



*Section de l'Ingénieur*

---

L. GUILLET

---

**L'INDUSTRIE**

DE LA

**SOUE**

GAUTHIER-VILLARS

MASSON & C<sup>ie</sup>



ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE

DES

AIDE-MÉMOIRE

PUBLIÉE

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

L. GUILLET — L'Industrie de la Soude

1

*Ce volume est une publication de l'Encyclopédie  
Scientifique des Aide-Mémoire : L. ISLER, Secrétaire  
Général, 20, boulevard de Courcelles, Paris.*

**N° 336 B**

# ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE DES AIDE-MÉMOIRE

PUBLIÉE SOUS LA DIRECTION

DE M. LÉAUTÉ, MEMBRE DE L'INSTITUT.

---

## L'INDUSTRIE DE LA SOUDE

---

*CHLORURE DE SODIUM  
CARBONATE ET BICARBONATE DE SODIUM  
SOUDE CAUSTIQUE — SODIUM  
PEROXYDE DE SODIUM*

PAR

**L. GUILLET**

Docteur ès sciences  
Ingénieur des Arts et Manufactures  
Professeur de Technologie chimique et métallurgique au  
Collège Libre des Sciences sociales

---

PARIS

GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-ÉDITEUR	MASSON ET C <sup>ie</sup> , ÉDITEURS, LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE
Quai des Grands-Augustins, 55	Boulevard Saint-Germain, 120
(Tous droits réservés)	

*OUVRAGES DE L'AUTEUR PARUS  
DANS LA COLLECTION DE L'ENCYCLOPÉDIE*

---

- I. L'Industrie des Acides minéraux.**
- II. L'Industrie des Métalloïdes et de leurs dérivés.**
- III. L'Industrie de la Soude. Chlorure de sodium. Carbonate et Bicarbonate de sodium. Soude caustique. Sodium. Peroxyde de sodium.**

## INTRODUCTION

---

Cette étude que nous présentons aujourd'hui forme en quelque sorte la suite des livres que nous avons déjà publiés dans l'*Encyclopédie des Aide-Mémoire* sur la Chimie Industrielle.

Si nous avons abordé l'étude des dérivés des métaux par la soude, c'est que ce produit attire particulièrement l'attention tant par son importance primordiale que par l'ingéniosité et la complexité des méthodes qu'elle utilise.

Nulle fabrication ne prouve mieux l'importance que doit avoir le double rôle de l'industriel qui s'occupe de ces produits et qui doit en même temps tenir du chimiste et de l'ingénieur.

L'étude de la préparation du chlorure de sodium, matière première si importante, a été faite avec détails.

Le procédé Leblanc a été envisagé dans ses grandes lignes ; les procédés à l'ammoniaque et ceux électrolytiques ont fait l'objet de chapitres spéciaux.

Sans négliger la marche et la description des opérations, sans oublier le côté technique qui doit dominer toute étude semblable, nous avons cherché, comme dans nos précédents livres, à condenser en quelques pages l'état actuel des diverses fabrications au point de vue économique; pour cela, nous avons examiné les importances des différents débouchés offerts aux matières, les productions des différents pays; nous avons résumé les importations et les exportations, les cours, etc.

Nous espérons par là être utiles à beaucoup qui cherchent souvent ces documents épars dans les bulletins officiels, heureux encore lorsqu'ils les y rencontrent.

Enfin nous avons cru devoir relier à l'industrie de la soude, celle du sodium qui s'obtient par électrolyse du chlorure de sodium et celle du peroxyde de sodium dont l'importance devient chaque jour plus grande.

Les autres sels de sodium feront l'objet d'une étude spéciale.

---

## CHAPITRE PREMIER

—

### L'INDUSTRIE DU CHLORURE DE SODIUM AU POINT DE VUE TECHNIQUE

**Sources de chlorure de sodium.** — Les sources de chlorure de sodium sont :

1° Les eaux de la mer ;

2° Les dépôts de sel gemme qui se trouvent en abondance dans les Karpathes, en Transylvanie, en Tyrol, et en France, dans les départements de Meurthe-et-Moselle, du Jura, de la Haute-Saône, de l'Ariège et des Basses-Pyrénées ainsi qu'en Algérie ;

3° Les eaux de certaines sources et certains lacs salés qui doivent leurs propriétés, soit à ce que les eaux atmosphériques ont pénétré dans un sol contenant du sel gemme, soit à ce que la mer s'est retirée de certains espaces qu'elle occupait jadis.

**Extraction du chlorure de sodium des eaux de la mer.** — Le tableau suivant donne les quantités des différents sels contenus dans les eaux de diverses mers :

## DIFFÉRENTS SELS CONTENUS DANS LES EAUX DE DIVERSES MERS

	Océan Atlantique	Mer Médi- terranée	Mer Bal- tique	Mer Caspienne	Mer Noire	Mer Morte
Total des sels pour 100 . . . . .	3,63	3,37	1,77	0,63	1,77	22,30
qui se subdivisent en (pour 100 d'éléments solides) :						
Chlorure de sodium . . . . .	77,03	77,07	84,70	58,25	79,39	36,55
" de potassium . . . . .	3,89	2,48	"	1,27	1,07	4,57
" de magnésium . . . . .	7,86	8,76	9,73	10,00	7,38	45,20
" de calcium . . . . .	"	"	"	"	"	11,38
Bromures . . . . .	1,30	0,49	"	"	0,03	0,85
Carbonates . . . . .	"	0,10	0,48	3,02	3,21	"
Sulfate de magnésium . . . . .	5,29	8,34	4,95	19,03	8,32	"
" de calcium . . . . .	4,63	2,76	0,13	7,78	0,60	0,45
Produits azotés et bitumineux . . . . .	"	"	"	"	"	1,00

*Extraction dans les marais salants de l'Océan Atlantique.* — Des marais salants importants existent en France sur les côtes de l'Océan, dans les départements de la Charente-Inférieure, de la Vendée, de la Loire-Inférieure et du Morbihan et sur les côtes de la Méditerranée.

L'extraction du sel des eaux de la mer se fait encore en Espagne et en Portugal, ainsi qu'en Italie et en Autriche, sur les bords de l'Adriatique. Suivant les endroits, la méthode d'exploitation diffère sensiblement; nous décrirons celle employée sur l'Océan Atlantique et sur la Méditerranée.

Les *marais salants de l'Ouest* de la France sont établis soit sur d'anciens lacs de mer, soit sur certaines parties de terrain qui ne sont arrosées que par les grandes marées. Ces marais, dont le type est à peu près le même tout le long de la côte sud de la Bretagne et sur celle de Vendée, sont constitués par de petits bassins séparés les uns des autres par de petits massifs de terre que les paludiers appellent des *bosses*.

Les marais communiquent à la mer par un fossé muni de vannes; on rencontre tout d'abord le *chenal* (ou *étrier*) d'où partent les petits canaux d'alimentation; puis la *vasière* qui cons-

titue le réservoir devant servir à alimenter tous les marais pendant un mois; elle se trouve remplie à chaque grande marée.

Puis vient le *cordier*, canal en pente douce par où arrive l'eau salée. Enfin se trouve le *salant* qui est l'endroit où doit se déposer le sel. Le *salant* est divisé en parties relativement petites qui ont reçu le nom d'*œillets*. L'eau y a une profondeur de 25 à 30 centimètres et présente une grande surface d'évaporation.

C'est là que l'on viendra *pêcher* le sel avec une planche rectangulaire de 1 mètre sur 0<sup>m</sup>,15, placée à l'extrémité d'un manche de 4 mètres environ et que l'ouvrier appelle le *rable*.

La récolte du sel ne se fait guère que du mois de mai au mois de septembre. On commence à alimenter les marais vers la fin d'avril; l'eau de la vasière marque environ 5 à 6° B., tandis qu'aux œillets l'eau concentrée arrive à marquer 20° B. Au moment où le sel va se déposer, l'eau prend une teinte rougeâtre due à des algues microscopiques qu'elle contient.

Le sel qui se dépose est enlevé généralement tous les soirs; c'est du moins ainsi que l'on opère du côté du Croisic et de Guérande; à Marennes, on ne l'enlève guère que tous les trois jours; une fois le sel enlevé, on fait arriver l'eau

de bassins antérieurs, dans les derniers; elle se mélange, par conséquent, à l'eau-mère, qui est riche en chlorure de magnésium; il s'ensuit une précipitation du chlorure de sodium.

L'un des gros ennuis de l'extraction du sel dans ces conditions réside dans la constitution du sol, lequel est argileux. C'est donc sur de l'argile que le sel est posé et il faut une certaine habileté de la part du paludier pour ne pas salir le sel qu'il enlève par un peu d'argile; il y arrive généralement en déterminant au moyen du *rable* une très légère vague qui ramène le sel aux bords du bassin.

Les caractéristiques de l'exploitation des marais salants de l'Ouest sont donc :

L'épaisseur de la couche extrêmement faible du liquide dans les bassins.

La concentration des eaux-mères et l'enlèvement presque continu du sel déposé.

On obtient ainsi un sel gris qui possède la composition moyenne suivante :

Chlorure de sodium . . . . .	88,00
"  de magnésium . . . . .	2,00
Sulfate de magnésium . . . . .	1,75
"  de chaux . . . . .	1,05
Argile et eau . . . . .	7,20
	<hr/>
Total . . . . .	100,00

Le sel, placé en petits tas sur les bords du bassin, doit d'abord laisser échapper la plus grande partie du liquide qu'on a pu entraîner en le pêchant; un ou deux jours après, il est rassemblé en *mulons* ou gros tas; là, il continuera à abandonner des sels déliquescents qui s'écoulent par de petits canaux que l'on a eu soin de ménager; le chlorure de magnésium s'écoulera ainsi en grande partie.

Si le sel doit passer l'hiver, on le couvrira d'une couche de 5 à 6 centimètres d'argile.

Il est bien entendu que le sel recueilli doit être raffiné, avant d'être livré à la consommation. Nous verrons plus loin comment se pratique cette opération.

Une modification au procédé d'extraction que nous venons de décrire a été indiquée par Roux et permet d'obtenir tout de suite un sel beaucoup plus pur : une aire, appelée *nourrice*, reçoit l'eau salée qui y est concentrée de façon à marquer 20° au pèse-sels; cette eau est ensuite envoyée dans trois petits bassins où elle ne doit avoir qu'une épaisseur de 2 à 3 centimètres; on fait en sorte que la concentration de cette eau soit de 18 à 28° au pèse-sels. Le sel se dépose alors très blanc et on le laisse s'accumuler pendant quinze à vingt jours. On obtient ainsi des

cristaux très développés, formant des trémies superbes.

*Extraction dans les salines de la Méditerranée.* — Ce qui distingue avant tout l'exploitation des salines de la Méditerranée de celle des marais salants de l'Océan, c'est qu'ici les marais doivent être situés au-dessus du niveau de la mer, étant donnée l'absence de marées. Il faut donc élever l'eau de mer; ceci se fait généralement au moyen de grandes roues. L'eau est prise dans de vastes étangs (tels que ceux d'Hyères et de Port-Vendres), où se dépose la plupart des matières en suspension; l'eau y marque ordinairement 3 à 4° B. On élève cette eau dans des bassins rectangulaires peu profonds et qui sont disposés de façon qu'elle s'écoule en diagonale; à la fin du parcours, elle marque environ 17° B. Elle gagne alors un puits (puits des eaux vertes), d'où elle est reprise pour être envoyée dans d'autres bassins nommés *chauffoirs intérieurs*. Elle y abandonne le carbonate de chaux, les cristaux de sulfate de chaux et aussi de l'hydrate de peroxyde de fer. On règle l'alimentation de ces bassins de façon que l'eau marque à leur sortie environ 24°,5 B. Elle gagne ensuite les *puits de l'eau en sels*. Une pompe la reprend et la déverse dans une série de petits bassins, nommés

tables salantes ; c'est là que se dépose le sel en très gros cristaux blancs ; tous les jours, on renouvelle l'eau des tables salantes et l'on n'opère la pêche ou *levage du sel*, que lorsque la couche atteint 4 à 5 centimètres. On peut, lorsqu'on a les eaux-mères, opérer de différentes façons pour avoir le dépôt de sel ; on peut établir une circulation continue pour avoir dans chacune un degré de concentration différent et rejeter les dernières eaux, qui sont très chargées en chlorure de magnésium et en sulfate. Ou bien on peut alimenter individuellement chaque table salante. Ou bien encore on peut conserver les eaux-mères qui marquent 32° B., afin de les employer dans la campagne suivante. Leur utilisation se fait alors comme suit : ces eaux-mères sont mélangées à de l'eau marquant 25° B. ; elles déterminent, d'elles-mêmes, une précipitation de chlorure de sodium. Enfin, on peut prendre ces eaux-mères provenant d'une campagne antérieure, les mélanger avec de l'eau marquant 22° B. et évaporer le tout.

De ces différentes façons d'agir, la première est la meilleure et donne le plus beau produit, la seconde fournit un sel de qualité moyenne ; la troisième et la quatrième donnent un sel imbibé de chlorure de magnésium, difficile à laver,

en petits cristaux légers. Il est plus spécialement destiné à l'exportation.

Comme nous l'avons dit, la récolte du sel se fait lorsque la couche atteint 5 à 6 centimètres. On pilonne le sel, on l'enlève avec des pelles et des trémies et on le met en tas nommés *camelles*.

Le sel ainsi obtenu est beaucoup plus pur que celui préparé dans les marais salants de l'Ouest.

Le tableau suivant donne d'ailleurs la composition moyenne des différentes qualités des sels du Midi :

Désignation	1 <sup>re</sup> qualité	2 <sup>e</sup> qualité	3 <sup>e</sup> qualité
Chlorure de sodium. . . . .	94,80	92,15	90,35
"  de magnésium . . . . .	0,35	0,50	0,70
Sulfate de magnésium . . . . .	0,25	0,50	1,15
"  de chaux . . . . .	1,15	0,85	0,35
Insoluble. . . . .	0,10	0,10	0,10
Eau. . . . .	3,35	5,90	7,35
Total . . . . .	100,00	100,00	100,00

La première qualité est obtenue avec des eaux marquant 25 à 26° B. ;

La deuxième qualité, avec les eaux marquant 25 à 28°, et la troisième avec les eaux marquant 28 à 32°.

Il arrive généralement que l'on rejette les sels de la troisième qualité qui sont très chargés en chlorure et sulfate de magnésium, lesquels donnent une amertume spéciale au produit.

Lorsqu'on continue l'évaporation et que l'on recueille les sels abandonnés par les eaux marquant de 32 à 35° B., on obtient un produit connu sous le nom de sel mixte et qui est un mélange de chlorure de sodium et de sulfate de magnésium  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ . Ce sel est utilisé pour obtenir directement du sulfate de soude.

Si l'on recueille les sels abandonnés par les eaux marquant de 35 à 38° B., on obtient un produit qui ne se dépose que lorsqu'il fait très chaud et qui a reçu le nom de sel d'été déliquescent; c'est un mélange de chlorures de potassium et de magnésium, c'est de la carnallite artificielle.

L'eau-mère des marais salants subit un traitement spécial en vue de l'extraction des sels de magnésium, du chlorure de potassium, etc.

Avant de terminer ce qui a trait aux salins de la Méditerranée, il nous semble nécessaire de donner une description sommaire de la plus grande des installations, celle du Salin-de-Giraud. Elle est empruntée à la brochure que la *Compagnie des Produits Chimiques d'Alais*

*et de la Camargue*, qui en est possesseur, a mis à la disposition des membres du Jury de la classe 87 de l'Exposition de 1900.

Cinq mille hectares ont été aménagés pour l'industrie salinière sur la rive droite du Grand-Rhône en face de Port-Saint-Louis-du-Rhône et forment le Salin-de-Giraud qui est aujourd'hui incontestablement la plus grande unité salinière des côtes méditerranéennes.

A la suite d'une entente intervenue entre la Compagnie d'Alais et de la Camargue et la Société Solvay, cette dernière a créé une importante usine pour la fabrication de la soude à l'ammoniaque, à Giraud même, sur des terrains contigus à ceux du salin qui lui fournit le sel marin nécessaire sous forme de saumure. Le sel récolté est mis en camelles comme s'il devait être livré à l'état solide, débarrassé ainsi le plus complètement possible des eaux-mères au sein desquelles il s'est déposé et dissous sur place par adduction d'eau douce au pied même de la camelle et cette dissolution ou saumure est livrée à l'usine Solvay.

La Compagnie des Produits Chimiques d'Alais et de la Camargue a créé, auprès de ses établissements saliniers, une exploitation agricole importante.

La culture principale, la vigne, n'y occupe pas moins de 250 hectares.

Par suite de l'extension continuelle de l'industrie salinière de la Compagnie, par suite du développement de son entreprise agricole et par suite aussi de la création des établissements Solvay, la localité du Salin-de-Giraud constitue aujourd'hui un très important centre industriel avec une population de plus de 2 000 habitants et cela, en un endroit qui était complètement désert lorsque la Compagnie y prenait pied il y a un peu plus de quarante ans. La production du sel au Salin-de-Giraud atteint, depuis plusieurs années, 150 000 tonnes. Mais, pendant longtemps, il n'en a guère été récolté plus de la moitié, laquelle suffisait pour l'alimentation de l'Usine de Salindres et les ventes à la consommation intérieure et à l'exportation. L'autre moitié était redissoute sur les tables salantes mêmes par l'eau douce, et la dissolution était rejetée à la mer. Avant de procéder à cette redissolution, les eaux-mères avaient été soigneusement écoulées des tables et recueillies pour être utilisées à la préparation des sels potassiques et magnésiens.

Il convient de noter que le Salin-de-Giraud, est le seul, tous autres pays considérés aussi

bien que la France, qui poursuit l'industrie salinière jusqu'à l'extraction industrielle des sels de potasse et de magnésie par les procédés Ballard.

C'est pour les besoins de l'industrie spéciale des sels de potasse et de magnésie, que le Salin-de-Giraud produisait, comme il vient d'être dit, beaucoup plus de sel marin qu'il n'en pouvait écouler. Et c'est justement ce sel marin resté jusque-là sans emploi qui a justifié la création de l'importante usine voisine de MM. Solvay et C<sup>ie</sup> pour la soude par l'ammoniaque. Mais ce n'est pas sans difficulté que le sel dont il s'agit a pu être livré à l'Usine Solvay à l'état de saumure pure à des conditions assez basses pour répondre aux exigences de la fabrication d'un produit de prix aussi peu élevé que celui de la soude et rémunérer en même temps suffisamment l'industrie salinière. Le sel dont il s'agit gisait, en effet, à la fin de l'année salinière, sur des surfaces souvent très éloignées de tout. On pouvait bien, à l'aide de petits canaux spéciaux, extraire de ces surfaces l'eau-mère d'abord et ensuite la dissolution du sel à rejeter à la mer ; mais on ne pouvait songer à aborder ces surfaces pour y récolter et en rapporter ensuite à dos d'hommes, — pratique ordinaire des salins — le

sel pour l'accumuler à l'état de camelles où, après égouttage, il serait transformé en saumure. Les éloignements des surfaces dont il s'agit de celles où les camelles étaient possibles, atteignaient des distances variant d'un et demi à 3 kilomètres. C'est ainsi que la Compagnie a été amenée à apporter, dans l'industrie salinière, une innovation considérable et qui est incontestablement le progrès le plus marqué de cette industrie depuis bien longtemps. Cette innovation, c'est le transport et la mise en camelles par moyens exclusivement mécaniques.

Voici sommairement en quoi consistent ces moyens : l'emplacement où doit être constituée la camelle de sel est réuni à la surface, quel que soit son éloignement, qui doit y envoyer son sel par une voie Decauville de 0<sup>m</sup>,60, établie sur les petites digues même qui séparent les surfaces salantes. Sur cette voie Decauville circulent des wagons d'une tonne chacun, mis en mouvement par des locomotives légères et spéciales. Les trains comprennent ordinairement 25 wagons soit 25 tonnes de sel. Ces trains aboutissent et viennent s'engager sur une voie qui longe la camelle à former. Là ces wagons se vident dans le puisard d'un élévateur formé par une chaîne à godets inclinée, fonctionnant mécaniquement,

lequel enlève le sel à une hauteur verticale de 11 mètres environ et à une distance horizontale, à partir du puisard, de 10 mètres environ. En prenant son talus naturel de chaque côté de sa chute, le sel forme une camelle de dimensions telles que chaque mètre de longueur de cette camelle représente 200 tonnes de sel. Au fur et à mesure que l'accumulation du sel en dessous du sommet de l'élévateur à godets atteint la hauteur voulue pour la crête de la camelle, cet élévateur, porté sur un pont roulant sur rails, est avancé successivement de quelques mètres pour former une nouvelle tranche de camelle.

Par les moyens de transport que nous venons de dire, on comprend que la distance des surfaces à récolter n'importe plus : par wagons et locomotives, un, deux, trois kilomètres signifient peu ; avec les moyens anciens, ces distances constituaient des impossibilités absolues. Quant à la mise en camelle, elle est exclusivement mécanique et, par conséquent, incomparablement moins coûteuse que l'élévation à dos d'hommes avec jets de pelle, etc.

Cette innovation dans les moyens de récolter le sel et le mettre en camelles constitue dans l'industrie salinière un progrès très important. Si Giraud n'avait pas imaginé cette innovation,

L'installation de la fabrication de la soude à l'ammoniaque sur un salin à sel marin n'eût vraisemblablement jamais pu être décidée. La transformation de la camelle, dont nous venons de parler, en saumure est une opération fort simple : la camelle est établie sur un sol d'argile imperméable. Elle est entourée par une digue également en argile imperméable de 1 mètre environ de hauteur — et se trouve ainsi complètement renfermée dans un bassin imperméable. A un bout de ce bassin, on fait arriver l'eau douce, et à l'autre bout, on recueille une dissolution saturée de sel d'une pureté tout à fait satisfaisante pour la soudière et d'une limpidité parfaite. La camelle se dissout par la base, jusqu'à ce qu'elle ait entièrement disparu. La réussite de ce mode de préparation de la saumure a été aussi complète que la conception en a paru osés à première vue.

**Exploitation des dépôts de sel gemme.**

— L'exploitation des dépôts de sel gemme varie énormément avec la profondeur et la nature du gisement.

Lorsque le dépôt se trouve près de la surface de la terre comme à Cardona, l'exploitation a lieu à ciel ouvert ; lorsque la couche se trouve à une certaine profondeur, comme dans la plu-

part des cas, il est alors nécessaire de faire l'exploitation en utilisant des méthodes semblables à celles employées pour la houille et de procéder par puits et galeries.

Lorsque nous étudierons, à propos de l'industrie de la potasse, les mines de Stassfurt, nous verrons combien est importante et intéressante cette exploitation. Disons tout de suite que, dans ce gisement, le sel gemme se rencontre en grande masse; dans celle-ci, on trouve de temps en temps de petites couches d'anhydride.

Le département de Meurthe-et-Moselle compte des gisements de quelque importance; ici le sel gemme est toujours compris entre des couches d'argile qui ont parfois une très grande épaisseur.

**Exploitation des sources salées.** — L'exploitation des sources salées se fait par captage et par forage.

Dans ce procédé, les eaux salées sont envoyées, par des tubes spécialement disposés, à un puits. Lorsqu'on opère par forage, on pratique un trou de sonde ayant une profondeur suffisante pour atteindre une couche suffisamment riche en chlorure de sodium. On sait, en effet, que, en général, les couches les plus profondes sont les plus riches en sel. On se trouve évidemment

limité dans l'utilisation de cette méthode par les frais que nécessite le sondage; mais il arrive très fréquemment que l'on atteigne des profondeurs de 250 à 300 mètres.

Ayant extrait l'eau salée, soit par pompe, soit en utilisant un double tubage et un courant d'eau douce qui, circulant par un tube extérieur, force l'eau de mer à monter dans le tube intérieur, on doit concentrer l'eau salée, après qu'elle a abandonné, dans un bassin de décantation, toutes les matières étrangères qu'elle tenait en suspension.

La concentration des eaux salées peut se faire :

- 1° Au moyen des bâtiments de graduation, puis d'une évaporation en chaudières;
- 2° Au moyen de chaudières ordinaires;
- 3° Au moyen de l'appareil Picard;
- 4° Au moyen des appareils à vide.

1° La méthode dite des bâtiments de graduation est de plus en plus abandonnée. Elle consiste essentiellement à faire tomber l'eau en pluie sur un important lit de fagots et à rassembler le liquide dans un vaste bassin qui se trouve au-dessous de cette importante surface d'évaporation. On a vu des bâtiments de gra-

duction qui avaient 800 mètres de longueur et une hauteur de 17 mètres.

Il est bien évident qu'une telle méthode d'exploitation est extrêmement dispendieuse et que, d'autre part, elle est d'un rendement extraordinairement irrégulier. Ceci justifie son abandon total, du moins en France.

2° On préfère généralement faire tout de suite l'évaporation en chaudières. Toutefois, il est bon d'ajouter que, dans quelques salines, on commence par épurer l'eau en lui ajoutant une quantité suffisante de chaux qui précipite du sulfate de chaux, de l'oxyde de fer, de l'alumine, de la magnésie, etc.

Les eaux doivent être ensuite concentrées jusqu'à saturation ; puis on les fait cristalliser.

A cet effet, on emploie généralement (bien que ce moyen soit moins perfectionné que ceux que nous allons décrire) des chaudières en tôle ou mieux en fonte, ces dernières s'attaquant moins. Ces chaudières sont ordinairement rectangulaires et leur profondeur ne dépasse guère 40 à 50 centimètres, tandis que leur surface atteint parfois 150 à 200 mètres carrés.

Les gaz provenant du foyer doivent évidemment suivre des canaux disposés de façon à parcourir le plus long chemin possible.

Les chaudières sont généralement surmontées d'une hotte en bois permettant, par tirage forcé, l'échappement rapide des vapeurs produites.

On a cherché à améliorer le rendement des chaudières en établissant au-dessus de la surface du liquide à évaporer une circulation d'air chaud (méthode Born); mais on a dû abandonner ce moyen très judicieux, car la voûte placée au-dessus de la chaudière gênait considérablement les manipulations.

Une fois les eaux salines amenées au degré de concentration voulue, il faut les faire cristalliser. Or il est impossible de procéder dans ce cas par les méthodes généralement usitées dans l'industrie chimique, lesquelles se basant sur la solubilité plus grande d'un produit à température élevée qu'à la température ambiante, consistent essentiellement à laisser refroidir une solution saturée à 100°. Ici, le chlorure de sodium ne présentant pas un coefficient de solubilité dans l'eau très différent à 100 et à 20°, il est nécessaire de continuer l'évaporation, après la saturation du liquide.

En agissant ainsi, on obtient tout d'abord une écume, formée de matières résineuses et de sulfate double de soude et de chaux; on l'enlève avec soins. Puis on envoie la solution saturée dans

des chaudières de cristallisation, portées à la température voulue. C'est de cette température dont dépendra en grande partie la formation des grains.

