de compartiments indépendants, pouvant s'isoler en pleine marche, et possédant chacun une vidange distincte; ce qui permet de vider complètement et de laver successivement à l'eau courante, tous les compartiments de ce filtre sans interrompre la marche de l'appareil.

Fonctionnement de l'appareil. — L'appareil étant décrit, nous allons indiquer par quels moyens est assurée l'automatisme de son fonctionnement (proportionnalité des débits d'eau et des réactifs épurants quelles que soient les variations de la consommation et de l'alimentation).

L'eau à épurer arrive dans le bac de distribution B (*fig. 12*), par une conduite A munie d'une soupape équilibrée C qui en règle l'admission. Cette soupape (*fig. 13*) se compose d'une boîte en fonte dans l'intérieur de laquelle se meut, verticalement, un plateau en bronze *p* muni sur sa face inférieure d'une couronne en caoutchouc *r* servant de siège à la nervure circulaire *s* d'un manchon fixe, boulonné sur le fond de la boîte.

Un piston, garni d'un cuir embouti, glisse dans le dôme de la soupape et équilibre la pres-

sion reçue par le plateau p , auquel il sert de guide.

La tige d'axe, sur laquelle est monté le plateau p est relié, par un levier oscillant, à une longue tringle verticale, à l'extrémité de laquelle est suspendu un flotteur f , conduisant dans un bac en tôle posé directement sur le filtre du décanteur.

Dans ces conditions, si on ferme la prise d'eau épurée, l'alimentation continuant, l'eau s'élève dans le décanteur et déborde dans le bac contenant le flotteur f ; celui-ci, en montant, force alors le plateau p à descendre, jusqu'à ce que la rondelle élastique vienne s'appliquer sur la nervure circulaire s , et interrompre l'admission d'eau dans le compartiment de distribution.

Lorsqu'on vient à rouvrir ensuite la prise d'eau épurée, le niveau baisse dans le décanteur; dès qu'il est redevenu normal, le flotteur f s'abaisse, la soupape s'ouvre et l'appareil se remet en marche automatiquement.

Concentriquement au siège en caoutchouc r , se trouve disposée une surface conique m correspondant à un siège mobile n constitué par le bord évasé d'un manchon mobile, glissant à frottement doux dans le manchon fixe tenant

lieu de tubulure de sortie de la soupape. Le

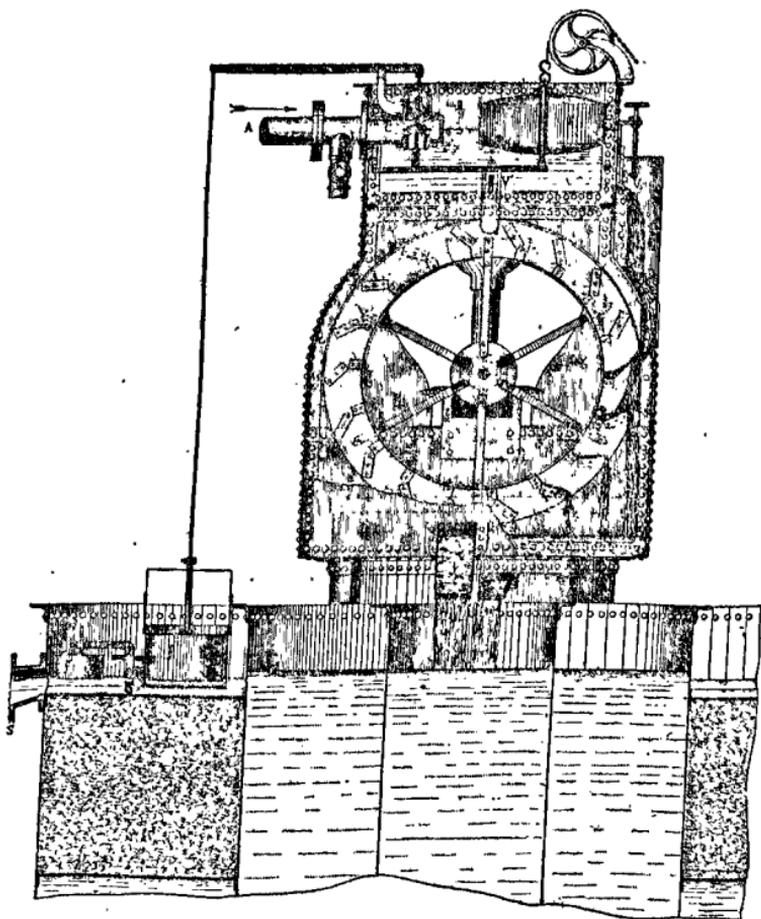


Fig. 12

manchon mobile *o* est articulé sur un levier

commandé par un flotteur P auquel se rattache

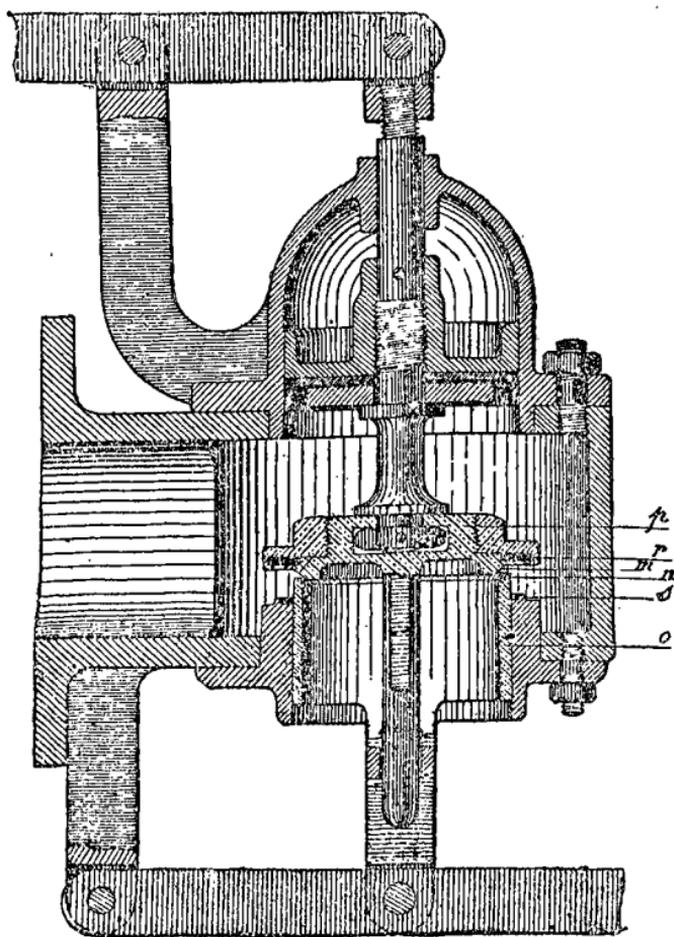


Fig. 13

une chaînette dont l'extrémité libre porte un

contrepoids qui ouvre ou ferme, selon la position haute ou basse du flotteur, l'écoulement du réservoir à réactif.

Dans ces conditions, si la pression de l'eau vient à augmenter dans les conduites de ville, le niveau dans le compartiment de distribution tendra à monter, en entraînant le flotteur f , qui, à son tour, soulèvera le manchon n dont la tranche biseautée, en se rapprochant du plateau p , réduira le passage offert à l'eau ; et inversement, si la pression de l'eau diminue. Les augmentations et diminutions de pression de l'eau se trouvent ainsi, automatiquement, contrebalancées par la réduction ou l'agrandissement de la section d'écoulement et le niveau se maintient sensiblement constant dans le compartiment de distribution.

Les variations possibles de pression n'exercent donc aucune influence, ni sur le débit des vannes V et V' , distribuant respectivement l'eau à épurer dans la roue à auget et l'eau à saturer de chaux dans le saturateur, ni sur le débit de la solution de réactifs dont l'écoulement ou l'arrêt est subordonné à la position du flotteur P .

Dans le cas le plus général, la consommation d'eau épurée n'est pas régulière, elle est intermittente et varie à chaque instant suivant les

besoins ; par suite, le niveau dans le décanteur s'élève ou s'abaisse en suivant toutes les fluctuations de la consommation. Il faut éviter que le flotteur d'arrêt automatique suive ces variations, qui modifieraient à chaque instant l'écoulement de l'eau, alors que le débit des réactifs resterait constant, car la proportionnalité cherchée par le réglage serait ainsi détruite. A cet effet, le flotteur f en question se trouve logé dans un petit bac intermédiaire, destiné à l'isoler de l'eau environnante, qui ne peut le remplir que lorsqu'elle monte dans le décanteur bien au-dessus du niveau correspondant au débit normal en eau épurée.

Lorsque ce niveau atteint le bord supérieur du bac, celui-ci se remplit brusquement, vu sa faible capacité, le flotteur f s'élève en même temps et ferme net la soupape ; l'écoulement de l'eau et celui du réactif se trouvent ainsi arrêtés simultanément.

Lorsque le niveau baisse dans le décanteur, il reste d'abord fixe dans le bac intermédiaire, maintenant ainsi le flotteur soulevé et l'écoulement du liquide arrêté ; et cela, jusqu'à ce qu'il soit assez descendu pour faire baisser le flotteur auxiliaire f' qui, dès qu'il entre en jeu, découvre un orifice ménagé dans la paroi du bac. Celui-ci

se vide aussitôt, le flotteur *f* reprend sa position normale, ouvre entièrement la soupape d'arrivée d'eau et remet l'épurateur en marche à son plein débit.

Un dispositif analogue assure l'automatisme lorsque l'appareil est alimenté par une pompe ; dans ce cas, le réglage des vannes V et V' est fait de façon que le débit normal de l'appareil corresponde au débit minimum de la pompe. Un trop-plein permet l'évacuation de l'eau lorsqu'elle arrive en excès.

Ainsi qu'on le voit par ce qui précède, cet appareil est étudié avec soin ; il a reçu de nombreuses applications et les résultats qu'il donne en service sont satisfaisants.

Épurateur automatique, système Howatson. — L'appareil d'épuration automatique Howatson, reproduit par la *fig. 14*, présente dans son ensemble des dispositions analogues à celles de l'appareil précédent. Il comprend comme celui-ci un bac d'alimentation B, un bac à réactif C, un saturateur K pour la préparation de l'eau de chaux et un décanteur R, surmonté d'un filtre.

L'eau à épurer arrive par un robinet A muni d'un flotteur, dans le bac d'alimentation B, où

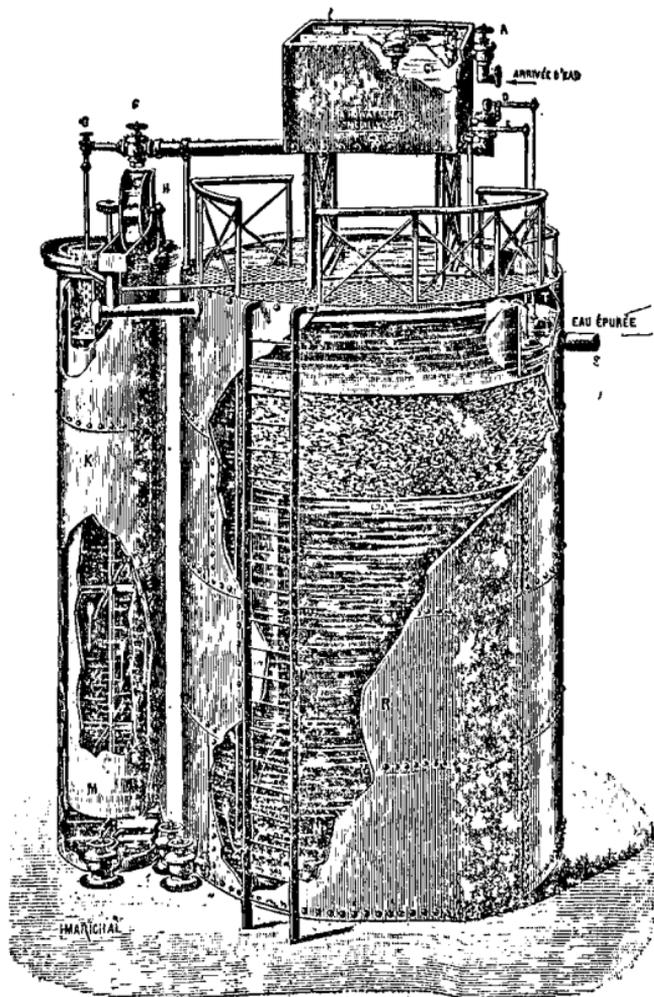


Fig. 14

elle est reprise par la valve D pour venir par un tuyau horizontal en F et G. Le robinet F règle une fois pour toutes le débit de l'eau à épurer ; le robinet G règle de même la quantité d'eau à saturer de chaux, dans la proportion nécessaire à l'épuration.

Les orifices F et G étant à la même hauteur, reçoivent la même charge d'eau, de sorte que si le niveau vient à varier en B, leurs débits restent proportionnels.

L'eau à épurer qui s'écoule par le robinet F, fait mouvoir une roue à augets H qui, au moyen d'une transmission par pignon et vis sans fin, actionne un arbre vertical muni de palettes, placé dans l'axe du saturateur.

Ce saturateur est constitué par deux enveloppes cylindriques concentriques, à la partie supérieure du petit cylindre, se trouve un compartiment destiné à recevoir la chaux vive en pierres qui s'y éteint d'elle-même étant sans cesse couverte d'eau. L'eau qui s'écoule de l'orifice G tombe sur cette chaux et l'entraîne. Le mouvement continu des palettes actionnées par la roue à augets, active la dissolution de la chaux dans l'eau qui se sature. Arrivée au bas du cylindre intérieur, l'eau chargée de chaux remonte dans l'espace annulaire formé par les deux cy-

lindres. Pendant ce mouvement, elle abandonne l'excès de chaux en suspension qu'elle a pu entraîner, de façon à se déverser claire à la partie supérieure dans un conduit, où elle se mélange dans la proportion voulue avec l'eau à épurer sortant de la roue à auget.

Le compartiment C du bac supérieur sert, lorsque cela est nécessaire pour l'épuration, à la préparation d'une solution de soude ou de carbonate de soude ; l'écoulement de cette solution est réglé par un flotteur muni d'un orifice percé à une distance déterminée au-dessous du niveau de la solution, dont il suit les variations ; le débit est ainsi constant.

La solution de réactif est amenée par un tuyau flexible à la valve E et va de là se mélanger à l'eau à épurer.

Cette eau ainsi additionnée de réactifs dans les proportions convenables, arrive ensuite au décanteur ; celui-ci est divisé en deux compartiments inégaux par une cloison verticale ; le plus petit de ces compartiments reçoit le mélange d'eau et de réactifs ; la réaction chimique se produit pendant la descente ; arrivée au fond du décanteur, l'eau passe dans le second compartiment, dont la section est la plus grande, la vitesse de l'eau se trouve ainsi considérablement

réduite, ce qui facilite la décantation des sels en suspension.

Dans le cas où l'eau épurée est difficile à décanter, on place en outre dans le décanteur des lames de tôle inclinées, à travers lesquelles l'eau dépose, à son passage, les dernières molécules d'impureté.

A la partie supérieure de ce compartiment, se trouve un filtre formé d'une couche de fibre de bois, maintenu entre deux tôles perforées.

Le dispositif assurant l'automatisme de l'appareil est assez simple, voici quels en sont les éléments.

L'eau épurée sortant du filtre se déverse dans un compartiment T où se fait la prise d'eau S.

Deux flotteurs placés à la même hauteur dans ce compartiment commandent respectivement l'arrivée de l'eau et celle des réactifs.

Lorsque l'eau épurée débitée par l'appareil est entièrement utilisée, il ne reste que quelques centimètres d'eau dans ce compartiment T et les robinets sont ouverts en grand.

Lorsque l'on cesse de prendre de l'eau épurée, le compartiment T, très petit par rapport au débit de l'appareil, est rempli très rapidement, les deux flotteurs sont soulevés et ferment simultanément les robinets D et E, arrêtant ainsi

l'arrivée de l'eau et celle des réactifs. La remise en marche de l'appareil s'effectue par le mécanisme inverse, dès que le compartiment F s'est vidé.

Les boues du saturateur et celles du décan-
teur sont vidangées par des robinets à large
section disposés à cet effet à la partie inférieure
de ces appareils.

CHAPITRE VIII

PROCÉDÉS D'ÉPURATION PHYSIQUE

On sait, ainsi que nous l'avons vu précédemment, que les carbonates de calcium et de magnésium ne sont tenus en solution dans l'eau que grâce à la présence de l'acide carbonique, avec lequel ils forment des bicarbonates et que ceux-ci sont décomposés par la chaleur.

Au lieu de laisser cette réaction se produire dans la chaudière, où elle entraîne la production de tartre et de dépôts gênants, il y a avantage à la provoquer avant l'introduction de l'eau dans celle-ci ; c'est là le but des appareils appelés *détartreurs*, dans lesquels s'effectue l'épuration physique de l'eau ; la source de chaleur généralement utilisée dans ces appareils est la vapeur d'échappement ; ce procédé d'épuration est celui auquel on peut donner la préférence, toutes les fois que les impuretés consistent prin-

ciatement en carbonates de calcium et de magnésium. Il a, en effet, l'avantage d'être économique et de n'introduire dans l'eau aucun sel étranger ; aussi en cas de mauvais fonctionnement ne présente-t-il pas les inconvénients des procédés chimiques et exige-t-il par suite moins de surveillance que ceux-ci. Lorsque la proportion de sulfates contenus dans l'eau n'est pas très importante, ce procédé peut encore donner de bons résultats à condition de procéder à des extractions de la chaudière suffisamment rapprochées pour éviter la concentration des sulfates dans l'eau qu'elle contient.

Dans l'installation des appareils détartreurs, il faut avoir soin, bien entendu, de placer la base de ceux-ci un peu au-dessus de l'axe des pompes alimentaires, car l'eau qu'ils fournissent étant à une température voisine de 100°, doit être prise en charge par ces pompes pour que le fonctionnement de celles-ci soit satisfaisant.