Si elle est de 80° environ, on obtient de superbes cristaux en trémies. Si l'évaporation est rapide, on obtient du sel fin ; si l'évaporation est lente, on produit de gros cristaux. Cela s'explique aisément par ce fait que, dans le second cas, aucun mouvement n'étant produit dans la masse saturée, chaque cristal qui a pris naissance se développe, se nourrit au détriment de la solution environnante.

On pêche le sel fin dans la chaudière.

Les eaux-mères se colorent, à mesure que le sel cristallise et même il arrive un moment où le sel qui se précipite entraîne des quantités tellement importantes d'impuretés qu'on arrête l'opération. C'est alors que l'on recharge la chaudière de cristallisation avec des eaux saturées provenant de la chaudière d'évaporation.

Il est de toute évidence qu'on est limité dans cette opération par l'obtention d'eaux-mères trop riches en matières étrangères ; on les met alors de côté pour les exploiter en vue d'en extraire certains sels de sodium, de potassium, de magnésium, ainsi que le brome.

Le sel retiré de la chaudière est laissé égoutter dans des paniers spéciaux ou sur des tablettes ; l'eau-mère se sépare et retourne dans la chaudière.

Le sel est ensuite desséché à l'air ou bien dans des étuves au moyen d'une circulation de gaz chauds ;

3° Les *appareils Picard*, qui ont été installés dans quelques salines, ne se sont pas très développés, ils constituent cependant un tel perfectionnement dans ce traitement des eaux salées, qu'il nous a paru nécessaire d'en donner tout au moins une description sommaire.

Le principe sur lequel ils reposent est extrêmement simple ; leur utilisation industrielle est plus complexe.

Le gros reproche que l'on peut adresser aux procédés d'évaporation en chaudière réside dans les dépenses qu'il exige ; il faut, en effet, brûler 30 kilog. de houille environ pour obtenir 100 kilog. de sel. On a alors pensé à utiliser la vapeur provenant de la chaudière pour chauffer l'eau salée y arrivant. Les premiers essais furent faits à Dombasle : on faisait l'évaporation dans une chaudière close, les vapeurs d'échappement passaient dans un faisceau tubulaire contre lequel circulait l'eau salée ; une vis sans fin disposée

dans l'intérieur de la chaudière faisait circuler le sel déposé et le rejetait par une trémie.

Ce système n'était pas suffisamment économique; car la vapeur s'échappant ne pouvait amener à une température suffisante l'eau saline qui ne bout qu'à 108°.

C'est alors que l'on songea à prendre la vapeur de la chaudière, à la comprimer et à l'utiliser ainsi pour chauffer l'eau saline, qui pouvait, de ce fait, être portée à une température beaucoup plus élevée que dans le procédé précédent.

Le premier appareil basé sur ce principe fut construit en 1857 par Ritlinger; puis la question fut reprise en 1875 par M. Picard, industriel, professeur à Basles.

Il est tout d'abord nécessaire d'éviter le dépôt du sel sur les parois, sans quoi on obtient un produit légèrement teinté de rouille; pour que ce dépôt se fasse dans le liquide même, il est nécessaire que le chauffage de l'eau soit séparé de l'évaporation. C'est pourquoi l'appareil comporte deux chaudières, C et C' (*fig. 1, 2 et 3*). L'une comporte un corps tubulaire dans lequel circulera la vapeur, qui aura été préalablement comprimée à 2 atmosphères un quart; elle se trouve ainsi chauffée à 125°.

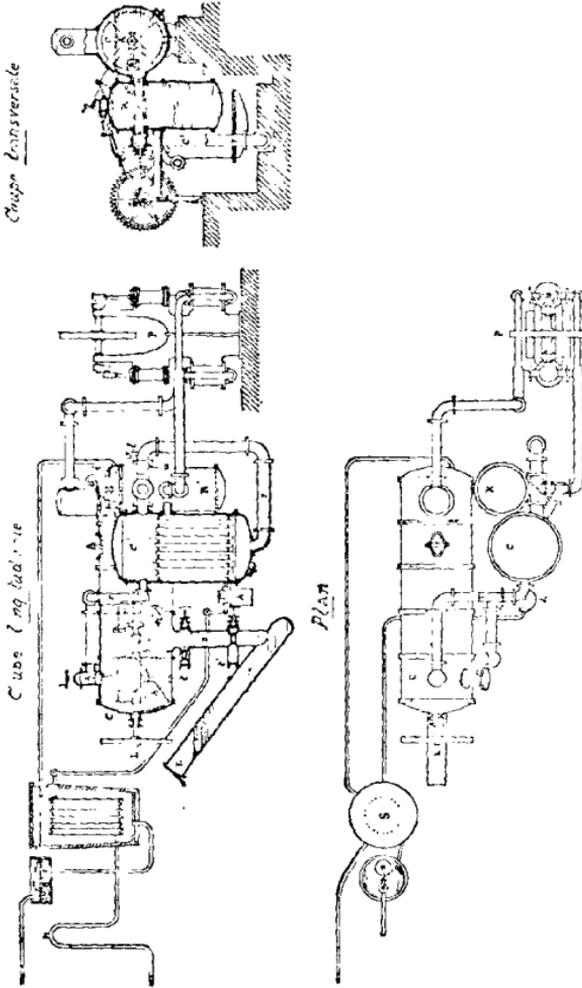


Fig. 1. -- Coupe longitudinale ; Fig. 2. -- Coupe transversale ; Fig. 3. -- Plan.

L'autre chaudière C où règne la pression atmosphérique sert à l'évaporation ; celle-ci a lieu simplement par la chaleur que le liquide a absorbée en C'. L'eau saline va d'un mouvement continu de la chaudière C' à la chaudière C pour revenir ensuite en C' ; le tuyau T sert pour cette circulation ; en O se trouve un robinet-cône permettant de régler l'arrivée du liquide.

C'est au moment où l'eau saline surchauffée sort du robinet que, l'eau se vaporisant sous la pression atmosphérique qui règne en C, le sel se forme et tombe dans l'eau salée et concentrée qui se trouve dans le récipient.

Des pelles gauches L, et une hélice L' mises en mouvement par l'arbre L rassemblent le sel et l'amènent dans l'espace D au dessus et au dessous duquel se trouvent deux tiroirs *t* et *t'* ; *t* est maintenu ouvert, *t'* est fermé. Lorsque l'espace D est rempli de sel, on ferme *t* et on ouvre *t'* ; le sel s'écoule alors dans le récipient incliné E, où il se tasse dans un panier en tôle perforée qu'il contient ; ce panier est amené à la partie supérieure du récipient et on laisse le sel s'égoutter.

Pour éviter les rentrées d'air pendant la manipulation des tiroirs, on a soin de maintenir remplie d'eau saturée de sel, la branche montante du tube E.

L'appareil que nous venons de décrire ne peut donner que du sel fin. Or il est nécessaire d'avoir du gros sel pour les salaisons et la fabrication des produits chimiques. On a donc créé un autre appareil destiné à préparer le gros sel.

Il se compose d'un bassin en maçonnerie dans lequel arrive l'eau salée, qui est chauffée par un grand nombre de tuyaux en fer qui reçoivent la vapeur comprimée. L'eau salée n'entre pas en ébullition; à la surface du liquide, on fait passer à faible vitesse un courant d'air qui se sature de vapeur d'eau. Cet air est dirigé dans un récipient clos où il est soumis à l'action d'une pluie très fine, qui condense une partie de la vapeur. L'air vient de nouveau circuler au-dessus de la surface du liquide.

D'autre part, l'eau de pluie est vaporisée sous basse pression; la vapeur est comprimée et envoyée dans le tubulaire.

Les appareils Picard n'ont pas pris tout le développement que l'on pouvait espérer. Ils ont fonctionné dans les salines suivantes :

Bex (Savoie); Maixe (Meurthe-et-Moselle); Schœnebeek (Allemagne) et aussi dans une saline de la Haute-Garonne.

Ce procédé a été conservé à Bex.

4° Le traitement des eaux salées par l'évapo-

ration dans le vide paraît, au contraire, devoir donner les plus brillants résultats.

L'emploi du *triple effet* de sucrerie pour l'obtention du sel, date de 1890 et est dû principalement à Pick. Chaque appareil se compose d'un système tubulaire chauffé par la vapeur, d'un récipient dans lequel se rassemble la vapeur provenant de l'évaporation de l'eau salée, tandis que le sel gagne une trémie et tombe enfin, lorsqu'on ouvre le registre, dans un réservoir, où il se sépare de la saumure.

## CHAPITRE II

---

### L'INDUSTRIE DU CHLORURE DE SODIUM AU POINT DE VUE ÉCONOMIQUE

**Principaux débouchés du chlorure de sodium.** — Le chlorure de sodium est le produit naturel le plus important au point de vue chimique.

Il trouve dans l'alimentation un débouché extrêmement important : un homme moyen consomme chaque année 7 à 8 kilogrammes de sel marin.

Le sel est la matière première de la fabrication du sulfate de soude, de l'acide chlorhydrique, du carbonate de soude.

Il est utilisé pour préparer le chlore et la soude par électrolyse ; il est employé en métallurgie pour effectuer l'importante opération connue sous le nom de grillage chlorurant et utilisée pour l'extraction de l'argent.

Les salaisons (viandes, poissons, beurre) en utilisent d'importantes quantités. En mégisserie, il sert pour la préparation du mordant d'alun. Enfin le salage des savons, le vernissage des poteries, la destruction des neiges dans les villes et la conservation des bois constituent des débouchés qui ont leur valeur.

**Production dans les différents pays.** — Les différents pays producteurs sont :

La France, l'Angleterre, l'Allemagne, la Russie, l'Autriche-Hongrie, l'Italie, l'Espagne et le Portugal. Enfin la Russie en produit aussi quelque quantité.

*France.* — La production moyenne de la France en sel est de 975 000 tonnes dont :

150 000	pour les salines de l'Ouest.
200 000	„ du Midi.
450 000	„ de Meurthe-et-Moselle.
175 000	pour les mines de sel gemme.

Pour les marais salants, la production varie beaucoup avec la saison.

C'est ainsi qu'en 1889 la récolte fut remarquable, la température ayant été particulièrement favorable.

L'on sait qu'en France, les marais salants et les sources salines relèvent, au point de vue des

impôts, du service de la Douane, tandis que les mines de sel gemme relèvent des Contributions Indirectes.

Toutes les salines de Meurthe-et-Moselle, du Doubs, de la Haute-Saône et celles du bassin de l'Adour ont formé une société d'entente qui ne comprend pas les marais salants.

Les principales salines du Nord-Est et de l'Est sont :

Celles de Vic et Moyenvic (Alsace-Lorraine), Montmorat (Jura) et Arc (Doubs) exploitées par la Société anonyme des anciennes Salines domaniales de l'Est (cette compagnie possède, en outre, une importante fabrique de produits chimiques à Dieuze (Alsace-Lorraine)). Les salines de Varangéville, Dombasle, Sommervillers, Rosières et Saint-Nicolas, appartenant à la Société des salines de Varangéville; la saline de Saint-Nicolas (Meurthe-et-Moselle) relevant du Comptoir de l'industrie du sel et des produits chimiques de l'Est (Marchéville-Daguin); les salines de Pouilley-les-Vignes (Doubs), Périgny (Jura), Miserey, Sainte-Valdrée et Sainte-Lucie.

*Allemagne.* — Le sel gemme est retiré d'environ six mines, on exploite, de plus, environ 81 salines.

Voici la production de ces deux sels pendant quelques années :

Années	Sel gemme	Sel de salina	Total
1893	669 100	504 500	1 173 600
1894	734 900	522 600	1 257 500
1895	686 900	525 400	1 212 300
1896	758 900	547 500	1 306 400
1897	763 400	543 300	1 306 700
1900	926 000	587 000	1 513 000

La consommation du sel de cuisine alimentaire qui, pour cet usage, est frappé d'un impôt de 120 marks par tonne, était, en Allemagne, en 1897, de 419 999 tonnes, soit 7<sup>kg</sup>,8 par habitant.

*Angleterre.* — La production est d'environ 2 000 000 de tonnes.

*Hongrie.* — Dans ce pays, l'extraction du sel est un monopole de l'État. Il occupe 2 150 ouvriers. Sa production en 1898 a été de :

Désignation	Quintaux métriques
Sel gemme . . . . .	1 168 388
Sel . . . . .	82 910
Sel pour usines . . . . .	125 506
Sel moulu . . . . .	217 381
Sel pour bétail . . . . .	63 090
Sel menu . . . . .	35 074
Sel cuit . . . . .	63 495
	<hr/>
	1 755 844

*Autres pays.* — La production de l'Italie est de 250 000 tonnes. Enfin l'Espagne et le Portugal produisent 700 000 tonnes.

**Importations et exportations françaises.** — Le tableau de la page suivante résume les importations et les exportations françaises durant ces dernières années; il montre combien nos exportations sont supérieures à nos importations.

**Exportations et importations des autres pays.** — L'Allemagne exporte annuellement 215 000 tonnes de sel. L'Angleterre expédie, hors de son territoire, 800 000 tonnes environ de chlorure de sodium; la majeure partie gagne les Indes.

**Droit de consommation. Cours.** — Les sels paient, en France, cent francs de droit de consommation à l'État par 1 000 kilogrammes. Ceux utilisés par l'industrie et la culture sont exonérés de cet impôt. L'acheteur doit produire les pièces prouvant qu'il a l'emploi de ce sel.

Le sel livré à l'industrie peut être dénaturé par l'un des mélanges suivants :

10 <sup>kg</sup> de naphthaline par . . .	1 000 <sup>kg</sup> de sel
25 <sup>kg</sup> de goudron par . . .	1 000 <sup>kg</sup> "
50 <sup>kg</sup> de carbonate de soude par	1 000 <sup>kg</sup> "

IMPORTATIONS ET EXPORTATIONS FRANÇAISES

		1891	1892	1893	1894	1895	1896	1897	1898	1899	1900
<i>Exportations françaises en tonnes</i>											
Sel marin	} Bruts ou raffinés au-										
Sel de saline		916	940	990	1 077	1 142	1 119	1 358	1 258	1 280	1 303
Sel gemme		277	177	262	377	325	314	301	384	388	448
<i>Importations françaises en tonnes</i>											
Sel marin	} Bruts ou raffinés au-										
Sel de saline		310	248	238	236	173	169	327	348	415	309
Sel gemme		2	2	2	2	2	3	2	4	6	4

Pour la culture, on emploie l'un des produits ou mélanges suivants :

200 <sup>kg</sup> de tourteaux oléagineux	par 1 000 <sup>kg</sup> de sel
100 <sup>kg</sup> de tourteaux	} par 1 000 <sup>kg</sup> de sel
5 <sup>kg</sup> de peroxyde	
10 <sup>kg</sup> de poudre d'absinthe	} par 1 000 <sup>kg</sup> de sel
10 <sup>kg</sup> de mélasse	
5 <sup>kg</sup> de peroxyde	
250 <sup>kg</sup> de chaux	par 1 000 <sup>kg</sup> de sel

Les cours des sels des salines de l'Est n'ont pas éprouvé de grandes variations depuis 1870 ; 1<sup>fr</sup>,50 ou 1 franc par 100 kilogrammes, suivant que la récolte a été ou non favorable dans l'Ouest.

Quant au sel marin, les prix ont varié suivant la production annuelle qui dépend essentiellement de la température et de la sécheresse des mois de juillet et d'août.

Les trois étés de 1879, 1880 et 1882 ont été très pluvieux dans l'Ouest ; les cours ont varié à ce moment-là de 6 francs à 30 francs la tonne.

## CHAPITRE III

### L'INDUSTRIE DU CARBONATE DE SOUDE AU POINT DE VUE TECHNIQUE, CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

**Différentes sources de carbonate de soude.** — Les seules sources de carbonate de soude exploitées pendant fort longtemps ont été les sodes naturelles et la soude des plantes. Ce n'est que vers 1790 que l'on fabriqua de la soude par des procédés chimiques.

*Sodes naturelles.* — Le carbonate de soude entre dans un très grand nombre de mélanges de sels de soude que l'on rencontre dans la nature.

On en trouve dans les eaux de Vichy et d'Aix-la-Chapelle, ainsi que dans les eaux des geysers d'Islande. Les eaux des lacs natrifères qui se trouvent en Afrique, en Californie, dans les Indes, au Mexique, etc., contiennent en grandes

quantités du sesquicarbonate



Enfin le carbonate de sodium se rencontre en quantités parfois importantes sous forme d'efflorescence : en Égypte, le produit porte le nom de *Tro-Na*; c'est là qu'il faut chercher l'étymologie du mot *natron*, employé parfois pour désigner le carbonate de sodium. A signaler enfin qu'un lac de Colombie renferme du carbonate de soude qui se dépose au moment des fortes chaleurs, des plongeurs vont alors le pêcher.

Voici des analyses de la soude d'Égypte (Remy) et de l'Inde (Pfeiffer) :

Soude d'Égypte		Soude de l'Inde	
Carbonate de soude . . . . .	18,43	Acide carbonique . . . . .	16,00
Sesquicarbonate de soude . . . . .	47,29	Acide sulfurique . . . . .	4 01
Sulfate de soude . . . . .	2,15	Chlore . . . . .	0,79
Chlorure de sodium . . . . .	8,16	Soude . . . . .	22,59
Carbonate de chaux . . . . .	0,20	Potasse . . . . .	2,65
Carb. de magnésie . . . . .	traces	Chaux . . . . .	0,16
Acide borique . . . . .	//	Magnésie . . . . .	0,30
Matières organiques . . . . .	//	Oxyde de fer . . . . .	1,08
Résidu insoluble . . . . .	4,11	Alumine . . . . .	0,26
Eau . . . . .	19,67	Silice et sable . . . . .	34,65
	100,01	Eau . . . . .	17,59
			100,08

*Soude des plantes.* — On sait que les cendres provenant de la calcination des plantes sont particulièrement riches en sels de potassium; cependant certaines plantes poussant notamment sur les bords de la mer ont des cendres riches en soude. Il en est de même de quelques végétaux qui se développent dans les terrains salés.

L'extraction de la soude par traitement des plantes se fait très simplement : ces plantes sont fauchées à l'époque voulue pour que le rendement en sel de soude soit maximum; puis elles sont séchées et enfin incinérées dans des fosses dont le fond est constitué par une maçonnerie grossière.

On obtient à la fin une masse en quelque sorte vitreuse, car il y a eu presque fusion sous l'influence de la haute température développée dans la fosse.

Suivant l'origine de la soude, on distingue plusieurs espèces : nous citerons la *soude de varechs* préparée surtout en Bretagne et en Normandie, le *kelp* obtenu en Écosse et en Irlande, les soudes d'Arménie, d'Aigues-Mortes, la *barille* préparée sur les côtes d'Espagne avec une plante qui porte ce nom, etc.

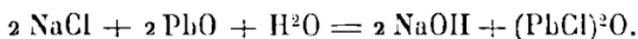
*Soude artificielle.* — La fabrication de la soude artificielle a acquis une importance telle

qu'il nous semble utile de rappeler en un court historique les différentes étapes de cette industrie, avant même d'entrer dans l'étude des divers procédés utilisés.

En 1776, l'Académie des Sciences se rappelant que Duhamel du Monceau avait démontré, en 1736, que la soude possédait *même base* que le chlorure de sodium, créa un prix de 2 400 livres destiné à récompenser la création du meilleur procédé de fabrication de la soude en partant du chlorure de sodium.

Les premiers pionniers de l'industrie de la soude s'appelèrent Scheele, Malherbe, de la Métherie.

Scheele traita le chlorure de sodium par la litharge; une dissolution de sel marin passait sur des couches de litharge; la réaction était :



Malherbe, le premier, songea à transformer le chlorure de sodium en sulfate de soude; celui-ci était calciné en présence de charbon et de fer; le mélange ainsi obtenu était abandonné à l'air; on obtenait, d'une part, du sulfure de fer, d'autre part, du carbonate.

De la Métherie se plaça dans une voie plus heureuse en cherchant à décomposer le sulfate

de soude par le charbon à température convenable ; il pensait que la réaction donnerait du carbonate de soude et de l'acide sulfureux qui se dégagerait ; mais il obtint du carbonate de soude mélangé à du sulfure de sodium.

Enfin Nicolas Leblanc, reprenant ce procédé, le rendit réellement industriel en opérant la *réduction du sulfate de soude par le charbon, en présence du carbonate de chaux*.

N. Leblanc s'était déjà rendu célèbre par ses recherches sur la cristallisation des solutions renfermant divers sels. Des essais de laboratoire lui démontrèrent les réactions qui intervenaient lorsqu'on calcinait le sulfate de soude en présence de charbon et de carbonate de chaux. Il s'adressa au duc d'Orléans dont il était le médecin pour avoir les capitaux nécessaires pour commencer la fabrication ; celui-ci lui remit une somme de 200 000 francs et, le 29 septembre 1791, un brevet d'invention lui était décerné. Il ne put d'ailleurs en profiter ; en effet, par suite des guerres de la Révolution, la fabrication de la poudre avait augmenté considérablement, toute la potasse que produisait la France était consommée de ce côté ; d'autre part, les importations de soude qui étaient de la plus grande importance (notamment celles d'Espagne) cessèrent. C'est alors que le

Comité de Salut public décréta que les procédés susceptibles de transformer le chlorure de sodium en soude devaient être rendus publics. Parmi toutes les fabrications proposées, le procédé Leblanc fut reconnu le plus avantageux et rendu public.

A cette même époque, l'usine de Saint-Denis où était monté ce procédé fut regardée comme appartenant à Philippe-Égalité et saisie en même temps que ses autres biens. On offrit à Leblanc comme compensation l'usine de Franciade, mais Leblanc dépensa toute sa fortune à sa mise en marche et, brisé par la misère, il se suicida.

Une enquête faite sur la demande de diverses personnes réclamant la priorité du principe utilisé dans le procédé Leblanc démontra que ce chimiste était bien l'inventeur de l'important procédé qui, pendant soixante années, fournit la soude au monde entier.

Puis, en 1861, naquit le procédé de la soude à l'ammoniaque qui conquiert rapidement une place importante dans l'industrie.

Enfin, il y a quelques années, les procédés électrolytiques entrèrent en jeu, apportant une solution toujours élégante, parfois économique, souvent difficile à mettre en pratique, de cet

important problème économique : la transformation du chlorure de sodium en carbonate de soude.

Nous étudierons successivement ces trois grands procédés :

- 1° Procédé Leblanc ;
- 2° Procédé de la soude à l'ammoniaque ;
- 3° Procédés électrolytiques.

Pour ces derniers, nous nous efforcerons de donner une classification simple et nous ne décrirons que les procédés réellement entrés dans la pratique, renvoyant d'ailleurs au livre publié par M. Minet.

Dans un quatrième chapitre, nous traiterons de quelques autres procédés de moindre importance. Nous aurons grand soin d'écartier de ce travail tout ce qui pourrait nuire à la clarté de l'exposé ; aussi ne parlerons-nous point des innombrables brevets qui ont été pris sur ce sujet et qui n'ont laissé aucune trace industrielle.

---

## CHAPITRE IV

—

### L'INDUSTRIE DU CARBONATE DE SOUDE AU POINT DE VUE TECHNIQUE. LE PROCÉDÉ LEBLANC

**Principe.** — Le procédé Leblanc repose sur les opérations suivantes :

1° *Traitement du chlorure de sodium par l'acide sulfurique* ; production de sulfate de sodium et de gaz chlorhydrique. On a, dans les conditions que nous avons indiquées (1), les réactions :

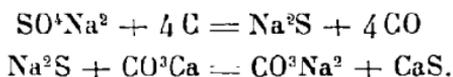


2° *Traitement du sulfate de soude par un mélange charbon et carbonate de chaux.* — Les

---

(1) LÉON GUILLET. — *L'industrie des acides minéraux.* Encyclopédie Scientifique des Aide-Mémoire. Gauthier-Villars et Masson, éditeurs.

phénomènes qui se passent sont exprimés dans les réactions suivantes :



De plus, le charbon peut réagir sur le carbonate de chaux et donner de l'oxyde de carbone :



Nous verrons l'importance que l'on doit attribuer à ce phénomène.

3° *Raffinage de la soude brute*, qui comprend le lessivage et l'élimination du fer ;

4° Évaporation des lessives, obtention et calcination du sel.

Nous passerons successivement en revue ces diverses opérations, mais, avant, nous dirons quelques mots des matières premières employées.

**Matières premières.** — Le *sulfate de soude* doit être aussi riche que possible, il ne doit contenir au maximum que 2 % de sel, au plus autant d'acide sulfurique, des traces de fer et d'alumine.

Pour le carbonate de chaux, il faut éviter l'alumine, les oxydes de fer, la magnésie et la silice.

On prend le plus ordinairement de la craie que l'on sèche et que l'on broie en morceaux.

Quant au charbon, il doit avant tout renfermer le moins d'azote possible, sans quoi il se forme des ferrocyanure, sulfocyanure et sulfocyanate de sodium qui viennent diminuer considérablement la valeur du produit final.

De plus, il est nécessaire de bien choisir la nuance du charbon que l'on veut employer; il faut que les cendres ne dépassent pas 12 à 13 %<sub>0</sub>, que l'azote ne soit pas en quantité supérieure à 0,5 ou à 0,75. Quant au soufre, il ne doit pas y en avoir 2 %<sub>0</sub>.

Le *mélange* des matières varie avec les fours et la valeur des matières premières. Voici deux types de pourcentage :

100 SO<sup>4</sup>Na<sup>2</sup> ; 110 CO<sup>3</sup>Ca ; 75 C (four réverbère)  
 100 SO<sup>4</sup>Na<sup>2</sup> ; 124 CO<sup>3</sup>Ca ; 25 C (four mécanique).

**Traitement du chlorure de sodium par l'acide sulfurique.** — Cette opération a été décrite avec grands détails dans notre étude sur l'*Industrie des acides minéraux* à propos de la fabrication de l'acide chlorhydrique ; nous n'avons point à y revenir.

**Traitement du sulfate de soude par le mélange charbon et carbonate de chaux.**

— Ce traitement se fait dans des fours à flamme qui peuvent être classés en :

A. Fours à bras.

B. Fours mécaniques.

A. *Fours à bras.* — Dans la première usine de Saint-Denis, le four utilisé avait une sole rectangulaire de 2 mètres de long et de 0<sup>m</sup>,60 de large. On y avait une température trop élevée et très inégale. Le produit était de mauvaise qualité.

Payen employa une sole elliptique qui fut perfectionnée par d'Arcet.

Clément voulut augmenter le rendement en donnant de plus grandes dimensions à la sole ; on alla jusqu'à 28 mètres carrés (Chauny). L'erreur fut vite reconnue, car la sole était chauffée inégalement, le travail qui se faisait alors par un très grand nombre de portes était inégal, la soude obtenue n'était pas homogène.

L'étude pratique des fours a bien démontré qu'on ne pouvait utiliser des soles ayant plus de 8 à 9 mètres carrés de surface.

Le four que l'on utilise peut être à une sole ou à deux soles.

Dans les fours à une sole, on fait le charge-

ment, soit par une des portes de travail, soit par une trémie spéciale. On voit, au bout de trente minutes, le sulfate de soude fondre; on brasse et l'on s'aperçoit bientôt que les réactions commencent. On continue à brasser presque sans cesse. La masse, d'abord très fluide, devient pâteuse, ce qui s'explique par la fusibilité du carbonate de soude de beaucoup inférieure à celle du sulfate. Au bout d'un certain temps, toute la masse augmente de volume et enfin se produit le phénomène connu sous le nom de *chandelles* : l'oxyde de carbone, qui prend naissance par action du charbon en excès sur la craie également en excès, vient brûler à la surface. Ceci indique la fin de la réaction. La masse est alors rassemblée, puis amenée devant la porte du four et rejetée sur un chariot.

L'on doit cesser l'opération au moment où se produisent les chandelles; s'il en était autrement on aurait un produit connu sous le nom de *soude brûlée* et renfermant des polysulfures de sodium.

Dans les fours à deux soles (*fig. 4* et *5*), celles-ci se trouvent à deux niveaux différents à environ 0<sup>m</sup>,20 de distance. On charge la matière sur la sole haute, elle y reste une heure environ, on l'y brasse. Puis on la fait passer sur la sole infé-

rière, là elle fond bientôt et le traitement se poursuit comme il a été dit. En somme, le commencement de l'opération se fait sur une première sole, tandis que la fin se passe sur une autre placée à un niveau inférieur. Un tel four a un rendement bien supérieur au premier décrit; on peut, en effet, extraire du four, toutes les heures, les résultats d'une opération.

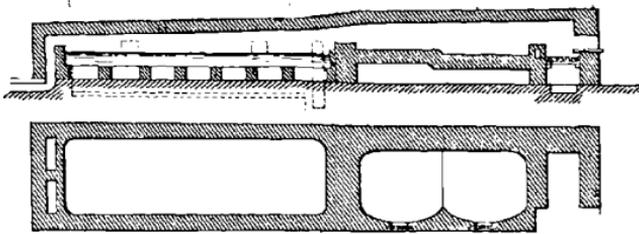


Fig. 4. — Coupe longitudinale; fig. 5. — Plan.

La température la meilleure, quel que soit le four, est de 900 à 1 000°.

L'importance d'une charge varie avec les pays. C'est ainsi qu'en Angleterre on fait des charges plus petites et plus fréquentes, tandis que sur les continents, on fait des charges qui atteignent parfois 300 et même 500 kilogrammes.

La consommation de charbon varie avec l'espèce de houille et le four.

En Angleterre, la consommation atteint 65 kilogrammes par 100 kilogrammes de sulfate; en

France et en Allemagne, elle est d'environ 50 à 60 kilogrammes, toujours par 100 kilogrammes de sulfate traité.

Les flammes perdues sont utilisées, comme nous le verrons, pour l'évaporation des lessives.

B. *Fours mécaniques.* — Les fours mécaniques ou fours révolvers employés pour la fabrication de la soude sont du type indiqué dans les *fig.* 6 et 7.

Ils comprennent deux foyers qui envoient leurs flammes dans un cylindre tournant où se passent les réactions que nous avons indiquées ; une bague suspendue permet aux flammes d'arriver dans le cylindre tournant autour de son axe.

Ce cylindre est constitué par une tôle garnie de briques réfractaires ; quelques saillies sont ménagées dans cette paroi de façon à effectuer un brassage énergique de la masse. Le mouvement de rotation du cylindre autour de son axe est obtenu au moyen d'un engrenage mis en mouvement par un petit pignon ; des galets guident le cylindre dans ce mouvement ; toute la partie machine, nécessaire à ce mouvement, est placée dans un bâtiment généralement attenant à la salle du four.

Les flammes perdues gagnent un carneau où

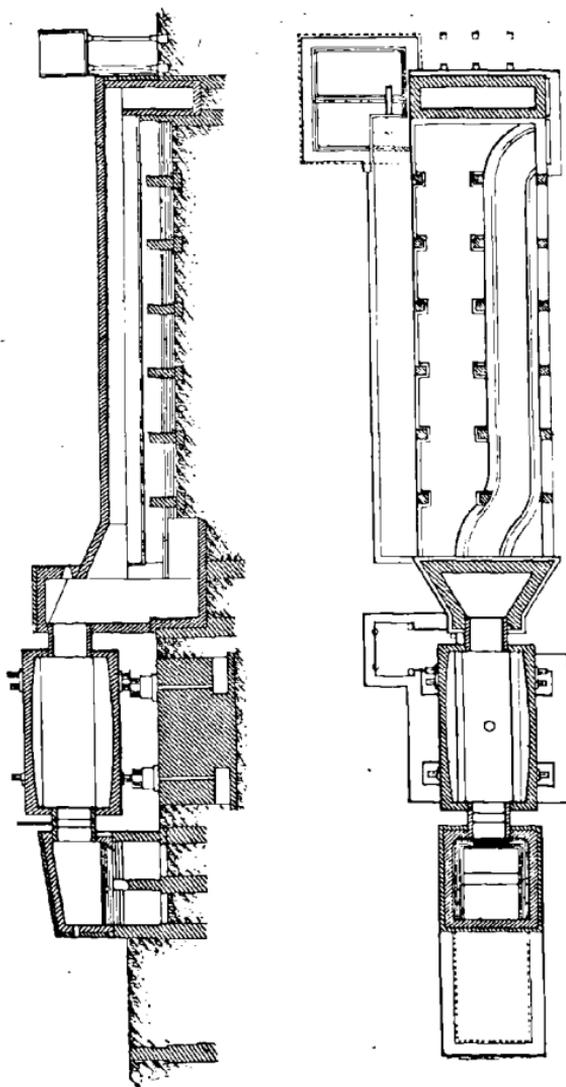


Fig. 6. — Coupo longitudinale; fig. 7. — Plan.

elles servent à l'évaporation des lessives ; elles ont déposé auparavant les poussières entraînées dans une chambre qui possède un regard permettant de suivre la marche de l'opération. Les fig. 6 et 7 donnent l'ensemble d'une installation, où l'on notera le réservoir d'alimentation de la chaudière, un égouttoir qui reçoit les sels pèchés et permet au liquide entraîné de s'écouler dans un récipient. Enfin on remarquera un terre-plein nécessaire au service des foyers, et le carneau conduisant les gaz à la cheminée.

Dans les fours mécaniques, on peut employer deux méthodes de travail :

1<sup>o</sup> *Méthode anglaise.* — Le four, porté au préalable au rouge vif, est mis en mouvement lent ; on charge le carbonate de chaux en morceaux. Il y a, sous l'action de la chaleur, formation d'une certaine quantité de chaux qui, au lessivage, réagira sur le carbonate de soude en donnant de la soude.

Puis on achève la charge et on diminue le tirage de façon que le charbon qui est en poudre ne soit pas entraîné. Dès que le sulfate de soude est fondu, ce que l'on voit aisément à la coloration jaune de la flamme, on active le mouvement de rotation du four. La matière devient pâteuse, on voit se produire le phénomène des

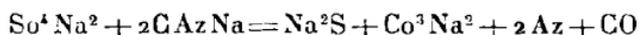
chandelles. On amène le four à la position du déchargement, on enlève la plaque qui recouvre la cavité et on coule dans des wagonnets.

2° *Méthode française.* — Dans la méthode française, tout le mélange est placé en même temps dans le four. On n'accélère la vitesse, très lente au début, qu'au moment où la masse devient pâteuse.

Les avantages des fours mécaniques sont les suivants :

- 1° Réduction considérable de la main d'œuvre ;
- 2° Grande régularité de production ;
- 3° Obtention d'une matière plus riche ;
- 4° Suppression du broyage du carbonate de chaux ;
- 5° Suppression d'un personnel spécialement dressé.

Nous avons dit que l'azote contenu dans ce charbon donne naissance à du cyanure. Pour éviter ce cyanure, M. Péchiney a indiqué de faire une petite addition de sulfate de soude vers la fin de la réaction ; on a, en effet, l'équation :



**Raffinage de la soude brute.** — Cette opération comprend deux phases bien distinctes :

- 1° Le lessivage de la soude brute ;
- 2° La purification des lessives.

Elle a pour but de préparer du carbonate de soude qui, par sa pureté relative, est susceptible de constituer les sels de soude du commerce.

1° *Lessivage de la soude brute.* — Cette opération doit être faite dans les conditions suivantes : Utiliser les pains de soude brute ; si on broyait la soude on obtiendrait une boue très difficile à traiter. Laisser la soude le moins longtemps possible en contact avec l'eau. Maintenir, pendant l'opération, la température entre 35 et 40°. Enfin, comme tout traitement de cette espèce, le lessivage de la soude doit être *méthodique*.

Avant le lessivage, les blocs de soude brute sont généralement exposés à l'air, pendant un ou deux jours. Ceci a pour but, non seulement de laisser refroidir le produit, mais surtout de produire une modification qui facilitera la lixiviation. Dans ces conditions, en effet, la soude se délite un peu : la chaux toujours contenue dans la soude brute se transforme en hydrate, la matière gonfle et se fissure ; les sulfures de sodium qui se trouvent en petites quantités (la soude brûlée en contient beaucoup) passent à l'état

d'hyposulfite, mais pendant l'exposition à l'air; il se fait une diminution très sensible du degré alcalin; le sulfure de calcium s'oxyde, donne du sulfate de chaux qui réagit sur le carbonate de soude pour donner finalement du sulfate de soude. Aussi l'exposition à l'air ne doit être prolongée que le temps nécessaire pour qu'une partie de la chaux se transformant en hydrate, la masse se délite.

Le premier appareil qui ait été employé pour le lessivage de la soude est celui de Clément-Desormes. Il comprenait une série de bacs en tôle placés en gradins. L'eau circule d'un bac dans l'autre; les pains de soude brute sont placés dans des paniers en tôle perforée que l'on place successivement dans chaque bac en commençant par le dernier.

Deux paniers renfermant chacun 50 kilog. sont disposés dans le bac inférieur, puis après une demi-heure placés dans le bac immédiatement supérieur et ainsi de suite. Cet appareil nécessitait, de ce fait, une main d'œuvre considérable; de plus, la soude brute ayant trempé dans l'eau et se trouvant ensuite en contact avec l'air s'oxydait; il se formait de l'hyposulfite et des polysulfures de sodium solubles qui se retrouvaient dans le produit final. Enfin les

manipulations font que la soude se tasse rapidement et est fort difficile à épuiser.

L'appareil de Shanks (*fig. 8*) est basé sur un principe qui ne présente point ces inconvénients. Il fut, assure-t-on, découvert par Buff, mais fut attribué à Shanks par Hoffmann, dans le rapport de l'Exposition de 1851.

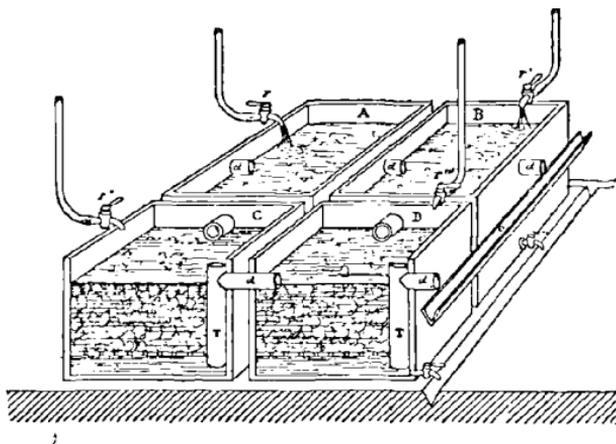


Fig. 8

Ici la soude reste dans l'appareil jusqu'à complet épuisement ; n'étant pas manipulée constamment, elle ne se tasse pas ; enfin, comme seules les liqueurs se trouvent en mouvement, il y a une économie considérable de main

d'œuvre et les lessives obtenues sont beaucoup plus pures que celles obtenues dans l'appareil précédemment décrit.

Le principe de l'appareil Shanks réside essentiellement dans ce fait que la liqueur va en augmentant de densité à mesure qu'elle agit sur la soude brute et qu'on peut, par conséquent, appliquer le principe des vases communiquants au liquide ayant plus ou moins dissout de sel. De cette façon, on supprime les vases en gradins ; on les place horizontalement, au nombre de quatre ou de huit. Un courant d'eau traverse les cuves contenant la soude brute, le liquide devient d'autant plus dense qu'il a traversé plus de cuves ; par là même, le niveau du liquide va en s'abaissant de cuve en cuve. Les dimensions de chaque cuve sont de 2<sup>m</sup>,60 de longueur et de largeur et de 2 mètres de hauteur. Un faux-fond en tôle perforé permet de supporter les pains de soude brute. Voici maintenant comment se fait la circulation du liquide : supposons que, sur les quatre cuves A, B, C et D, la cuve D soit celle qui renferme la soude la plus épuisée, B et C, des sodes intermédiaires comme richesse. La lessive qui se rassemble dans chaque cuve entre la tôle perforée et le fond peut gagner la cuve voisine par le tube T. Le robinet r permet d'ame-

ner en A de l'eau tiède; l'eau arrivant déplace petit à petit le liquide de chaque tube pour le faire écouler dans la cuve voisine par le tube T. La cuve D est mise pendant toute l'opération en communication avec le collecteur c, par le tube d. On règle, bien entendu, l'arrivée de l'eau tiède, de façon que les lessives aient, à la sortie, la densité voulue. Lorsque celle-ci, qui doit être de 1,20, baisse, on vide la cuve A par le robinet du bas, on envoie le liquide B; on charge A de soude brute nouvelle, après l'avoir nettoyée; le robinet r permet de régler l'arrivée d'eau chaude; on continue ainsi, chaque cuve devenant successivement la première dans la succession des opérations.

Les eaux ainsi obtenues sont dirigées ensuite vers de grands bacs placés dans une enceinte à environ 35 à 40°; là elles se clarifient, *sans cristalliser*. Elles abandonnent de la silice, de l'alumine, des sulfures, etc.

Les résidus de l'opération du lessivage constituent les charrées de soude; nous en parlerons plus loin.

2° *Purification des lessives*. — La purification des lessives a pour but l'élimination du fer et du soufre.

*L'élimination du fer* est de toute première importance; il se trouve principalement sous

forme de ferrocyanure de sodium :  $\text{Na}^4 \text{Fe Cy}^6$ , de sulfure double de fer et de sodium et d'oxy-sulfure.

Lorsque la soude livrée au commerce servira au lavage du linge, elle pourra, si elle contient du fer, occasionner des taches de rouille et même à la fin, comme l'a établi Kuhlmann, le linge se brûle. Dans 100 parties de soude, il y a généralement 0,300 à 0,400 de fer. La plus grande partie de ce fer est à l'état de sulfure,  $\text{FeS}$ , maintenu à l'état de dissolution grâce au sulfure de sodium ; il se forme, en effet, un sulfure double  $\text{FeS}$ ,  $\text{Na}^2\text{S}$  qui rend la liqueur verdâtre.

On cherche à détruire  $\text{Na}^2\text{S}$  ; de ce fait,  $\text{FeS}$  sera précipité. Pour cela, il y a trois méthodes :

1° Précipitation ; 2° oxydation ; 3° carbonatation.

La précipitation peut se faire de différentes façons :

Par le sulfate de zinc (d'Arcet), opération coûteuse ; de plus, on obtient du sulfate de soude qui a l'inconvénient de ne pas augmenter le degré alcalimétrique.

Par le sulfate de plomb proposé par Kestner au moment où ce sel était le résidu de l'industrie de l'indienne (action de l'acétate de plomb sur le sulfate d'alumine) et n'avait pas d'utilisa-

tion ; mais à l'heure actuelle ce produit a trop de valeur en tant que plomb pour qu'on puisse songer à l'utiliser.

Par l'hydrate d'oxyde de zinc, proposé en 1868 par Scheurer-Kestner. Ce procédé était beaucoup moins coûteux que l'emploi du sulfate de zinc. On utilise, en effet, les crasses de zinc, que l'on dissout par l'acide chlorhydrique ; on traite par la chaux. On obtient donc un mélange de chlorure de calcium et d'hydrate d'oxyde de zinc, que l'on lessive, pour avoir ce dernier produit pur.

L'inconvénient est que l'hydrate d'oxyde de zinc,  $Zn(OH)_2$ , est soluble dans la soude en donnant du zincate de soude  $ZnO^2Na^2$ . Il faut donc titrer exactement le sulfure de sodium contenu dans la lessive et ajouter la quantité exactement nécessaire du réactif. Il se forme  $ZnS$  insoluble et, du même coup,  $FeS$  est précipité.

Enfin on peut quelquefois enlever le sulfure de fer en ajoutant à la lessive du sulfate de soude, ce sel s'opposant à la dissolution du sulfure de fer.

Quand on opère sur les lessives, on peut simplement les laisser séjourner à l'air. Mais la transformation du sulfure de sodium en sulfate est très lente, à moins que l'on élève suffisam-

ment la température. Hargreaves préconisa le passage d'un courant d'air dans la liqueur ; ce procédé est beaucoup plus rapide.

Enfin on peut, comme l'a fait breveter la Société de Saint-Gobain en 1875, faire intervenir l'action d'un oxyde de manganèse. On ajoute aux lessives un peu d'un sel de manganèse soluble ; il se forme du carbonate et il y a une oxydation rapide ; le manganèse se sulfure très facilement, puis s'oxyde. L'opération est extrêmement rapide.

Dans la carbonatation, on précipite, par l'acide carbonique, l'alumine, la silice, le soufre des polysulfures et il se dégage de l'acide sulfhydrique. Un appareil fut construit tout spécialement en vue de ce traitement à la soudière de Saint-Fons (*fig. 9*). Il se compose d'un cylindre ayant 2 mètres de diamètre et 6 mètres de hauteur ; suivant l'axe de l'appareil, se trouve un tube en fonte avec deux tubulures, l'une est rejointe à l'appareil producteur d'acide carbonique, l'autre permettra de faire passer un courant d'oxygène. La conduite se termine au fond du réservoir par une croix percée de trous qui facilite la distribution de l'air ou du gaz carbonique.

De plus, dans ce cylindre, se trouvent dispo-

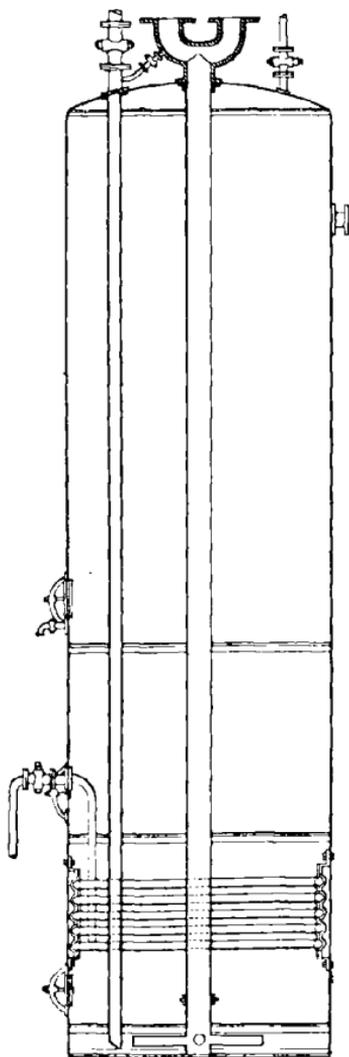
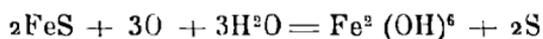
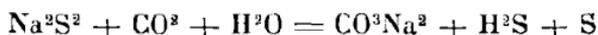
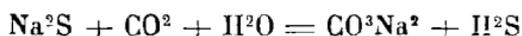


Fig. 9

sées, à des hauteurs différentes, trois toiles perforées, qui sont destinées à recevoir les dépôts qui vont prendre naissance. Enfin l'appareil comporte un serpentin de chauffe. Voici comment fonctionne l'appareil : la lessive y étant placée, on envoie un courant d'air pendant 3 heures ; puis on fait passer l'acide carbonique pendant 3 autres heures, après avoir ajouté un peu de sel de manganèse, qui active considérablement l'opération. Le liquide est envoyé

dans des récipients où il dépose le précipité.

Les réactions qui se passent sont les suivantes :



**Évaporation des lessives, préparation du sel de commerce.** — Cette dernière phase de la fabrication de la soude par le procédé Leblanc comprend :

La concentration des liqueurs par les chaleurs perdues des fours ; le pêchage et la calcination du sel.

**Concentration des liqueurs.** — Il existe trois façons d'opérer.

*Procédé français.* — On évapore les liqueurs en les chauffant en dessous jusqu'à ce qu'elles marquent 30° B°, puis on les fait écouler sur la sole d'un four à réverbère ; la masse pâteuse qui se forme est travaillée de façon à la diviser en grains.

Le sel ainsi obtenu est dissous à saturation dans de l'eau ; on évapore dans un bassin chauffé en dessous. Quand le liquide est réduit aux trois quarts, on pêche le sel.

Ce procédé n'est plus employé.

*Procédé anglais.* — Les liqueurs sont évaporées en les chauffant *en-dessus*, les flammes perdues

l'échant le liquide. On pêche le sel, lorsque la concentration est suffisante. On obtient ainsi un produit assez impur, renfermant beaucoup de poussière.

*Procédé des produits fractionnés.* — On évapore les lessives dans une suite de bassins chauffés en dessous par les flammes perdues. Dans ces conditions, il est certain que la concentration est bien plus active dans les premiers bassins. Ceux-ci sont alimentés par des siphons. Il se dépose du sel formé surtout de  $\text{CO}^2\text{Na}^2, \text{H}^2\text{O}$  que l'on pêche au fur et à mesure de sa production. Le produit est évidemment de plus en plus impur.

Quand on réduit dans les bassins le volume du liquide aux  $\frac{5}{12}$ , on obtient un sel qui, calciné, marque 88-90 degrés alcalimétriques. Si l'on continue à évaporer jusqu'au quart du volume primitif, on obtient un sel marquant 80-82 degrés alcalimétriques.

Puis on évapore à sec et l'on a un sel caustique.

Les eaux-mères sont rouges par le sulfocyanure de fer. Ces eaux-mères sont calcinées dans un four à réverbère dont la sole est faite de pavés en fonte.

À Chauny, les lessives sont évaporées à la suite du four à réverbère dans des bassins chauffés *en dessous*. Lorsque les liqueurs ont une certaine densité, on les siphonne pour les faire couler dans des bassins toujours chauffés en dessous et dans lesquels on pêche le sel.

Le *péchage* du sel se fait souvent à la main ; cependant un appareil mécanique très employé est celui de Thelen (*fig.* 10 et 11). Il est notamment utilisé aux usines Rhenania.

L'évaporation des lessives est alors pratiquée dans une chaudière demi-cylindrique ayant 7 millimètres de longueur et 1 millimètre de diamètre. Un arbre est mis en mouvement par une poulie ; sur cet arbre sont fixés des bras portant des râcloirs qui sont suspendus librement et qui, de plus, sont inclinés. Ces râcloirs conduisent le sel vers l'extrémité. Là, une pelle vient l'enlever. Le sel est ensuite envoyé à un appareil de calcination analogue à celui que nous venons de décrire.

La calcination du sel pêché se fait dans des fours à réverbère. Ces fours sont généralement des fours à bras. Cependant un four mécanique dû à Mac-Tear s'est vite répandu. Il est en de très nombreux points semblable à celui que nous avons décrit, du même inventeur, à propos

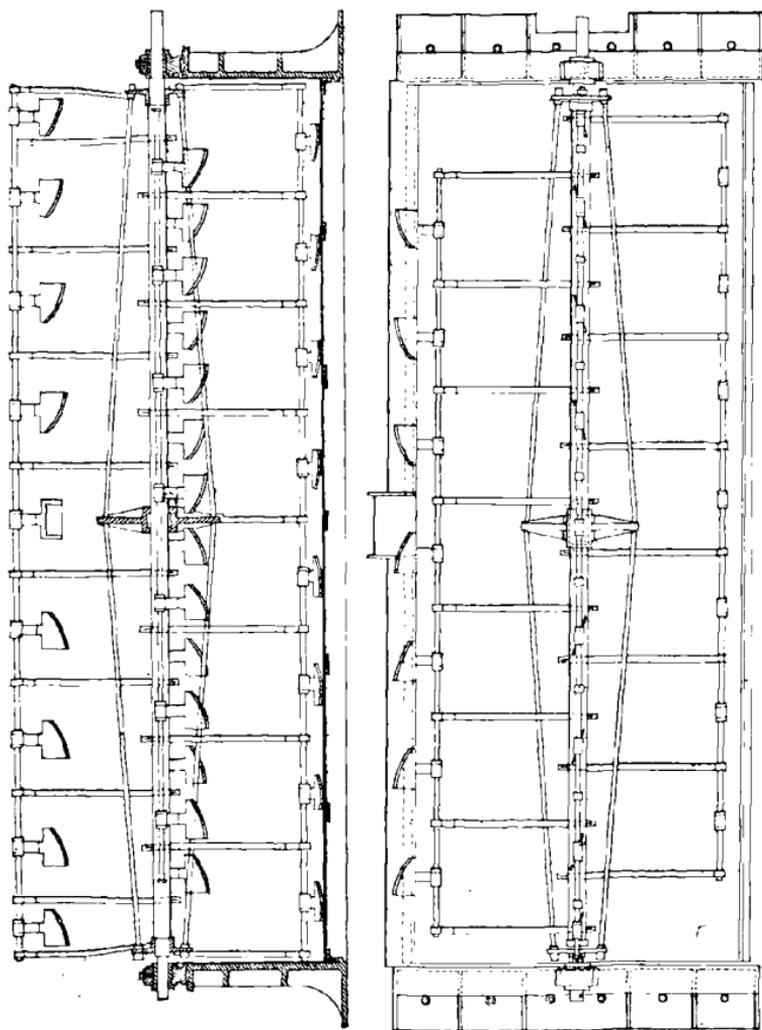


Fig. 10. — Appareil de Thelou ; Fig 11 — Plan

de la fabrication du sulfate de soude et de l'acide chlorhydrique. Aussi ne nous étendrons-nous pas davantage sur cette description.

**Utilisation des charrées de soude.** — Nous avons traité cette importante question à propos de la fabrication du soufre, dans *l'Industrie des métalloïdes et de leurs dérivés*.

Nous n'avons pas à y revenir : cependant nous réparerons ici un oubli involontaire. Le procédé décrit sous le nom de Hofmann a été découvert et étudié par MM. Buquet et Hofmann. Ils ont obtenu, pour ce procédé, le prix des Arts Insalubres de la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale en 1870.

---

## CHAPITRE V

—

### L'INDUSTRIE DU CARBONATE DE SOUDE AU POINT DE VUE TECHNIQUE. PROCÉDÉS A L'AMMONIAQUE

**Principe.** — Les procédés dits de la soude à l'ammoniaque sont basés sur la suite d'opérations que nous allons indiquer :

1° *Formation de bicarbonate d'ammonium par action de l'acide carbonique sur l'ammoniaque :*



2° *Formation de bicarbonate de sodium par action de ce bicarbonate d'ammonium sur le chlorure de sodium :*

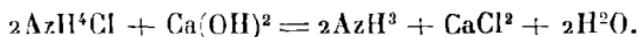


3° *Filtration et lavage de ce bicarbonate de sodium.*

4° *Torréfaction de ce bicarbonate en vue d'obtenir du carbonate de soude :*



5° D'autre part, le chlorhydrate d'ammoniaque qui a pris naissance dans la deuxième opération est traité par la chaux, afin de *régénérer l'ammoniaque :*



Enfin l'on remarquera que la quatrième opération régénère une partie de l'acide carbonique nécessaire à la première.