Les appareils détartreurs ou épurateurs sont très nombreux. Nous n'avons pas la prétention de les décrire tous ; nous en indiquerons seulement quelques-uns dans lesquels les dispositions prises pour élever la température de l'eau par son mélange avec la vapeur, pour favoriser

les dépôts et faciliter leur enlèvement, pour empêcher les entraînements d'huile dans la chaudière, sont différentes les unes des autres et paraissent les mieux étudiées,

Détartreur Granddemange. — Cet appareil, représenté par la *fig. 15*, est constitué par

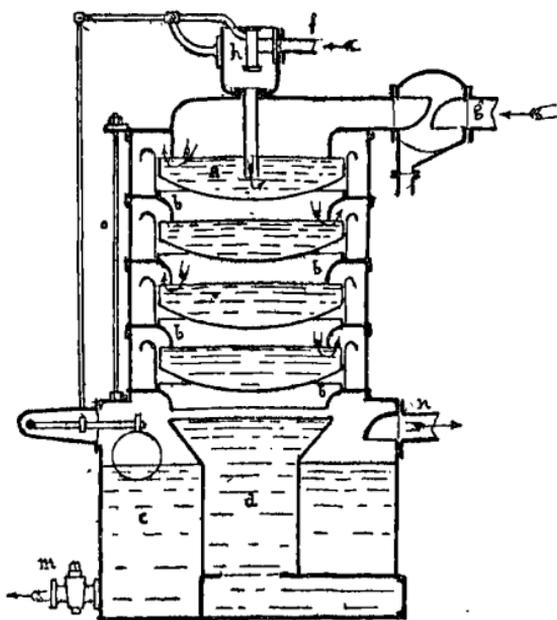


Fig. 15

une série de tronçons d'enveloppe *b*, en fonte, ayant chacun un rebord annulaire sur lequel repose une petite cuvette en tôle emboutie.

Suivant les circonstances, la nature de l'eau, l'importance de la consommation, l'épurateur comprend 3,4 ou 5 éléments réunis par des joints au moyen de 4 boulons d'assemblage O.

A sa partie supérieure, l'appareil se termine par un couvercle qui porte l'arrivée d'eau froide *f* et l'entrée de vapeur *g* munie d'un dégraisseur. L'arrivée de l'eau froide est réglée par un robinet à flotteur *h*, qui maintient constant le niveau de l'eau chaude détartree dans le réservoir *c* du socle. Ce réservoir contient une cuve de décantation *d*, il est muni d'un robinet *m* de prise d'eau chaude et d'un tuyau d'échappement de vapeur *n*. Du robinet *f*, l'eau tombe dans la première cuve *a*, où elle prend contact avec la vapeur provenant de *g*, de là, lorsque cette cuve est pleine, l'eau s'écoule en lames minces, sur le rebord annulaire du premier tronçon et de là, dans la deuxième cuve, et ainsi de suite jusqu'au réservoir *c* qui se trouve rempli jusqu'au niveau réglé par le flotteur *h*.

La vapeur suit le même chemin que l'eau, avec laquelle elle se trouve ainsi en contact intime. L'élévation de température de l'eau qui en résulte détermine la précipitation des carbonates terreux qui se déposent au fond de chaque cuve, en quan-

tité de plus en plus petite à partir de la première; l'eau arrive ainsi dans le réservoir *c*, aussi complètement épurée que possible et à une température voisine de 100°.

La vapeur en excès, qui n'est pas condensée par l'eau, s'échappe par la tubulure *n*.

Cet appareil a l'avantage d'être assez simple, robuste et facile à monter et à démonter. Le dégraissage de la vapeur est convenablement assuré d'abord par la disposition de l'arrivée de vapeur *g* et ensuite par le brassage de la vapeur dans les plateaux successifs où l'huile entraînée est retenue. Le nettoyage de l'appareil est facile, d'autant plus que la majeure partie des dépôts s'accumule dans le plateau supérieur.

Réchauffeur-détartreur, système Chevalet. — Cet appareil est constitué, comme le précédent, par une colonne formée d'éléments identiques, et facilement démontables; il y en a habituellement cinq (*fig.* 16). Chacun de ces éléments est traversé de plusieurs tuyaux dentelés à leur partie inférieure qui plonge dans l'eau de l'élément suivant. Cette colonne repose sur un réservoir cylindrique qui lui sert de socle et dans lequel arrive l'eau chaude épurée.

Dans cet appareil, la vapeur et l'eau circulent

dans le même sens de haut en bas. La vapeur arrive par le tuyau L et traverse le dégraisseur c, qui est fixé sur une tubulure venue de fonte avec le couvercle de l'appareil et pourvu d'un tuyau M

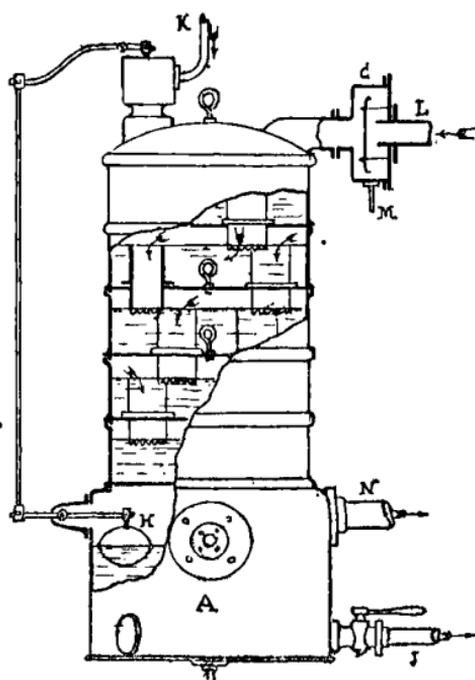


Fig. 16

pour la vidange de l'eau grasse. L'eau froide est admise par le robinet *k* muni d'une commande automatique actionnée par le flotteur II placé dans le réservoir d'eau chaude.

La vapeur et l'eau descendent ensemble en suivant le trajet indiqué par les flèches, la vapeur barbote ainsi dans l'eau que contiennent les éléments de l'épurateur, elle s'y condense partiellement en élevant la température de celle-ci et détermine la précipitation des sels calcaires qui y sont dissous : l'excès de vapeur non condensée s'échappe par la tubulure N, du réservoir inférieur ; les sels calcaires précipités se déposent progressivement dans les éléments et l'eau arrive chaude et débarrassée des carbonates dans le réservoir A. Celui-ci est muni d'un flotteur II qui agit sur le robinet d'admission d'eau à épurer K.

La vapeur en excès peut s'échapper par le tuyau N ; quant à l'eau épurée, elle est prise par le tuyau J ; en R, se trouve un bouchon de vidange qui permet le nettoyage du réservoir A. Le nettoyage des éléments exige le démontage de l'appareil, mais grâce à la disposition de celui-ci, cette opération est facile à effectuer.

Dans la pratique, cet appareil donne des résultats satisfaisants.

Épurateur-réchauffeur Delhotel. — Dans cet appareil, représenté par la *fig. 17*, l'eau et la vapeur circulent en sens inverse, de façon à favoriser l'échange de chaleur entre elles.

L'appareil est constitué par une cuve en tôle Z surmontée d'une couronne B contenant un plateau mobile C pourvu d'un joint hydraulique et

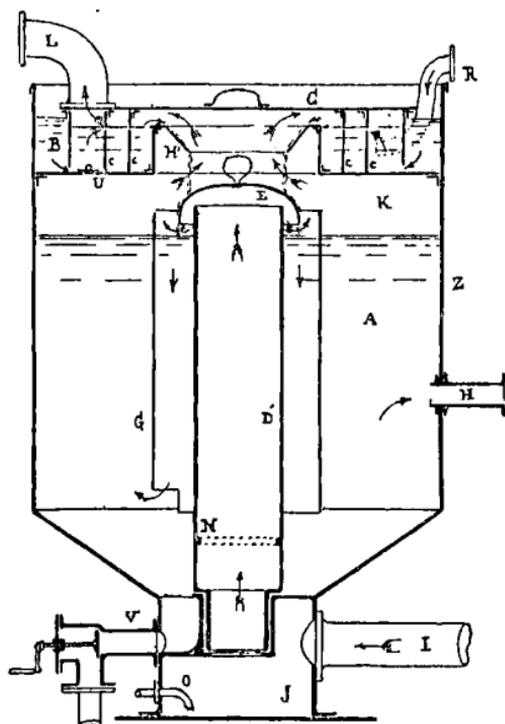


Fig. 17

portant en dessous des cloisons cylindriques *c, c*, percées d'ouvertures à travers lesquelles passent l'eau et la vapeur.

La cuve Z comporte deux compartiments cy-

lindriques A et J reliés par une partie tronconique. De la partie inférieure de celle-ci, part un tube central en fonte D, entouré sur la plus grande partie de sa hauteur d'un tuyau concentrique en tôle G, et surmonté d'une calotte en fonte E.

L'eau à épurer arrive par le tuyau R dans la cuve supérieure formée par la couronne B, elle y circule en suivant le chemin en zigzag qu'indiquent les flèches sans empenne et se déverse par la tubulure centrale H' sur la calotte de fonte E; de là elle descend dans l'espace annulaire compris entre les tubes G et D et s'élève ensuite dans la cuve A.

La vapeur est admise à la partie inférieure de l'appareil par la conduite I, elle se dégraisse à la traversée de la boîte J et des tôles perforées N; les gouttelettes d'huile ayant échappé à ce séparateur mécanique, s'éliminent au moment de la détente et de la condensation partielle que subit la vapeur en s'élevant dans le tube central D. A la sortie de ce dernier, la vapeur barbote dans l'eau qui s'écoule en cascade sur la calotte E et se répand dans la chambre K comprise entre le niveau de l'eau dans la cuve A et le fond de la couronne B, elle traverse ensuite la tubulure H en barbotant de nouveau dans l'eau et circule en zigzag autour des cloisons c, c, en suivant un

parcours inverse à celui de l'eau, comme l'indiquent les flèches empennées.

La vapeur non condensée s'échappe finalement par la tubulure L.

Quant à l'eau épurée, elle quitte la cuve A par la tubulure II pour se rendre, soit dans une bêche d'alimentation, soit à une pompe alimentaire, soit à un filtre, si l'eau est boueuse et que sa décantation s'effectue difficilement.

Les sels incrustants précipités s'accumulent sous forme de boues, au fond de la couronne B et du réservoir A, d'où il est facile de les extraire, pour nettoyer B, on enlève le couvercle *c* et on balaye les boues de façon à les rejeter par le trou de vidange U, fermé à l'ordinaire par un tampon. On nettoie en même temps les chicanes *c, c*, on enlève le déversoir I, la calotte E et le tube D, qu'il convient de débarrasser de temps en temps des matières grasses qui le tapissent. Toutes les boues sont finalement évacuées par la tubulure de vidange V, tandis que les eaux grasses s'écoulent d'une façon continue par la tubulure O.

Épurateur de M. Buron (*fig.* 18). — Cet appareil se compose essentiellement d'un corps cylindrique NN, dont la capacité est fonction du volume d'eau à traiter et où s'opère la précipita-

tion dessus incrustants ; à la droite se trouve placée une caisse à chicanes M dans laquelle s'effectue le dégraissage de la vapeur, et à sa gauche, un récipient rectangulaire P où s'achève la décantation de l'eau épurée.

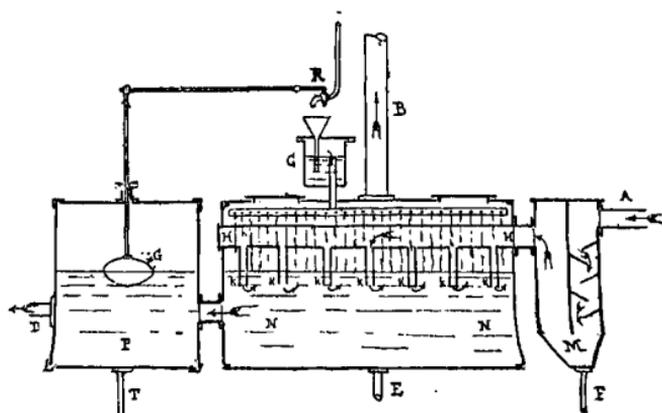


Fig. 18

Le dégraisseur M est divisé en deux compartiments communiquant par le bas ; la vapeur d'échappement arrivant de la conduite A pénètre dans cet appareil où elle se détend partiellement : elle descend dans le premier compartiment en suivant un parcours en zigzag que lui tracent des chicanes obliques sur lesquelles se déposent les gouttelettes d'huile entraînées ; puis, ainsi dégraissée, elle s'élève dans le second compartiment.

L'huile déposée se rassemble dans la trémie inférieure d'où elle s'écoule par la tubulure F.

A la partie supérieure de ce second compartiment, débouche un gros tuyau horizontal II traversant complètement le corps cylindrique NN à sa partie supérieure, et fermé à son extrémité libre. Sur sa génératrice inférieure, ce tuyau porte des ajutages K régulièrement espacés, inclinés, alternativement à droite et à gauche, et plongeant de 10 à 12 centimètres dans la masse d'eau de l'épurateur qui est maintenue à niveau constant.

Dans ces conditions, la vapeur épurée s'échappe du tuyau II par les ajutages et barbote dans l'eau du corps cylindrique, qui se trouve bientôt portée à l'ébullition, et en même temps, soumise à des remous continus.

L'eau à épurer est introduite dans l'appareil par le haut, au moyen d'un robinet R qui se déverse dans l'entonnoir c et dont la clef est commandée au moyen d'une transmission de leviers par le flotteur G placé dans la caisse de décantation P.

De l'entonnoir, l'eau arrive, en passant par un siphon, dans une gouttière percée de trous par lesquels elle s'écoule en pluie dans le corps cylindrique ; en tombant ainsi, elle se mélange à

la vapeur en excès qui se dégage de l'eau en ébullition, et qui doit contourner la gouttière pour atteindre le tuyau d'échappement B.

L'eau épurée passe dans la caisse P où elle achève de se décanter et d'où elle sort par la tubulure D pour se rendre à la pompe d'alimentation. Lorsque le niveau descend dans la caisse P, le flotteur G s'abaisse en ouvrant le robinet d'admission R. Si celui-ci est bien réglé, l'eau sort chaude de l'appareil après avoir séjourné $3/4$ d'heure environ dans le corps principal.

Les boues sont évacuées par le robinet de vidange E et la purge du décanteur se fait par l'ajutage J. Le nettoyage complet de l'appareil est effectué au moyen de larges trous d'hommes ménagés à la partie supérieure du corps cylindrique NN.

CHAPITRE IX

—

ÉPURATION MIXTE

Ainsi que nous l'avons indiqué précédemment, ce procédé d'épuration utilise le concours des agents physiques et chimiques pour produire la précipitation des sels incrustants contenus dans l'eau. On est obligé d'y avoir recours lorsque la quantité de sulfates terreux contenus dans l'eau est quelque peu importante.

Le réactif employé dans ce procédé est, soit le carbonate de soude, soit la soude qui déterminent la précipitation des sulfates de calcium et de magnésium sous forme de carbonates, le sulfate de sodium produit restant en solution dans l'eau.

La plupart des appareils d'épuration physique que nous venons de décrire, peuvent être transformés en appareils d'épuration mixte, par l'addition d'un bac à réactif, dans lequel se fait la préparation de la solution de soude ou de carbo-

nate de soude employée ; ce bac est muni d'un robinet dont le débit est réglé d'après le débit de l'eau à épurer et la proportion de sulfates terreux que celle-ci contient. La commande de ce robinet est automatique et actionnée par le même dispositif que celle du robinet d'admission de l'eau à épurer, l'ouverture et la fermeture de ces robinets sont simultanées.

Détartreur Wollaston. — L'appareil, représenté par la *fig.* 19, est employé en Angleterre où il a été breveté par M. Roland Wollaston ; il permet de réaliser, soit l'épuration chimique par l'action de réactifs appropriés agissant à froid, soit l'épuration physique par l'action de la vapeur seule, soit l'épuration mixte par le concours de ces deux agents ; c'est d'ailleurs avec ce dernier procédé qu'il donne les meilleurs résultats ; l'épuration est plus complète et l'eau épurée obtenue est chaude.

L'eau et les réactifs sont envoyés dans cet appareil par deux pompes dont les débits respectifs sont réglés de façon à ce que le mélange soit fait dans les proportions voulues par l'épuration ; l'inventeur préfère ce mode de réglage aux autres systèmes automatiques, à cause de la régularité de son fonctionnement. Lorsque le

débit de l'appareil est continu, il y a deux réservoirs à réactifs dans lesquels la prise est faite alternativement, la préparation de la solution se faisant dans l'autre réservoir pendant ce temps.

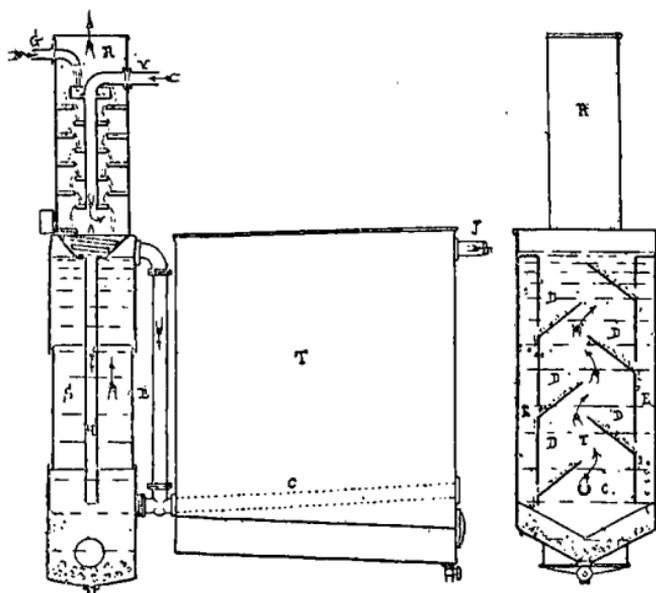


Fig. 19

Lorsqu'on fait usage de la chaux, la composition du lait de chaux est maintenue constante au moyen d'un agitateur actionné par le moteur des pompes.

L'appareil Wollaston est formé de trois parties : le réchauffeur R, le bac à réaction S et le décanteur T.

Le *réchauffeur* R est constitué par un cylindre vortical, au centre duquel plonge le tuyau d'arrivée de vapeur (vapeur d'échappement des moteurs ou vapeur vive) ; ce tuyau est entouré de plateaux qui alternent avec des plateaux annulaires fixés à la paroi du réchauffeur ; ces plateaux uniformément espacés forment une série de chicanes sur lesquelles l'eau froide à épurer, arrivant à la partie supérieure par le tuyau G, tombe en cascade, cette eau rencontre sur son chemin la vapeur arrivant à la partie inférieure qui tend à remonter ; l'échange de chaleur se fait ainsi dans de bonnes conditions, la vapeur se condense en grande partie, et l'eau arrive chaude en A où elle rencontre les réactifs envoyés par la pompe. Le mélange de ceux-ci avec l'eau est assurée au moyen de petits barrages en hélices donnant un mouvement de rotation aux liquides qui descendent ensuite par le tuyau H dans le *bac à réaction* S. Ce bac, également cylindrique, est placé sous le réchauffeur ; le dépôt des précipités qui se sont formés dans l'eau commence à se produire dans ce bac, à la partie inférieure duquel un robinet de vidange est disposé pour l'évacuation de ces dépôts.

L'eau arrivée à la partie supérieure du bac à

réaction redescend par un tuyau vertical B et arrive dans un tuyau horizontal C, fendu suivant la génératrice supérieure et placé à la partie inférieure du *décanteur* T.

Ce décanteur est constitué par une caisse rectangulaire à fond incliné, à l'intérieur de laquelle sont placées des cloisons entre lesquelles remonte l'eau sortant du tuyau C. Ces cloisons sont disposées de façon à favoriser les dépôts de particules solides encore en suspension dans l'eau ; en effet, dans les parties D, le courant est presque nul, de sorte que les matières précédemment entraînées par le courant y achèvent de se déposer sur les cloisons inclinées, d'où elles tombent ensuite en E, où l'eau est tout-à-fait en repos pour se rassembler à la partie inférieure du décanteur ; un robinet de vidange convenablement disposé permet de les évacuer facilement. L'eau sort chaude par l'orifice J placé à la partie supérieure du décanteur ; lorsque les débits d'eau et de réactifs sont bien réglés, l'épuration est complète et l'eau est entièrement débarrassée des traces d'huile que la vapeur a pu entraîner.

CHAPITRE X

—

DÉSINCRUSTANTS

L'épuration préalable des eaux d'alimentation par un des procédés que nous venons d'indiquer est incontestablement le meilleur moyen de prévenir les incrustations des chaudières à vapeur. Il convient toutefois de faire remarquer que si cette opération permet de réduire les frais d'entretien de celles-ci grâce à la diminution du nombre des nettoyages qui en résultent, elle nécessite par contre des installations plus ou moins importantes, mais toujours coûteuses et exige en outre, surtout lorsqu'il est fait usage de réactifs chimiques, une surveillance assez minutieuse qui n'est pas sans entraîner quelques frais et faute de laquelle elle donne de très mauvais résultats.

Ces diverses raisons font que beaucoup d'industriels renoncent à l'épuration préalable et

préfèrent avoir recours à l'emploi des *désincrustants*.

Sans avoir l'efficacité de l'épuration préalable, ces produits que l'on introduit soit dans la chaudière après le nettoyage de celle-ci, soit dans l'eau d'alimentation, ont pour effet d'empêcher la formation du tartre et de donner des dépôts boueux, faciles à enlever ; le nettoyage de la chaudière peut alors s'effectuer par simple lavage, ou grattage, mais sans piquage, opération tout à la fois coûteuse et nuisible pour la chaudière. L'emploi de ces produits dans des conditions convenables, permet ainsi de réaliser, avec une dépense relativement minime, une sérieuse économie d'entretien, tout en assurant la bonne conservation de la chaudière.

La fabrication des désincrustants est entourée d'un véritable mystère par quelques industriels qui s'efforcent par ce procédé de vendre leurs produits à un prix bien supérieur à la valeur des matières entrant dans leur composition, prétention qui n'est nullement justifiée, la préparation de ces produits ne présentant généralement pas de difficultés.

La plupart des compositions employées comme désincrustants, consistent en carbonate de sodium, ou contiennent une certaine quantité de

ce sel dont l'action est de convertir le sulfate de calcium qui se trouve dans l'eau (et qui produit des incrustations) en carbonate de calcium qui se précipite sous forme d'une masse boueuse.

La soude caustique est aussi parfois employée soit seule, soit avec d'autres sels de sodium ; elle se combine avec l'acide carbonique libre dissous dans l'eau et se transforme en carbonate de sodium qui agit sur le sulfate de calcium de la façon que nous venons d'indiquer. Elle agit également sur les sels de magnésium contenus dans l'eau en les précipitant sous forme d'hydrate de magnésium, pourvu que l'on ait ajouté une quantité suffisante de soude caustique.

Toutefois, l'emploi des différents sels de sodium est limité, car les produits solubles de la réaction (généralement le sulfate de sodium) qui restent en solution dans la chaudière provoquent parfois des entrainements d'eau fort gênants.

Outre les désincrusters salins, on emploie aussi d'autres composés de diverses substances organiques, consistant en tannate de sodium ou tanin sous forme d'extrait de bois (quebracho, campêche, chêne, châtaignier, etc.) avec du carbonate de sodium.

Le but que l'on cherche en employant ces

produits, est d'introduire dans la formation même des dépôts ou dans la composition des dépôts incrustants anciens, un élément organique pouvant, lorsqu'il se trouve en contact avec le métal à une température élevée, être décomposé par la chaleur de façon à déterminer la séparation du métal et de l'incrustation ; il y a lieu de remarquer également que les matières tinctoriales facilitent la précipitation des sels calcaires contenus dans l'eau, en formant avec eux des laques insolubles. Quant au carbonate de sodium, non seulement il détermine la précipitation du sulfate de calcium ; mais encore il aide à la désagrégation des matières tinctoriales dans la préparation même du liquide désincrustant.

Soude et carbonate de soude. — Nous ne reviendrons pas sur les propriétés de ces produits, ni sur leur action désincrustante, ces questions ayant déjà été examinées à propos de l'épuration.

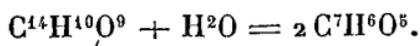
En ce qui concerne le carbonate de soude, nous rappellerons seulement que lorsqu'il agit sur le bicarbonate de calcium son action est pour ainsi dire illimitée puisqu'il est constamment régénéré (voir p. 16).

Une faible quantité de ce sel introduit une fois pour toutes dans la chaudière, suffit donc théoriquement à la précipitation de tout le bicarbonate de calcium ; en pratique, il convient de la renouveler de temps à autre.

Pour ce qui est du sulfate de calcium, les quantités de réactifs (soude ou carbonate de soude) nécessaires à sa précipitation, doivent être ajoutées à l'eau d'alimentation suivant la quantité de ce sel que celle-ci contient et dans les proportions indiquées pour l'épuration.

Tanin et tannates alcalins. — Ces produits donnent lieu à des réactions complexes et à des transformations mal définies, en raison du grand nombre des variétés de tanin et des conditions particulières de température et de pression dans lesquelles on se trouve.

Lorsqu'on se sert de tanin ordinaire ou acide digallique provenant de la noix de Galles, combinée à un alcali, il y a, sous l'influence de l'eau, une hydratation qui se produit et, par suite, une transformation en acide gallique :



Cet acide gallique subit à son tour, par l'action

de l'ébullition prolongée, un dédoublement en acide carbonique et en acide pyrogallique



On obtient alors avec les sels calciques contenus dans l'eau des combinaisons de digallate, gallate et pyrogallate de calcium.

Désincrustants à base de tanin. — Nous allons indiquer le mode de préparation de quelques-uns de ces produits ; quant à la quantité qu'il faut en employer, on opère, pour la déterminer, par tâtonnements ; la quantité employée est convenable, quant au lieu d'incrustations, on n'enlève de la chaudière, par le lavage, que des matières boueuses, au contraire, il y a excès de désincrustant, lorsque des projections ou entraînements d'eau se produisent pendant la marche.

1. *Quebracho.* — Pour préparer le désincrustant à base de quebracho, on peut procéder ainsi :

Sciure de quebracho	2½ kilog.
Soude caustique	12 .

Mettre dans une chaudière de 100 litres de capacité.

Remplir d'eau, et soumettre le tout à l'ébullition pendant 3 heures ; laisser décanter pendant une heure et soutirer le liquide ; remplir de nouveau la chaudière avec de l'eau que l'on verse sur le résidu, faire de nouveau bouillir pendant trois heures et soutirer après repos comme précédemment.

Les liquides ainsi obtenus sont mélangés et on obtient par ce moyen 180 litres environ d'un liquide désincrustant qui, après refroidissement, doit marquer 11 à 12° Baumé. Ce mode de préparation est celui qui est suivi par la Compagnie des Chemins de fer de l'Ouest.

Ce liquide peut être employé à raison de 250 à 500 grammes dans la chaudière après chaque lavage et de 100 à 200 grammes par mètre cube dans l'eau d'alimentation.

A la Compagnie du Chemin de fer du Midi, on emploie un extrait de quebracho dans la proportion de 0,175 gramme de tannin pour 1 gramme de chaux ou de magnésie combinées contenues dans 1 000 litres d'eau vaporisée.

2. *Campêche*. — Les Chemins de fer de l'État Français font usage d'un liquide ainsi composé :

Copeaux de bois de campêche.	130 kilog.
Carbonate de soude	150

Ces quantités sont bouillies dans 1000 litres d'eau.

La quantité de liquide nécessaire, calculée à raison de 0^{kg},0156 par mètre cube d'eau et par degré hydrométrique, est introduite partie dans la chaudière, partie dans les soutes à eau.

3. *Quebracho et campêche.* — Des résultats satisfaisants peuvent être également obtenus par le liquide suivant :

Carbonate de soude	60 kilog.
Bois de campêche	75
" quebracho	25
Eau.	"

On ajoute la quantité d'eau nécessaire pour que le liquide après ébullition prolongée, décantation et refroidissement, marque 8 à 10° Baumé. Cette addition d'eau peut être faite en une ou plusieurs fois. La préparation se fait dans une cuve conique en tôle chauffée par un serpentín à vapeur.

La Compagnie des chemins de fer d'Orléans qui fait usage de ce produit, l'emploie à raison de 0^{kg},016 environ par degré hydrométrique et par mètre cube; cette quantité peut être très fortement augmentée sans inconvénient; il convient de la régler par tâtonnements.

4. *Extrait de châtaignier.* — La Compagnie des chemins de fer de l'Est a fait usage, pendant un certain temps, d'un liquide dont la composition est la suivante :

Carbonate de soude	10 kilog.
Extrait de châtaignier	12
Eau	78 litres

L'extrait de châtaignier marque 25° Baumé et contient en moyenne 40 % de matières fixes dans lesquelles le tannin entre pour 30 %.

On versait généralement, chaque jour, 2 litres de cette solution dans le tender ; en outre, on en introduisait directement 4 litres dans la chaudière après chaque lavage, opération qui se fait tous les dix jours environ.

Pour d'autres applications, la quantité de liquide à employer doit être réglée expérimentalement comme nous l'avons indiqué plus haut.

Aluminate de baryte — Nous avons déjà signalé ce produit à propos de l'épuration préalable et nous avons indiqué sur quelles réactions était fondée son action épuratrice ; il convient d'ajouter qu'en raison de son prix assez élevé et de la quantité assez importante qu'exige son emploi dans l'épuration préalable (le poids

atomique du baryum est de 137, alors que celui du calcium est de 40), ce produit est peu employé pour cette opération.

Par contre, son emploi comme désincrustant donne des résultats excellents ; les dépôts nouveaux sont tout à fait pulvérulents et le tartre ancien est complètement désagrégé. Il est d'ailleurs assez difficile d'expliquer ces résultats, mais on peut assurer que les réactions qui se produisent ne sont pas celles qu'indiquent la théorie, car celles-ci exigeraient des quantités de réactifs bien supérieures à celles qui sont employées.

On peut admettre, comme hypothèses, soit que les réactions se produisent entre solides à l'état pulvérulent dans des conditions dont il est difficile de se rendre compte, soit que les produits de la première réaction ultérieurement décomposés par la chaleur donnent alors lieu à une réaction secondaire qui régénère le réactif et que ces réactions se reproduisent ainsi successivement, dans des conditions analogues à celles dans lesquelles le carbonate de sodium agit sur le bicarbonate de calcium.

La solution d'aluminate de baryte à 5° Baumé, préparée de la façon que nous avons indiquée précédemment, doit être employée à

des doses variables selon la composition de l'eau utilisée. La connaissance du degré hydrométrique total et du degré hydrométrique permanent, sont deux éléments suffisants pour déterminer la quantité d'aluminate de baryte à employer pour une eau donnée.

D'une façon générale, l'expérience a montré qu'il faut environ 10 grammes de solution à 5° AB par degré hydrométrique total et par mètre cube d'eau vaporisée. Si l'eau employée contient une proportion notable de sulfate de chaux, c'est-à-dire présente un degré hydrométrique permanent élevé, on peut employer la formule suivante :

$$n = 10 (3/4 A + B)$$

dans laquelle :

n représente la quantité de solution nécessaire exprimée en grammes par mètre cube d'eau vaporisée,

A, le degré hydrométrique total,

B, le degré hydrométrique permanent.

Les quantités de réactifs ainsi déterminées n'ont rien d'absolu, c'est surtout par l'examen des résultats obtenus par l'emploi d'une dose donnée, qu'on peut arriver à déterminer la

quantité de solution qui convient dans chaque cas.

Divers. — Quelques produits agissant par leurs propriétés physiques et chimiques ont été employés comme désincrustants.

Le pétrole injecté dans la chaudière est quelquefois employé pour empêcher l'adhérence des dépôts.

On peut également, pour obtenir le même résultat, recouvrir l'intérieur de la chaudière, après chaque nettoyage, d'un enduit formé de :

Plombagine.	25 %
Vernis noir minéral.	75

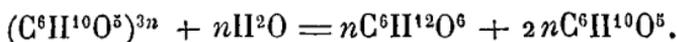
Cet enduit est étendu sur la tôle à l'aide d'un pinceau.

Ce procédé, loin d'avoir les inconvénients que certains auteurs lui reprochent, donne d'assez bons résultats.

Dans quelques régions, on introduit dans la chaudière, après chaque lavage, une certaine quantité de pommes de terre, qui, par leur présence, rendent les dépôts moins adhérents.

La fécule de pommes de terre et toutes les matières amylacées, par suite de leur hydrata-

tion, se transforment en cyanodextrine puis en dextrine



Par le contact avec les sels qui se précipitent, on obtient une substance qui fait glisser les molécules les unes sur les autres et empêche la formation de dépôts compacts.

On peut aussi employer le *talc* dans la proportion de $\frac{1}{10}$ du poids de matières terreuses contenues dans l'eau à désincruster, ce qui revient à peu près à ajouter en grammes le titre hydrotimétrique de cette eau. Ce talc, qu'on a souvent considéré comme un corps inerte, donne certainement lieu à des réactions analogues à celles des silicates alcalins que nous avons déjà examinées.

Observations sur l'emploi des désincrustants. — L'emploi d'un désincrustant, ou même d'une eau pure ou épurée, dans une chaudière déjà recouverte d'incrustations, produit, en général, un léger inconvénient, celui du coulage des joints : ce résultat est causé par la disparition ou la chute des incrustations aux endroits où il se produit; cet inconvénient est

passager, il cesse dès que la chaudière a été bien nettoyée et que les joints ont été remis en état, il est d'ailleurs un excellent indice de la qualité du désincrustant employé.

Il est aussi avantageux parfois de faire usage d'une solution alcaline, avec des eaux ne contenant pas de sels incrustants, mais renfermant seulement des matières organiques; on évite ainsi l'action corrosive que ces eaux produisent quelquefois.

CHAPITRE XI

GRÈLAGE ET CORROSION DES TÔLES DE CHAUDIÈRES

En dehors des inconvénients que nous avons signalés et qui sont dus aux incrustations, les chaudières sont encore soumises à d'autres causes de destruction ou tout au moins d'avaries plus ou moins graves, ce sont le grèlage et les corrosions.

Ces termes désignent deux formes différentes de l'altération chimique du métal, oxydation ou formation d'un sel, qui diminue l'épaisseur de celui-ci et compromet sa résistance ; on appelle cette altération *grèlage* quand elle affecte une forme pustulaire et *corrosion* quand elle présente une forme irrégulière plus ou moins étendue.

Les causes de ces altérations sont diverses ;

elles agissent, en général, simultanément, voici les principales :

1° *Présence dans l'eau d'acides et de certains sels* (tels que le chlorure de magnésium, lequel se décompose aux températures élevées avec formation d'acide chlorhydrique libre).

Le grêlage dû à cette cause s'observe le plus fréquemment dans les chaudières exemptes d'incrustations et, ainsi que nous l'avons indiqué plus haut, une légère couche d'incrustation peut, dans une certaine mesure, protéger le métal contre cette cause de corrosion.

2° *Présence dans l'eau d'air et autres gaz en dissolution* (par exemple, l'acide carbonique).

— Les corrosions dues à cette cause se rencontrent particulièrement dans la partie de la chaudière où s'opère la décharge du tuyau d'alimentation; en effet, les gaz qui sont chassés par l'ébullition ne peuvent agir que pendant un court espace de temps et, par suite, dans cette région. Lorsque l'on observe dans celle-ci des corrosions importantes, elles doivent être, sans aucun doute, attribuées à la présence dans l'eau d'alimentation de gaz dissous.

3° *Action galvanique*. — Cette action peut se produire de différentes manières, mais il est probable qu'elle résulte presque toujours de la

présence de quelque substance étrangère électro-négative par rapport au fer dans lequel elle est incrustée ; le fer, formant pôle positif de cet élément, produit une oxydation autour de cette substance, ce qui détermine une corrosion. Lorsque celle-ci est commencée, elle s'accroît par suite de l'action galvanique qui s'exerce entre ce métal et son oxyde.

Il peut également se faire que, dans certaines circonstances, il se produise une action galvanique entre les métaux différents qui composent les diverses parties de la chaudière et qu'il en résulte des corrosions plus ou moins importantes en certains endroits de celle-ci.

4° *Altérations locales du métal* (provenant des opérations telles que l'emboutissage, le poinçonnage, etc., ainsi que des efforts mécaniques qui s'exercent pendant le fonctionnement de la chaudière).

Cette cause est purement chimique, la déformation du métal de la chaudière produisant à la surface de celle-ci, légèrement oxydée par le laminage et le recuit, de fines gerçures qui favorisent l'action chimique des autres agents destructeurs.

5° *Érosions produites par le frottement des tringles de nettoyage et par le choc des outils*

de piquage. — Cette cause agit de la même façon que la précédente.

6° *Présence de graisses ou d'huiles (animales ou végétales).* — Cette cause ne se présente que dans les chaudières alimentées avec les eaux de condensation ou tout au moins des eaux réchauffées par la vapeur d'échappement.

Lorsque celles-ci sont incomplètement dégraissées, les matières grasses (animales ou végétales) qu'elles contiennent sont décomposées par l'action de la vapeur en glycérine et acides gras libres qui attaquent le fer auquel ils se combinent pour donner des savons ferrugineux.