La matière première principale de cette fabrication est le sel gemme ou bien l'eau salée provenant d'un trou de soude que l'on a soin de traiter d'abord par un lait de chaux de façon à éliminer les impuretés les plus gênantes, notamment les sels de magnésic; puis par un peu de carbonate de soude pour enlever les sels de chaux qui préexistaient et ceux que l'on a formés.

Enfin il est bon de signaler que MM. Solvay ont fait breveter en 1879 un traitement à chaud par le carbonate de soude et le chlorure de chaux. Un tel traitement permet d'éliminer le fer.

**Historique.** — L'histoire des procédés de la fabrication de la soude à l'ammoniaque est particulièrement intéressant; aussi en dirons-nous quelques mots que nous emprunterons particulièrement à l'intéressante conférence faite par M. Solvay au cinquième Congrès de chimie appliquée, lequel a eu lieu au mois de mai 1903 à Berlin :

« Le véritable inventeur de la réaction n'est peut-être pas encore connu aujourd'hui. Cependant, des recherches bibliographiques les plus étendues, il semble résulter que l'invention de la réaction chimique doit être attribuée à Fresnel, l'illustre opticien français, le père de la théorie des interférences et de la polarisation, l'inventeur des phares lenticulaires.

« Trois ans avant de s'adonner à l'étude de la lumière en 1811, ce génie inventif s'occupait de recherches de chimie industrielle, et l'on peut voir par ses lettres qui ont été publiées <sup>(1)</sup>, qu'il avait fait demander l'avis de Vauquelin, de Darcet jeune et de Thénard au sujet de son invention.

« C'était, en quelque sorte, se confesser au diable,

---

(1) *Œuvres complètes de A. Fresnel* publiées par MM. de SÉNARMONT, VERDET et L. FRESNEL, 810, 813, 815, 816.

car Darcet jeune était le fils de Jean Darcet qui fut chargé par l'Institut de France de faire rapporter sur l'invention de la soude artificielle Leblanc ; Vauquelin avait suivi avec Leblanc les cours de Jean Darcet et Darcet jeune n'avait lui-même cessé de coopérer au développement et au perfectionnement du procédé Leblanc, qui était encore dans l'enfance en 1811.

« L'état de guerre qui bloquait les ports français arrêtait les importations de soude naturelle et avait fait monter le prix de ce produit jusqu'à 2 200 francs la tonne. Normalement celle-ci se vendait de 1 200 à 1 500 francs, tandis que son prix de revient par le procédé Leblanc <sup>(1)</sup>, n'était que de 880 francs. Il y avait certes de quoi stimuler l'émulation des inventeurs.

« Mais les parrains du premier procédé artificiel ne devaient guère être bien disposés pour un nouveau venu ; aussi les vérifications languissent ou ne réussissent pas. Thénard, plus dégagé d'influences, trouve, toutefois, le procédé bon ; mais il lui semble inexécutable en grand, plus dispendieux, plus difficile à mettre en œuvre, que celui que l'on suit déjà.

---

(1) ANASTASS. — *Nicolas Leblanc*. Paris, Hachette, 116.

« Il faut ajouter que Fresnel n'avait pas pensé à la possibilité de régénérer l'ammonique par l'action de la chaux sur le chlorure ammonique et qu'en cela, Thénard voyait juste lorsqu'il signalait l'impossibilité de vendre ce dernier produit. C'est ainsi qu'après avoir parlé de « faire imprimer un mémoire, tout vif, dans les *Annales de Chimie* », Fresnel abandonne son idée et laisse le champ libre au procédé Leblanc.

« N'est-il pas curieux de voir qu'il s'en fallut d'aussi peu que le procédé Leblanc ne passât à l'état de procédé mort-né au lieu de devenir centenaire!

« Un peu plus tard, en 1822, la réaction fondamentale du procédé à l'ammoniaque se retrouve énoncée par Vogel <sup>(1)</sup>, en Allemagne, mais elle n'est suivie d'aucune explication.

« Puis c'est le tour de l'Angleterre : Thom tente un essai de fabrication aux usines Turnbull et Ramsay, à Calanchie, pour mettre en pratique la réaction entre le sel commun et le carbonate d'ammoniaque; cet essai fut imparfait et sans résultat industriel.

« La première application véritablement industrielle du procédé à l'ammoniaque est due à deux chimistes de Londres, Dyar et Hemming.

---

(1) G. B., 1874, 98.

« Leur premier brevet, pris en Angleterre, date du 30 juin 1838, et ce fut par l'intermédiaire de Delaunay qu'ils prirent leur brevet français, le 27 mai 1839.

« Pendant deux années, ces inventeurs construisent, modifient leurs appareils et s'efforcent de réaliser pratiquement la réaction chimique. Il est permis de croire qu'ils eussent abouti si leur persévérance avait été plus longuement soutenue; car ils étaient dans la bonne voie et ce serait décrire vraiment les diverses opérations actuellement pratiquées dans les usines de soude à l'ammoniaque, que de citer leur brevet additionnel de perfectionnement, pris en France, le 18 mai 1840.

« Dyar et Hemming échouent; mais le procédé est si beau dans sa simplicité qu'il tente le grand industriel James Muspratt. Celui-ci avec la collaboration de Young, installe à Newton, dans le Lancashire, une véritable usine de soude à l'ammoniaque. Il ne parvient cependant pas non plus à surmonter les difficultés pratiques; les pertes d'ammoniaque sont telles que la lutte contre le procédé Leblanc est jugée impossible et l'usine se ferme après avoir englouti 200 000 francs en essais.

« La réaction de la soude à l'ammoniaque est

encore brevetée en 1840 par Canning, puis par Watterton. Elle est tentée, dit-on, en Belgique, à Vilvorde, en 1842. Elle est expérimentée à Berlin par Kunheim ; à Liesing, près de Vienne, par Seybel, sans plus de résultats.

« Ces échecs réitérés ayant refroidi l'ardeur des inventeurs, la soude à l'ammoniaque cesse d'occuper le monde industriel pendant dix ans.

« Mais, de 1852 à 1855, il se produit à nouveau toute une éclosion de brevets. En France, en 1852, Grimes, de Marseille, afin d'obtenir de meilleurs rendements, veut employer la machine pour abaisser la température des liquides pendant la réaction ; il conseille aussi d'injecter l'acide carbonique dans les absorbeurs et, en même temps, veut faire resservir l'acide carbonique provenant de la calcination du bicarbonate.

« En Angleterre, Gossage, le célèbre industriel, prend, le 26 février 1854, un brevet de perfectionnement de la méthode suivie par Dyar et Hemming et, successivement, les 28 août 1854 et 30 août 1855, tente de renforcer son invention ; mais il ne réussit pas mieux que ses prédécesseurs. Bowker, bien que son établissement ait fonctionné pendant quelques années et qu'il ait pu vendre la soude dans son district,

n'est pas plus heureux dans son essai à Leeds.

« Arrive enfin M. Deacon, l'illustre fabricant anglais qui, plus tard, devait donner son nom à ce mode de production du chlore par action catalytique, si neuf, si original pour l'époque, et qui allait mettre en si haut relief les brillantes qualités de son inventeur. Deacon (4) s'attache aussi au problème de la soude à l'ammoniaque ; en 1854, il a recours à l'acide carbonique sous pression, il invente un distilleur très ingénieux et utilise tout une série d'appareils mécaniques et continus parfaitement étudiés. Et cependant, quoique arrivé à produire plusieurs tonnes par jour, il doit s'avouer vaincu et abandonner le champ de bataille !

« En cette année 1854, le Dr Turck (brevets français du 26 avril 1854 et de perfectionnement du 20 janvier 1855) poursuit le même but en employant le carbonate d'ammoniaque ; mais les essais de fabrication tentés à Sommervillers, près Nancy, ne donnent naturellement pas de résultats.

« Toutes ces remarques et laborieuses tentatives étaient recouvertes d'une épaisse couche d'oubli,

---

(4) LUDWIG MOND. — *Les origines du procédé de la soude à l'ammoniaque*. J. Soc. Ch. Ind., 1885, 527.

lorsque, avec M. Pirmez, j'en découvris les traces en même temps que celles de la tentative de Schlœsing et Rollant, dont je n'ai encore rien dit et qui reçut plus tard, en 1868, une publicité éclatante par le mémoire publié dans les *Annales de Chimie et de Physique*, série IV, t. 14. Cette dernière tentative attira particulièrement mon attention et me préoccupa vivement. Je la trouvai d'ailleurs indiquée dans le *Traité de Chimie* de Pelouze et Frémy (édition de 1861) (1) que je me procurai à cette même époque.

« Je pris à ce sujet des informations précises. Schlœsing avait un brevet français depuis le 28 juin 1854; un brevet de perfectionnement du 27 septembre de la même année. Il s'était adjoint l'ingénieur Rolland, directeur général des Manufactures de tabacs; il avait fait avec lui une série d'essais qui dura quatre années et à la suite desquels ils prirent en commun un nouveau brevet, le 12 mai 1858. Convaincus qu'ils avaient surmonté les difficultés du procédé, ils installent à Puteaux, près de Paris, une usine de soude à l'ammoniaque.

---

(1) Les précédentes éditions ne mentionnent aucun procédé à l'ammoniaque.

« La marche de leurs appareils est continue, par des moyens mécaniques ingénieux et perfectionnés ; ils mesurent et limitent automatiquement les quantités et les températures ; les pertes d'ammoniaque sont combattues par la marche sous dépression, la distillation est simplifiée par l'emploi du lait de chaux. Bref, on peut considérer la tentative de Schlœsing et Rolland comme la plus complète et la plus remarquable de celles faites depuis Dyar et Hemming et Deacon. Et cependant encore, malgré des sacrifices pécuniaires considérables et pour diverses raisons, parmi lesquelles des difficultés fiscales, l'usine de Puteaux dut se fermer.

« A quoi devais-je attribuer ces échecs persistants ? Ce nouveau procédé avait-il un vice constitutionnel ?

« Il y eut alors un moment d'ébranlement dans la foi ardente que j'avais dans le succès possible de mon procédé industriel. Toutefois je me ressaisis bien vite, soutenu par la conviction que je possédais, entre autres choses qui avaient dû manquer à mes prédécesseurs, un appareil de grande intensité pour réaliser la bicarbonatation, réaction faible dominant le procédé.

« D'autre part, M. Pirmez, qui était financier, en même temps qu'avocat et homme politique,

se dit de son côté que si des inventeurs tels que Schlœsing et Rolland avaient pu consacrer des sommes considérables pour tenter la création de cette nouvelle industrie, c'est qu'il y avait à la base un principe de valeur, et il se laissa gagner enfin par l'ardente conviction que j'avais de réussir avec mes appareils.

« C'est ainsi que fut fondée, en 1863, la Société Solvay et C<sup>ie</sup>, au capital de 136 000 francs, pour la création, à Couillet, de notre première fabrique de soude à l'ammoniaque.

« Ne doit-on pas retenir de ce qui précède, non seulement qu'il ne faut jamais abandonner une bonne idée, mais aussi que les financiers, ne jugeant pas toujours les choses à la façon des inventeurs, peuvent parfois trouver des raisons d'espérer précisément où ceux-ci pourraient en trouver de désespérer ?

« L'homme de science pure, de son côté, est généralement trop rigoureux dans ses jugements : de même que Thénard découragea Fresnel, mon illustre compatriote Stas, avec qui, à cause de cela même, je fus plus tard lié d'amitié, déclara au début mon procédé trop délicat pour pouvoir être appliqué industriellement. Ses craintes ne parvinrent pas à m'arrêter.

« L'année 1864 fut consacrée aux constructions

de l'usine de Couillet qui absorbèrent et au-delà notre capital réduit et ce n'est que le 1<sup>er</sup> janvier 1865 que l'usine put enfin être mise en activité.

« Alors commença la lutte de tous les instants : les remaniements, les perfectionnement incessants des appareils, la série d'accidents inhérents à toute industrie nouvelle. Ce fut le calvaire à gravir, la dure montée dans laquelle je me serais peut-être arrêté comme les autres si je n'avais été soutenu par ma foi dans l'œuvre à accomplir, foi partagée par ma famille et surtout par mon tout dévoué collaborateur, mon frère Alfred Solvay.

« Enfin, en 1866, nous fabriquions 1 500 kilogrammes par jour; en 1867, nous pouvions déjà distribuer un premier dividende de 5 % à nos associés, en même temps que nous obtenions une modeste médaille de bronze à l'Exposition Universelle de Paris ; et, en 1869, les bâtiments de notre usine de Couillet furent doublés et notre production triplée.

« Peu après cette époque, en 1872, se place la première satisfaction d'amour-propre que me causa mon invention.

« Un de vos compatriotes, industriel de haute valeur, établi en Angleterre, Ludwig Mond, ar-

riva un jour chez moi et me tint le langage suivant :

« J'exploite, me dit-il, un procédé que j'ai inventé pour l'utilisation des résidus de fabrication de la soude Leblanc. Il est vexant de se donner autant de peine pour retirer de ces marcs le soufre qui a été introduit si péniblement dans la réaction. D'ailleurs M. Merle, de Salindres, en qui j'ai confiance, m'a convaincu de l'avenir de votre procédé qui supprimera la raison d'être du mien. Dans ces conditions, je préfère fabriquer la soude elle-même et je viens pour m'entendre avec vous ».

« Avec Ludwig Mond, le procédé à l'ammoniaque s'implanta à Northwich, à une portée de canon des forteresses de la soude Leblanc. Et, de fait, ce fut la guerre.

« Entre temps, à Couillet, tout était allé sans cesse en s'améliorant : les appareils, la marche de l'usine, le prix de revient. Et nous fondions l'usine de Dombasle, en 1873, en même temps que Mond fondait celle de Northwich.

« En 1873 également, le diplôme d'honneur accordé à la soude Solvay, à l'Exposition Internationale de Vienne, venait enfin faire connaître au monde industriel que le problème de la fabrication économique de la soude à l'ammoniaque était définitivement résolu.

« Dès lors, le nouveau procédé prit un rapide essor et de cet instant date son extension dans tous les pays, c'est-à-dire la véritable lutte économique contre le procédé Leblanc qui, né avec le siècle, se meurt avec le siècle, en tant que produisant le carbonate. Les usines Leblanc, en effet, ne fournissent plus aujourd'hui qu'une minime partie des sels caustiques de la consommation mondiale.

« Cette époque marque naturellement le début de la baisse graduelle du prix de vente de la soude avec sa conséquence inévitable : l'accroissement considérable de la consommation ».

En 1875, M. Daguin établit une importante soufrière près de Nancy ; il s'ensuivit un procès qui fut terminé onze ans plus tard ; M. Daguin avait gain de cause.

Le procédé à l'ammoniaque se généralisa en France.

Avant de décrire les différents procédés de fabrication, disons que ces procédés ne se différencient les uns des autres que par les appareils employés. Les procédés Schloësing et Rolland, Solvay, Boulouvard, Daguin et C<sup>ie</sup> sont donc constitués par les mêmes opérations, mais se passant dans des appareils divers que nous décrirons.

**Première Opération : Préparation de la saumure ammoniacale.** — Au lieu d'opérer comme nous l'avons indiqué, c'est-à-dire de préparer le bicarbonate d'ammonium et de le faire réagir sur le chlorure de sodium, on préfère préparer une eau saline ayant dissous l'ammoniaque et faire réagir sur cette solution l'acide carbonique.

En agissant ainsi, on forme le bicarbonate d'ammonium au sein même de la solution saline et les deux premières réactions indiquées se passent presque simultanément.

La préparation de la saumure ammoniacale se fait généralement dans une colonne, dans laquelle tombe l'eau salée qui rencontre des vapeurs ammoniacales provenant des chambres de décomposition du chlorhydrate d'ammoniaque et qui arrive au bas de la colonne. La solution de chlorure de sodium est très concentrée, les vapeurs ammoniacales sont toujours un peu humides et ceci empêche la précipitation du chlorure de sodium de sa solution saturée, au moment où celle-ci dissout l'ammoniaque.

A la sortie de l'appareil, la saumure ammoniacale n'est plus saturée, on la fait passer dans un compartiment à faux-fond sur lequel se trouve du sel qui se dissout. A ce moment, la solution est

prête pour la seconde opération qui consiste dans l'action du gaz carbonique sur la saumure ammoniacale, de façon à obtenir le bicarbonate de sodium.

**Deuxième Opération : Précipitation du bicarbonate de sodium.** — Cette opération a lieu dans des appareils nommés absorbeurs qui se rattachent tous à deux catégories :

1° Absorbeurs dans lesquels la saumure ammoniacale est mise en contact avec le gaz carbonique par agitation mécanique.

2° Absorbeurs où le gaz est mis en mouvement par refoulement à travers le liquide.

*Absorbeur Schläsing et Rolland.* — Cet appareil est constitué par une suite de cylindres en tôle placés en cascades ; dans chaque cylindre se trouve un agitateur et chaque récipient communique avec le suivant par un tube assez gros pour que le gaz et le liquide puissent passer en même temps. Le liquide n'atteint, dans chaque cylindre, qu'un tiers de la hauteur.

La saumure ammoniacale est amenée au récipient qui occupe l'avant-dernier rang le plus élevé, tandis que l'acide carbonique pur provenant du torrificateur est introduit par le cylindre le plus bas. D'autre part, au récipient le plus élevé arrive de l'eau salée qui a pour but

de retenir les dernières traces d'ammoniaque qui pourraient se dégager. Enfin, de l'acide carbonique provenant d'un four à chaux est introduit dans le compartiment central.

On a donc une opération absolument méthodique, le liquide allant en s'enrichissant en acide carbonique au fur et à mesure qu'il s'écoule. L'inconvénient de cet appareil est que le bicarbonate de sodium qui prend naissance dans cette masse très agitée est extrêmement floconneux et qu'il est, par conséquent, difficile à laver et à calciner.

*Absorbeur Boulouvard (fig. 12).*— Cet appareil est basé sur le même principe et possède la même

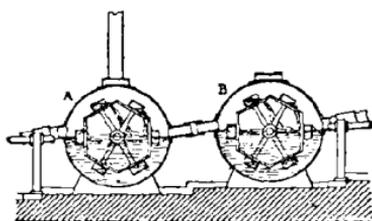


Fig. 12

disposition. Les arrivées de saumure, de saumure ammoniacale et de gaz carbonique sont les mêmes ; mais la grosse différence réside

dans les agitateurs qui sont ici formés de prismes hexagonaux portant six petites aubes. On obtient ainsi un précipité qui est beaucoup plus grenu.

Les deux appareils que nous venons de décrire

appartiennent donc à la 1<sup>re</sup> catégorie indiquée plus haut. Ceux dont nous allons donner la description appartiennent à la 2<sup>e</sup> catégorie, c'est-à-dire qu'ici le gaz sera mis en contact avec le liquide *sous pression*.

*Absorbeur Solvay* (fig. 13). — L'absorbeur Solvay consiste dans un cylindre de tôle ayant 15 à 24 mètres de haut et 1<sup>m</sup>,20 de diamètre. Tous les mètres se trouvent de faux-fonds percés de trous, dont le but est de diviser l'acide carbonique. Ces faux-fonds présentent de plus le long de la colonne, une dentelure permettant aux gaz et aux liquides de trouver un chemin facile, lorsque les petits

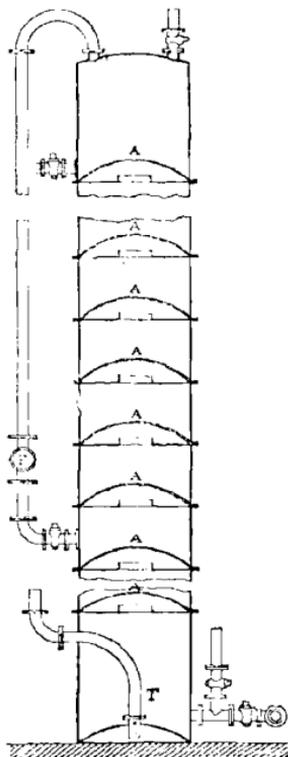


Fig. 13

trous de la partie centrale tendent à s'obstruer.

La saumure ammoniacale arrive à une certaine distance du sommet de la colonne, tandis

que de la saumure pure arrive tout à fait en haut, permettant de recueillir l'ammoniaque qui se dégagerait. L'acide carbonique provenant et du torrificateur et du four à chaux arrive dans le bas de l'appareil sous une pression de 2 atmosphères environ.

Le grand avantage de cet appareil se trouve dans ce que la pression que l'on doit donner à l'acide carbonique est particulièrement favorable à l'absorption. A côté de cela, il faut signaler que, malgré toutes les précautions, l'appareil s'encrasse et qu'on doit le nettoyer tous les quinze jours. Enfin il est nécessaire de refroidir l'appareil par un serpentín extérieur, à cause de la chaleur dégagée par l'absorption.

*Absorbeur Daquin* (Brevet Fouliéron). — L'appareil se compose de trois carbonateurs, l'un très grand, l'autre moyen et le troisième petit.

La saumure ammoniacale passe successivement de haut en bas dans chaque colonne. On a ainsi un appareil d'une hauteur beaucoup plus réduite. Dans chaque carbonateur arrive un courant d'acide carbonique ; d'autre part, le mouvement des liquides est retardé par des pièces en forme de section en V renversé. On obtient dans cet appareil un précipité très grenu

et les orifices ne peuvent pas s'obstruer. Il faut toujours un refroidissement extérieur.

**Troisième Opération : Filtration et lavage du bicarbonate de sodium.** — Les filtres employés peuvent être ramenés à trois types :

- 1° Lesessoreuses ;
- 2° Les filtres à vide ;
- 3° Les presses à filtrer.

Le *filtre Schlæsing et Rolland* rentre dans la première catégorie ; il est formé d'un tambour qui tourne dans une chambre hermétiquement close. Ce tambour est composé d'une tôle contre laquelle est placée une toile métallique qui sert d'appui à une toile de chanvre.

L'*essoreuse Noel* employée par la Société Marcheville, Daguin et C<sup>ie</sup> est décrite dans un brevet français du 4 décembre 1899. Elle est caractérisée par un système mécanique qui, mis en mouvement par l'arbre de l'essoreuse, permet, au moyen de cames, d'obtenir, d'une part, l'ouverture et la fermeture d'une valve qui détermine l'entrée d'une certaine quantité de la liqueur à filtrer, d'autre part, le raclage en quelque sorte automatique de la matière recueillie sur la toile filtrante et enfin la fermeture et l'ouverture du conduit amenant l'eau de lavage.

M. Solvay a d'abord breveté un filtre constitué par une cuve en fonte dans laquelle on tend une toile filtrante. Au-dessous, on fait le vide. Plus tard, le même industriel a préconisé l'emploi d'un appareil permettant une filtration méthodique. La caisse, qui est à fond parabolique, est divisée en huit compartiments. On a donc huit filtres; car à la surface de la caisse se trouve la toile filtrante. Lorsqu'un compartiment a reçu le liquide à filtrer, l'appareil fait autour de son axe qui est vertical,  $\frac{1}{8}$  de tour et la partie couverte de bicarbonate reçoit de l'eau de lavage, tandis qu'une autre se trouve sous le robinet qui verse le liquide à filtrer. Le vide est toujours pratiqué sous les toiles filtrantes.

M. Boulouvard a créé une presse dont le plateau filtrant est percé de rainures rayonnantes qui amènent le liquide filtré dans un collecteur.

**Quatrième Opération : Torrification du bicarbonate de sodium.** — En sortant des filtres, le bicarbonate est séché à une température d'environ 45°. Puis ensuite il est torréfié.

*Torrificateur Schlœsing et Rolland.* — Cet appareil se compose d'un cylindre chauffé à température suffisante et dans lequel se meut une roue à palette. Le sel formant croûte sur la

paroi du cylindre, l'agitateur vient à se caler assez rapidement ; un dispositif spécial permet alors à l'agitateur de tourner en sens inverse.

*Torréfacteur Solway.* — Cet appareil (*fig. 14*), qui date de 1887, comprend un cylindre en fonte dont l'axe est horizontal et qui possède une grande longueur et un faible diamètre. Ce cylindre

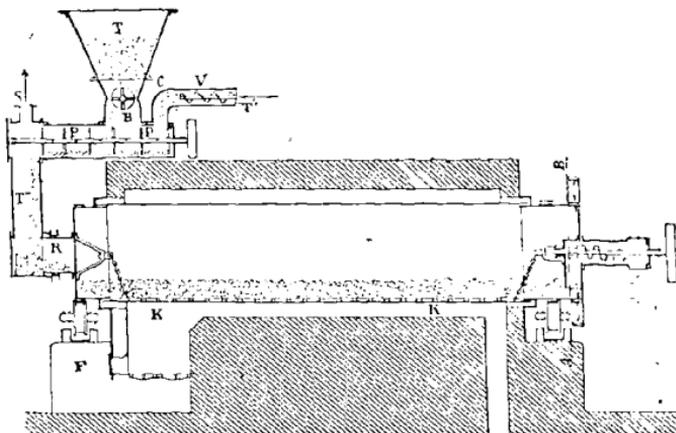


Fig. 14

repose à ses extrémités sur deux galets ; des engrenages lui transmettent un mouvement de rotation. Un point intéressant de cet appareil consiste dans l'entrée et la sortie de la matière. En effet, M. Solway a établi que, pour que la torréfaction se fasse régulièrement, il vaut mieux

employer un mélange de bicarbonate de sodium et de carbonate de soude déjà calcinée que d'employer simplement du bicarbonate de soude.

Pour opérer ce mélange, une trémie T qui ne fait qu'un avec une boîte en fonte B permet d'envoyer une certaine quantité de bicarbonate sur un arbre à palette qui tourne dans le bas de la trémie.

Le bicarbonate tombe petit à petit ; d'un autre côté, ce carbonate de soude calcinée est amené dans le tube T' par une vis sans fin V et tombe sur l'arbre à palette P.

Une boîte R fait le raccordement entre la partie tournante et la partie fixe de l'appareil.

Quant à la sortie du carbonate torréfié, elle se fait au moyen d'une cuiller qui, à chaque révolution du cylindre, plonge dans la matière et en entraîne une certaine quantité qui tombe dans une boîte d'où une vis sans fin l'entraîne à l'extérieur. Une partie de l'arbre de cette vis comporte des dents dont le rôle est de broyer les grains trop gros de carbonate de sodium.

**Cinquième Opération : Régénération de l'ammoniaque.** — Cette opération se pratique, comme nous l'avons dit, en traitant les liqueurs filtrées par de la chaux.