Les huiles et graisses minérales ne se décomposant pas de cette façon, cette action n'est donc pas à craindre lorsque les machines sont exclusivement graissées avec des produits d'origine minérale.

7° *Action du fer sur l'eau aux températures élevées.* — Au-dessus de 100°, le fer décompose l'eau en son élément hydrogène et oxygène, celui-ci produisant l'oxydation de la tôle de la chaudière. Cette action, comme les autres actions chimiques, est favorisée par les altérations physiques du métal et la nature plus ou moins poreuse ou rugueuse de sa surface.

Il paraît difficile de porter remède, d'une façon absolument efficace, à cette affection des chaudières ; on a proposé, pour y arriver, divers moyens qui atténuent cependant, dans une certaine mesure, les inconvénients que nous venons de signaler. Tel est l'emploi momentané d'une eau légèrement incrustante, pour former à la surface intérieure de la chaudière une mince couche calcaire qui la préserve des corrosions.

L'usage de l'enduit à la plombagine et au vernis minéral que nous avons indiqué parmi les désincrustants, peut produire un résultat analogue.

On peut aussi, lorsque les corrosions sont constatées lors du nettoyage d'une chaudière, nettoyer avec soin les piqûres, de façon à enlever toute trace d'oxyde, et enduire d'huile minérale tous les endroits attaqués.

Enfin on a fait usage du zinc aussi bien contre les incrustations que contre les corrosions. Ce métal est électro-positif par rapport au fer, le couple voltaïque formé par les deux métaux provoque la décomposition de l'eau et l'hydrogène produit se porte sur le fer en protégeant celui-ci de l'oxydation et en empêchant l'adhérence des incrustations.

Le mode de fixation du bloc ou des feuilles

de zinc est variable, il suffit qu'une connexion métallique soit établie entre le zinc et le fer de la chaudière.

Ce procédé est assez coûteux, aussi son emploi n'a-t-il pas reçu beaucoup d'extension.

NOTA. — Pour terminer cet ouvrage, nous ne croyons pas pouvoir mieux faire que de donner le texte des *Instructions sur le nettoyage des générateurs* établies par l'Association parisienne des propriétaires d'appareils à vapeur, ainsi que celui de l'*Instruction sur le procédé de vidange à froid*, préconisé par cette association.

ANNEXES

ASSOCIATION PARISIENNE DES PROPRIÉTAIRES D'APPAREILS A VAPEUR

Instructions sur le nettoyage de générateurs. — Pour que les visites intérieures donnent complète sécurité, toutes les parties de la chaudière doivent pouvoir être vues.

Pour les installations nouvelles, il est à désirer qu'elles soient établies de façon à permettre l'accès partout, et l'expérience acquise par les visites nous a permis de formuler certaines indications dans ce sens, que nous tenons à la disposition de nos adhérents.

Les carneaux doivent être suffisamment refroidis, et les poussières doivent être complètement enlevées, afin que la circulation des Inspecteurs y soit plus facile ; elles ne doivent pas être refoulées en un point quelconque de la

chaudière, car en s'accumulant, elles peuvent gagner les tôles et les corroder.

Dès l'arrêt de la chaudière, après avoir jeté les feux, on ouvrira complètement le registre ainsi que les portes du foyer et du cendrier et l'on jettera les grilles de manière à laisser passer l'air abondamment. Il ne faut pas, avant le nettoyage, déboucher les portes des carneaux ; lorsque les parties des carneaux qui sont le plus éloignées de la cheminée seront refroidies, on ouvrira les autres pour les refroidir à leur tour.

Si la disposition de la construction permet d'enlever les poussières avant le refroidissement des conduits, on procédera à cet enlèvement qui diminue de beaucoup la masse à refroidir.

Les cendres devront alors être enlevées des carneaux et les tôles bien brossées et grattées à l'intérieur pour les débarrasser complètement des suies qui sont plus ou moins corrosives, surtout dans les derniers parcours des gaz ; dans les endroits inaccessibles, il faut avoir, pour ce travail, des outils spéciaux : cerceaux, cordes, etc.

Lorsque la chaudière sera déjà notablement refroidie, on procédera à la vidange ; puis on

ouvrira les trous d'homme pour laisser circuler l'air à l'intérieur.

Les tôles devront alors être piquées et brossées pour les débarrasser des incrustations dont la présence augmente toujours l'importance des défauts et diminue de plus l'utilisation de la chaudière ; ce piquage doit être fait, plus ou moins fréquemment, suivant la nature des eaux, le type et la marche du générateur et malgré l'application de désincrustant et même de l'épuration préalable ou intérieure.

Pour le piquage, il ne faut employer que des marteaux à angles arrondis. Les rivures doivent être ménagées autant que possible.

L'expérience indique peu à peu l'intervalle nécessaire entre chaque nettoyage intérieur ou extérieur.

Lorsque les dépôts sont boueux, les extractions après repos, chaque matin par exemple, sont très recommandables.

Le nettoyage des chaudières qui entrent en chômage doit être fait aussitôt après l'arrêt.

Instructions pour l'emploi d'un procédé de vidange à froid des générateurs supprimant les incrustations. — Ce procédé n'est applicable qu'aux générateurs dont l'eau

de vidange peut s'écouler naturellement sans pression, tels que les *générateurs non enterrés*, et ceux enterrés dont la vidange se fait dans des égouts. Il faut aussi qu'on puisse arrêter les générateurs une huitaine de jours ; ce qui exige, le plus souvent, un *générateur de rechange*.

Voici quel est le principe du procédé.

Pour supprimer les incrustations, il faut faire en sorte :

1° De refroidir complètement les générateurs avant de les vider ;

2° De balayer ou racler la boue avant qu'elle ne soit durcie et solidifiée sous forme d'incrustation.

On y arrive de la façon suivante :

Pour refroidir entièrement un générateur, il faut le laisser se reposer pendant quelques jours, plus ou moins, selon qu'il est isolé ou en batterie ; une huitaine de jours suffit ordinairement pour un générateur isolé.

Dans les deux cas, on peut hâter le refroidissement, sans vider le générateur, en établissant, par intermittences, un courant d'eau froide ; à cet effet, lorsque le massif est suffisamment refroidi et la pression tombée, on dispose un remplissage à l'eau froide, et on ouvre en même temps les robinets de vidange, de façon à main-

tenir le niveau de l'eau toujours visible dans le tube de verre.

Le générateur étant complètement refroidi, on procède à la vidange. Il convient de la fractionner de façon que, pour chaque corps vide, *le nettoyage intérieur soit terminé dans un délai de moins d'une demi-heure après la fin de la vidange.*

Pour chaque corps, il faut, aussitôt que possible, ramener les boues à l'aide de longs râbles vers les orifices de vidange ; dès qu'un corps est vide, il faut y pénétrer avec des racloirs à main et enlever les dépôts humides restant sur les tôles. S'il s'agit de corps tubulaires, il faut, dès qu'on le peut, laver les tubes à la lance, ainsi que les tôles, par-dessus et par-dessous ; puis, lorsque le corps est vide, achever le grattage des tubes avec des lanières garnies de laines d'acier, et compléter le grattage des tôles avec des racloirs à bras ou à main. On vide ainsi successivement et isolément chaque corps ou bouilleur distinct, en le nettoyant aussitôt. Le succès du nettoyage dépend de la rapidité de l'opération ; *si les dépôts humides ont le temps de sécher, ils deviennent et restent adhérents.*

Si ce procédé est bien appliqué, non seulement les nouvelles incrustations ne se forment pas,

150 VIDANGE A FROID DES GÉNÉRATEURS

mais les anciennes incrustations deviennent friables, s'enlèvent avec assez de facilité et s'éliminent peu à peu dans les boues de vidange.

TABEAU I
INCRUSTATIONS ET EAUX QUI LES PRODUISENT

Désignation	Analyse de diverses eaux en grammes par litre			
Silice	0,0114	0,0068	0,0086	0,0084
Alumine	0	0	0,0015	0,0022
Chaux	0,1556	0,0805	0,0940	0,0845
Magnésie	0,0180	0,0022	0,0099	0,0081
Acide sulfurique combiné	0,0462	0,0076	0,0174	0,0205
Acide carbonique combiné	0,1133	0,0550	0,0869	0,0638
Chlorure de sodium	0,0250	0,0168	0,0560	0,0336
Rendu salin	0,3795	0,1689	0,3074	0,2382
Matières organiques	0,0440	0,0232	0,0331	0,0297
Résidu total séché à 110°.	0,4235	0,1921	0,3405	0,2679
Degré hydrotimétrique	35°	25°	27°,5	19°
Analyses des incrustations en pour cent				
Eau	1,12	0,54	0,64	0,88
Silice	16,36	10,78	(11,25)	8,14
Oxyde de fer et alumine.	3,40	6,95	1,85	1,30
Chaux	30,20	36,15	39,72	40,96
Magnésie	7,02	1,93	7,42	6,62
Acide sulfurique combiné	10,54	1,73	1,09	4,93
Acide carbonique combiné	24,86	13,11	32,56	27,50
Cuivre	0,32	1,08	0,02	0,12
Pertes au feu	2,52	1,43	3,15	7,02
Divers	3,66	0,25	2,30	2,53
Nature des incrustations.	Lamelles grises dures peu adhérentes	Dépôts boueux	Dépôts assez durs	Dépôts sans adhérence boueux

TABLEAU II
POIDS ATOMIQUES ET ÉQUIVALENTS
DES DIFFÉRENTS CORPS CITÉS DANS CET OUVRAGE

Désignation des corps	Formules	Poids atomiques	Équivalents
Acide sulfurique	SO^4H^2	98	98
Acide carbonique	CO^2	44	44
Potasse caustique	KOH	56	56
Sulfate de potassium	SO^4K^2	174	174
Carbonate de potassium	CO^3K^2	138	138
Soude caustique	NaOH	40	40
Sulfate de sodium	SO^4Na^2	142	142
Carbonate de sodium	CO^3Na^2	106	106
Baryte	BaO	153	76,5
Baryte hydratée	$\text{Ba}(\text{OH})^2$	171	85,5
Chaux vive	CaO	56	28
Chaux éteinte (hydratée)	$\text{Ca}(\text{OH})^2$	74	37
Sulfate de calcium	SO^4Ca	136	68
Carbonate de calcium	CO^3Ca	100	50
Bicarbonate de calcium	$(\text{CO}^3\text{H}^2)\text{Ca}$	178	89
Alumine	Al^2O^3	102	51
Aluminate de baryum	$\text{Al}^2\text{O}^3\text{Ba}$	255	127,5
Aluminate de calcium	$\text{Al}^2\text{O}^3\text{Ca}$	158	79
Magnésie	MgO	40	20
Magnésie hydratée	$\text{Mg}(\text{OH})^2$	58	29
Sulfate de magnésium	SO^4Mg	120	60
Carbonate de magnésium	CO^3Mg	84	42
Bicarbonate de magnésium	$(\text{CO}^3\text{H}^2)\text{Mg}$	146	73

BIBLIOGRAPHIE (1)

- BOUTRON et F. BOUDET. — *Hydrotimétrie*. 4^e éd. Masson, éditeur, Paris, 1866.
- Encyclopédie chimique de Frémy*. t. IV. Analyse chimique.
- L. TROOST. — *Traité élémentaire de chimie*. 9^e éd. Masson. Paris, 1886.
- E. DERENNES. — *Étude sur l'évaporation des eaux*. Imprimerie Chaix, Paris, 1898.
- LÉO VIGNON et MEUNIER. — *Analyse de l'eau pour l'épuration chimique*. Comptes-rendus de l'Académie des Sciences. Séance du 13 Mars 1899.
- J. A. F. ASPINALL. — *Épuration des eaux d'alimentation des locomotives et désincrustants*. Congrès International des Chemins de fer. 6^e session. Paris, 1900. Question XV. P. Weissenbruch, éditeur à Bruxelles.
- CANGENAT et DERENNES. — *Épuration préalable des eaux d'alimentation des locomotives au Chemin de fer du Nord*. Bulletin des Ingénieurs civils. Octobre 1890.
-

(1) Nous indiquons dans cette bibliographie les noms des ouvrages que nous avons consultés pour la rédaction du présent volume.

ASSELIN. — *Épuration préalable des eaux industrielles par l'emploi de l'aluminate de baryte*. Bulletin de la Société des Ingénieurs civils. Mai 1895.

BOYER-GUILLON. — *Étude sur la solubilité du sulfate de chaux. Introduction par HIRSCH*. Revue de Mécanique, 31 Janvier 1901.

D. SIDERSKI. — *Observations relatives à l'épuration chimique des eaux d'alimentation des chaudières à vapeur*. Génie Civil, t. XXIII. Année 1893.

H. DE LA COUX. — *Étude chimique sur la désincrustation des eaux d'alimentation des générateurs à vapeur*. Génie civil, t. XXVIII. Années 1895-1896.

— *Procédé de vidange à froid supprimant les incrustations dans les générateurs à vapeur*. Génie civil, t. XXXII. Années 1897-1898.

— *Eaux corrosives et incrusto-corrosives dans les générateurs à vapeur*. Génie civil, t. XXXVI. Années 1899-1900.

BERNARD. — *Considérations pratiques sur l'épuration des eaux des générateurs*. Génie civil, t. XXXVII, 19 janvier 1901.

Épuration des eaux industrielles, procédés et appareils DESRUMEAUX. Revue industrielle n° 23, 6 Juin 1891.

Épuration industrielle des eaux, système HOWATSON. Revue industrielle n° 42, 19 Octobre 1885.

Épurateur-réchauffeur des eaux d'alimentation, système DELHOTEL. Revue industrielle n° 41, 9 Octobre 1897.

Épurateur-réchauffeur de M. BURON. Revue industrielle, 20 Avril 1899.

Épurateur-réchauffeur des eaux d'alimentation de chaudières, système CHEVALET, Revue industrielle, 10 Juin 1899.

purateur-réchauffeur de l'eau d'alimentation des chaudières, système GRANDDEMANGE. Revue industrielle n° 19, 9 Décembre 1899.

purateur WOLLASTON. The Engineer. Vol. XCIII, n° 2407, 14 Février 1902.

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
PRÉLIMINAIRES	5
CHAPITRE PREMIER	
Composition des eaux d'alimentation	9
CHAPITRE II	
Étude des réactions servant de base à l'épuration chimique.	13
CHAPITRE III	
Analyse des eaux et détermination des éléments d'épuration	23
CHAPITRE IV	
Réactifs employés pour l'épuration	63
CHAPITRE V	
Appareils d'épuration chimique à fonctionnement intermittent.	69

	Pages
CHAPITRE VI	
Appareils d'épuration à fonctionnement continu non automatique	79
CHAPITRE VII	
Appareils d'épuration à fonctionnement continu automatique.	83
CHAPITRE VIII	
Procédés d'épuration physique	105
CHAPITRE IX	
Épuration mixte	119
CHAPITRE X	
Désincrustants.	125
CHAPITRE XI	
Grélage et corrosion des tôles de chaudières. . .	139
ANNEXES.	145

Saint-Amànd (Cher). — Imprimerie BUSSIÈRE.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

55, QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS, A PARIS (6°).

Envoi franco contre mandat-poste ou valeur sur Paris.

TRAITÉ DE MÉCANIQUE RATIONNELLE

Par **Paul APPELL**,

Membre de l'Institut.

TOME I. — *Statique. Dynamique du point*, avec 178 figures; 2^e édition entièrement refondue: 1902..... **18 fr.**

TOME II. — *Dynamique des systèmes. Mécanique analytique*, avec figures. (Sous presse.)

TOME III. — *Equilibre et mouvement des milieux continus*, avec 70 figures; 1903..... **17 fr.**

LEÇONS

DE

MÉCANIQUE ÉLÉMENTAIRE

A L'USAGE DES ÉLÈVES DES CLASSES DE PREMIÈRE

(LATIN-SCIENCES OU SCIENCES-LANGUES VIVANTES)

Conformément aux programmes du 31 mai 1902.

PAR

P. APPELL,

Membre de l'Institut,

Professeur à la Faculté des Sciences.

J. CHAPPUIS,

Docteur ès Sciences,

Professeur à l'École Centrale.

Volume in-18 jésus avec figures; 1902..... **2 fr. 75 c.**

COURS DE MÉCANIQUE

A L'USAGE DES CANDIDATS

A L'ÉCOLE CENTRALE DES ARTS ET MANUFACTURES,

Par **P. APPELL**,

Membre de l'Institut, Professeur à l'École Centrale,

Professeur à la Faculté des Sciences de Paris.

Un volume in-8 de 272 pages, avec 143 figures; 1902.. **7 fr. 50 c.**

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

LEÇONS SUR L'ÉLECTRICITÉ

PROFESSÉES A L'INSTITUT ÉLECTROTECHNIQUE MONTEFIORE
annexé à l'Université de Liège,

Par **Eric GÉRARD**,
Directeur de cet Institut.

6^e ÉDITION, DEUX VOLUMES GRAND IN-8, SE VENDANT SÉPARÉMENT.

TOME I : *Théorie de l'Électricité et du Magnétisme. Électrométrie. Théorie et construction des générateurs et des transformateurs électriques*; avec 388 figures; 1900..... 12 fr.

TOME II : *Canalisation et distribution de l'énergie électrique. Applications de l'Électricité à la téléphonie, à la télégraphie, à la production et à la transmission de la puissance motrice, à la traction, à l'éclairage, à la métallurgie et à la chimie industrielle*; avec 387 figures; 1900..... 12 fr.

TRACTION ÉLECTRIQUE,

Par **Eric GÉRARD**.

(Extrait des *Leçons sur l'Électricité* du même Auteur.)

Volume grand in-8 de vi-136 pages, avec 92 figures; 1900..... 3 fr. 50 c.

MESURES ÉLECTRIQUES,

Par **Eric GÉRARD**.

2^e édition, gr. in-8 de 532 p., avec 217 fig.; 1901. Cartonné toile anglaise.... 12 fr.

LE FROMENT ET SA MOUTURE

TRAITÉ DE MEUNERIE D'APRÈS UN MANUSCRIT INACHÈVÉ

De **Aimé GIRARD**,

Membre de l'Institut,

Professeur au Conservatoire des Arts et Métiers et à l'Institut national agronomique,

Par **L. LINDET**,

Docteur ès Sciences, Professeur à l'Institut national agronomique.