La description des appareils qui permettent

cette préparation nous ferait sortir du cadre que nous nous sommes assignés ; nous en parlerons en détail lorsque nous traiterons de l'industrie de l'ammoniaque et des sels ammoniacaux.

En résumé, les appareils de la fabrication de la soude à l'ammoniaque n'ont pas subi, dans ces dernières années, de très importants perfectionnements. On a surtout cherché à diminuer le plus possible les pertes d'ammoniaque. Nous verrons, en effet, plus loin, que ce point est extrêmement important au point de vue du prix de revient.

---

## CHAPITRE VI

---

### LA FABRICATION DU CARBONATE DE SOUDE AU POINT DE VUE INDUSTRIEL. PROCÉDÉS ÉLECTROLYTIQUES.

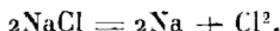
**Généralités et classification.** — Bien que, comme nous allons le voir, les procédés électrolytiques donnent principalement des lessives de soude caustique, nous pensons nécessaire de les étudier ici. Nous serons, en effet, conduit à comparer les différents procédés de production du carbonate de soude et, d'autre part, il sera toujours facile de transformer la soude caustique en carbonate; enfin, dans certains cas, celle-là se substitue aisément à celui-ci.

M. Minet a écrit plusieurs livres sur ce sujet dans cette Encyclopédie; aussi n'avons-nous pas l'intention de reprendre entièrement la question; nous voudrions seulement présenter une

classification très nette des procédés, bien établir le principe de la fabrication et décrire quelques-uns des procédés qui ont reçu réellement la consécration industrielle.

Supposons que nous soumettions à l'action du courant une dissolution de sel marin, c'est-à-dire du chlorure de sodium et de l'eau.

Il se formera tout d'abord du sodium qui se portera au pôle négatif, et du chlore qui se dirigera vers le pôle positif



Mais le sodium se trouvant, d'autre part, en contact avec l'eau de la solution, la décomposera en donnant de la soude et de l'hydrogène



En résumé, au pôle positif, on aura du chlore ; au pôle négatif, on obtiendra une lessive de soude et il y aura dégagement d'hydrogène.

Mais si on laisse la soude formée en présence du chlore, chaque produit se répandant de plus en plus dans la cuve, le chlore réagira sur la lessive et donnera des produits différents suivant la température et la concentration de la liqueur.

Si la solution est diluée et froide, on obtien-

dra un mélange de chlorure et d'hypochlorite qui prendra naissance d'après la réaction .



Si la concentration est suffisamment grande et la température assez élevée, il y aura formation de chlorate et de chlorure



Enfin l'hydrogène qui a pris naissance dans l'électrolyse pourra, lui-même, réagir sur l'hypochlorite et le chlorure et, produisant une réduction, donner du chlorure de sodium, matière première de la fabrication.

*Il est donc nécessaire de séparer les éléments au fur et à mesure qu'ils se produisent.*

Dans le cas de l'électrolyse d'une solution de chlorure de sodium, on devra séparer le pôle négatif du pôle positif, former deux *cellules* distinctes ; dans l'une, la négative, se produira la soude et l'hydrogène ; dans l'autre, la positive, le chlore se dégagera. La cloison séparant les deux cellules porte le nom de *diaphragme*. Les procédés s'appellent alors *procédés à diaphragme*.

D'autre part, supposons que, électrolysant une solution de chlorure de sodium, nous pla-

cions dans le voisinage du pôle négatif un produit tel qu'il s'empare du sodium, au fur et à mesure de sa production. Dans ces conditions, nous obtenons une séparation immédiate du sodium et du chlore ; aucune réaction secondaire ne peut se produire. Le produit désigné pour obtenir ce résultat est le mercure qui forme avec le sodium un amalgame.

Les procédés basés sur ce principe ont reçu le nom de procédés au mercure.

Jusqu'ici il n'a été question que de l'électrolyse d'une *solution* de chlorure de sodium. On peut aussi électrolyser le chlorure de sodium sec, porté à une température suffisante pour le fondre. On obtient alors du chlore et du sodium. Ce sont les procédés par voie sèche.

On peut alors séparer l'un de l'autre par deux procédés différents : on peut utiliser un moyen de séparation purement mécanique ou bien mettre le sodium en présence d'un produit qui l'absorbe ; ici, étant donnée la température qui règne dans l'appareil, le plomb métallique est tout indiqué.

En résumé, l'électrolyse du chlorure de sodium peut se faire par deux sortes de procédés qui se subdivisent ainsi qu'il suit :

1° *Procédés par voie humide* :

a) Procédés à diaphragme ;

b) Procédés au mercure.

2° *Procédés par voie sèche* :

a) Procédé où le sodium est recueilli à l'état libre ;

b) Procédé où le sodium est recueilli à l'état d'alliage.

**Procédés par voie humide. Procédés à diaphragme.** — Le diaphragme qui a pour but d'empêcher les éléments séparés par électrolyse de réagir les uns sur les autres doit posséder les qualités suivantes :

Il doit établir la séparation de ces produits ; mais il ne doit pas offrir une trop grande résistance du courant. Enfin il ne doit être attaqué ni par l'électrolyte (c'est-à-dire par la dissolution qui doit être soumise à l'action du courant) ni par les produits pour la réaction. La porcelaine d'amiante de Garros, le parchemin, l'amianté imprégné de kaolin et cuit, etc., sont très employés. Mais il ne fait doute pour aucun de ceux qui ont approché l'industrie électrochimique, que la constitution du diaphragme est une chose capitale et extrêmement délicate. Plusieurs procédés ne doivent leur vitalité qu'à l'emploi d'un diaphragme de bonne qualité, tandis que de très

nombreux brevets n'ont jamais donné que des résultats incomplets, parce que la question diaphragme n'était pas mise au point.

Une question non moins importante est celle des anodes ; elles doivent être faites en matières conductrices et, d'autre part, elles ne doivent pas se laisser attaquer par le chlore. On a proposé des anodes en charbon, ou mieux en graphite ; la plupart du temps, on utilise même des charbons dont la surface seule est transformée en graphite par le passage dans un four à haute température. Il est préparé à Niagara-Falls par l'*Acheson Graphite Company* et, en France, par la Société *Le Carbone*, qui utilise les fours Street et Girard. Évidemment l'une des solutions les plus rationnelles est l'emploi du platine ; il résiste d'une façon parfaite à l'action du chlore et de l'oxygène qui peut se produire dans certaines réactions et qui, d'après Weightmann (1), est particulièrement nuisible aux anodes en charbon. Sa résistance est absolue, lorsqu'il est allié à 10 % d'iridium. Mais son prix extrêmement élevé en réduit évidemment les applications.

A signaler enfin les électrodes hélicoïdales

---

(1) *Engineering and Mining Journal*, 4 août 1900.

inventées par M. Feyrusson et exposées par lui en 1900.

*Procédé Hargreaves-Bird.* — Ce procédé a été décrit par M. Minet, aussi n'y revenons-nous que pour dire que la Société de Saint-Gobain, Chauny et Cirey a acquis les brevets et a déjà monté un atelier d'essais à Chauny (Aisne). Ce procédé fonctionne en grand à Middlewich ; l'acide carbonique y est obtenu dans un four à chaux ; la chaux qui constitue le résidu de l'opération, est utilisée pour la fabrication des hypochlorites.

L'électrolyseur se compose d'une cuve dans laquelle on a placé, à une certaine distance l'un de l'autre, deux diaphragmes spéciaux B et B'

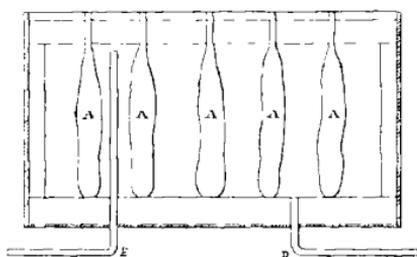


Fig. 15

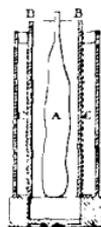


Fig. 16

(fig. 15 et 16). C'est entre ces deux diaphragmes que l'on fait arriver la solution de chlorure de sodium à électrolyser, dans laquelle plongent

les anodes A constituées par du charbon ordinaire. Tout contre le diaphragme B sont placées les cathodes formées par des toiles de cuivre.

Lorsque le courant passe, la soude se forme à la cathode et est entraînée par la vapeur d'eau que l'on envoie dans la cellule cathodique. De plus, on fait passer un courant d'anhydride carbonique qui donne du bicarbonate. L'électrolyte arrive dans le bas de la cuve, tandis que, après traitement, le liquide sort par le haut.

Tel est le principe de ce procédé qui a été expérimenté en 1898.

Dans l'appareil des mêmes auteurs, qui doit être exploité par Saint-Gobain, les diaphragmes sont formés par une sorte de tissu d'amiante auquel on incorpore une solution silicatée. Le voltage nécessaire à l'électrolyse du chlorure de sodium serait de 3,6 volts environ par cellule, l'efficacité du courant atteindrait 90 à 92 % ; enfin la densité du courant serait de 2 ampères par décimètre carré de diaphragme. La lessive découlant des cathodes contient 120 à 130<sup>gr</sup> de carbonate de soude par litre et seulement 6 grammes en moyenne de chlorure de sodium, soit 5 % environ. Le chlore est à 95-98 % de pureté.

Une nouvelle usine vient d'être élevée à Mid-

dlewich, dans le Cheshire. Elle comprend, à l'heure actuelle, quatre séries d'appareils de treize cellules chacun. Il s'est formé une société au capital de 500 000 francs, pour l'acquisition des brevets anglais et la création de cette usine.

*Procédé de Griesheim.* — C'est ce procédé qui est actuellement le plus exploité. Voici, d'après M. Lunge (1), quelle en a été l'origine :

A la suite d'un brevet obtenu par C. Hæpfner en 1884, trois sociétés industrielles allemandes : Mathes et Weber de Duisbourg, Hunheim et C<sup>ie</sup> de Berlin et la Chemische Fabrik de Griesheim, près de Francfort-sur-le-Mein, auxquelles s'adjoignirent deux maisons particulières, fondèrent une association pour l'étude d'un procédé de fabrication électrolytique de soude et de chlore. Les premières recherches furent faites par M. Fabian, associé de la maison Mathes et Weber. M. Fabian étant mort en 1885, la Chemische Fabrik de Griesheim fit continuer les recherches pour le compte de l'association. Elles aboutirent à un projet d'usine qui fut mis à exécution vers la fin de 1888. L'usine en question fut établie à Griesheim et mise en marche en 1890 ; elle fut doublée en 1892.

---

(1) QUESNEVILLE. — Novembre 1896.

Cette même année, la Chemische Fabrik « Elektron » fonda également une usine, utilisant le même procédé.

En 1894, commença à fonctionner, à Bitterfeld, une autre soudeuse électrolytique.

Enfin, la Société industrielle des Produits chimiques exploita, en 1898, ce même procédé à la Motte (Oise).

Dans toutes les usines qui l'exploitent, le procédé de Griesheim est tenu absolument secret ; on sait seulement que c'est un procédé à diaphragme.

*Procédé d'Aussig.* — Dans ce procédé qui est employé à l'usine d'Aussig (Autriche), on utilise la différence de densité des deux liquides de l'anode et de la cathode.

L'appareil se compose d'une cuve en grès (*fig. 17*) dans laquelle on place une cloche également en grès ; cette cloche ne touche pas le fond de la cuve. Elle contient l'anode qui est constituée par des crayons de charbon. Deux cathodes formées par des plaques de fer sont placées hors de la cloche dans le bain. Lorsque le courant passe, il s'établit bientôt une différence de densité très notable dans le liquide ; la densité croît de haut en bas et atteint son maximum dans le voisinage de la région cathodique.

Si l'on continue l'électrolyse, la surface de séparation entre les liquides de différentes densités se rapproche de l'anode. Il faut évidemment amener une quantité de liquide suffisante pour que l'opération se fasse de la façon la plus constante possible; un trop-plein permet d'extraire les lessives de soude qui sont envoyées aux appareils de concentration.

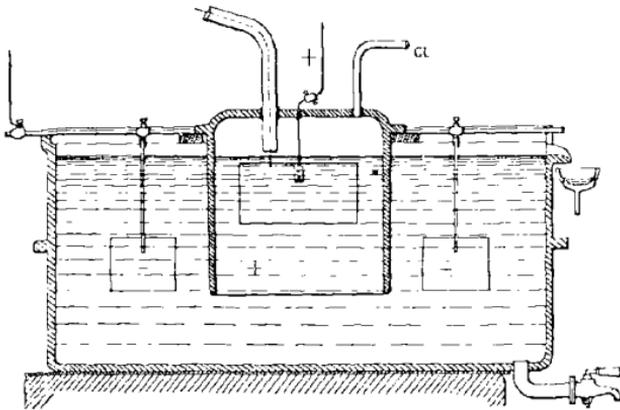


Fig. 17

**Procédés par voie humide. Procédés au mercure. Procédé Castner.** — Ce procédé est exploité par l'« Aluminium C<sup>o</sup> » dans son usine d'Oldbury près de Birmingham et par quelques autres importantes usines.

L'appareil se compose d'une cuve rectangulaire d'une profondeur très faible et divisée en

trois compartiments (que nous désignerons par les numéros 1, 2 et 3), par des cloisons qui ne touchent pas tout à fait le fond de la cuve. Celui-ci est garni d'une faible couche de mercure (3 à 4 millimètres). Une anode est placée en 1 et en 3 et disposée de façon à se trouver à quelques centimètres du mercure.

En 1 et en 3, on fera arriver la solution à traiter tandis qu'en 2, où se trouve la cathode en fer, circule de l'eau froide. De plus, par un moyen quelconque, la cuve peut être inclinée de manière à faire passer le mercure de 1 en 2 puis 3 et en sens inverse.

Supposons que 1 soit remplie de la solution saline et que la caisse soit inclinée de façon que le mercure occupe le fond de ce compartiment. Faisons passer le courant ; le chlore se dégage et le sodium formé se combine au mercure pour donner un amalgame.

Quand la décomposition est complète, on modifie légèrement l'inclinaison de la caisse, de façon que l'amalgame de sodium passe en 2 ; là, il se décompose au contact de l'eau, le mercure est régénéré, tandis que le sodium décompose l'eau pour donner de la soude.

Le mercure passe ensuite en 3 et est prêt à servir à une nouvelle opération ; on fait alors passer

le courant en 3, qui contient la dissolution saline. Lorsque l'opération est terminée, une nouvelle inclinaison de la cuve fait passer l'amalgame qui vient se former en 2 et le mercure revient, enfin, en 1, d'où le cycle recommence. Voici les résultats que M. Castner a publiés (1) sur le fonctionnement de son procédé.

L'installation dont il est question se compose de trente électrolyseurs ; chacun d'eux décompose 25<sup>kg</sup>,4 de chlorure de sodium par vingt-quatre heures, en produisant 18 kilogrammes de soude caustique et 15 kilogrammes de chlore.

La force électromotrice employée est de 4 volts et l'intensité de 550 ampères. Le chlore, ainsi préparé, contient 95 à 97 % de chlore pur ; la lessive de soude obtenue titre 20 %. On évapore cette solution et on obtient des plaques de soude caustique à 99,5 % de pureté.

Jusqu'ici on n'a pas cherché à recueillir l'hydrogène dégagé dans la cuve centrale par l'action de l'amalgame de sodium sur l'eau.

*Électrolyseur Rhodin.* — Le procédé Rhodin est un procédé au mercure, c'est-à-dire que la cathode est formée par du mercure. Le sodium qui vient se déposer sur l'électrode ainsi cons-

---

(1) *Engineering and Mining Journal.*

tituée s'amalgame. Le produit formé est mis au contact de l'eau, le sodium passe à l'état de soude et le mercure est régénéré. On peut employer, à cet effet, un système à deux compartiments ; mais, comme il se forme un amalgame solide contenant une proportion très petite de sodium avec du mercure, lequel ne peut plus être diffusé par le mercure ni facilement enlevé par les moyens mécaniques, une des difficultés par le système à deux compartiments où l'on emploie le mercure, provient du fait que l'on ne peut pas effectuer un grand travail dans chacune des cuves ; il faut, en conséquence, une installation très étendue pour décomposer une quantité relativement petite d'eaux salées.

On a cherché, dans l'électrolyseur Rhodin, à créer une cuve électrolytique d'une grande capacité de travail. Cette cuve est composée (*fig. 18 et 19*), d'un réservoir externe de peu de profondeur, en fer fondu ou en fer forgé D. Ce réservoir contient une cuve en faïence, formée d'une cloche renversée du fond de laquelle partent une série de tubes ouverts, dont les bords pénètrent jusqu'au dessous d'une couche de mercure M, placée sur le fond du réservoir en fer D.

La partie supérieure de ce réservoir en faïence se termine par un tuyau cylindrique O, dont

l'extrémité est formée par une cuvette de joint à eau S. Toute cette partie peut tourner autour de son axe ; à cet effet, elle est maintenue par la partie E et peut recevoir son mouvement de rotation par l'intermédiaire des engrenages W, W, de la poulie P et de la courroie K.

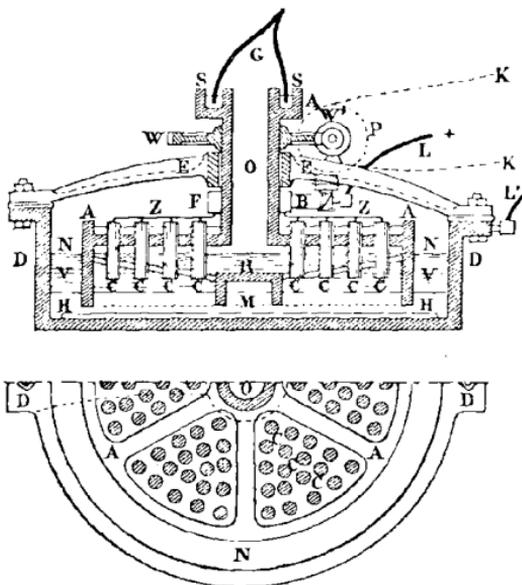


Fig. 18. — Électrolyseur Rhodin ; Fig. 19. — Demi-plan.

La partie supérieure du réservoir cylindrique est divisée en six compartiments au moins, chacun d'eux est percé d'un certain nombre de

trous dans lesquels sont insérés des cylindres en graphite C.

Dans le cas de cuves de fortes dimensions, ces compartiments triangulaires peuvent être construits séparés et renfermés dans un châssis en fer.

Les cylindres en charbon sont fixés par une couche de ciment.

Immédiatement au-dessous du collet de la partie E, qui soutient le tube O, se trouve un anneau F en métal, lequel tourne avec le réservoir. Tous les cylindres en charbon sont reliés à cet anneau F par des conducteurs métalliques convenables L. Une brosse B glisse sur l'anneau F et lie ainsi les cylindres au courant. Quant à la cathode, elle est constituée par la cuve D elle-même. Voici maintenant comment fonctionne cet appareil : La couche M de mercure forme un joint parfait le long du réservoir A en faïence de telle sorte que, lorsque le réservoir intérieur est rempli d'eau salée R et que l'espace annulaire N est rempli d'eau simple, il n'y a pas de communication entre les deux liquides. Lorsque le courant électrique parcourt la cuve, il passe de l'extrémité basse des cylindres en graphite à la surface de mercure M. Le chlore formé s'échappe par le tube central O,

prolongé par un tube G, et est envoyé aux chambres à chlorure de chaux. L'amalgame sodique se forme sur la surface du mercure dans la partie intérieure du réservoir et sur la surface inférieure de la saumure. En partie par diffusion, en partie par l'agitation mécanique du mercure produit par le mouvement de rotation du réservoir intérieur, l'amalgame passe dans l'espace annulaire N, où il est décomposé en soude et mercure par l'eau située en V.

Enfin, on chauffe extérieurement le réservoir en D à une température suffisante pour élever le contenu liquide de la cuve à une température un peu inférieure à 100°. Non seulement on évite ainsi l'absorption d'une forte quantité de chlore, dans la saumure, mais on augmente encore le pouvoir de décomposition de l'eau par l'amalgame sodique et l'on diminue la résistance électrique de la couche liquide entre la surface inférieure des cylindres et la surface du mercure.

D'après les auteurs, cet appareil présenterait les avantages suivants :

- 1° Pureté absolue du chlore produit ;
- 2° Résistance très faible dans la cuve, d'où voltage nécessaire très faible également ;
- 3° Efficacité très grande de la cuve, le rendement atteindrait 95 % de la théorie ;

4° Facilité d'examen et de réparation des cuves ;

5° Pertes de mercure presque nulles ;

6° Hygiène absolue pour les ouvriers ;

7° Obtention d'une soude absolument pure, et dont la densité peut atteindre un chiffre très élevé.

Nous n'insisterons pas sur les autres procédés qui commencent leur carrière industrielle ; on en trouvera des descriptions sommaires dans les ouvrages de M. Minet, notamment en ce qui concerne le procédé Outhenin-Chalandre, qui a acquis une réelle notoriété.

---

## CHAPITRE VII

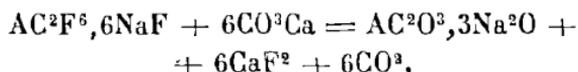
### AUTRES PROCÉDÉS DE FABRICATION DU CARBONATE DE SOUDE

Deux autres procédés, beaucoup moins importants que les précédents sont encore employés pour la fabrication du carbonate de soude :

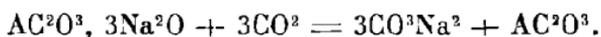
- 1° Le procédé à la cryolithe ;
- 2° Le procédé aux sulfures doubles.

Nous en dirons quelques mots.

**Procédé à la cryolithe.** — La cryolithe est un fluorure double de sodium et d'aluminium. Sous l'action d'une température assez élevée, il est décomposé par le carbonate de chaux et donne de l'aluminate de soude soluble, du fluorure de calcium qui se précipite et de l'acide carbonique :



La solution contenant de l'aluminate de soude est ensuite décomposée par un courant d'acide carbonique :



Cette décomposition des aluminates alcalins par l'acide carbonique a été étudiée au point de vue théorique par M. le professeur Dilte. Ce savant a montré (1) que la décomposition d'une solution riche en aluminate et pauvre en alcali produit rapidement une composition en quelque sorte limite ; il se forme alors des cristaux d'alumine qui agissent sur toute la masse et provoquent la décomposition de l'aluminate. On a soin de ne pas faire passer le courant d'acide carbonique jusqu'à ce que toute l'alumine soit précipitée, sans quoi il se déposerait du carbonate double.

Pour pratiquer la décomposition de la cryolithe par le carbonate de chaux, on mélange les matières en poudre et on les charge dans un four à réverbère. Généralement, on a soin d'ajouter aux matières premières, un peu de fluorure de calcium provenant d'une opération précédente ; on est arrivé ainsi à améliorer considérablement les rendements.

---

(1) C. R. de l'Ac. des Sc., 1893, t. CXVI, p. 386.

Le lessivage de la matière encore chaude est pratiqué dans des bacs, par lavage méthodique. Cette opération fournit des eaux marquant 33°; le fluorure de calcium qui reste au fond est vendu aux verriers.

La décomposition par l'acide carbonique est obtenue, non pas par le gaz sortant du four (l'opération serait irrégulière), mais bien par de l'acide carbonique fabriqué spécialement.

Quant à l'alumine que l'on trouve dans cette opération, on la calcine en vue de la fabrication de l'alumine, ou on la traite par l'acide sulfurique; le sulfate d'alumine que l'on obtient dans ce dernier cas, est utilisé tel que, ou dans la fabrication des aluns.

**Procédé aux sulfures doubles.** — Ce procédé plus ancien que le procédé Leblanc et dont le principe est dû à Malherbe, n'est devenu pratique qu'après les modifications de Kopp.

Malherbe réduisait le sulfate de soude par le charbon et le fer métallique. Kopp utilisa un mélange de charbon et d'oxyde de fer pour produire la réduction du sulfate de soude. Ce procédé a fonctionné en grand à l'usine de Church.

On calcine dans un four à réverbère le mélange sulfate de soude, peroxyde de fer et charbon.

On obtient, dans ces conditions, un sulfure double de fer et de sodium. La masse obtenue ne peut être lessivée; on fait agir un mélange air et acide carbonique. Il se forme alors du carbonate de soude; on lessive la poudre obtenue.

On peut, par divers moyens sur lesquels nous ne voulons pas nous étendre, ce procédé n'offrant plus qu'un faible intérêt, régénérer le soufre et l'oxyde de fer.

---

## CHAPITRE VIII

—

### L'INDUSTRIE DES CRISTAUX DE SOUDE ET DE LA CHAUX CAUSTIQUE

**Cristaux de soude.** — Les cristaux de soude, qui sont très répandus dans le commerce, ont pour formule  $\text{CO}^3\text{Na}^2, 10\text{H}^2\text{O}$ . Leur fabrication comporte deux opérations, dont l'une se fait très souvent dans les soudières même : le raffinage et la cristallisation.

Le *raffinage* est une opération qui a pour but d'obtenir du carbonate de soude très pur. Ce produit est demandé non-seulement pour la fabrication des cristaux, mais encore pour certaines industries, notamment la gobeletterie.

Pour faire cette opération, le carbonate brut, que l'on choisit aussi exempt que possible de ferrocyanure, de sulfure et d'alcali libre, est placé dans un panier percé de nombreux trous et que l'on suspend dans une cuve en tôle dans

laquelle arrive de l'eau qui peut être chauffée par un serpentín de vapeur. On oxyde les sels de fer, les sulfures et les sulfites par une addition convenable de chlorure de chaux. On décante par siphonnage et on envoie les lessives dans des bassins de décañtation. On concentre et l'on calcine comme dans les cas du carbonate de soude brut.

La *cristallisation* se fait en préparant, dans l'eau bouillante, une solution qui doit marquer 30° B. en hiver, 32° B. en été et en laissant refroidir.

On faisait autrefois cristalliser les sels de soude dans de petits récipients ayant la forme de calotte sphérique et susceptibles de produire des pains pesant 10 à 12 kilogrammes.

A l'heure actuelle, on se sert de bacs peu profonds, soit rectangulaires, soit ronds. Le fond est généralement incliné et comporte en son point le plus bas un robinet qui permet l'évacuation des eaux-mères.

Les cristaux séparés de l'eau-mère sont concassés à coups de maillet et de ciseau ; ils sont ensuite placés sur une aire inclinée en bois ; ils y abandonnent le restant des eaux-mères. Puis ils sont portés aux séchoirs dans lesquels la température ne dépasse pas 25°.

Si l'on dépassait cette température, le sel viendrait à s'effleurer et donnerait du carbonate de sodium monohydraté.

Lorsqu'on opère avec du carbonate de soude obtenu par les procédés à l'ammoniaque, on n'obtient que des cristaux extrêmement fins. Ceci provient de la pureté trop grande de la matière première. Aussi y remédie-t-on aisément en ajoutant quelque peu de sulfate de soude aux lessives de carbonate.

**Soude caustique.** — L'industrie de la soude caustique a eu pour cause première l'utilisation des eaux-mères du carbonate de soude. En 1844, un industriel de Glasgow chercha à concentrer les eaux-mères et ayant oxydé les sulfures, cyanures, etc., par une addition de nitrate de soude, il obtint un résidu formé par un mélange divers de produits (sulfate, sulfite, chlorure de sodium principalement), et un bain de soude caustique.

Les premiers essais, pratiqués dans cette voie, restèrent sans intérêt industriel, la soude ainsi obtenue ne trouvant aucun débouché.

La question fut reprise vers 1873 par Gossaye, qui oxydait les impuretés non plus par le nitrate de soude, mais bien par de l'hypochlorite de chaux. C'était à l'époque où diverses industries

réclamaient d'importantes quantités de soude caustique ; nous citerons notamment la fabrication de l'alizarine, l'industrie des pétroles et la fabrication de la pâte à papier.

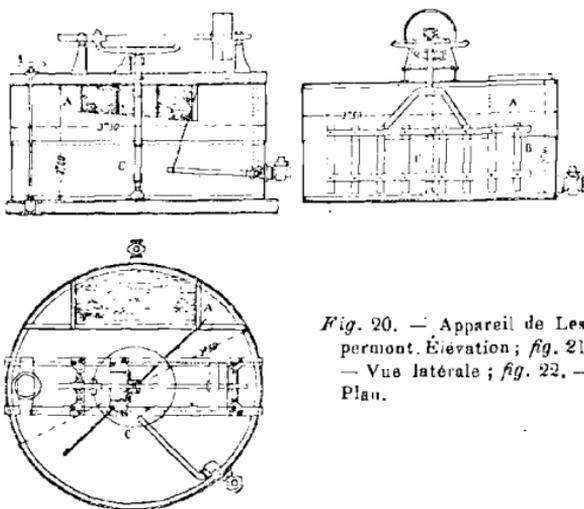
Pour préparer la soude caustique, on utilise, soit les lessives brutes, soit des liqueurs obtenues avec des sels déjà calcinés.

La *caustification* se fait souvent dans un bassin en tôle comportant un faux-fond en tôle perforée.

Sous ce faux-fond, on injecte de l'air ; ceci a pour but d'occasionner tout d'abord un mélange dans la liqueur et puis aussi de provoquer une oxydation. D'un autre côté, dans un coin du bac, on a placé un panier perforé contenant de la chaux vive en pierre. Un lait de chaux se forme dans la caisse, le carbonate de soude se transforme en soude caustique. On voit aisément si l'opération est terminée, en prenant un peu de la liqueur et en la traitant par un peu d'acide chlorhydrique. Quand l'opération est finie, on ne trouve, bien entendu, aucune effervescence. Les liqueurs sont ensuite envoyées dans des bacs de repos, puis concentrées.

Dans un grand nombre d'usines, notamment dans les papeteries qui fabriquent elles-mêmes la soude caustique dont elles ont besoin, on em-

ploie l'appareil de Lespermont, qui est formé d'une cuve dans laquelle se trouve un arbre portant un agitateur en forme d'hélice ; cette disposition empêche tout dépôt adhérent sur le bassin de tôle.



*Fig. 20.* — Appareil de Lespermont. Élévation ; *fig. 21.* — Vue latérale ; *fig. 22.* — Plan.

MM. Brunner, Mond et C<sup>ie</sup> ont breveté un appareil spécial pour la fabrication de la soude caustique, nous en donnerons une description sommaire.

Le carbonate à caustifier est placé dans un panier A (*fig. 20, 21 et 22*), l'eau est mise dans la cuve G en quantité telle que le panier y trempe

de 0<sup>m</sup>,30 environ. Il est nécessaire d'employer ce panier ; si on laissait tomber le carbonate en masse, il irait au fond et formerait une masse se dissolvant très difficilement. Au contraire, avec l'emploi du panier et d'un agitateur tel que B, la dissolution se fera aisément.

Pour avoir une transformation complète du carbonate en soude caustique, il est absolument nécessaire d'employer une solution marquant 12 à 12,4 B. à la température de 15° C. Cette solution correspond à 42 kilogrammes de soude pure à 58 % par 500 litres d'eau.

L'alimentation en eau se fait par un tuyau ; la vidange se fait par un autre. Enfin, plusieurs tuyaux de vapeur permettent l'échauffement de la masse.

Le liquide étant à la concentration voulue, on le porte à la température d'ébullition et l'on jette la chaux dans le panier. Il faut employer de la chaux vive. On maintient toujours le liquide en ébullition ; deux heures suffisent pour avoir une caustification complète.

On emploie 600 kilogrammes de bonne chaux pour 1 000 kilogrammes de soude. Ce procédé est caractérisé par l'emploi d'une solution sodique assez faible et bien déterminée ; par l'addition de la chaux en morceaux, lorsque le liquide

est en ébullition, par le maintien de l'ébullition et de l'agitation pendant environ deux heures.

On peut, avec un appareil efficace et un travail soigneux produire 1 000 kilogrammes de soude caustique à 70° à l'état de lessive avec 1 500 à 2 000 kilogrammes de bon charbon.

Nous ajouterons en terminant que de nombreuses usines utilisent maintenant les appareils pour concentrer les lessives. Ces appareils constitués en triple ou quadruple effet, offrent souvent l'avantage d'une grande économie.

---

## CHAPITRE IX

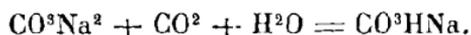
---

### L'INDUSTRIE DU BICARBONATE DE SOUDE

Le bicarbonate de soude peut s'obtenir par deux procédés.

Nous avons déjà vu que l'une des phases de la fabrication de la soude à l'ammoniaque consistait dans l'action de l'acide carbonique sur la saumure ammoniacale et donnait du bicarbonate de soude.

Dans certains cas, notamment pour la thérapeutique et la dorure, on a besoin d'un bicarbonate de soude très pur. Ce sel est alors obtenu par action de l'acide carbonique sur le carbonate de soude



Comme sources d'acide carbonique, on prend le carbonate de chaux. Souvent on a recours à l'acide carbonique, de fermentation, enfin, lors-

qu'on le peut, on utilise l'acide carbonique naturel.

Ce dernier cas est particulièrement intéressant, aussi dirons-nous quelques mots de la disposition qu'il nécessite.

Les sources sont entourées d'un puits en maçonnerie dans lequel on place une cloche en fonte B (*fig. 23*); le gaz s'accumule dans ce gazomètre, gagne par un tube et un laveur à eau C. De là, un tuyau conduit le gaz dans une chambre D qui renferme une succession de châssis sur lesquels sont tendues des toiles chargées de carbonate de soude en cristaux.

Les cristaux de soude correspondent, nous l'avons déjà dit, à la formule  $\text{CO}^3\text{Na}^2, 10 \text{H}^2\text{O}$ .

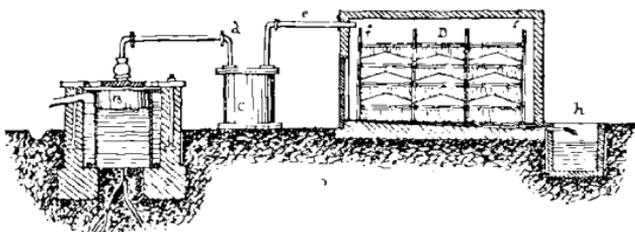


Fig. 23

Lorsqu'on met ce produit en contact avec l'acide carbonique, on obtient du bicarbonate et neuf molécules d'eau sont mises en liberté.

Cette eau s'écoule à travers les toiles et se rassemble dans le réservoir *h*.

Pour voir si tout le carbonate est bien transformé en bicarbonate, il suffit, par un trou aménagé spécialement, de passer une tige métallique; lorsque la transformation est totale, on a une matière extrêmement friable dans laquelle la tige métallique s'enfonce avec grande facilité.

Le liquide recueilli dans le réservoir *h* est utilisé dans la fabrication de la soude brute.

Les autres modes de fabrication ne diffèrent en rien de celui que nous venons de décrire, si ce n'est dans l'appareil producteur d'acide carbonique.

Les chambres permettent généralement d'y disposer 60 tonnes de cristaux.

A la sortie de l'appareil, les cristaux de bicarbonate de soude sont soumis à une dessiccation à basse température; il ne faut pas que celle-ci dépasse 40°, sans quoi il serait décomposé et donnerait de l'acide carbonique et du carbonate de soude. On utilise généralement des séchoirs ventilés. Mais quelles que soient les précautions que l'on prenne, il se forme toujours un peu de carbonate de soude.

Enfin on a signalé un procédé de fabrication qui consiste à faire agir en même temps, sur le

carbonate de soude neutre et anhydre, de la vapeur d'eau et de l'acide carbonique.

Nous ne dirons rien ici des emplois et de l'état économique de la fabrication du bicarbonate de sodium.

Toutes ces considérations seront renfermées dans le dernier chapitre de ce volume.



## CHAPITRE X

—

### L'INDUSTRIE DU SODIUM ET DU PEROXYDE DE SODIUM

**L'industrie du sodium métallique.** — Il nous semble nécessaire de dire quelques mots d'une industrie qui présente quelque intérêt, celle du sodium métallique.

Elle prit une importance réelle au moment de l'extension de l'aluminium qui, on le sait, fut tout d'abord obtenu par la méthode d'Henri Sainte-Claire-Deville consistant à la réduction de la cryolithe par le sodium métallique.

Un premier procédé de Castner fit déjà faire un grand pas à l'obtention industrielle du sodium. Il consistait en la réduction à haute température de la soude caustique fondue par un mélange de fer réduit et de goudron.

Puis vint le procédé Hetto qui faisait agir du charbon sur du carbonate de soude fondu et

porté à haute température dans des cylindres en fonte.

Mais les demandes en sodium devenaient de plus en plus importantes par suite des fabrications de certains composés organiques pour lesquelles le sodium métallique est indispensable ; c'est notamment le cas de l'antipyrine.

C'est alors que l'on substitua aux procédés que nous venons d'indiquer les procédés électrolytiques.

Nous avons déjà cité plusieurs appareils permettant d'obtenir le sodium métallique. Mais la méthode la plus répandue est, sans contredit, celle de Castner.

Elle réside dans l'électrolyse de la soude fondue ; l'appareil utilisé est formé par un récipient en fer, chauffé à la partie inférieure ; la cathode est entourée par l'anode ; le courant est suffisant pour maintenir la soude à l'état fondu. Le sodium qui prend naissance monte à la surface de la soude fondue et est rapidement enlevé par des moyens mécaniques, de façon à ne pas rester en contact avec l'air qui l'oxyderait.

Un nouveau procédé fonctionne à Philadelphie et est dû à James Darling. Il consiste dans l'emploi du nitrate de sodium comme matière première ; dans l'électrolyse de ce produit fondu, on

obtient du sodium métallique à l'anode, tandis qu'à la cathode se dégage un mélange de peroxyde d'azote et d'oxygène qui, en présence de l'eau, donne de l'acide azotique.

Lorsque nous parlerons de la question, au point de vue économique, nous verrons quels importants débouchés sont offerts au sodium métallique.

**L'industrie du bioxyde de sodium.** — C'est en 1892 que ce produit de formule  $\text{Na}^2\text{O}^2$  a été préparé industriellement par Castner, directeur de l'Aluminium Company. On conçoit aisément par quel motif on fut conduit à la fabrication de ce produit; les procédés électrolytiques pour l'obtention de l'aluminium avaient pris une telle importance que l'ancien procédé utilisant le sodium ne pouvait plus exister; il était alors nécessaire de trouver un nouveau débouché pour ce produit.

Le procédé Castner pour transformer le sodium en peroxyde, consiste à soumettre ces métaux à l'action d'un mélange d'oxygène et d'azote.

A cet effet, le sodium est placé dans des récipients en aluminium-seul métal qui ne soit pas oxydé; puis on porte la température à  $300^\circ$  et on fait agir un mélange d'oxygène et d'azote, d'abord très pauvre en ce premier gaz, puis de

plus en plus riche et enfin de l'oxygène pur.

Un autre procédé de fabrication indiqué par de Haën réside dans l'emploi d'un mélange de nitrate alcalin avec de la chaux ou de la magnésie dans la proportion de 70 à 80 parties de magnésie ou de chaux pour 100 parties de salpêtre. Le mélange est placé dans des vases en terre réfractaire que l'on porte à une température de plus en plus élevée, jusqu'au rouge clair. La masse est alors décomposée et l'on obtient un produit poreux sur lequel on fait agir, entre 300 et 500°, de l'air sec absolument exempt d'acide carbonique. L'oxyde alcalin est ainsi transformé en peroxyde.

La masse obtenue, qui est un mélange de peroxyde de sodium, de chaux et de magnésie est utilisée dans le blanchiment.

Enfin Neuendorf a créé, en 1897, un appareil spécial en vue de traiter le sodium métallique pour obtenir le peroxyde; la caractéristique de cet appareil réside dans ce que l'air doit traverser successivement des caisses contenant le sodium et chaque chambre devient à son tour celle qui reçoit l'air neuf. C'est en quelque sorte une oxydation méthodique du sodium.

Nous ne saurions terminer ce qui a trait au peroxyde de sodium sans dire quelques mots de

*l'oxylithe*, produit étudié par M. George F. Jaubert et fabriqué en grandes quantités par la Société d'électrochimie à son usine de Livet-Gavet (Isère).

Ce composé, formé de différents peroxydes, est utilisé pour préparer l'oxygène industriellement, suivant la même méthode que celle qui fournit l'acétylène : quand on verse de l'eau sur un morceau d'oxylithe, l'oxygène se dégage immédiatement ; lorsqu'on supprime le liquide tout dégagement cesse aussitôt.

M. Jaubert a créé un grand nombre d'appareils à débits différents et basés sur ce principe.

## CHAPITRE XI

---

### L'INDUSTRIE DU CARBONATE DE SOUDE AU POINT DE VUE ÉCONOMIQUE

**Principaux débouchés du carbonate de soude.** — Le carbonate de soude forme incontestablement le produit le plus important de l'industrie chimique avec l'acide sulfurique. Examiner les principaux débouchés offerts au carbonate de soude, c'est étudier la presque totalité de l'industrie chimique.

Pour examiner les usages de ce produit, il nous semble logique de les classer en deux catégories distinctes : les fabrications où le carbonate de soude se retrouve dans le produit final, soit à l'état de carbonate, soit à l'état de soude ; les fabrications où le carbonate de soude intervient dans la suite des opérations, sans laisser trace de soude dans le produit final.

**PREMIÈRE CLASSE :** *Fabrications où le carbonate de soude se retrouve dans le produit final.*

— La *verrerie* consomme encore des quantités importantes de carbonate de soude, bien que ce produit soit mis en concurrence avec le sulfate de soude. Le carbonate semble préféré dans la fabrication du verre blanc.

De plus, l'emploi du carbonate semble donner les avantages suivants : il faut un poids de carbonate moindre que celui de sulfate pour produire le même poids de verre. La dépense en combustible est inférieure dans l'utilisation du carbonate ; il faut, en effet, une température moins élevée. La main-d'œuvre est moins élevée. Le carbonate étant généralement plus pur que le sulfate, le verre est d'une teinte bien plus belle. Les fours durent plus longtemps, car, dans l'emploi du sulfate, les vapeurs sulfureuses dégagées nuisent à la durée des maçonneries.

En gobeletterie, dans la fabrication du verre à vitre et en glacerie, le carbonate de soude tend de plus en plus à se substituer au sulfate, du moins pour les produits de choix.

Une très grande partie du carbonate de soude est transformée, comme nous l'avons expliqué, en *cristaux de soude* qui trouvent un débouché considérable dans l'économie domestique et l'industrie du blanchiment. Le lavage du linge, la teinture, le foulage des laines, le nettoyage des

laines, en consomment des quantités importantes.

L'emploi des cristaux de soude et la préférence qu'on leur donne au carbonate de soude anhydre seraient absolument incompréhensibles, si les premiers ne se dissolvaient avec plus de facilité. Il paraît, en effet, stupide que les consommateurs s'amuse à payer et des manipulations et le transport d'un important poids d'eau pour avoir un produit trois fois moins actif que le carbonate anhydre.

Les cristaux de soude se vendent sous différents noms, les cristaux ordinaires, le cristall-carbonate, les cristaux concentrés, le sesqui-carbonate de soude ; ces derniers produits renferment  $46 \frac{1}{2} \%$  de carbonate anhydre ; de plus, ils ne s'effleurissent pas au contact de l'air.

Le carbonate de soude sert de base de fabrication au plus grand nombre des sels de sodium. Nous reviendrons dans une étude spéciale sur ces industries. D'ores et déjà, nous citerons la préparation de l'acétate de soude, de l'acétotungstate (produit photographique), du benzoate de soude (thérapeutique), des citrate, lactate, oxalate, succinate, tannate, valérienate, borosuccinate, etc.

D'autre part, il est employé pour l'obtention de l'aluminate de soude, terme intermédiaire de la fabrication de l'alumine pure, de l'arsénite, du borate, du fluorure, du bromure, de l'iodure, des chromate et bichromate, du ferrocyanure, du silicate, de l'hypochlorite, des sulfite, bisulfite, hyposulfite, des phosphate, hypophosphite, des plombate, stannate, tungstate, etc.

La fabrication de l'*outremer* consomme aussi des quantités importantes de carbonate de soude ; on sait l'importance acquise par ce produit qui est utilisé pour son pouvoir tinctorial considérable. On l'emploie surtout pour *azurer* le linge et le faire paraître plus blanc ; mais beaucoup d'industriels l'utilisent pour la même raison ; c'est ainsi que les fabriques de sucre en consomment de certaines quantités.

Nous avons examiné jusqu'ici le carbonate de soude en tant qu'intervenant comme sel ou pour la fabrication des cristaux de soude. Il constitue aussi souvent la matière première de la fabrication de la soude caustique. Or celle-ci est utilisée pour la préparation des savons durs ou les dissolutions alcooliques de savons connus sous le nom d'esprit de savon et utilisés pour enlever la peinture. D'une façon plus générale, c'est la soude qui intervient pour le dédouble-

ment des éthers organiques pour opérer la saponification.

La soude caustique est utilisée pour rendre l'eau conductrice et préparer par voie électrolytique l'hydrogène et l'oxygène.

C'est encore la soude qui permet l'opération du mercerisage si usitée à l'heure actuelle pour donner au coton l'apparence de la soie.

Ce produit est utilisé dans la fabrication d'un très grand nombre de préparations de produits organiques, tels que l'indigo, les couleurs d'aniline, l'alizarine, l'acide oxalique, les phénols, les dérivés colorés, éosine, fluoresceine, érythrosine, etc., l'acide picrique, le salicylate de soude, le salol, etc.

Elle sert à la purification d'un très grand nombre de corps : anthracène, naphthaline, pétroles bruts.

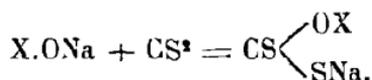
La soude caustique est la base de la fabrication du sodium dont nous étudions plus loin les débouchés.

Enfin, elle transforme l'albumine en caséine artificielle et elle intervient dans la transformation de la cellulose en viscosse et viscoïde, fabrication très importante sur laquelle nous tenons à dire quelques mots, étant donnée leur nouveauté.

L'on connaissait jusqu'alors deux dissolvants de la cellulose : le chlorure de zinc en dissolution concentrée et l'oxyde de cuivre ammoniacal. En présence de ces composés, la cellulose forme avec l'eau des hydrates solubles. Mais lorsqu'on a obtenu une telle dissolution de la cellulose et lorsque l'on vient à la régénérer, le produit ainsi préparé n'a plus toutes les propriétés de la cellulose ordinaire.

Trois chimistes anglais, MM. Cros, Bevan et Beadle ont découvert un troisième dissolvant qui résout un grand problème industriel. L'on sait, depuis Mercer, que les alcalis concentrés attaquent rapidement la cellulose pour donner une combinaison parfaitement définie avec une hydratation. Le composé qui a pris ainsi naissance est très facilement décomposé par l'eau que donnent les éléments constitutifs de ce produit, c'est-à-dire l'alcali et la cellulose.

MM. Cros, Bevan et Beadle ont établi que, lorsque l'alcali-cellulose est soumise à l'action du sulfure de carbone, il y a combinaison et formation de xanthate de cellulose, d'après la formule :



On obtient ainsi un produit d'aspect transparent, gélatineux, qui, placé dans l'eau, donne une solution d'une viscosité extraordinaire, d'où le nom de viscosse donné à cette matière.

Cette viscosse est décomposable en cellulose, sulfure de carbone et alcali sous l'action de la chaleur et même spontanément s'il s'agit des solutions.

Deux choses caractérisent la cellulose régénérée des solutions de viscosse : d'une part, elle contient plus d'eau que la cellulose primitive; d'autre part, les groupes OH, qui indiquent la fonction alcoolique, réagissent beaucoup plus facilement.

Nous indiquerons d'abord la préparation de la viscosse, puis ses nombreuses applications.

La matière première principale de la fabrication est la pâte de bois, le coton défibré ou tout autre produit contenant beaucoup de cellulose.

On traite cette matière par 50 % de son poids de soude caustique dissoute dans l'eau; ce traitement a lieu sous l'action d'une meule verticale afin que l'imbibition se fasse dans les meilleures conditions possibles. Le produit que l'on prépare ainsi se présente sous forme de petits grumeaux dont la composition moyenne (1) est de 25 %

---

(1) Voir le rapport de M. BARDY : *Bulletin de la Société d'Encouragement*, mars 1900.

cellulose, 12 % soude caustique et 63 % eau. On a obtenu ainsi l'alcali-cellulose, il faut la transformer en viscosse. A cet effet, on la traite par du sulfure de carbone en quantité correspondante à 40 % de la cellulose contenue dans l'alcali-cellulose.

Ce traitement se fait en vase clos, à la température ordinaire. Le produit de la réaction se présente en grumeaux jaunâtres entièrement solubles dans l'eau.

Ce que l'on utilise ce sont des solutions de ce produit. La plus usitée est celle à 10 %, celle à 20 % présente la concentration maximum, elle est extraordinairement visqueuse. Les applications de la viscosse sont nombreuses. L'une des plus importantes est son utilisation en vue de la production de matières solides que l'on désigne sous le nom de viscoïd.

Lorsque l'on abandonne à l'air une solution de viscosse, la cellulose s'insolubilise au bout d'un certain temps; on peut la sécher et l'on obtient un produit qui se travaille bien, se polit et rappelle la corne. On peut introduire dans la solution de viscosse des produits inertes, comme le brai, le kaolin, la tourbe, le liège, etc., et laisser la cellulose s'insolubiliser; on obtient des agglomérés très intéressants, pouvant se travail-

ler aisément. La pâte obtenue peut se mouler. Nous ajouterons toutefois que ces produits sont cassants, dès que leur teneur en cellulose est trop grande ; mais, en dosant cette dernière, on obtient d'excellents résultats : c'est ainsi qu'un aggloméré, le brai, contenant 10 % de cellulose, se travaille très facilement. Une autre application de la viscosse a été faite dans l'industrie du papier ; on est arrivé, après des difficultés, à incorporer au papier 1,5 à 6 % de cellulose. Ceci a pour effet d'augmenter certaines qualités du papier, notamment sa ténacité, et de le rendre imperméable. Dans le rapport qu'a fait M. Ch. Bardy, sur cette découverte, à la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale, l'on trouve des charges de rupture de divers papiers ordinaires et viscosés, et l'on voit que ces charges de rupture sont augmentées de 50 à 100 % par l'addition de cellulose.

Il faut, toutefois, ajouter que ce perfectionnement n'a pu être apporté que dans la fabrication des cartons et des papiers d'emballage ; il est impossible de l'utiliser pour le papier blanc, étant donnée la présence des sulfures dans la solution de viscosse.

La viscosse est également employée en impression ; on lui ajoute au préalable, des matières

blanches, notamment du kaolin, et on l'emploie pour obtenir des damassés qui résistent parfaitement au blanchiment et au savonnage.

On peut également s'en servir comme apprêt notamment pour les étoffes de coton. M. Bardy cite l'utilisation qu'en fait la Société Maxim-Nordenfelt, qui s'en sert pour apprêter les bandes portant les cartouches de ses canons ; on leur donne ainsi de l'imperméabilité et le rétrécissement permanent qui leur sont nécessaires.

Enfin la peinture au fibrol rentre dans le même ordre d'idées ; elle est formée par de la viscosse ayant aggloméré de grandes proportions de matières inertes, et que l'on a ensuite fortement étendue d'eau. Cette peinture, qui s'applique très bien est susceptible d'être vernissée.

La viscosse peut permettre de préparer de la soie artificielle ; elle se file, en effet, très aisément et aussi fin que l'on désire. Les fils ainsi obtenus se teignent très bien, et présentent un très joli brillant. Étant donné le prix très bas auquel on arrivera certainement à produire cette nouvelle substance textile, l'on peut croire que cette application de la viscosse sera l'une des plus importantes.

D'autre part, il faut signaler deux autres utilisations de la viscosse et de ses dérivés, qui ont

assurément un grand avenir devant elles : nous voulons parler des pellicules de viscosse et des éthers de la cellulose.

Les pellicules de viscosse, qui peuvent servir à la fabrication des fleurs et des feuillages artificiels sont obtenues en coulant simplement la solution de cellulose sur une plaque de verre, que l'on chauffe ensuite, afin d'insolubiliser la cellulose.

On peut également faire déposer la cellulose sur des étoffes. On prépare ainsi des étoffes couchées susceptibles d'imiter le cuir. Enfin nous signalons la substitution de pellicules de cellulose, préparées par la viscosse, au papier parchemin que l'on emploie dans les laboratoires et l'industrie.

*Éthers de la cellulose.* — D'autre part, certains éthers de la cellulose, notamment les acétates et les butyrates, sont susceptibles d'un grand développement industriel. La dissolution de ces éthers dans la nitrobenzine, le chloroforme, l'acide acétique cristallisable, etc., permettent d'obtenir des pellicules très transparentes et imperméables à l'eau. De plus, ces couches minces établissent un isolement parfait au point de vue électrique.

Ces éthers étaient préparés d'abord en dissol-

vant la cellulose régénérée dans l'anhydride acétique à une température de 110 à 120°. M. Cross a établi ensuite un autre procédé beaucoup plus économique : on fait un mélange de cellulose régénérée et d'acétate de magnésium en solution en proportion de deux molécules de ce dernier produit pour une molécule du premier. On sèche et l'on déshydrate à 110°, puis on ajoute à ce mélange du chlorure d'acétyle petit à petit afin d'éviter toute élévation de température et l'on agite constamment.

La réaction étant terminée, on enlève les sels de magnésium par un traitement à l'eau, on sèche et enfin on épuise par un produit approprié pour dissoudre l'acétate de cellulose formé, et le séparer de la cellulose qui a pu ne pas entrer en réaction. En évaporant, on retrouve l'éther.

Ces fabrications nouvelles sont, à l'heure actuelle, complètement sorties de la période d'essais. L'usine principale de la British Viscoïd Co se trouve à Erith ; la filature de la viscose est faite à l'usine de Kew. La fabrication des pellicules de viscose ainsi que des éthers de cellulose est faite à l'usine de Manchester.