Un beau volume grand in-8, avec 85 figures et 3 planches; 1903..... 12 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

COURS D'ANALYSE

PROFESSÉ A L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE

Par G. HUMBERT,

Membre de l'Institut, Professeur à l'École Polytechnique.

TOME I : *Calcul différentiel. Principes du calcul intégral. Applications géométriques.* Avec 111 figures; 1903. 16 fr.
TOME II. (Sous presse.)

COURS D'ANALYSE INFINITÉSIMALE

Par Ch.-J. de la VALLÉE-POUSSIN,

Professeur à l'Université de Louvain.

Un volume grand in-8 de xiv-372 pages; 1903. 12 fr.

LEÇONS

SUR LA THÉORIE DES FONCTIONS

Par Émile BOREL,

Maître de Conférences à l'École Normale supérieure.

Exposé de la théorie des ensembles et applications; 1898. 3 fr. 50 c.
Leçons sur les fonctions entières; 1900 3 fr. 50 c.
Leçons sur les séries divergentes; 1901 4 fr. 50 c.
Leçons sur les séries à termes positifs; 1902 3 fr. 50 c.
Leçons sur les fonctions méromorphes; 1903 3 fr. 50 c.
Leçons sur les séries de polynomes. (Sous presse.)

COURS D'ANALYSE MATHÉMATIQUE

Par E. GOURSAT,

Professeur à la Faculté des Sciences de Paris.

TOME I : *Dérivées et différentielles. Intégrales définies. Développement en séries. Applications géométriques.* Grand in-8; 1902. 20 fr.
TOME II : (Sous presse.)

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

ÉLÉMENTS DE LA THÉORIE

DES

FONCTIONS ELLIPTIQUES

PAR

Jules TANNERY et Jules MOLK.

TOME I : Introduction. Calcul différentiel (I ^e Partie); 1893.....	7 fr. 50 c.
TOME II : Calcul différentiel (II ^e Partie); 1896.....	9 fr. »
TOME III : Calcul intégral (I ^e Partie); 1898.....	8 fr. 50 c.
TOME IV : Calcul intégral (II ^e Partie) et Applications; 1902.....	9 fr. »

LEÇONS SUR LA THÉORIE DES GAZ

Par L. BOLTZMANN,

Professeur à l'Université de Leipzig,

TRADUITES PAR A. GALLOTTI, ancien Élève de l'École Normale;

AVEC UNE *Introduction* ET DES *Notes*

PAR M. BRILLOUIN, Professeur au Collège de France.

1^{re} PARTIE. GRAND IN-8 DE XIX-204 PAGES AVEC FIGURES; 1902. 8 fr.

NOTIONS FONDAMENTALES

DE

CHIMIE ORGANIQUE,

Par Ch. MOUREU,

Professeur agrégé à l'École supérieure de Pharmacie de l'Université de Paris.

UN VOLUME IN-8 DE VI-292 PAGES; 1902.

BROCHÉ 7 FR. 50 C. | CARTONNÉ 8 FR. 50 C.

LA TRACTION ÉLECTRIQUE

PAR CONTACTS SUPERFICIELS DU SYSTÈME DIATTO,

Par Ch. JULIUS, Ingénieur.

GRAND IN-8 DE 66 P., AVEC 12 FIG. OU PLANCHES; 1902. 2 FR. 75 C.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

TRAVAUX

DU

CONGRÈS DE PHYSIQUE

RÉUNI A PARIS EN 1900, SOUS LES AUSPICES DE LA SOCIÉTÉ
FRANÇAISE DE PHYSIQUE,

Rassemblés et publiés par

Ch.-Éd. GUILLAUME et L. POINCARÉ,

Secrétaires généraux du Congrès.

QUATRE VOLUMES GRAND IN-8, AVEC FIGURES.

TOMES I, II et III. *Rapports présentés au Congrès.* 3 volumes se vendant
ensemble..... 50 fr.

On vend séparément :

TOME I : *Questions générales. Métrologie. Physique mécanique. Phy-
sique moléculaire*..... 18 fr.

TOME II : *Optique. Électricité. Magnétisme*..... 18 fr.

TOME III : *Électro-optique et ionisation. Applications. Physique cos-
mique. Physique biologique*..... 18 fr.

TOME IV : *Procès-verbaux. Annexes. Liste des membres; 1901*..... 6 fr.

ABRÉGÉ

DES

INSTRUCTIONS MÉTÉOROLOGIQUES

Par Alfred ANGOT,

Météorologiste titulaire au Bureau central météorologique,
Professeur à l'Institut national agronomique.

Brochure in-8 de VIII-44 pages avec figures; 1902.... 1 fr. 50 c.

TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE

DE

MÉTÉOROLOGIE

Par Alfred ANGOT,

Météorologiste titulaire au Bureau Central météorologique,
Professeur à l'Institut national agronomique et à l'École supérieure
de Marine.

UN VOLUME GRAND IN-8, AVEC 103 FIG. ET 4 PL.; 1899. 12 FR.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

LEÇONS SUR LA THÉORIE DES FORMES

ET LA GÉOMÉTRIE ANALYTIQUE SUPÉRIEURE,

à l'usage des Étudiants des Facultés des Sciences,

Par **H. ANDOYER**,

Maitre de Conférences à l'École Normale supérieure.

DEUX BEAUX VOLUMES GRAND IN-8, SE VENDANT SÉPARÉMENT :

TOME I : Volume de vi-508 pages; 1900..... 15 fr.
TOME II..... (En préparation.)

COURS D'ÉLECTRICITÉ

Par **H. PELLAT**,

Professeur à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris.

3 volumes grand in-8, se vendant séparément :

TOME I : *Électrostatique. Loi d'Ohm. Thermo-électricité*, avec 145 figures;
1901..... 10 fr.

TOME II : (*Sous presse.*) — TOME III : (*En préparation.*)

ESSAI SUR LES

FONDEMENTS DE LA GÉOMÉTRIE

Par **B.-A.-W. RUSSELL**,

Traduction par **C. CADENAT**, revue et annotée par l'Auteur
et par **Louis COUTURAT**.

Grand in-8, avec 11 figures; 1901..... 9 fr.

GUIDE PRATIQUE

POUR LES

CALCULS DE RÉSISTANCE

DES

CHAUDIÈRES A VAPEUR ET L'ESSAI DES MATÉRIAUX EMPLOYÉS,

Publié par l'Union Internationale des Associations de surveillance d'Appareils à vapeur,

TRADUIT SUR LA 7^e ÉDITION ALLEMANDE,

Par **G. HUIN**, Ancien Élève de l'École Polytechnique, Capitaine d'Artillerie,

E. MAIRE, Ingénieur E. C. P., Directeur de l'Association des
Propriétaires d'appareils à vapeur du Nord-Est,

Avec la collaboration de **H. WALTHER MEUNIER**, Ingénieur E. C. P.,
Ingénieur en chef de l'Association alsacienne des Propriétaires d'appareils à vapeur;

Un volume in-12 raisin avec 10 figures; 1901..... 2 fr. 75 c.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

COURS DE PHYSIQUE MATHÉMATIQUE DE LA FACULTÉ DES SCIENCES.

THÉORIE ANALYTIQUE DE LA CHALEUR

MISE EN HARMONIE AVEC LA THERMODYNAMIQUE
ET AVEC LA THÉORIE MÉCANIQUE DE LA LUMIÈRE.

Par **J. BOUSSINESQ**,

Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris.

Deux volumes grand in-8 se vendant séparément :

TOME I : *Problèmes généraux*. Vol. de xxvii-333 p.; av. 14 fig.; 1901. **10 fr.**

TOME II : *Échauffement par contact et échauffement par rayonnement. Conductibilité des aiguilles, lames et masses cristallines. Courants de convection. Théorie mécanique de la lumière* (Sous presse.)

LES CARBURES D'HYDROGÈNE (1851-1901)

RECHERCHES EXPÉRIMENTALES

Par **M. BERTHELOT**,

Sénateur, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences.

3 volumes grand in-8, se vendant ensemble..... **45 fr.**

TOME I : *L'Acétylène : synthèse totale des carbures d'hydrogène*. Volume de x-414 pages. — TOME II : *Les Carbures pyrogénés. Séries diverses*. Volume de iv-558 pages. — TOME III : *Combinaison des carbures d'hydrogène avec l'hydrogène, l'oxygène, les éléments de l'eau*. Vol. de iv-459 pages.

COMPTE RENDU DU

Deuxième Congrès international des Mathématiciens

TENU A PARIS DU 6 AU 12 AOUT 1900.

PROCÈS-VERBAUX ET COMMUNICATIONS

PUBLIÉS PAR

E. DUPORCQ,

Ingénieur des Télégraphes, Secrétaire général du Congrès.

UN BEAU VOLUME GRAND IN-8 DE 456 P., AVEC FIGURES; 1902. **16 FR.**

L'ANNÉE TECHNIQUE (1901-1902)

TRAMWAYS. CYCLES. TRAVAUX PUBLICS. CONSTRUCTIONS MARITIMES
ET NAVALES. ARMEMENTS. NAVIGATION AÉRIENNE,

Par **A. DA CUNHA**, Ingénieur des Arts et Manufactures;

Avec Préface de **M. Émile Trélat**, Directeur de l'École spéciale d'Architecture.

UN BEAU VOL. GR. IN-8 DE VIII-271 P. AVEC 114 FIG.; 1902. **3 FR. 50 C.**

L'année 1900-1901 est en vente au même prix.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

COURS DE PHYSIQUE

DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,

Par J. JAMIN et E. BOUTY.

Quatre tomes in-8, de plus de 4000 pages, avec 1587 figures et 14 planches; 1885-1891. (OUVRAGE COMPLET)..... 72 fr.

TOME I. — 9 fr.

- 1^{er} fascicule. — *Instruments de mesurè. Hydrostatique*; avec 150 figures et 1 planche..... 5 fr.
2^e fascicule. — *Physique moléculaire*; avec 93 figures..... 4 fr.

TOME II. — CHALEUR. — 15 fr.

- 1^{er} fascicule. — *Thermométrie, Dilatations*; avec 98 figures. 5 fr.
2^e fascicule. — *Calorimétrie*; avec 48 fig. et 2 planches..... 5 fr.
3^e fascicule. — *Thermodynamique. Propagation de la chaleur*; avec 47 figures..... 5 fr.

TOME III. — ACOUSTIQUE; OPTIQUE. — 22 fr.

- 1^{er} fascicule. — *Acoustique*; avec 123 figures..... 4 fr.
2^e fascicule. — *Optique géométrique*; 139 fig. et 3 planches. 4 fr.
3^e fascicule. — *Etude des radiations lumineuses, chimiques et calorifiques; Optique physique*; avec 249 fig. et 5 planches, dont 2 planches de spectres en couleur..... 14 fr.

TOME IV (1^{re} Partie). — ÉLECTRICITÉ STATIQUE ET DYNAMIQUE. — 13 fr.

- 1^{er} fascicule. — *Gravitation universelle. Électricité statique*; avec 155 figures et 1 planche..... 7 fr.
2^e fascicule. — *La pile. Phénomènes électrothermiques et électrochimiques*; avec 161 figures et 1 planche..... 6 fr.

TOME IV (2^e Partie). — MAGNÉTISME; APPLICATIONS. — 13 fr.

- 3^e fascicule. — *Les aimants. Magnétisme. Électromagnétisme. Induction*; avec 240 figures..... 8 fr.
4^e fascicule. — *Météorologie électrique; applications de l'électricité. Théories générales*; avec 84 figures et 1 planche..... 5 fr.

TABLES GÉNÉRALES des quatre volumes. In-8; 1891..... 60 c.

Des suppléments destinés à exposer les progrès accomplis viennent compléter ce grand *Traité* et le maintenir au courant des derniers travaux.

1^{er} SUPPLÉMENT. — *Chaleur. Acoustique. Optique*, par E. BOUTY, Professeur à la Faculté des Sciences. In-8, avec 41 fig.; 1896. 3 fr. 50 c.

2^e SUPPLÉMENT. — *Électricité. Ondes hertziennes. Rayons X*; par E. BOUTY. In-8, avec 48 figures et 2 planches; 1899. 3 fr. 50 c.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

ENCYCLOPÉDIE DES TRAVAUX PUBLICS ET ENCYCLOPÉDIE INDUSTRIELLE.

TRAITÉ DES MACHINES A VAPEUR

CONFORME AU PROGRAMME DU COURS DE L'ÉCOLE CENTRALE (E. I.)

Par **ALHEILIG** et **C. ROCHE**, Ingénieurs de la Marine.

TOME I (412 fig.); 1895 20 fr. | TOME II (281 fig.); 1895..... 18 fr.

CHEMINS DE FER

MATÉRIEL ROULANT. RÉSISTANCE DES TRAINS. TRACTION.

PAR

E. DEHARME,

A. PULIN,

Ing^r principal à la Compagnie du Midi.

Ing^r Insp^r p^{al} aux chemins de fer du Nord.

Un volume grand in-8, xxii-441 pages, 95 figures, 1 planche; 1895 (E. I.). 15 fr.

CHEMINS DE FER.

ÉTUDE DE LA LOCOMOTIVE. — LA CHAUDIÈRE.

PAR

E. DEHARME.

A. PULIN.

Un volume grand in-8 de vi-608 p. avec 131 fig. et 2 pl.; 1900 (E. I.). 15 fr.

CHEMINS DE FER D'INTÉRÊT LOCAL TRAMWAYS

Par **Pierre GUÉDON**, Ingénieur.

Un beau volume grand in-8, de 393 pages et 141 figures (E. I.); 1901..... 11 fr.

LA BETTERAVE AGRICOLE ET INDUSTRIELLE

Par **L. GESCHWIND** et **E. SELLIÉ**, Chimistes.

Grand in-8 de iv-638 pages avec 130 figures; 1902 (E. I.)..... 20 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

INDUSTRIES DU SULFATE D'ALUMINIUM, DES ALUNS ET DES SULFATES DE FER,

Par Lucien GESCHWIND, Ingénieur-Chimiste.

Un volume grand in-8, de VIII-364 pages, avec 195 figures; 1899 (E. I.). 10 fr.

COURS DE CHEMINS DE FER

PROFESSÉ A L'ÉCOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSÉES,

Par C. BRICKA,

Ingénieur en chef de la voie et des bâtiments aux Chemins de fer de l'État.

DEUX VOLUMES GRAND IN-8; 1894 (E. T. P.)

TOME I : avec 326 fig.; 1894.. 20 fr. | TOME II : avec 177 fig.; 1894.. 20 fr.

COUVERTURE DES ÉDIFICES

ARDOISES, TUILES, MÉTAUX, MATIÈRES DIVERSES,

Par J. DENFER,

Architecte, Professeur à l'École Centrale.

UN VOLUME GRAND IN-8, AVEC 429 FIG.; 1893 (E. T. P).. 20 FR.

CHARPENTERIE MÉTALLIQUE

MENUISERIE EN FER ET SERRURERIE,

Par J. DENFER,

Architecte, Professeur à l'École Centrale.

DEUX VOLUMES GRAND IN-8; 1894 (E. T. P.).

TOME I : avec 479 fig.; 1894.. 20 fr. | TOME II : avec 571 fig.; 1894.. 20 fr.

ÉLÉMENTS ET ORGANES DES MACHINES

Par Al. GOULLY,

Ingénieur des Arts et Manufactures.

GRAND IN-8 DE 406 PAGES, AVEC 710 FIG., 1894 (E. I.). . . . 12 I.S.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

MÉTALLURGIE GÉNÉRALE

PROCÉDÉS DE CHAUFFAGE

Par **U. LE VERRIER**,

Ingénieur en chef des Mines, Professeur au Conservatoire des Arts et Métiers.

Grand in-8, de 367 pages, avec 171 figures; 1902 (E. I.) 12 fr.

VERRE ET VERRERIE

Par **Léon APPERT** et **Jules HENRIVAUX**, Ingénieurs.

Grand in-8 avec 130 figures et 1 atlas de 14 planches; 1894 (E. I.)..... 20 fr.

BLANCHIMENT ET APPRÊTS

TEINTURE ET IMPRESSION

PAR

Ch.-Er. GUIGNET,

Directeur des teintures aux Manufac-
tures nationales
des Gobelins et de Beauvais,

F. DOMMER,

Professeur à l'École de Physique
et de Chimie industrielles
de la Ville de Paris,

E. GRANDMOUGIN,

Chimiste, ancien Préparateur à l'École de Chimie de Mulhouse.

GR. IN-8, AVEC 368 FIG., ET ÉCH. DE TISSUS IMPRIMÉS; 1895 (E. I.). 30 FR.

RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX

Par **Aug. FÖPPL**, Professeur à l'Université technique de Munich.

TRADUIT DE L'ALLEMAND PAR **E. HAIN**, Ing. de l'École Polytechnique de Zurich.

GRAND IN-8, DE 489 PAGES, AVEC 74 FIG.: 1901 (E. I.)... 15 FR.

CONSTRUCTION PRATIQUE des NAVIRES de GUERRE

Par **A. CRONEAU**,

Professeur à l'École d'application du Génie maritime.

TOME I : avec 305 fig. et un Atlas de 11 pl. in-4°; 1894..... 18 fr.

TOME II : avec 59 fig.; 1894..... 15 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

**PONTS SOUS RAILS ET PONTS-ROUTES A TRAVÉES
MÉTALLIQUES INDÉPENDANTES.**

FORMULES, BARÈMES ET TABLEAUX

Par Ernest HENRY,

Inspecteur général des Ponts et Chaussées.

UN VOLUME GRAND IN-8, AVEC 267 FIG. ; 1894 (E. T. P.). 20 FR.

Calculs rapides pour l'établissement des projets de ponts métalliques et pour le contrôle de ces projets, sans emploi des méthodes analytiques ni de la statique graphique (économie de temps et certitude de ne pas commettre d'erreurs).

CHEMINS DE FER.

EXPLOITATION TECHNIQUE

PAR MM.

SCHÖLLER,

Chef adjoint des Services commerciaux
à la Compagnie du Nord.

FLEURQUIN,

Inspecteur des Services commerciaux
à la même Compagnie.

UN VOLUME GRAND IN-8, AVEC FIGURES: 1901 (E. I.)..... 12 FR.

TRAITÉ DES INDUSTRIES CÉRAMIQUES

TERRES CUITES.

PRODUITS RÉFRACTAIRES. FAÏENCES. GRÈS. PORCELAINES.

Par E. BOURRY,

Ingénieur des Arts et Manufactures.

GRAND IN-8, DE 755 PAGES, AVEC 349 FIG. ; 1897 (E. I.). 20 FR.

RÉSUMÉ DU COURS

DE

MACHINES A VAPEUR ET LOCOMOTIVES

PROFESSÉ A L'ÉCOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSÉES,

Par J. HIRSCH,

Inspecteur général honoraire des Ponts et Chaussées,
Professeur au Conservatoire des Arts et Métiers.

2^e édition. Gr. in-8 de 510 p. avec 314 fig. ; 1898 (E. T. P.). 18 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

LE VIN ET L'EAU-DE-VIE DE VIN

Par **Henri DE LAPPARENT**,

Inspecteur général de l'Agriculture.

INFLUENCE DES CÉPAGES, CLIMATS, SOLS; ETC., SUR LE VIN, VINIFICATION, CUVERIE, CHAIS, VIN APRES LE DÉCUVAGE. ÉCONOMIE, LÉGISLATION.

GR. IN-8 DE XII-533 P., AVEC 111 FIG. ET 28 CARTES; 1895 (E. I.) 12 FR.

TRAITÉ DE CHIMIE ORGANIQUE APPLIQUÉE

Par **A. JOANNIS**, Prof^r à la Faculté de Bordeaux,

TOME I: 688 p., avec fig.; 1896. 20 fr. | TOME II: 748 p., avec fig. 1896. 15 fr.

MANUEL DE DROIT ADMINISTRATIF

Par **G. LECHALAS**, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

TOME I; 1889; 20 fr. — TOME II: 1^{re} partie; 1893; 10 fr. 2^e partie; 1898; 10 fr.

MACHINES FRIGORIFIQUES

PRODUCTION ET APPLICATIONS DU FROID ARTIFICIEL,

Par **H. LORENZ**, Professeur à l'Université de Halle.

TRADUIT DE L'ALLEMAND PAR **P. PETIT**, et **J. JAQUET**.

Grand in-8 de IX-186 pages, avec 131 figures; 1898 (E. I.)... 7 fr.

COURS DE CHEMINS DE FER

(ÉCOLE SUPÉRIEURE DES MINES),

Par **E. VICAIRE**, Inspecteur général des Mines,

révisé et terminé par **F. MAISON**, Ingénieur des Mines.

Gr. in-8 de 581 pages avec nombreuses fig.; 1903 (E. I.)... 20 fr.

COURS DE GÉOMÉTRIE DESCRIPTIVE

ET DE GÉOMÉTRIE INFINITÉSIMALE,

Par **Maurice D'OCAGNE**,

Ing^r et Prof^r à l'École des Ponts et Chaussées, Répétiteur à l'École Polytechnique.

GR. IN-8, DE XI-428 P., AVEC 340 FIG.; 1896 (E. T. P.)... 12 FR.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

LES ASSOCIATIONS OUVRIÈRES
ET LES ASSOCIATIONS PATRONALES,

Par P. HUBERT-VALLEROUX, Docteur en Droit.

GRAND IN-8 DE 361 PAGES; 1899 (E. I.)..... 10 FR.

TRAITÉ DES FOURS A GAZ
A CHALEUR RÉGÉNÉRÉE. DÉTERMINATION DE LEURS DIMENSIONS.

Par Friedrich TOLDT, Ingénieur,

TRADUIT DE L'ALLEMAND par F. DOMMER, Ingénieur des Arts
et Manufactures.

Un volume grand in-8 de 392 pages, avec 68 figures; 1900 (E. I.). 11 fr.

BETTERAVE AGRICOLE ET INDUSTRIELLE

Par L. GESCHWIND, Ingénieur chimiste,
et E. SELIER, Chimiste.

ANALYSE INFINITÉSIMALE
A L'USAGE DES INGÉNIEURS,

Par E. ROUCHÉ et L. LÉVY,

TOME I : *Calcul différentiel*. VIII-557 pages, avec 45 figures; 1900..... 15 fr.

TOME II : *Calcul intégral*. 829 pages, avec 50 figures; 1903..... 15 fr.

COURS D'ÉCONOMIE POLITIQUE

PROFESSÉ A L'ÉCOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSÉES,

Par C. COLSON, Conseiller d'État.

TOME I : *Exposé général des Phénomènes économiques. Le travail et les questions ouvrières*. Volume de 600 pages; 1901..... 10 fr.

TOMES II et III..... (Sous presse.)

Envoi franco dans l'Union postale contre mandat-poste ou valeur sur Paris.

BIBLIOTHÈQUE PHOTOGRAPHIQUE

La Bibliothèque photographique se compose de plus de 200 volumes et embrasse l'ensemble de la Photographie considérée au point de vue de la Science, de l'Art et des applications pratiques.

DERNIERS OUVRAGES PARUS :

LES PHOTOTYPES SUR PAPIER AU GÉLATINOBROMURE,

Par F. QUÉNISSET.

In-18 jésus, avec figures et 1 planche spécimen; 1901..... 1 fr. 25 c.

LES AGRANDISSEMENTS,

Par G. GUILLON.

In-18 jésus, avec figures; 1901..... 2 fr. 75 c.

A B C DE LA PHOTOGRAPHIE MODERNE,

Par W.-K. BURTON.

5^e édition. Traduction sur la 12^e édition anglaise, par G. HUBERSON.

In-18 jésus, avec figures; 1901..... 3 fr.

LA PHOTOGRAPHIE AU CHARBON,

Par Paul DARBY.

Brochure in-18 de 36 pages..... 1 fr.

REPRODUCTION DES GRAVURES, DESSINS, PLANS, MANUSCRITS,

Par A. COURRÈGES, Praticien.

In-18 jésus, avec figures; 1900..... 2 fr.

LA PHOTOGRAPHIE. TRAITÉ THÉORIQUE ET PRATIQUE,

Par A. DAVANNE.

2 beaux volumes grand in-8, avec 234 fig. et 4 planches spécimens ... 32 fr.
Chaque volume se vend séparément..... 16 fr.

LES AGRANDISSEMENTS PHOTOGRAPHIQUES,

Par A. COURRÈGES, Praticien.

In-18 jésus, avec 12 figures; 1901..... 2 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS.

TRAITÉ ENCYCLOPÉDIQUE DE PHOTOGRAPHIE,

Par C. FABRE, Docteur ès Sciences.

4 beaux vol. grand in-8, avec 724 figures et 2 planches; 1889-1891... 48 fr.
Chaque volume se vend séparément 14 fr.

Des suppléments destinés à exposer les progrès accomplis viennent compléter ce traité et le maintenir au courant des dernières découvertes.

1^{er} Supplément (A). Un beau vol. gr. in-8 de 400 p. avec 176 fig.; 1892. 14 fr.

2^e Supplément (B). Un beau vol. gr. in-8 de 424 p. avec 221 fig.; 1897. 14 fr.

3^e Supplément (C). Un beau vol. gr. in-8 de 400 pages; 1903..... 14 fr.

Les 7 volumes se vendent ensemble..... 84 fr.

LA PHOTOGRAPHIE D'ART

A L'EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1900,

Par C. KLARY.

Grand in-8 de 88 pages, avec nombreuses illustrations et planches; 1901..... 6 fr. 50 c.

COMMENT ON OBTIENT UN CLICHÉ PHOTOGRAPHIQUE,

Par Marcel MOLINIÉ.

Petit in-8 de 188 pages..... 2 fr.

MANUEL DU PHOTOGRAPHE AMATEUR,

Par F. PANAJOU,

Chef du Service photographique à la Faculté de Médecine de Bordeaux.

3^e ÉDITION COMPLÈTEMENT REFONDUE ET CONSIDÉRABLEMENT AUGMENTÉE.

Petit in-8, avec 63 figures; 1899..... 2 fr. 75 c.

TRAITÉ PRATIQUE DES TIRAGES PHOTOGRAPHIQUES,

Par Ch. SOLLET.

Volume in-16 raisin de vi-240 pages; 1903..... 4 fr.

LA PHOTOGRAPHIE ANIMÉE,

Par E. TRUTAT,

Avec une Préface de M. MAREY.

Un volume grand in-8, avec 146 figures et 1 planche; 1899..... 5 fr.

ESTHÉTIQUE DE LA PHOTOGRAPHIE.

Un volume de grand luxe in-4 raisin, avec 14 planches et 150 figures. 16 fr.

**TRAITÉ PRATIQUE
DE PHOTOGRAVURE EN RELIEF ET EN CREUX,**

Par Léon VIDAL.

In-18 jésus de xiv-445 p. avec 65 figures et 6 planches; 1900..... 6 fr. 50 c.

33024. — Paris, Imp. Gauthier-Villars, 55, quai des Grands-Augustins.

MASSON & C^{ie}, Éditeurs

LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE
120, Boulevard Saint-Germain, Paris (6^e)

P. n^o 320.

~~~~~  
COLLECTION LÉAUTÉ

EXTRAIT DU CATALOGUE (1)

(Février 1903)  
~~~~~

La Pratique Dermatologique

Traité de Dermatologie appliquée

Publié sous la direction de MM.

ERNEST BESNIER, L. BROCCQ, L. JACQUET

Par MM. AUDRY, BALZER, BARBE, BAROZZI, BARTHÉLEMY, BENARD, ERNEST BESNIER
BODIN, BRAULT, BROCCQ, DE BRUN, DU CASTEL, COURTOIS-SUFFIT
J. DARIER, DEHU, DOMINICI, W. DUBREUILH, HUDELÓ, L. JACQUET, JEANSELME
J.-B. LAFFITTE, LENGLET, LEREDDE, MERKLEN, PERRIN
RAYNAUD, RIST, SABOURAUD, MARCEL SÉE, GEORGES THIBIERGE, VEYRIÈRES

4 forts volumes richement cartonnés toile, très largement illustrés de
figures en noir et de planches en couleurs. En souscription jusqu'à la
publication du tome IV 150 fr.

TOME I. 1 fort vol. gr. in-8^o avec 230 fig. en noir et 24 pl. en coul. 36 fr.

Anatomie et Physiologie de la Peau. — Pathologie générale de la Peau. — Symptomatologie générale des Dermatoses. — Acanthosis Nigricans. — Acnés. — Actinomycose. — Adénomes. — Alopecies. — Anesthésie locale. — Balanites. — Bouton d'Orient. — Brûlures. — Charbon. — Classifications dermatologiques. — Dermatitis polymorphes douloureuses. — Dermatophytes. — Dermatozoaires. — Dermites infantiles simples. — Ecthyma.

TOME II. 1 fort vol. gr. in-8^o avec 168 fig. en noir et 21 pl. en coul. 40 fr.

Eczéma. — Electricité. — Eléphantiasis. — Epithélioma. — Eruptions artificielles. — Erythème. — Erythrasma. — Erythrodermes. — Esthiomène. — Favus. — Folliculites. — Furunculose. — Gale. — Gangrène cutanée. — Gerçures. — Greffe. — Hématodermites. — Herpès. — Hydroa vacciniforme. — Ichtyose. — Impétigo. — Kératodermie. — Kératose pileaire. — Langue.

TOME III. 1 fort vol. gr. in-8^o avec 201 fig. en noir et 19 pl. en coul. 40 fr.

Lèpre. — Lichen. — Lupus. — Lymphadénie cutanée. — Lymphangiome. — Madura (pied de). — Mélanodermies. — Milium et pseudo-Milium. — Molluscum contagiosum. — Morve et Farcin. — Mycosis fongoïde. — Nœvi. — Nodosités cutanées. — Œdème. — Ongles. — Maladie de Paget. — Papillomes. — Pelade. — Pellagre. — Pemphigus. — Perleche. — Phtiriase. — Pian. — Pityriasis, etc.

~ Sous presse : TOME IV

(1) La librairie envoie gratuitement et franco de port les catalogues suivants à toutes les personnes qui lui en font la demande. — Catalogue général. — Catalogues de l'Encyclopédie scientifique des Aide-Mémoire : I. Section de l'ingénieur. II. Section du biologiste. — Catalogue des ouvrages d'enseignement.

Traité de Chirurgie

PUBLIÉ SOUS LA DIRECTION DE MM.

Simon DUPLAY

Professeur à la Faculté de médecine
Chirurgien de l'Hôtel-Dieu
Membre de l'Académie de médecine

Paul RECLUS

Professeur agrégé à la Faculté de médecine
Chirurgien des hôpitaux
Membre de l'Académie de médecine

PAR MM.

BERGER, BROCA, PIERRE DELBET, DELENS, DEMOULIN, J.-L. FAURE
FORGUE, GÉRARD MARCHANT, HARTMANN, HEYDENREICH, JALAGUIER
KIRMISSON, LAGRANGE, LEJARS, MICHAUX, NÉLATON, PEYROT
PONCET, QUÉNU, RICARD, RIEFFEL, SEGOND, TUFFIER, WALTHER

Ouvrage complet

DEUXIÈME ÉDITION ENTIÈREMENT REFOUNDUE

8 vol. gr. in-8° avec nombreuses figures dans le texte. 150 fr.

TOME I. — 1 vol. grand in-8° de 912 pages avec 218 figures 18 fr.

RECLUS. — Inflammations, traumatismes, maladies virulentes.
BROCA. — Peau et tissu cellulaire sous-cutané.

QUÉNU. — Des tumeurs.
LEJARS. — Lymphatiques, muscles, synoviales tendineuses et bourses séreuses.

TOME II. — 1 vol. grand in-8° de 996 pages avec 361 figures 18 fr.
LEJARS. — Nerfs.

RICARD et DEMOULIN. — Lésions traumatiques des os.
PONCET. — Affections non traumatiques des os.

MICHAUX. — Artères.

QUÉNU. — Maladies des veines.

TOME III. — 1 vol. grand in-8° de 940 pages avec 285 figures 18 fr.

NÉLATON. — Traumatismes, entorses, luxations, plaies articulaires.

LAGRANGE. — Arthrites infectieuses et inflammatoires.
GÉRARD MARCHANT. — Crâne.
KIRMISSON. — Rachis.
S. DUPLAY. — Oreilles et annexes.

QUÉNU. — Arthropathies, arthrites sèches, corps étrangers articulaires.

TOME IV. — 1 vol. grand in-8° de 896 pages avec 354 figures 18 fr.

DELENS. — L'œil et ses annexes.
GÉRARD MARCHANT. — Nez, fosses

nasales, pharynx nasal et sinus.
HEYDENREICH. — Mâchoires.

TOME V. — 1 vol. grand in-8° de 948 pages avec 187 figures 20 fr.

BROCA. — Face et cou. Lèvres, cavité buccale, gencives, palais, langue, larynx, corps thyroïde.

des salivaires, œsophage et pharynx.
WALTHER. — Maladies du cou.
PEYROT. — Poitrine.

HARTMANN. — Plancher buccal, glandes

PIERRE DELBET. — Mamelle.

TOME VI. — 1 vol. grand in-8° de 1127 pages avec 218 figures 20 fr.

MICHAUX. — Parois de l'abdomen.
BERGER. — Hernies.

HARTMANN. — Estomac.
FAURE et RIEFFEL. — Rectum et anus.

JALAGUIER. — Contusions et plaies de l'abdomen, lésions traumatiques et corps étrangers de l'estomac et de l'intestin. Occlusion intestinale, péritonites, appendicite.

HARTMANN et GOSSET. — Anus contre nature. Fistules stercorales.
QUÉNU. — Mésentère. Rate. Pancréas.
SEGOND. — Foie.

TOME VII. — 1 fort vol. gr. in-8° de 1272 pages, 297 fig. dans le texte 25 fr.

WALTHER. — Bassin.
FORGUE. — Urètre et prostate.
RECLUS. — Organes génitaux de l'homme.

RIEFFEL. — Affections congénitales de la région sacro-coecygienne.
TUFFIER. — Rein. Vessie. Uretrères. Capsules surrénales.

TOME VIII. 1 fort vol. gr. in-8° de 971 pages, 163 fig. dans le texte 20 fr.

MICHAUX. — Vulve et vagin.
PIERRE DELBET. — Maladies de l'utérus.
SEGOND. — Annexes de l'utérus,

ovaires, trompes, ligaments larges, péritoine pelvien.
KIRMISSON. — Maladies des membres.

Traité d'Anatomie Humaine

PUBLIÉ SOUS LA DIRECTION, DE

P. POIRIER

Professeur agrégé
à la Faculté de Médecine de Paris
Chirurgien des Hôpitaux.

A. CHARPY

Professeur d'anatomie
à la Faculté de Médecine
de Toulouse.

AVEC LA COLLABORATION DE MM.

O. Amoëdo — A. Branca — Cannieu — B. Cunéo — G. Delamare
Paul Delbet — P. Fredet — Glantenay — Gosset
P. Jacques — Th. Jonnesco — E. Laguesse — L. Manouvrier — A. Nicolas
P. Nobécourt — O. Pasteau — M. Picou
A. Prenant — H. Rieffel — Ch. Simon — A. Soulié

5 volumes grand in-8°. En souscription : 150 fr.

Chaque volume est illustré de nombreuses figures en noir et en couleurs.

ÉTAT DE LA PUBLICATION (FÉVRIER 1903)

- TOME PREMIER** (Deuxième édition, entièrement refondue). — **Embryologie.** Notions d'embryologie. — **Ostéologie.** Considérations générales, des membres, squelette du tronc, squelette de la tête. — **Arthrologie.** Développement des articulations, structure, articulations des membres, articulations du tronc, articulations de la tête. 1 vol. gr. in-8° avec 807 figures. 20 fr.
- TOME II** (Deuxième édition, entièrement refondue). — 1^{er} Fascicule : **Myologie.** Embryologie, histologie, peauciers et apdnévroses. 1 vol. gr. in-8° avec 331 figures. 12 fr.
- 2^e Fascicule (Deuxième édition, entièrement refondue) : **Angéiologie.** Cœur et Artères. Histologie. 1 vol. gr. in-8° avec 150 figures. 8 fr.
- 3^e Fascicule (Deuxième édition, revue) : **Angéiologie** (Capillaires, Veines). 1 vol. gr. in-8° avec 75 figures. 6 fr.
- 4^e Fascicule : **Les Lymphatiques.** 1 vol. gr. in-8° avec 117 fig. 8 fr.
- TOME III** (Deuxième édition, entièrement refondue). — 1^{er} Fascicule : **Système nerveux.** Méninges, moelle, encéphale, embryologie, histologie. 1 vol. gr. in-8° avec 265 figures. 10 fr.
- 2^e Fascicule (Deuxième édition, entièrement refondue) : **Système nerveux.** Encéphale. 1 vol. grand in-8° avec 131 figures. . . 10 fr.
- 3^e Fascicule : **Système nerveux.** Les nerfs, nerfs craniens, nerfs rachidiens. 1 vol. gr. in-8° avec 203 figures. 12 fr.
- TOME IV.** — 1^{er} Fascicule (Deuxième édition, entièrement refondue) : **Tube digestif.** Développement, bouche, pharynx, œsophage, estomac, intestins. 1 vol. gr. in-8°, avec 203 figures. 12 fr.
- 2^e Fascicule (Deuxième édition, revue) : **Appareil respiratoire.** Larynx, trachée, poumons, plèvre, thyroïde, thymus. 1 vol. gr. in-8°, avec 121 figures. 6 fr.
- 3^e Fascicule : **Annexes du tube digestif.** Dents, glandes salivaires, foie, voies biliaires; pancréas, rate, Péritoïne. 1 vol. gr. in-8° avec 361 fig. en noir et en couleurs. 16 fr.
- TOME V.** — 1^{er} Fascicule : **Organes génito-urinaires.** Reins, uretère, vessie, urètre, prostate, verge, périnée, appareil génital de l'homme, appareil génital de la femme. 1 vol. gr. in-8° avec 431 figures. 20 fr.
- 2^e Fascicule : **Les Organes des Sens** (sous presse).