Enfin, en terminant l'énumération forcément incomplète des emplois du carbonate de soude dans les différentes fabrications où il se retrouve

en tout ou partie dans le produit final, il faut citer la fabrication de produits contenant des sels de cuivre et employés en viticulture pour la protection de la vigne et l'utilisation que l'on fait de ce produit contre le gel des maçonneries, en l'incorporant au mortier; le carbonate de soude en abaisse le point de congélation, sans nuire à la prise et permet de continuer les travaux par les grands froids.

*DEUXIÈME CATÉGORIE. Utilisation du carbonate de soude pour l'obtention de produits qui n'en renferment pas.* — La soude est très souvent utilisée comme dissolvant d'impuretés. La fabrication du papier consomme ainsi des quantités importantes de soude qui servent à désagréger et à blanchir les matières premières.

Le blanchiment de la soie, le travail de la ramie et de l'alfa emploient aussi ce produit. Il en est de même du travail du caoutchouc, de la gutta-percha et de la baudruche.

L'épuration des huiles et dissolvants, la préparation de certains produits métallurgiques, celle de la bauxite, etc., nécessitent l'emploi de la soude.

Un autre rôle important du carbonate de soude est celui de neutralisant d'un acide. C'est à ce titre que le carbonate de soude intervient dans

la fabrication de la dextrine, du glucose, du coton-poudre, de la soie artificielle, du collodion, du celluloïd, du pégamoïd, etc., de nombreuses matières colorantes.

Enfin ce carbonate de soude peut être utilisé pour précipiter certains produits de solution. Nous citerons comme exemples, la fabrication des laques, de l'oxyde de cobalt employé en céramique, du noir de platine utilisé pour la fabrication de l'acide sulfurique par contact, de la magnésie, de la morphine, etc.

C'est à ces mêmes propriétés que le carbonate de soude doit ses propriétés dans l'épuration des eaux calcaires pour l'alimentation des chaudières à vapeur.

**Principaux débouchés du bicarbonate de soude.** — Le bicarbonate de soude est très employé, surtout en Angleterre, pour la préparation du pain, des pâtisseries, etc., à la place de la levure. Il est alors vendu sous le nom de *levure minérale* ou *baking powder*.

Ce produit trouve un important débouché en thérapeutique. Il est le plus utilisé pour la préparation des eaux gazeuses, pour la charge de certains appareils automatiques destinés à combattre rapidement les incendies, pour la fabrication des savons en poudre.

Il entre même dans la composition de certains explosifs.

La dorure en utilise aussi des quantités notables.

**Principaux débouchés du sodium métallique et du peroxyde de sodium.** — Le sodium, dont le principal débouché se trouva longtemps dans la fabrication de l'aluminium, est utilisé pour la préparation du peroxyde de sodium, du magnésium, du silicium (qui sert à faire des résistances électriques),

Mais sa principale utilisation réside dans la fabrication si importante des cyanures. Nous traiterons cette question avec tout le développement qu'elle comporte, lorsque nous parlerons de l'industrie des sels de potassium et de sodium.

Ajoutons que le sodium est aussi utilisé dans certaines préparations de produits organiques à cause de son rôle réducteur. Il intervient aussi dans la fabrication de l'antipyrine.

Le peroxyde de sodium est employé comme agent de blanchiment, et son usage se répand de plus en plus; nous avons vu que la maison de Haën préconisait un mélange de peroxyde de sodium, de chaux et de magnésie. D'autre part, M. Jaubert prépare un mélange de peroxydes de

sodium et de métaux alcalino-terreux que l'on peut utiliser notamment pour la préparation de l'oxygène au moyen de générateurs qui se rapprochent de ceux employés pour préparer l'acétylène en partant du carbure de calcium.

Le peroxyde de sodium peut également servir à revivifier l'air vicié.

**Prix de revient. Comparaison des différents procédés.** — Voici comment a été établi, en 1880, par Hasenclever, le prix de revient du carbonate de soude par le procédé Leblanc et le procédé à l'ammoniaque pour 100 kilog. de soude à 100 pour 100.

*Procédé Leblanc*

Désignation	Prix à la tonne	Quantités employées	Prix
Charbon . . .	10 <sup>fr</sup> ,00	400 <sup>kg</sup>	4 <sup>fr</sup> ,00
Calcaire . . .	2, 50	175	0, 44
Sel. . . . .	18, 75	110	2, 81
Pyrite. . . .	25, 00	1, 5	2, 75
Salpêtre. . . .	375, 00	''	0, 56
Main-d'œuvre .	''	''	2, 50
Total . . . .	. . . . .	. . . . .	13 <sup>fr</sup> ,06

Mais on a produit en même temps :

250 <sup>kg</sup> d'acide chlorhydrique à 1 <sup>fr</sup> ,25 les 100 <sup>kg</sup> .	3 <sup>fr</sup> ,13
15 <sup>kg</sup> de soufre à 3 <sup>fr</sup> ,75 les 100 <sup>kg</sup> . . . . .	0, 57
Total . . . . .	3 <sup>fr</sup> ,70
Prix de revient définitif : 13 <sup>fr</sup> ,06 — 3 <sup>fr</sup> ,70 = 9 <sup>fr</sup> ,36.	

*Procédé à l'ammoniaque*

Désignation	Prix à la tonne	Quantités employées	Prix
Charbon . . .	10 <sup>fr</sup> ,00	210 <sup>kg</sup>	2 <sup>fr</sup> ,10
Calcaire . . .	2, 50	106	9, 42
Sel. . . . .	18, 75	220	4, 13
Sel ammoniac.	375, 00	5	1, 90
Main-d'œuvre .	//	//	1, 25
			9 <sup>fr</sup> ,80

Il faut bien remarquer que, dans ce prix de revient, n'interviennent ni l'amortissement du matériel ni les frais généraux, ni l'entretien, etc.

Il est évident d'ailleurs qu'il est très variable avec l'emplacement de l'usine et que, de ce fait, le prix du charbon et du sel peut passer du simple au double. C'est ainsi qu'à Stassfurt, la tonne de sel gemme coûte 5 francs ; en Westphalie, elle vaut 17<sup>fr</sup>,50.

Les usines ayant à leur disposition de l'eau salée à bas prix auront évidemment un très grand avantage sur celles qui emploient le sel gemme.

Voici un autre prix de revient de 100 kilog. de soude à l'ammoniaque donné en 1895 par Schreib qui se place dans le cas d'un prix très bas du sel.

Matières	Prix à la tonne	Quantités employées	Prix
Sel . . . . .	5 <sup>fr</sup> ,00	190 <sup>kg</sup> ,000	0 <sup>fr</sup> ,95
Calcaire. . . . .	2, 50	170, 000	0, 42
Coke . . . . .	4, 25	14, 000	0, 33
Charbon. . . . .	1, 62	90, 000	1, 46
Sulfate d'ammonium .	350, 00	0, 750	0, 26
Travail et surveillance.	//	//	1, 00
Réparations . . . . .	//	//	0, 50
Divers . . . . .	//	//	0, 37
Amortissement . . . .	//	//	1, 12
Frais d'administration.	//	//	0, 62
Emballage . . . . .	//	//	0, 19
			7 <sup>fr</sup> ,22

On voit que ce prix de revient est beaucoup plus bas que celui donné par Hasenclever, et cela, d'autant plus que les réparations, l'amortissement, etc., sont comptés.

Enfin, MM. Haddock et Leith ont donné, dans le *Moniteur Scientifique Quesneville* de

1891, p. 1171, un prix de revient de la soude à l'ammoniaque qui conduirait visiblement au même résultat.

**Prix de revient de la soude électrolytique.** — Ce prix de revient est fort difficile à établir, étant donné le peu de renseignements précis que l'on possède sur l'exploitation de ces nouveaux procédés. Nous nous efforcerons cependant d'en donner une idée précise.

Le calcul est basé sur les faits d'expérience suivants :

1° Avec une force électromotrice de 3<sup>v</sup>olts,5 1 ampère-heure donne, par la décomposition du chlorure de sodium : 1<sup>gr</sup>,10 de soude caustique et 1<sup>gr</sup>,05 de chlore.

2° Pour obtenir 1 kilogramme de chlorure de chaux, il faut 0<sup>kg</sup>,350 de chlore et 0<sup>kg</sup>,600 de chaux.

Nous évaluerons le prix de revient d'une tonne de soude caustique et de la quantité correspondante de chlorure de chaux.

1° *Prix de l'énergie nécessaire.* — Avec une force électromotrice de 3<sup>v</sup>olts,5, 1 ampère-heure donne 1<sup>gr</sup>,19 de soude. Donc, pour produire 1 kilogramme de soude caustique, il faudra 840 ampères-heure et le travail nécessaire sera :

$$T = EI = 3,5 \times 840 = 2\ 940 \text{ watts-heure.}$$

Et, pour obtenir une tonne de soude caustique, l'énergie nécessaire sera de 2 940 kilowatts-heure c'est-à-dire :

$$\frac{2\,940\,000}{736} = 3\,994 \text{ chevaux-heure.}$$

La quantité de chlore dégagée par un ampère-heure est de 1<sup>sr</sup>,05. Donc, pendant la formation d'une tonne de soude qui nécessite 840 000 ampères-heure, il se dégagera :

$$0,00105 \times 840\,000 = 882 \text{ kilogr. de chlore.}$$

Or, 350 grammes de chlore donnent 1 kilogr. de chlorure de chaux.

Nous aurons donc 2 520 kilogr. de chlorure de chaux.

En résumé, 3 994 chevaux-heure donnent une tonne de soude caustique et 2 520 kilogrammes de chlorure de chaux.

Appelons P, le prix de revient du cheval-an, fourni par une chute d'eau.

La dépense en force motrice sera donc, en comptant 300 jours de travail de 24 heures :

$$\frac{3\,994}{300 \times 24} \times P = 0,555 P.$$

2° *Prix des matières premières employées.* — Ces matières sont le sel et la chaux :

a) Théoriquement, une tonne de soude est donnée par la décomposition de 1 402 kilogrammes de chlorure de sodium ; mais, à cause des pertes, on estime que le poids de cette dernière matière s'élève à 1 500 kilogrammes ; le prix de la tonne de sel étant d'environ 19 francs, la dépense sera donc de :

$$1,5 \times 19 = 28^{\text{fr}},50.$$

b) Pour une tonne de chlorure de chaux, il faut 600 kilogrammes de chaux ; pour les 2 500 kilogrammes correspondant à une tonne de soude il faudra :

$$600 \times 2,5 = 1\,500 \text{ kilogrammes.}$$

Et, en prenant 15<sup>fr</sup>,60 comme prix de la tonne de chaux, la dépense sera :

$$15,6 \times 1,5 = 23^{\text{fr}}40.$$

La dépense totale en matières premières sera donc de :

$$28,50 + 23,40 = 51^{\text{fr}},90.$$

3° *Dépense à faire pour l'évaporation de la lessive de soude.* — Cette évaporation se fait en deux opérations distinctes :

Dans la première, la plus grande quantité d'eau est enlevée ; à l'heure actuelle, cette opération se passe dans des appareils à vide, qui

permettent d'évaporer 20 kilogrammes d'eau par kilogramme de charbon brûlé :

Dans la seconde opération, on enlève toute trace d'eau et on fond la soude. La lessive provenant des électrolyseurs contient 80 grammes de soude par litre. Une tonne sera donc contenue dans  $12^{\text{m}^3},5$ . On aura à enlever, tout d'abord, environ dix mètres cubes, ce qui entraîne une dépense d'une demi-tonne de charbon.

Pour l'opération finale, on évalue la dépense de charbon à une tonne par tonne de soude obtenue.

On dépensera donc, en tout,  $1^{\text{fr}},50$  de charbon.

Soit  $P'$ , le prix de la tonne de charbon rendue à l'usine; la dépense de combustible sera alors :

$$P' \times 1^{\text{fr}},50.$$

4<sup>o</sup> *Prix de la main d'œuvre.* — On peut l'estimer à 11 francs par tonne de soude et 6 francs par tonne de chlorure de chaux.

Il faut y ajouter le salaire des hommes employés aux opérations secondaires. En comptant sur 25 hommes pour une usine produisant cinq tonnes de soude par jour (Haussermann), au salaire de  $3^{\text{fr}},60$ , on arriverait à 18 francs par tonne.

La dépense totale sera donc :

$$11 \times 6 \times 2,5 + 18 = 44 \text{ francs.}$$

5° *Frais d'entretien et frais d'emballage.* — Les premiers varient évidemment avec les appareils employés ; on peut cependant les estimer, en moyenne, à 40 francs par tonne de soude.

Les frais d'emballage sont de 15 francs par tonne de soude caustique et de 20 francs par tonne de chlorure de chaux.

Nous aurons donc ici :

$$15 + 20 \times 2,5 = 65 \text{ francs.}$$

6° *Amortissement de l'installation.* — D'après Haussermann, le prix du matériel atteint 720 000 francs pour une usine produisant cinq tonnes par jour.

En amortissant en dix ans, on arrive à 41<sup>fr</sup>,15 par tonne.

Il faut, en plus, compter les amortissements des immeubles. M. Merle évalue le prix de ceux-ci à 450 000 francs, toujours pour la même usine.

Leur amortissement se fait en vingt ans, les frais s'élèvent à 13<sup>fr</sup>,70 par tonne de soude.

Le total donnerait donc 54<sup>fr</sup>,85.

$$\begin{aligned} & 0,555 P + 15 P' + \\ & + (51,90 + 44 + 65 + 54,85) = 0,55 \\ & P + 1,5 P' + 215,75. \end{aligned}$$

*Formule générale.* — On arrive ainsi à la formule précédente : P étant, comme nous l'avons dit, le prix du cheval-an et P', celui de la tonne de charbon rendue à l'usine.

Dans cette formule n'entrent pas les frais généraux qui dépendent de la production. En moyenne, ils augmentent le prix de revient de 10 %.

Voyons tout de suite ce que devient cette formule pour une usine qui, au lieu d'utiliser une chute d'eau, emploie le charbon.

En comptant sur un rendement normal, on peut admettre qu'il faudra 4 500 chevaux-vapeur pour produire 3 994 chevaux-électriques et, en admettant une dépense de 0<sup>gr</sup>,8 de charbon par cheval et par heure nous aurons :

$$4\,500 \times 0^{\text{gr}},8 = 3^{\text{t}},6.$$

La dépense en charbon serait donc de 3,6 P'.

Il faut ajouter, à ce chiffre, les amortissements, la main-d'œuvre, les réparations. On peut compter que, pour l'installation d'une usine produisant cinq tonnes par jour, le matériel seul revient à 250 francs par cheval-an. En comptant un intérêt de 5 % et un amortissement à 10 %, on arrive à 0<sup>fr</sup>,00314 par cheval-heure. On peut tripler ce chiffre en tenant

compte du service, de l'entretien et du nettoyage et on arrive ainsi à 0<sup>fr</sup>,00942 par cheval-heure.

Donc, par tonne de soude, la dépense sera de :

$$4500 \times 0,00942 = 42^{\text{fr}},40.$$

La formule donnant le prix de revient d'une tonne de soude et de 2<sup>t</sup>,5 de chlorure de chaux devient alors :

$$\begin{aligned} (1) \quad & 3,6 P' + 1,5 P + 215,15 + \\ & + 42,40 = 5,1 P' + 258,15. \end{aligned}$$

Montrons combien est approximative une pareille formule.

Outre le prix de la main-d'œuvre et les frais d'entretien qui sont extrêmement variables, nous avons estimé les amortissements rapportés à une tonne de soude et basés sur l'établissement d'une usine produisant cinq tonnes par jour. Or, il est de toute évidence que les amortissements croîtront plus lentement que la production, si nous faisons varier celle-ci. C'est ainsi que, pour une usine produisant dix tonnes par jour, les amortissements seront loin d'atteindre le double du prix que nous avons indiqué.

Nous appliquerons notre formule à deux cas particuliers :

Dans le premier, nous supposerons une usine pour laquelle les frais de premier établissement

pour l'utilisation d'une chute d'eau se montent à 800 francs par cheval et où le prix de la tonne de charbon est de 35 francs (C'est le cas d'usines de Savoie).

En comptant 5 % d'amortissement, 5 % d'intérêts et les réparations, nous arrivons au prix de 85 francs pour le cheval-an. La formule (1) donne :

$$0,55 \times 85 + 1,5 \times 35 + 215,75 = 278^{\text{fr}},175,$$

comme prix de revient d'une tonne de soude et de 2<sup>t</sup>,5 de chlorure de chaux (non compris les frais généraux).

Dans le deuxième cas, nous supposons une mine de charbon n'utilisant que celui-ci, dont le prix est de 12 francs la tonne.

La deuxième formule donne :

$$5,1 \times 12 + 258,15 = 319^{\text{fr}},35.$$

*Comparaison des procédés.* — Nous nous trouvons donc en présence de trois procédés industriels de fabrication de la soude et l'on peut se demander quel sera l'équilibre qui régnera entre ces diverses méthodes.

Que le procédé Leblanc tende à disparaître, cela ne fait de doute pour personne ! Il a pendant de longues années résisté au coup terrible que lui a porté le procédé à l'ammoniaque, parce

qu'il offrait en lui-même une « élasticité » commerciale plus grande, permettant de vendre suivant les cours du sulfate ou du carbonate et parce que, aussi, il avait subi des perfectionnements de la plus haute importance, surtout en ce qui est récupération des sous-produits.

La première partie du procédé Leblanc c'est-à-dire la fabrication du sulfate de soude et de l'acide chlorhydrique subsistera probablement pendant de longues années. Peut-être quelques fours révolvers demeureront-ils encore utilisés lorsque la vente du sulfate de soude ne sera pas avantageuse et que sa transformation en carbonate pourra se faire utilement.

Les procédés électrolytiques sont appelés à régner en maîtres dans les pays pourvus de chute d'eau. La France, les États-Unis, la Suisse, la Suède et la Norvège sont assurés de ce côté d'un important développement. Peut-être même ces procédés électrolytiques pourront-ils concurrencer les procédés à l'ammoniaque dans des conditions particulières. Le gros inconvénient qu'ils présentent est d'engendrer, en même temps que de la soude, de très importantes quantités de chlore. Pour 40 grammes de soude caustique NaOH formée, il se dégage 35<sup>gr</sup>,5 de chlore, c'est-à-dire d'un produit très nocif qu'il faut utiliser.

Il est vrai qu'on peut le transformer en chlorure de chaux ; mais les débouchés offerts à ce produit, quoique très importants, sont limités... Nous savons bien que la fabrication du chlore liquide, de certains chlorures (eau de javelle, chlorures d'étain, etc.) peuvent encore utiliser une partie de la production. Mais il est incontestable que si les procédés électrolytiques prennent de l'extension et si l'on ne trouve pas de nouveaux débouchés au chlore, le développement de cette industrie se trouvera considérablement diminué.

*En résumé*, nous pensons que, toutes choses égales d'ailleurs, le procédé Leblanc est appelé à disparaître presque totalement, que les procédés électrolytiques, qui présentent de grands avantages, doivent se développer rapidement dans les pays à chute d'eau, mais que cependant leur extension sera certainement gênée par l'utilisation du chlore obtenu et qu'enfin le procédé à l'ammoniaque gardera encore longtemps le rang qu'il a su conquérir si rapidement.

**Production du carbonate de soude dans les différents pays. France.** — En France, il existe actuellement neuf usines qui fabriquent le carbonate de soude ou la soude caustique. (Nous ne comprenons dans ce chiffre que celles

où se pratiquent la caustification du carbonate de soude).

Trois usines fabriquent le carbonate de soude par le procédé Leblanc ; ce sont :

L'usine de Chauny, à la Compagnie de Saint-Gobain, Chauny et Cirey.

L'usine de Rassuen, à la Compagnie des Produits Chimiques du Midi.

L'usine de Salindres, à la Compagnie des Produits Chimiques d'Alais et de la Camargue.

Quatre usines fabriquent le carbonate de soude par le procédé à l'ammoniaque ; ce sont :

L'usine de Varangéville-Dombasle (Meurthe-et-Moselle) appartenant aux établissements Solvay.

La Soudière de la Meurthe à Varangéville.

L'usine de la Madeleine-devant-Nancy, qui appartient à la Société du Comptoir de l'Industrie du sel et des Produits Chimiques de l'Est (Marchéville, Daguin et C<sup>ie</sup>).

La soudière du Salin-de-Giraud (Bouches-du-Rhône), qui utilise, comme nous l'avons dit, le sel produit par la Compagnie d'Alais et de la Camargue.

Enfin deux usines produisent actuellement la soude caustique par électrolyse ; ce sont celles de la Motte-Breuil, dans l'Oise, appartenant à la

INDICATIONS SUR QUELQUES USINES FABRIQUANT LE CARBONATE DE SOUDE  
OU LA SOUDE CAUSTIQUE

Noms des Sociétés	Situation	Procédé	Puissances en chevaux	Renseignements
Société Industrielle des Produits Chimiques .	La Motte (Oise)	Elektron	2 000	Fonctionne depuis 1898
Volta Lyonnaise . . .	Moutiers	Outhenin-Chalandre	2 200	Fonctionne depuis 1901
C <sup>ie</sup> Générale d'Électrochimie . . . . .	Bozel (Savoie)	Elektron	2 000	En construction
Société des Soudières électrolytiques . . .	Clavaux (Isère)	Hulin	5 000	A fonctionné pendant 32 ans. Est arrêté.
C <sup>ie</sup> de Saint-Gobain . .	Chauny	Hargreaves-Bird	?	Station d'essais

Compagnie Industrielle des Produits Chimiques et celle de Moutiers appartenant à la Société La Volta Lyonnaise.

Mais quelques autres usines sont en construction; le tableau de la p. 163 donne quelques indications sur ces établissements.

Le tableau suivant donne la variation de la production de la soude en France (y compris la soude caustique produite par électrolyse) :

Années	En mille tonnes et par année			
	Soude Leblanc	Soude à l'ammoniaque	Soude électrolytique	Totaux
1864 à 1868. . . .	45	0,3	Neant	45,3
1869 à 1873. . . .	57	2,6	"	59,6
1874 à 1878. . . .	56	17,3	"	73,3
1879 à 1883. . . .	50	44	"	94
1884 à 1888. . . .	37,5	82,5	"	120
1889 à 1893. . . .	27,5	120	"	147,5
1894 à 1898. . . .	22,5	167,5	"	190
1899 . . . . .	20	195	2	217
1900 . . . . .	18	205	2,5	225,5
1901 . . . . .	18	210	3,5	231,5
1902 . . . . .	15	210	5	230

On voit que la soude Leblanc perd considérablement du terrain, tandis que les procédés à

l'ammoniaque augmentent chaque année leur production. Enfin nous assistons à la naissance de la soude électrolytique.

Il est impossible de donner des chiffres de production même approximatifs pour le bicarbonate et la soude caustique.

*Allemagne.* — Les renseignements sur la production sont tous tenus secrets. Cependant la production en Allemagne peut être estimée à 300 000 tonnes. Elle était de 26 000 tonnes en 1867, de 100 000 tonnes en 1884 et de 250 000 tonnes en 1894.

En 1884, 44 000 tonnes avaient été obtenues par les procédés à l'ammoniaque; 210 000 tonnes furent obtenues de cette façon en 1894 et environ 260 000 en 1900.

La Deutsche Solvay Werke Actien-Gesellschaft possède deux usines en Allemagne, l'une à Bernburg et l'autre à Sarralbe.

Nous donnons, p. 166, des renseignements sur les usines allemandes montées en vue de l'électrolyse. On voit l'important développement pris par ce procédé dit de l'« Elektron ».

*Angleterre.* — Le tableau de la p. 167, qui donne la production de la soude en Angleterre, est particulièrement intéressant. Il montre, en effet, que :

## USINES ALLEMANDES D'ÉLECTROLYSE

Noms des Sociétés	Situations	Procédés.	Puissance en chevaux	Renseignements
Chem. Fabrik Elektron . . . .	Griesheim	Elektron	2 000	A fait surtout l'électrolyse du chlorure de potassium. Existent depuis 1880 et 1893.
" . . . .	Bitterfeld	"	2 000	
Electrochemische Werke . . . .	Bitterfeld	"	2 500	Existe depuis 1893.
" . . . .	Rheinfelden	"	3 500	
Chemische Fabrik Buckau . . . .	Ammendorf	"	?	
Consolidirte Alkali Werke . . . .	Wersteregeln	"	?	
Deutsche Solvay Werke . . . .	Osternienburg	Castner-Kellner	1 500	Ne fabrique que pour sa consommation personnelle.
Salzbergwerk-Neustassfurt . . . .	Bitterfeld	Aussig	400	
Badische Soda und Anilin Fabrik.	Ludwigshafen	Elektron	"	

1° La production par le procédé Leblanc a diminué constamment ;

2° La production totale a été aussi en diminuant, démontrant ainsi que l'Angleterre a perdu petit à petit le rang qu'elle occupait dans l'industrie chimique.

3° Les procédés électrolytiques ne donnent lieu qu'à une faible exploitation, dans ce pays qui manque totalement de chutes d'eau.

Années	Soude Leblanc (en 1 000 tonnes)	Soude à l'ammoniacque (en 1 000 tonnes)	Totaux
1884	380,0	52,0	432,0
1890	435,0	181,0	616,0
1891	567,8	278,5	846,3
1892	519,5	304,9	824,4
1893	467,5	349,6	817,1
1894	434,3	361,6	795,9
1895	408,0	428,6	836,6
1896	360,9	431,5	792,4

Depuis cette époque, on n'a plus aucun renseignement sur la production de la soude en Angleterre. On peut admettre, nous assure-t-on, 500 000 tonnes. Si ce pays ne produit que fort peu de soude par électrolyse, cela ne veut pas

dire que des essais plus ou moins fructueux n'y aient été faits.

Nous donnons, dans le tableau de la page suivante, quelques renseignements sur les quatre usines que compte l'Angleterre.

Une grande partie de la soude à l'ammoniaque sort des établissements Brunner, Mond et C<sup>e</sup> qui possèdent les usines de Nortwich, Sandbach, Middlesbro et Middlevich.

*États-Unis.* — On sait peu de choses sur la production de la soude aux États-Unis. En 1884, le procédé Leblanc n'était pas exploité ; mais on produisait 1 100 tonnes par le procédé à l'ammoniaque.

En 1894, le procédé Leblanc donnait 20 000 tonnes, le procédé à l'ammoniaque 80 000 tonnes. Voici la valeur de la production du carbonate de soude à l'ammoniaque depuis 1884 :

Années	Valeur de la production
1884 . . . . .	10 000 fr.
1887 . . . . .	37 000
1891 . . . . .	72 000
1895 . . . . .	167 000
1898 . . . . .	265 000
1900 . . . . .	395 902

RENSEIGNEMENTS SUR LES USINES D'ANGLETERRE

Noms des Sociétés	Situations	Procédés	Puissance en chevaux	Renseignements
Electrochemical Co. . . . .	St-Helens	Richardson et Holland	3 000	Cette usine est arrêtée.
Salt Union. . . . .	Winsford	Greenwood	?	Cette usine est arrêtée.
Castner-Keilner Alkali Co. . . . .	Weston-Point	Castner	4 000	Fonctionne depuis 1895.
General Electrolytic Parent Co.	Furnworth	Hargreaves-Bird	?	Station d'essais.
Electrolytic Alkali Co. . . . .	Middlevich	//	3 500	Commence à fonctionner.