CHARCOT — BOUCHARD — BRISSAUD

BABINSKI, BALLEF, P. BLOCC, BOIX, BRAULT, CHANTEMESSE, CHARRIN, CHAUFFARD, COURTOIS-SUFFIT, DUTIL, GILBERT, GUIGNARD, L. GUINON, G. GUINON, HALLION, LAMY, LE GENDRE, MARFAN, MARIE, MATHIEU, NETTER, CËTTINGER, ANDRÉ PETIT, RICHARDIÈRE, ROGER, RUAULT, SOUQUES, THIBIERGE, THOINOT, TOLLEMER, FERNAND WIDAL.

Traité de Médecine

DEUXIÈME ÉDITION

PUBLIÉ SOUS LA DIRECTION DE MM.

BOUCHARD

Professeur à la Faculté de médecine de Paris,
Membre de l'Institut.

BRISSAUD

Professeur à la Faculté de médecine de Paris,
Médecin de l'hôpital Saint-Antoine.

10 vol. gr. in-8°, av. fig. dans le texte. *En souscription.* 150 fr.

TOME I^{er}

1 vol. gr. in-8° de 845 pages, avec figures dans le texte. 16 fr.

Les Bactéries, par L. GUIGNARD, membre de l'Institut et de l'Académie de médecine, professeur à l'École de Pharmacie de Paris. — **Pathologie générale infectieuse**, par A. CHARRIN, professeur remplaçant au Collège de France, directeur du laboratoire de médecine expérimentale, médecin des hôpitaux. — **Troubles et maladies de la Nutrition**, par PAUL LE GENDRE, médecin de l'hôpital Tenon. — **Maladies infectieuses communes à l'homme et aux animaux**, par G.-H. ROGER, professeur agrégé, médecin de l'hôpital de la Porte-d'Aubervilliers.

TOME II

1 vol. grand in-8° de 894 pages avec figures dans le texte. 16 fr.

Fièvre typhoïde, par A. CHANTEMESSE, professeur à la Faculté de médecine de Paris, médecin des hôpitaux. — **Maladies infectieuses**, par F. WIDAL, professeur agrégé, médecin des hôpitaux de Paris. — **Typhus exanthématique**, par L.-H. THOINOT, professeur agrégé, médecin des hôpitaux de Paris. — **Fièvres éruptives**, par L. GUINON, médecin des hôpitaux de Paris. — **Erysipèle**, par E. BOIX, chef de laboratoire à la Faculté. — **Diphthérie**, par A. RUAULT. — **Rhumatisme**, par CËTTINGER, médecin des hôpitaux de Paris. — **Scorbut**, par TOLLEMER, ancien interne des hôpitaux.

TOME III

1 vol. grand in-8° de 702 pages avec figures dans le texte. 16 fr.

Maladies cutanées, par G. THIBIERGE, médecin de l'hôpital de la Pitié. — **Maladies vénériennes**, par G. THIBIERGE. — **Maladies du sang**, par A. GILBERT, professeur agrégé, médecin des hôpitaux de Paris. — **Intoxications**, par A. RICHARDIÈRE, médecin des hôpitaux de Paris.

TOME IV

1 vol. grand in-8° de 680 pages avec figures dans le texte. 16 fr.

Maladies de la bouche et du pharynx, par A. RUAULT. — **Maladies de l'estomac**, par A. MATHIEU, médecin de l'hôpital Andral. — **Maladies du pancréas**, par A. MATHIEU. — **Maladies de l'intestin**, par COURTOIS-SUFFIT, médecin des hôpitaux. — **Maladies de la péritoine**, par COURTOIS-SUFFIT.

TOME V

1 vol. gr. in-8° avec fig. en noir et en coul. dans le texte. 18 fr.

Maladies du foie et des voies biliaires, par A. CHAUFFARD, professeur agrégé, médecin des hôpitaux. — **Maladies du rein et des capsules surrénales**, par A. BRAULT, médecin des hôpitaux. — **Pathologie des organes hématopoiétiques et des glandes vasculaires sanguines**, par G.-H. ROGER, professeur agrégé, médecin de l'hôpital de la Porte-d'Aubervilliers.

TOME VI

1 vol. grand in-8° de 612 pages avec figures dans le texte. 14 fr.

Maladies du nez et du larynx, par A. RYFAULT. — **Asthme**, par E. BRIS-SAUD, professeur à la Faculté de médecine de Paris, médecin de l'hôpital Saint-Antoine. — **Coqueluche**, par P. LE GENDRE, médecin des hôpitaux. — **Maladies des bronches**, par A.-B. MARFAN, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris, médecin des hôpitaux. — **Troubles de la circulation pulmonaire**, par A.-B. MARFAN. — **Maladies aiguës du poumon**, par NETTER, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris, médecin des hôpitaux.

TOME VII

1 vol. grand in-8° de 550 pages avec figures dans le texte. 14 fr.

Maladies chroniques du poumon, par A.-B. MARFAN, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris, médecin des hôpitaux. — **Phtisie pulmonaire**, par A.-B. MARFAN. — **Maladies de la plèvre**, par NETTER, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris, médecin des hôpitaux. — **Maladies du médiastin**, par A.-B. MARFAN.

TOME VIII

1 vol. grand in-8° de 580 pages avec figures dans le texte. 14 fr.

Maladies du cœur, par ANDRÉ PETIT, médecin des hôpitaux. — **Maladies des vaisseaux sanguins**, par W. CÉTINGER, médecin des hôpitaux.

Sous presse : TOMES IX et X. — **Maladies du Système nerveux**.

Traité de Physiologie

J.-P. MORAT

Professeur à l'Université de Lyon.

PAR

Maurice DOYON

Professeur agrégé
à la Faculté de médecine de Lyon

5 vol. gr. in-8° avec fig. en noir et en couleurs. En souscription. 55 fr.

- I. — **Fonctions d'innervation**, par J.-P. MORAT. 1 vol. gr. in-8°, avec 263 figures noires et en couleurs. 15 fr.
 II. — **Fonctions de nutrition** : Circulation, par M. DOYON; Calorification, par P. MORAT. 1 vol. gr. in-8° avec 173 figures en noir et en couleurs. 12 fr.
 III. — **Fonctions de nutrition (suite et fin)** : Respiration, excrétion, par J.-P. MORAT; Digestion, Absorption, par M. DOYON. 1 vol. gr. in-8°, avec 167 figures en noir et en couleurs. 12 fr.

COLLECTION DE PLANCHES MURALES

DESTINÉES A

L'Enseignement de la Bactériologie

PUBLIÉES PAR

L'INSTITUT PASTEUR DE PARIS

65 planches du format 80 × 62 c/m, tirées en couleurs sur papier toile très fort, munies d'œillets permettant de les suspendre et réunies dans un carton, avec un *texte explicatif rédigé en français, allemand et anglais*.

Prix : 250 francs (port en sus). *(Les planches ne sont pas vendues séparément.)*

Traité de Pathologie générale

Publié par Ch. BOUCHARD

Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté de Médecine de Paris.

SECRÉTAIRE DE LA RÉDACTION : G.-H. ROGER

Professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris, Médecin des hôpitaux.

COLLABORATEURS :

MM. ARNOZAN, D'ARSONVAL, BENNI, F. BEZANÇON, R. BLANCHARD, BOINET, BOULAY, BOURCY, BRUN, CADJOT, CHABRIÉ, CHANTEMESSE, CHARRIN, CHAUFFARD, J. COURMONT, DEJERINE, PIERRE DELBET, DEVIC, DUCAMP, MATHIAS DUVAL, FÈRÉ, GAUCHER, GILBERT, GLEY, GOUGET, GUIGNARD, LOUIS GUINON, J.-F. GUYON, HALLÉ, HÉNOCQUE, HUGOUNENQ, LAMBLING, LANDOUZY, LAVERAN, LEBRETON, LE GENDRE, LEJARS, LE NOIR, LERMOYRZ, LESNÉ, LETULLE, LUBET-BARON, MARFAN, MAYOR, MENETRIER, MORAX, NETTER, PIERRET, RAVAUT, G.-H. ROGER, GABRIEL ROUX, RUFFER, SICARD, RAYMOND TRIPIER, VUILLEMIN, FERNAND WIDAL.

6 volumes grand in-8° avec figures dans le texte. 126 fr.

TOME I

1 vol. grand in-8° de 1018 pages avec figures dans le texte : 18 fr.

Introduction à l'étude de la pathologie générale. — Pathologie comparée de l'homme et des animaux. — Considérations générales sur les maladies des végétaux. — Pathologie générale de l'embryon. Tératogénie. — L'hérédité et la pathologie générale. — Prédilection et immunité. — La fatigue et le surmenage. — Les Agents mécaniques. — Les Agents physiques. Chaleur. Froid. Lumière. Pression atmosphérique. Son. — Les Agents physiques. L'énergie électrique et la matière vivante. — Les Agents chimiques : les caustiques. — Les intoxications.

TOME II

1 vol. grand in-8° de 940 pages avec figures dans le texte ; 18 fr.

L'infection. — Notions générales de morphologie bactériologique. — Notions de chimie bactériologique. — Les microbes pathogènes. — Le sol, l'eau et l'air, agents des maladies infectieuses. — Des maladies épidémiques. — Sur les parasites des tumeurs épithéliales malignes. — Les parasites.

TOME III

1 vol. in-8° de 1400 pages, avec figures dans le texte, publié en deux fascicules : 28 fr.

Fasc. I. — Notions générales sur la nutrition à l'état normal. — Les troubles préalables de la nutrition. — Les réactions nerveuses. — Les processus pathogéniques de deuxième ordre.

Fasc. II. — Considérations préliminaires sur la physiologie et l'anatomie pathologiques. — De la fièvre. — L'hypothermie. — Mécanisme physiologique des troubles vasculaires. — Les désordres de la circulation dans les maladies. — Thrombose et embolie. — De l'inflammation. — Anatomie pathologique générale des lésions inflammatoires. — Les altérations anatomiques non inflammatoires. — Les tumeurs.

TOME IV

1 vol. in-8° de 719 pages avec figures dans le texte : 16 fr.

Evolution des maladies. — Sémiologie du sang. — Spectroscopie du sang. Sémiologie. — Sémiologie du cœur et des vaisseaux. — Sémiologie du nez et du pharynx nasal. — Sémiologie du larynx. — Sémiologie des voies respiratoires. — Sémiologie générale du tube digestif.

TOME V

1 fort vol. in-8° de 1180 pages avec nombr. figures dans le texte : 28 fr.

Sémiologie du foie. — Pancréas. — Analyse chimique des urines. — Analyse microscopique des urines (Histo-bactériologique). — Le rein, l'urine et l'organisme. — Sémiologie des organes génitaux. — Sémiologie du système nerveux.

TOME VI

1 vol. grand in-8° avec figures dans le texte. 48 fr.

Les troubles de l'intelligence. — Sémiologie de la peau. — Sémiologie de l'appareil visuel. — Sémiologie de l'appareil auditif. — Considérations générales sur le diagnostic et le pronostic. — Diagnostic des maladies infectieuses par les méthodes de laboratoire. — La diazoréaction d'Ehrlich. — Valeur de la formule hémoleucocytaire dans les maladies infectieuses. — Cyto-diagnostic des épanchements séro-fibrineux et du liquide céphalo-rachidien. — Ponction lombaire. — Applications cliniques de la cryoscopie. — De l'élimination provoquée comme méthode de diagnostic. — Les rayons de Röntgen et leurs applications médicales. — Thérapeutique générale. — Hygiène.

Traité de Physique Biologique

publié sous la direction de MM.

D'ARSONVAL

Professeur au Collège de France
Membre de l'Institut et de l'Académie de médecine.

GARIEL

Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées
Prof. à la Faculté de médecine de Paris
Membre de l'Académie de médecine.

CHAUVEAU

Profes. au Muséum d'histoire naturelle
Membre de l'Institut
et de l'Académie de médecine.

MAREY

Professeur au Collège de France
Membre de l'Institut
et de l'Académie de médecine.

Secrétaire de la rédaction : **M. WEISS**

Ingénieur des Ponts et Chaussées
Professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris

3 vol. in-8°. En souscription 60 fr.

TOME PREMIER. 1 fort vol. in-8°, avec 591 figures dans le texte. 25 fr.

Sous Presse : Tome II

L'ŒUVRE MÉDICO-CHIRURGICAL

Dr **CRITZMAN**, directeur

Suite de Monographies cliniques

SUR LES QUESTIONS NOUVELLES
en Médecine, en Chirurgie et en Biologie

Chaque monographie est vendue séparément. 1 fr. 25

Il est accepté des abonnements pour une série de 10 Monographies au prix payable d'avance de 10 fr. pour la France et 12 fr. pour l'étranger (port compris).

DERNIÈRES MONOGRAPHIES PUBLIÉES

- N° 29. **Les Ponctions rachidiennes accidentelles et les complications des plaies pénétrantes du rachis par armes blanches sans lésions de la moelle**, par le Dr E. MATHIEU, médecin inspecteur de l'armée, ancien directeur et professeur au Val-de-Grâce.
- N° 30. **Le Ganglion Lymphatique**, par HENRI DOMINICI.
- N° 31. **Les Leucocytes. Technique (Hématologie, cytologie)**, par le professeur COURMONT et P. MONTAGNARD.
- N° 32. **La Médication hémostatique**, par P. CARNOT, docteur ès sciences, chef du laboratoire de Thérapeutique à la Faculté de médecine.

Traité de Technique opératoire

CH. MONOD

PAR

J. VANVERTS

Professeur agrégé à la Faculté
de médecine de ParisAncien interno lauréat des Hôpitaux
de ParisChirurgien de l'Hôpital Saint-Antoine
Membre de l'Académie de médecineChef de clinique à la Faculté
de médecine de Lille2 vol. gr. in-8° formant ensemble 1960 pages, avec 1908 figures
dans le texte 40 fr.

Les Difformités acquises de l'Appareil locomoteur

PENDANT L'ENFANCE ET L'ADOLESCENCE

Par le Dr E. KIRMISSON

Professeur de Clinique chirurgicale infantile à la Faculté de médecine
Chirurgien de l'hôpital Trousseau

1 vol. in-8° avec 130 figures dans le texte. . . 15 fr.

Ce volume fait suite au **Traité des Maladies chirurgicales d'origine
congénitale** (312 figures et 2 planches en couleurs). *Publié en 1898* . . 15 fr.
Ces deux ouvrages constituent un véritable traité de Chirurgie orthopédique.

Traité d'Hygiène

Par A. PROUST

Professeur d'Hygiène à la Faculté de Paris, Membre de l'Académie de médecine
Inspecteur général des Services sanitaires.*Troisième édition revue et considérablement augmentée*

AVEC LA COLLABORATION DE

A. NETTER

et

H. BOURGES

Agrégé

Chef du laboratoire d'hygiène
à la Faculté de médecine

Médecin de l'hôpital Trousseau

Ouvrage couronné par l'Institut et la Faculté de médecine

1 vol. in-8°, avec fig. et cartes pub. en 2 fasc. En souscription.. 18 fr.

Traité de Chirurgie d'urgence

Par Félix LEJARS

Professeur agrégé, Chirurgien de l'hôpital Tenon.

TROISIÈME ÉDITION, REVUE ET AUGMENTÉE

1 vol. gr. in-8° de 1005 pages, avec 731 fig. dont 331 dessinées d'après
nature, par le Dr DAUBINE, et 172 photogr. origin. Relié toile. 25 fr.

Manuel de Pathologie externe, par MM. RECLUS, KIR-
 MISSON, PEYROT, BOUILLY, professeurs agrégés à la Faculté de
 médecine de Paris, chirurgiens des hôpitaux. 7^e Édition entière-
 ment revue, illustrée. 4 volumes in-8° 40 fr.
Chaque volume est vendu séparément. 10 fr.

Les Maladies infectieuses, par G.-H. ROGER, professeur
 agrégé, médecin de l'hôpital de la Porte-d'Aubervilliers. 1 vol. in-8°
 de 1520 pages publié en 2 fascicules avec figures 28 fr.

Précis d'Histologie, par Mathias DUVAL, professeur à la
 Faculté de médecine de Paris, membre de l'Académie de médecine.
Deuxième édition, revue et augmentée, illustrée de 427 figures dans
 le texte. 1 vol. gr. in-8° de 1020 pages 18 fr.

Les Maladies du Cuir chevelu. — I. Maladies sébor-
 rhéiques : **Séborrhée, Acnés, Calvitie**, par le Dr R. SA-
 BOURAUD, chef du laboratoire de la Ville de Paris à l'hôpital Saint-
 Louis, membre de la Société de Dermatologie. 1 volume in-8°, avec
 91 figures dans le texte dont 40 aquarelles en couleurs . . . 10 fr.

Les Tics et leur Traitement, par Henry MEIGE et E. FEIN-
 DEL. Préface de M. le Professeur BRISSAUD. 1 vol. in-8° de
 640 pages 6 fr.

Les Maladies microbiennes des Animaux, par
 Ed. NOCARD, professeur à l'École d'Alfort, membre de l'Académie
 de médecine, et E. LECLAINCHE, professeur à l'École vétérinaire
 de Toulouse. Ouvrage couronné par l'Académie des sciences (Prix
 Monthyon 1898). *Troisième édition, entièrement refondue et considé-
 rablement augmenté*. 2 volumes grand in-8°, formant ensemble
 1312 pages. 22 fr.

Syphilis et Déontologie : secret médical ; responsabilité
 civile ; énoncé du diagnostic ; jeunes gens syphilitiques ; la syphi-
 lis avant et pendant le mariage ; divorce ; nourrissons syphili-
 tiques ; nourrices syphilitiques ; domestiques et ouvriers syphili-
 tiques ; syphilitiques dans les hôpitaux ; transmission de la syphilis
 par les instruments ; médecins syphilitiques ; sages-femmes et
 syphilis, par GEORGES THIBIERGE, médecin de l'hôpital Broca.
 1 vol. in-8° 5 fr.

Bibliothèque Diamant

des Sciences médicales et biologiques

Cette collection est publiée dans le format in-16 raisin, avec nombreuses figures dans le texte, cartonnage à l'anglaise, tranches rouges.

- Éléments de Physiologie**, par Maurice ARTHUS, chef de laboratoire à l'Institut Pasteur de Lille. 1 vol., avec figures. 8 fr.
- Éléments de Chimie physiologique**, par Maurice ARTHUS, professeur à l'Université de Fribourg (Suisse). *Quatrième édition revue et corrigée.* 1 volume, avec figures 5 fr.
- Précis d'Anatomie pathologique**, par M. L. BARD, professeur à la Faculté de médecine de Lyon. *Deuxième édition revue et augmentée.* 1 volume, avec 123 figures 7 fr. 50
- Manuel de Thérapeutique**, par le Dr BERLIOZ, professeur à l'Université de Grenoble, avec préface du Professeur BOUCHARD. *Quatrième édition revue et augmentée.* 1 vol. . 6 fr.
- Manuel de Bactériologie médicale**, par le Dr BERLIOZ, avec préface de M. le professeur LANDOUZY. 1 vol. avec fig. 6 fr.
- Manuel de Pathologie interne**, par G. DIEULAFOY, professeur à la Faculté de médecine de Paris. *Treizième édition entièrement refondue et augmentée.* 4 vol. avec fig. en n. et en coul. 28 fr.
- Manuel d'Anatomie microscopique et d'Histologie**, par M. P.-E. LAUNOIS, professeur agrégé à la Faculté de médecine. Préface de M. le Professeur Mathias DUVAL. *Deuxième édition entièrement refondue.* 1 volume avec 261 figures 8 fr.
- Précis élémentaire d'Anatomie, de Physiologie et de Pathologie**, par P. RUDAUX, ancien chef de clinique à la Faculté de médecine de Paris, avec préface, par M. RIBEMONT-DESSAIGNES, professeur agrégé à la Faculté de Paris. 1 vol., avec 462 figures 8 fr.
- Manuel de Diagnostic médical et d'Exploration clinique**, par P. SPILLMANN, professeur à la Faculté de médecine de Nancy, et P. HAUSHALTER, professeur agrégé. *Quatrième édition entièrement refondue.* 1 vol. avec 89 figures. 6 fr.
- Précis de Microbie. Technique et microbes pathogènes**, par M. le Dr L.-H. THOINOT, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris, et E.-J. MASSELIN, médecin-vétérinaire. Ouvrage couronné par la Faculté de médecine. *Quatrième édition entièrement refondue.* 1 volume, avec figures en noir et en couleurs. . . 8 fr.
- Précis de Bactériologie clinique**, par le Dr R. WURTZ, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris. *Deuxième édition revue et augmentée.* 1 volume, avec tableaux et figures. 6 fr.

Bibliothèque

d'Hygiène thérapeutique

DIRIGÉE PAR

Le Professeur PROUST

Membre de l'Académie de médecine, Médecin de l'Hôtel-Dieu,
Inspecteur général des Services sanitaires.

*Chaque ouvrage forme un volume in-16, cartonné toile, tranches rouges,
et est vendu séparément : 4 fr.*

Chacun des volumes de cette collection n'est consacré qu'à une seule maladie ou à un seul groupe de maladies. Grâce à leur format, ils sont d'un maniement commode. D'un autre côté, en accordant un volume spécial à chacun des grands sujets d'hygiène thérapeutique, il a été facile de donner à leur développement toute l'étendue nécessaire.

VOLUMES PARUS

- L'Hygiène du Goutteux**, par le professeur PROUST et A. MATHIEU, médecin de l'hôpital Andral.
- L'Hygiène de l'Obèse**, par le professeur PROUST et A. MATHIEU, médecin de l'hôpital Andral.
- L'Hygiène des Asthmatiques**, par E. BRISSAUD, professeur agrégé, médecin de l'hôpital Saint-Antoine.
- L'Hygiène du Syphilitique**, par H. BOURGES, préparateur au laboratoire d'hygiène de la Faculté de médecine.
- Hygiène et thérapeutique thermales**, par G. DELFAU, ancien interne des hôpitaux de Paris.
- Les Cures thermales**, par G. DELFAU, ancien interne des hôpitaux de Paris.
- L'Hygiène du Neurasthénique**, par le professeur PROUST et G. BALLEZ, professeur agrégé, médecin des hôpitaux de Paris. (*Deuxième édition.*)
- L'Hygiène des Albuminuriques**, par le D^r SPRINGER, ancien interne des hôpitaux de Paris, chef de laboratoire de la Faculté de médecine à la Clinique médicale de l'hôpital de la Charité.
- L'Hygiène du Tuberculeux**, par le D^r CHUQUET, ancien interne des hôpitaux de Paris, avec une introduction du D^r DAREMBERG, membre correspondant de l'Académie de médecine.
- Hygiène et thérapeutique des maladies de la Bouche**, par le D^r CRUET, dentiste des hôpitaux de Paris, avec une préface de M. le professeur LANNE-
LONGUE, membre de l'Institut.
- Hygiène des maladies du Cœur**, par le D^r VAQUEZ, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris, médecin des hôpitaux, avec une préface du professeur POTAIN.
- Hygiène du Diabétique**, par A. PROUST et A. MATHIEU.
- L'Hygiène du Dyspeptique**, par le D^r LINOSSIER, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Lyon, membre correspondant de l'Académie de médecine, médecin à Vichy.

Sous presse :

Hygiène du Larynx, du Nez et des Oreilles, par M. le D^r LUBET
BARBON.

Traité

DE

Chimie industrielle

Par R. WAGNER et F. FISCHER

QUATRIÈME ÉDITION FRANÇAISE ENTIÈREMENT REFOUNDUE

Rédigée d'après la quinzième édition allemande
par le D^r L. GAUTIER

2 vol. grand in-8° avec de nombreuses figures dans le texte

En souscription. 30 fr.

A l'apparition du Tome II, le prix de l'ouvrage sera porté à 35 francs.

Le Constructeur, principes, formules, tracés, tables et renseignements pour l'établissement des *projets de machines* à l'usage des ingénieurs, constructeurs, architectes, mécaniciens, etc., par F. Reuleaux. *Troisième édition française*, par A. Debize, ingénieur des manufactures de l'Etat. 1 volume in-8° avec 184 figures. 30 fr.

Traité d'analyse chimique qualitative, par R. Frésenius. Traité des opérations chimiques, des réactifs et de leur action sur les corps les plus répandus, essais au chalumeau, analyse des eaux potables, des eaux minérales, du sol, des engrais, etc. Recherches chimico-légales, analyse spectrale. *Dixième édition française* d'après la 16^e édition allemande, par L. Gautier. 1 vol. in-8° avec grav. et un tableau chromolithographique 7 fr.

Traité d'analyse chimique quantitative, par R. Frésenius. Traité du dosage et de la séparation des corps simples et composés les plus usités en pharmacie, dans les arts et en agriculture, analyse par les liqueurs titrées, analyse des eaux minérales, des cendres végétales, des sols, des engrais, des minerais métalliques, des fontes, dosage des sucres, alcalimétrie, chlorométrie, etc. *Septième édition française*, traduite sur la 6^e édition allemande, par L. Gautier. 1 vol. in-8° avec 251 grav. dans le texte 16 fr.

Traité d'Analyse chimique quantitative par Electrolyse, par J. RIBAN, professeur chargé du cours d'Analyse chimique et maître de Conférences à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris. 1 volume grand in-8°, avec 96 figures dans le texte. 9 fr.

Manuel pratique de l'Analyse des Alcools et des Spiritueux, par Charles GIRARD, directeur du Laboratoire municipal de la Ville de Paris, et Lucien CUNIASSE, chimiste-expert de la Ville de Paris. 1 vol. in-8° avec figures et tableaux dans le texte. Relié toile. 7 fr.

Chimie Végétale et Agricole (*Station de Chimie végétale de Meudon, 1883-1889*), par M. BERTHELOT, sénateur, secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences, professeur au Collège de France. 4 volumes in-8° avec figures dans le texte 36 fr.

Précis de Chimie analytique, *Analyse qualitative, Analyse quantitative par liqueurs titrées, Analyse des gaz, Analyse organique élémentaire, Analyses et Dosages relatifs à la Chimie agricole, Analyse des vins, Essais des principaux minerais*, par J.-A. MULLER, docteur ès sciences, professeur à l'École supérieure des Sciences d'Alger. 1 volume in-12, broché 8 fr.

Précis de Géographie économique

PAR MM.

MARCEL DUBOIS

Professeur de Géographie coloniale
à la Faculté des Lettres de Paris

J.-G. KERGOMARD

Professeur agrégé d'Histoire
et Géographie au Lycée de Nantes

DEUXIÈME ÉDITION

entièrement refondue et mise au courant des dernières statistiques

AVEC LA COLLABORATION DE

M. Louis LAFFITTE

Professeur à l'École de Commerce de Nantes

1 vol. in-8°. 8 fr.

On vend séparément :

La France, l'Europe. 1 vol. 6 fr.

L'Asie, l'Océanie, l'Afrique et les Colonies. 1 vol. 4 fr.

Cette œuvre fera époque dans l'enseignement de la Géographie. Elle est la seule, à notre connaissance, en dehors des travaux suscités par la Société de Géographie commerciale, qui traite d'une façon principale cette branche de la géographie. *(Bulletin de la Chambre de Commerce de Paris.)*

Géographie agricole de la France et du Monde

par **J. DU PLESSIS DE GRENÉDAN**

Professeur à l'École supérieure d'Agriculture d'Angers.

AVEC UNE PRÉFACE DE

M. le Marquis DE VOGUÉ

Membre de l'Académie française, président de la Société des Agriculteurs de France.

1 vol. in-8° avec 118 cartes et figures dans le texte. 7 fr.

Éléments de Commerce et de Comptabilité

par **Gabriel FAURE**

Professeur à l'École des Hautes-Études commerciales et à l'École commerciale, Export-comptable au Tribunal civil de la Seine.

CINQUIÈME ÉDITION REVUE ET MODIFIÉE

1 vol. petit in-8°, cartonné toile anglaise. 4 fr.

OUVRAGES DE M. A. DE LAPPARENT

Membre de l'Institut, professeur à l'École libre des Hautes-Études.

TRAITÉ DE GÉOLOGIE

QUATRIÈME ÉDITION ENTIÈREMENT REFOUNDUE, ET CONSIDÉRABLEMENT AUGMENTÉE

3 vol. grand in-8°, avec nomb. fig. cartes et croquis . . 35 fr.

- Abrégé de géologie.** *Cinquième édition, entièrement refondue.* 1 vol. Gravures et une carte géologique de la France en chromolithographie, cartonné toile (Sous presse).
- Notions générales sur l'écorce terrestre.** 1 vol. in-16 de 156 pages avec 33 figures, broché. 1 fr. 20
- La géologie en chemin de fer.** Description géologique du Bassin parisien et des régions adjacentes. 1 vol. in-18 de 608 pages, avec 3 cartes chromolithographiées, cartonné toile. 7 fr. 50
- Cours de minéralogie.** *Troisième édition, revue et augmentée.* 1 vol. grand in-8° de xx-703 pages avec 619 gravures dans le texte et une planche chromolithographiée. 45 fr.
- Précis de minéralogie.** *Troisième édition, revue et augmentée.* 1 vol. in-16 de xii-398 pages avec 235 gravures dans le texte et une planche chromolithographiée, cartonné toile. 5 fr.
- Leçons de géographie physique.** *Deuxième édition, revue et augmentée.* 1 vol. grand in-8° de xvi-718 pages avec 162 figures dans le texte et une planche en couleurs. 12 fr.
- Le siècle du Fer.** 1 vol. in-18 de 360 pages, broché 2 fr. 50

Guides du Touriste, du Naturaliste et de l'Archéologue

publiés sous la direction de M. Marcellin BOULE

VOLUMES PUBLIÉS

- Le Cantal,** par M. BOULE, docteur ès sciences, et L. FARGES, archi- viste-paléographe. 1 vol. avec 85 fig. et 2 cartes en coul.
- La Lozère,** par E. CORD, ingénieur-agronome, G. CORD, docteur en droit, avec la collaboration de M. A. VIRÉ, docteur ès sciences. 1 vol. in-16 avec 87 fig. et 4 cartes en coul.
- Le Puy-de-Dôme et Vichy,** par M. BOULE, docteur ès sciences, Ph. GLANGEAUD, maître de conférences à l'Université de Clermont, G. ROUCHON, archiviste du Puy-de-Dôme, A. VERNIÈRE, ancien président de l'Académie de Clermont. 1 vol. avec 109 figures et 3 cartes en coul.
- La Haute-Savoie,** par MARC LE ROUX, conservateur du Musée d'Annecy. 1 vol. avec 105 fig. et 3 cartes en couleurs.
- Chaque volume in-16, relié toile anglaise. 4 fr. 50

Pour paraître en mai 1903 : LA SAVOIE, par MM. RÉVIL et CORCELLE.

MISSION SAHARIENNE FOUREAU-LAMY

D'Alger au Congo par le TchadPar **F. FOUREAU**

Lauréat de l'Institut.

1 fort volume in-8°, avec 170 figures reproduites directement d'après les photographies de l'auteur, et une carte en couleurs des régions explorées par la Mission.

Broché : 12 francs. — Richement cartonné : 15 francs.

Traité de ZoologiePar **Edmond PERRIER**

Membre de l'Institut et de l'Académie de médecine,
Directeur du Muséum d'Histoire Naturelle.

- FASCICULE I : Zoologie générale.** 1 vol. gr. in-8° de 412 p. avec 458 figures dans le texte. 12 fr.
- FASCICULE II : Protozoaires et Phytozoaires.** 1 vol. gr. in-8° de 452 p., avec 243 figures. 10 fr.
- FASCICULE III : Arthropodes.** 1 vol. gr. in-8° de 480 pages, avec 278 figures. 8 fr.
- Ces trois fascicules réunis forment la première partie. 1 vol. in-8° de 1344 pages avec 980 figures. 30 fr.
- FASCICULE IV : Vers et Mollusques.** 1 vol. gr. in-8° de 792 pages, avec 566 figures dans le texte. 16 fr.
- FASCICULE V : Amphioxus, Tuniciers.** 1 vol. gr. in-8° de 221 pages, avec 97 figures dans le texte. 6 fr.
- FASCICULE VI : Poissons.** 1 vol. gr. in-8° de 366 pages avec 190 figures dans le texte.
- FASCICULE VII : Vertébrés marcheurs (En préparation).**

PETITE BIBLIOTHÈQUE DE " LA NATURE "

Recettes et Procédés utiles, recueillis par Gaston TISSANDIER, rédacteur en chef de *la Nature*. Dixième édition.

Recettes et Procédés utiles. Deuxième série : **La Science pratique,** par Gaston TISSANDIER. Cinquième édition, avec figures dans le texte.

Nouvelles Recettes utiles et Appareils pratiques. Troisième série, par Gaston TISSANDIER. Quatrième édition, avec 91 figures dans le texte.

Recettes et Procédés utiles. Quatrième série, par Gaston TISSANDIER. Troisième édition, avec 38 figures dans le texte.

Recettes et Procédés utiles. Cinquième série, par J. LAFFARGUE, secrétaire de la rédaction de *la Nature*. Avec figures dans le texte.

Chacun de ces volumes in-18 est vendu séparément

Broché 2 fr. 25 | Cartonné toile 3 fr.

La Physique sans appareils et la Chimie sans laboratoire, par Gaston TISSANDIER, rédacteur en chef de *la Nature*. Septième édition des *Récréations scientifiques*. Ouvrage couronné par l'Académie (Prix Montyon). Un volume in-8° avec nombreuses figures dans le texte. Broché, 3 fr. Cartonné toile, 4 fr.

LA GÉOGRAPHIE

BULLETIN

DE LA

Société de Géographie

PUBLIÉ TOUS LES MOIS PAR

LE BARON HULOT, Secrétaire général de la Société

ET

M. CHARLES RABOT, Secrétaire de la Rédaction

ABONNEMENT ANNUEL : PARIS : 24 fr. — DÉPARTEMENTS : 26 fr.
ÉTRANGER : 28 fr. — Prix du numéro : 2 fr. 50

Chaque numéro, du format grand in-8°, composé de 80 pages et accompagné de cartes et de gravures nombreuses, comprend des mémoires, une chronique, une bibliographie et le compte rendu des séances de la Société de Géographie. Cette publication n'est pas seulement un recueil de récits de voyages pittoresques, mais d'observations et de renseignements scientifiques.

La chronique, rédigée par des spécialistes pour chaque partie du monde, constitue un résumé complet du *mouvement géographique* pour chaque mois.

La Nature

REVUE ILLUSTRÉE

*des sciences et de leurs applications aux arts et à l'industrie*DIRECTEUR : **Henri de PARVILLE**

Abonnement annuel : Paris : 20 fr. — Départements : 25 fr. —
Union postale : 26 fr.

Abonnement de six mois : Paris : 10 fr. — Départements : 12 fr. 50.
— Union postale : 13 fr.

Fondée en 1873 par GASTON TISSANDIER, la *Nature* est aujourd'hui le plus important des journaux de vulgarisation scientifique par le nombre de ses abonnés, par la valeur de sa rédaction et par la sûreté de ses informations. Elle doit ce succès à la façon dont elle présente la science à ses lecteurs en lui ôtant son côté aride tout en lui laissant son côté exact, à ce qu'elle intéresse les savants et les érudits aussi bien que les jeunes gens et les personnes peu familiarisées avec les ouvrages techniques; à ce qu'elle ne laisse, enfin, rien échapper de ce qui se fait ou se dit de neuf dans le domaine des découvertes qui modifient sans cesse les conditions de notre vie.

Paris. — L. MARTEUX, imprimeur, 1, rue Cassette. — 3821.