Noms des Sociétés	Situations	Procédés employés	Puissance en chevaux	Renseignements
Electro Chemical Co	Rumford Falls	Le Sueur	1 000	Actuellement arrêtée
Mathieson Alkali Co	Niagara Falls	Castner-Kellner	2 000	Fonctionne depuis 1897
C. D. Warren and Co	(?)	(?)	(?)	(?)
Acker Chemical Co	Niagara Falls	Acker	3 200	En construction

Les principales soudières américaines sont celles de Syracuse et de Détroit qui appartiennent à la Solvay Process Co.

Le tableau ci-contre indique les usines électrolytiques des États-Unis et la force dont elles disposent.

*Russie.* — C'est en 1880 que fut fondée en Russie la première soudière par la maison Lubinoff, Solvay et Co, qui possède les usines de Beresniki et de Donetz. Il y a, de plus, une ou deux usines utilisant le procédé Leblanc.

Enfin, deux soudières électrolytiques fonctionnent déjà ; ce sont celles de Lissitchansk qui appartiennent à la maison Lubinoff, Solvay et Co ;

et celle de Zombkowitz (procédé de l'Elektron).

Enfin, une compagnie spéciale s'est fondée pour exploiter l'usine de Slavionsk, dont la construction n'est pas achevée. La production russe est d'environ 80 000 tonnes dont 10 000 par le procédé Leblanc.

*Belgique.* — La production belge est difficile à connaître, on peut toutefois l'estimer à 40 000 tonnes, dont 35 000 environ par le procédé Solvay, mais on sait qu'elle possède quelques usines importantes, notamment celles de Couillet et de Jemeppe-sur-Sambre, toutes deux à MM. Solvay et C<sup>ie</sup>. Cette dernière utilise l'électrolyse et possède une force de 1 500 chevaux fournis par la vapeur.

*Suisse.* — La Suisse ne comprend que deux usines faisant la soude et cela par électrolyse. Ce sont celle de Chèvres près Genève, qui utilise le procédé Outhenin-Chalandre, appartient à la « Volta Suisse » et possède une force de 1 000 chevaux et celle de Mouthey qui emploie un nouveau procédé à diaphragme.

*Autriche-Hongrie.* — L'Autriche et la Hongrie produisent d'assez importantes quantités de soude. MM. Solvay et C<sup>ie</sup> possèdent les deux importantes usines d'Eleusée et de Moros-Ujar. De plus, les deux usines de Jaice (Bosnie) et de

Aussig-sur-l'Elbe (Bohême) font l'électrolyse du chlorure de sodium.

La production totale peut être évaluée à 120 000 tonnes, dont 25 000 environ par le procédé Leblanc. Cette production n'était que de 40 000 tonnes en 1884 (dont 39 000 par le procédé Leblanc) et de 95 000 en 1894.

*Italie et Espagne.* — L'industrie de la soude n'est point prospère dans ces deux pays, cependant il faut noter, en Italie, l'usine de Bussi qui emploie le procédé Outhenin-Chalandre et, en Espagne, la soudière de Flix-sur-Ebre qui emploie le procédé Elektron.

Enfin, une usine se monte à Barcessu, près Santander, elle utilisera le procédé Outhenin-Chalandre.

*En résumé.* — La production de la soude est approximativement la suivante :

France . . . . .	230 000 tonnes	
Allemagne . . . . .	300 000	''
Angleterre. . . . .	500 000	'' (?)
États-Unis . . . . .	250 000	'' (?)
Russie . . . . .	80 000	'' (?)
Belgique . . . . .	40 000	''
Suisse . . . . .	5 000	''
Autriche-Hongrie . . . . .	120 000	''
Total . . . . .	1 525 000 tonnes	

**Commerce extérieur. Importations dans les différents pays.** — Le tableau de la page suivante résume notre commerce extérieur pour la soude et les sels de soude. On verra que, d'une façon générale, notre production est de beaucoup supérieure à notre consommation. Seul, le bicarbonate fait exception ; mais, comme nous l'avons déjà dit, ce fait trouve aisément son explication dans la facilité de production qu'ont les Allemands et les Autrichiens ; en effet, les sources actuelles d'acide carbonique qu'ils possèdent leur permettent de produire avec un prix de revient extrêmement bas.

*Allemagne.* — Les exportations de ce pays sont bien supérieures aux importations. Les chiffres du premier tableau de la p. 175 comprennent le carbonate de soude cristallisé et calciné, le bicarbonate et la soude caustique, le tout étant calculé à l'état de carbonate de soude sec.

## EXPORTATIONS ET IMPORTATIONS FRANÇAISES DE SOUDE

Désignation	1801	1802	1803	1804	1805	1806	1807	1809	1800	
<i>Exportations en tonnes</i>										
Soude caustique. . . . .	830	482	1642	2005	2842	4489	5003	4329	6592	16149
" naturelle brute. . . . .	3640	1088	771	1188	1058	1305	1794	2080	1211	1345
" artificielle. Sel de soude . . . . .	25548	26533	31600	27680	29397	24919	24802	35221	40551	38900
" artific. Cristaux de soude. . . . .	2185	2290	2010	2368	2461	4809	5716	3733	3307	2595
Natron . . . . .	" (1)	9	6	18	15	45	21	27	20	19
Bicarbonate de soude. . . . .	8	21	18	14	43	17	79	56	88	117
<i>Importations en tonnes</i>										
Soude caustique. . . . .	1157	1382	1125	1260	970	1053	1378	1772	1494	1062
" naturelle brute. . . . .	45	16	88	5	11	5	3	9	4	3
" artificielle. Sel de soude . . . . .	194	159	113	140	143	151	174	187	160	150
" artific. Cristaux de soude. . . . .	488	540	871	452	152	20	138	21	191	383
Natron . . . . .	" (1)	8	8	12	4	29	26	20	25	17
Bicarbonate de soude. . . . .	548	617	777	834	995	1100	1372	1528	863	513

(1) Pour l'année 1801, le natron est compris dans la soude naturelle brute.

Années	Importations (en 1 000 tonnes)	Exportations (en 1 000 tonnes)
1891	0,9	41,8
1892	1	42,6
1893	1,2	36,9
1894	1,5	41,6
1895	1,6	36,0
1896	2,4	47,5
1897	2,3	51,8
1898	1,5	44,2
1899	2,2	45,8
1900	6,2	47,3

Ces chiffres expriment le développement si important pris par l'industrie de la soude en Allemagne.

*Angleterre.* — Les statistiques portent la rubrique importations et exportations des *alcalis*.

Années	Importations en c. w. t.	Exportations en c. w. t.
1893	87 703	5 832 700
1894	155 657	5 979 460
1895	184 114	6 248 800
1896	176 156	4 811 300
1897	227 394	4 973 100
1898	239 741	3 771 600
1899	237 761	3 808 800
1900	322 051	3 657 154

*Autres pays.* — Pendant fort longtemps, les Etats-Unis ont été tributaires de l'Angleterre pour la fabrication de la soude. Mais depuis quelque dix ans, les importations ont considérablement diminué et les États-Unis peuvent presque subvenir à leurs besoins.

La Hongrie exporte plus de carbonate de soude qu'elle n'en importe; en revanche, elle reçoit d'importantes quantités de soude caustique.

En 1898, elle importe pour 387 898 couronnes de carbonate et exporte pour 521 911.

La même année, elle a importé pour 1 082 029 couronnes de soude caustique et elle a exporté seulement pour 35 956.

L'Autriche exporte des quantités notables de carbonate de soude (15 016 quintaux en 1869) dont la moyenne partie gagne l'Italie.

Enfin, voici les exportations belges de *sels de soude* durant ces dernières années :

Années	Exportations (en tonnes)	Années	Exportations (en tonnes)
1889	42 109	1894	44 677
1890	36 300	1895	55 089
1891	37 244	1896	42 856
1892	34 354	1897	59 054
1893	38 668	1898	60 410

**Production du sodium.** — Il y a sept usines produisant le sodium métallique, ce sont :

- La Soc. d'Électrochimie aux Clavaux (Savoie);
- La Castner Kellner Alkali C<sup>o</sup> à Weston-Point ,
- L'Elektro-Fabrik Natrium à Rheinfelden ;
- L'Electrochemische Werke à Bitterfeld ;
- Deux usines de matières colorantes allemandes ;
- L'Electrochemical C<sup>o</sup> à Niagara Falls.

On ne possède aucun renseignement sur la production de ces usines.

**Variation des Cours.** — Il est fort intéressant de considérer la variation des cours du carbonate de soude ; elle montre très nettement les progrès rapidement accomplis dans cette branche si importante de l'Industrie chimique.

Années	Prix de vente moyen en Europe de la tonne de soude prise à l'usine
1850 . . . . .	700 fr. (?)
1863 . . . . .	450 (?)
1864-1868 . . . . .	400 (?)
1869-1873 . . . . .	280
1874-1878 . . . . .	280
1879-1883 . . . . .	170
1884-1888 . . . . .	120
1889-1893 . . . . .	115
1894-1898 . . . . .	110
1902 . . . . .	110

Enfin, le tableau suivant donne les variations des cours des diverses sodes aux 100 kilog. rendus Paris :

Années	Soude caustique	Carbonate de soude	Sel de soude caustique	Cristaux de soude
	francs	francs	francs	francs
1894	30,50	15	20	7
1895	28	12,75	19,25	6
1896	27	11,50	19,25	6
1897	26,80	12	19,25	6,50
1898	27,25	12	22,25	6
1899	26,50	11,50	22,50	7,50
1900	27,75	14	23,50	8
1901	31,50	15	24,50	8
1902	30	14	26	7,50

## TABLE DES MATIÈRES

	Pages
INTRODUCTION . . . . .	5
CHAP. I <sup>er</sup> . <i>L'industrie du chlorure de sodium au point de vue technique . . .</i>	7
CHAP. II. <i>L'industrie du chlorure de sodium au point de vue économique . .</i>	34
CHAP. III. <i>L'industrie du carbonate de soude au point de vue technique. Consi- dérations générales . . . . .</i>	41
CHAP. IV. <i>L'industrie du carbonate de soude au point de vue technique. Le procédé Leblanc. . . . .</i>	48
CHAP. V. <i>L'industrie du carbonate de soude au point de vue technique. Pro- cédés à l'ammoniaque. . . . .</i>	72
CHAP. VI. <i>La fabrication du carbonate de soude au point de vue industriel. Procédés électrolytiques . . . . .</i>	96
CHAP. VII. <i>Autres procédés de fabrication du carbonate de soude. . . . .</i>	114
CHAP. VIII. <i>L'industrie des cristaux de soude et de la <del>soude</del><sup>soude</sup> caustique . . . .</i>	118
CHAP. IX. <i>L'industrie du bicarbonate de soude.</i>	125
CHAP. X. <i>L'industrie du sodium et du per- oxyde de sodium. . . . .</i>	129
CHAP. XI. <i>L'industrie du carbonate de soude au point de vue économique . .</i>	134

---

**Imprimerie BUSSIÈRE. — Saint-Amand (Cher).**

---

**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<sup>e</sup> édition entièrement refondue: 1902..... **18 fr.**  
TOME II. — *Dynamique des systèmes. Mécanique analytique*, avec figures. 3<sup>e</sup> édition; 1903..... **16 fr.**  
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.**

# LEÇONS SUR L'ÉLECTRICITÉ

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

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

6<sup>e</sup> 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 GERARD**.

(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 GERARD**.

2<sup>e</sup> 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 INACHEVÉ

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.

# 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**,

Maitre 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*..... (En préparation.)

---

# 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.)

ÉLÉMENTS DE LA THÉORIE  
DES  
**FONCTIONS ELLIPTIQUES**

PAR  
**Jules TANNERY et Jules MOLK.**

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

TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE  
DE  
**GÉOMÉTRIE A QUATRE DIMENSIONS**  
INTRODUCTION A LA GÉOMÉTRIE A  $n$  DIMENSIONS

Par **E. JOUFFRET,**

Lieutenant-Colonel d'Artillerie en retraite,  
Membre de la Société mathématique de France.

GRAND IN-8 DE XXIX-213 P., AVEC 65 FIGURES; 1903. 7 FR. 50 C.

L'ATELIER MODERNE DE CONSTRUCTIONS MÉCANIQUES  
**PROCÉDÉS SPÉCIAUX MÉCANIQUES**  
ET TOURS DE MAIN

Par **Robert GRIMSHAW,**

Traduit de l'anglais par A. LATRUGA.

Volume de 394 pages, avec 222 figures..... 10 fr.

TRAITÉ DE CHIMIE PHYSIQUE  
**LES PRINCIPES**

Par **Jean PERRIN**

Chargé du Cours de Chimie physique à la Faculté des Sciences de Paris.

VOLUME GRAND IN-8 DE XXVI-300 P., AVEC 38 FIG., 1903. 10 FR.  
RELIÉ (cuir souple)..... 13 FR.

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*. Volume de xxvii-333 pages avec 14 figures; 1901..... 10 fr.

TOME II : *Refroidissement et échauffement par rayonnement. Conductibilité des tiges, lames et masses cristallines. Courants de convection. Théorie mécanique de la lumière*. Volume de xxxii-625 pages; 1903. 18 fr.

## INSTRUCTIONS MÉTÉOROLOGIQUES

Par **Alfred ANGOT**,

Météorologiste titulaire au Bureau central Météorologique,

Professeur à l'Institut national agronomique

QUATRIÈME ÉDITION, ENTIÈREMENT REFOUNDUE.

GRAND IN-8 DE VI-163 PAGES, AVEC 29 FIGURES ET PLANCHES; SUIVI DE  
TABLES POUR LA RÉDUCTION DES OBSERVATIONS; 1903. 4 FR. 50 C.

MANUEL ÉLÉMENTAIRE PRATIQUE

DES

# MESURES ÉLECTRIQUES

SUR LES CABLES SOUS-MARINS,

PAR

**H.-K.-C. FISHER** et **J.-C.-H. DARBY**.

TRADUIT DE L'ANGLAIS SUR LA DEUXIÈME ÉDITION,

Par **Léon HUSSON**.

VOLUME IN-8 DE IV-174 PAGES, AVEC 67 FIGURES; 1903.... 5 FR.

# DE L'EXPÉRIENCE EN GÉOMÉTRIE

Par G. de FREYCINET,  
de l'Institut.

VOLUME IN-8 DE XX-173 PAGES; 1903. 4 FR.

# TECHNOLOGIE MÉCANIQUE MÉTALLURGIQUE

Par A. LEDEBUR,

Professeur à l'Académie des Mines de Freiberg (Saxe).

TRADUIT SUR LA 2<sup>e</sup> ÉDITION ALLEMANDE,

Par G. HUMBERT, Ingénieur des Ponts et Chaussées

Avec un *Appendice* sur la Sécurité des ouvriers dans le travail par J. JOLY.

GRAND IN-8 DE VI-740 PAGES, AVEC 729 FIGURES; 1903. 25 FR.

GUSTAVE ROBIN,

*Chargé de Cours à la Faculté des Sciences de Paris.*

# ŒUVRES SCIENTIFIQUES

réunies et publiées sous les auspices du Ministère de l'Instruction publique,

Par Louis RAFFY,

Professeur adjoint à la Faculté des Sciences de Paris.

TROIS VOLUMES GRAND IN-8 (25 × 16), AVEC FIGURES, SE VENDANT SÉPARÉMENT.

MATHÉMATIQUES : *Théorie nouvelle des fonctions exclusivement fondée sur l'idée de nombre.* Un volume grand in-8; 1903 ..... 7 fr.

PHYSIQUE : Un volume grand in-8, en deux fascicules :

*Physique mathématique* (Distribution de l'Électricité, Hydrodynamique, Fragments divers). Un fascicule grand in-8 avec 4 figures; 1899.. 5 fr.

*Thermodynamique générale* (Équilibre et modifications de la matière).

Un fascicule grand in-8 avec 30 figures; 1901..... 9 fr.

CHIMIE : *Leçons de Chimie physique*, professées à la Faculté des Sciences de Paris; Un volume in-8..... (*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 : *Electrodynamique. Magnétisme. Induction. Mesures électromagnétiques*, avec 24 figures; 1903..... 18 fr.

TOME III : *Électrolyse. Capillarité*..... (*Sous presse.*)

# L'ALUMINIUM

SES PROPRIÉTÉS, SES APPLICATIONS.

HISTORIQUE. MINÉRAIS. FABRICATION. PROPRIÉTÉS.  
APPLICATIONS GÉNÉRALES.

Par **P. MOISSONNIER**,

Chef des Laboratoires de l'Usine de Billancourt et du service de l'Intendance  
du Gouvernement militaire de Paris,

Ex-secrétaire de la Commission de l'Aluminium au Ministère de la Guerre.

VOLUME GRAND IN-8 DE XX-220 PAGES, AVEC 21 FIGURES ET UN TITRE  
TIRÉ SUR ALUMINIUM; 1903. . . . . 7 FR. 50 C.

---

# L'ACÉTYLÈNE

THÉORIE, APPLICATIONS

Par **Marie-Auguste MOREL**,

Ingénieur, Ancien Élève de l'École des Ponts et Chaussées,  
Directeur des Usines à ciment de Lumbres.

GRAND IN-8 DE XII-172 PAGES AVEC 7 FIGURES; 1903. . . 5 FR.

---

# INDUSTRIES CHIMIQUES ET PHARMACEUTIQUES

Par **Albin HALLER**,

Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences de Paris,  
Rapporteur du Jury de la classe 87 à l'Exposition universelle de 1900.

DEUX VOLUMES GRAND IN-8, AVEC 408 FIG.; 1902; ENSEMBLE. 20 FR.

# 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<sup>er</sup> fascicule. — *Instruments de mesure. Hydrostatique*; avec 150 figures et 1 planche..... 5 fr.  
2<sup>e</sup> fascicule. — *Physique moléculaire*; avec 93 figures..... 4 fr.

### TOME II. — CHALEUR. — 15 fr.

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

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

- 1<sup>er</sup> fascicule. — *Acoustique*; avec 123 figures..... 4 fr.  
2<sup>e</sup> fascicule. — *Optique géométrique*; 139 fig. et 3 planches. 4 fr.  
3<sup>e</sup> 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<sup>re</sup> Partie). — ÉLECTRICITÉ STATIQUE ET DYNAMIQUE. — 13 fr.

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

### TOME IV (2<sup>e</sup> Partie). — MAGNÉTISME; APPLICATIONS. — 13 fr.

- 3<sup>e</sup> fascicule. — *Les aimants. Magnétisme. Électromagnétisme. Induction*; avec 240 figures..... 8 fr.  
4<sup>e</sup> 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<sup>er</sup> SUPPLÉMENT. — *Chaleur. Acoustique. Optique*, par E. BOUTY, Professeur à la Faculté des Sciences. In-8, avec 41 fig.; 1896. 3 fr. 50 c.  
2<sup>e</sup> SUPPLÉMENT. — *Électricité. Ondes hertziennes. Rayons X*; par E. BOUTY. In-8, avec 48 figures et 2 planches; 1899. 3 fr. 50 c.

# 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.

**E. DEHARME,** PAR **A. PULIN,**  
Ing<sup>r</sup> principal à la Compagnie du Midi. | Ing<sup>r</sup> Insp<sup>r</sup> p<sup>al</sup> 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.

**E. DEHARME.** PAR **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-668 pages avec 130 figures; 1902 (E. I.)..... **20 fr.**

---

## 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

ARDOISÈS, TUILLES, 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 FR.

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 359 fig.; 1894..... 15 fr.

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 REFRACTAIRES. 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<sup>e</sup> édition. Gr. in-8 de 510 p. avec 314 fig.; 1898 (E. T. P.). 18 fr.

# 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<sup>r</sup> à la Faculté de Bordeaux,

TOME I: 688 p., avec fig.; 1896. 20 fr. | TOME II: 718 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<sup>re</sup> partie; 1893; 10 fr. 2<sup>e</sup> 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,  
rédigé 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<sup>r</sup> et Prof<sup>r</sup> 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.

## ASSOCIATIONS OUVRIÈRES ET PATRONALES

Par P. HUBERT-VALLEROUX, Docteur en Droit.

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

---

## FOURS A GAZ A CHALEUR RÉGÉNÉRÉE

Par F. TOLDT, Ingén. Traduit par F. DOMMER, Ingén. des Arts et Manuf.

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

---

## ANALYSE INFINITÉSIMALE

A L'USAGE DES INGÉNIEURS (E.T.P.)

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 (E.T.P.),

Par G. COLSON, Conseiller d'État.

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

TOME II : *La Propriété des biens corporels et incorporels. Le Commerce et la circulation*. Volume de 774 pages; 1903..... 10 fr.

TOME III..... (Sous presse.)

---

## LA TANNERIE

Par L. MEUNIER et G. VANEY,

Professeurs à l'École française de Tannerie

et publié sous la direction de LÉO VIGNON,

Directeur de l'École française de Tannerie.

GRAND IN-8 DE 650 PAGES AVEC 98 FIGURES; 1903 (E. I.) 20 FR.

---

# 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.

### A B C DE LA PHOTOGRAPHIE MODERNE,

Par W.-K. BURTON.

5<sup>e</sup> édition. Traduction sur la 12<sup>e</sup> édition anglaise, par G. HUBERSON.

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

### LES AGRANDISSEMENTS PHOTOGRAPHIQUES,

Par A. COURNÈGES, Praticien.

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

### LE MUSÉE RÉTROSPECTIF DE LA PHOTOGRAPHIE

A L'EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1900,

Par A. DAVANNE, M. BUCQUET et L. VIDAL.

Grand in-8 avec nombreuses figures et 11 planches; 1903..... 5 fr.

### LA PHOTOGRAPHIE SOUTERRAINE

Par E. MARTEL.

In-18 jésus avec 16 planches; 1903..... 2 fr. 50 c.

## **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<sup>er</sup> Supplément (A). Un beau vol. gr. in-8 de 400 p. avec 176 fig.; 1892. 14 fr.

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

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

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

## **LA PHOTOGRAPHIE SIMPLIFIÉE ET LA LUMIÈRE ARTIFICIELLE,**

Par Auguste PIERRE PETIT fils.

In-18 jésus, avec 30 figures; 1903..... 2 fr.

## **MANUEL DU PHOTOGRAPHE AMATEUR,**

Par F. PANAJOU,

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

3<sup>e</sup> ÉDITION COMPLÈTEMENT REFOUNDUE ET CONSIDÉRABLEMENT AUGMENTÉE.

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

## **PRÉPARATION DES PLAQUES AU GÉLATINOBROMURE,**

PAR L'AMATEUR LUI-MÊME.

Par RIS-PAQUOT.

In-16 raisin, avec figures; 1903..... 2 fr.

## **TRAITÉ PRATIQUE DES TIRAGES PHOTOGRAPHIQUES,**

Par Ch. SOLLET.

Volume in-16 raisin de vi-240 pages; 1902..... 4 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.

## **TRAITÉ PRATIQUE DE PHOTOCHROMIE**

Par Léon VIDAL.

In-18 jésus avec 95 figures et 14 planches; 1903..... 7 fr. 50 c.

(Novembre 1903.)

34331. — Paris, Imp. Gauthier-Villars, 55, quai des Grands-Augustins.

MASSON & C<sup>IE</sup>, ÉDITEURS

LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

120, boulevard Saint-Germain, Paris (6<sup>e</sup>)

~~~~~ *Collection Léauté*  
P. n<sup>o</sup> 375.

EXTRAIT DU CATALOGUE (1)

(Janvier 1904)

*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, BÉNARD, ERNEST BESNIER  
BODIN, BRAULT, BROCCQ, DE BRUN, DU CASTEL, CASTEX, COURTOIS-SUFFIT  
J. DARIER, DEHU, DOMINICI, W. DUBREUILH, HUDELO, L. JACQUET, JEANSELME  
J.-B. LAFFITTE, LENGLET, LEREDDE, MERKLEN, PERRIN, RAYNAUD  
RIST, SABOURAUD, MARCEL SÉE, GEORGES THIBIERGE, TREMOLIÈRES, VEYRIÈRES

*4 forts volumes richement cartonnés toile, très largement illustrés de figures en noir et de planches en couleurs. . . . . 156 fr.*

- TOME I. 1 fort vol. grand in-8<sup>o</sup> avec 230 figures en noir et 24 planches en couleurs. — Anatomie et Physiologie de la Peau; Pathologie générale de la Peau; Symptomatologie générale des Dermatoses. (Acanthosis Nigricans à Ecthyma) . . . . . 36 fr.
- TOME II. 1 fort vol. grand in-8<sup>o</sup> avec 168 figures en noir et 21 planches en couleurs (Eczéma à Langue). . . . . 40 fr.
- TOME III. 1 fort vol. grand in-8<sup>o</sup> avec 201 figures en noir et 19 planches en couleurs (Lèpre à Pytiriasis) . . . . . 40 fr.
- TOME IV. 1 fort vol. grand in-8<sup>o</sup>, avec 213 figures en noir et 25 planches en couleurs (Poils à Zona). . . . . 40 fr.

(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-Mémoires : I. Section de l'ingénieur. II. Section du biologiste. — Catalogue des ouvrages d'enseignement.

OUVRAGE COMPLET

# 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

## 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. — MICHAUX. Artères. — QUÉNU. Maladies des veines. — RICARD et DEMOULIN. Lésions traumatiques des os. — PONCET. Affections non traumatiques des os.

**TOME III.** — 1 vol. grand in-8° de 940 pages avec 285 figures . . 18 fr.  
NÉLATON. Traumatismes, entorses, luxations, plaies articulaires. — QUÉNU. Arthropathies, arthrites sèches, corps étrangers articulaires. — LAGRANGE. Arthrites infectieuses et inflammatoires. — GÉRARD MARCHANT. Crâne. — KIRMISSON. Rachis. — S. DUPLAY. Oreilles et annexes.

**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. — HARTMANN. Plancher buccal, glandes salivaires, œsophage et pharynx. — WALTHER. Maladies du cou. — PEYROT. Poitrine. — 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. — JALAGUIER. Contusions et plaies de l'abdomen, lésions traumatiques et corps étrangers de l'estomac et de l'intestin. Occlusion intestinale, péritonites, appendicite. — HARTMANN. Estomac. — FAURE et RIEFFEL. Rectum et anus. — HARTMANN et GOSSET. Anus contro 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-coccygienne. — TUFFIER. Rein. Vessie. Urètres. 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

5 vol. grand in-8°. *En souscription : 150 fr.*  
*Chaque volume est illustré de nombreuses figures*  
*en noir et en couleurs.*

# d'Anatomie humaine

PUBLIÉ SOUS LA DIRECTION DE

**P. POIRIER**

Professeur d'anatomie  
 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 — Druault — P. Fredet — Glantenay — Gosset  
 P. Jacques — Th. Jonnesco — E. Laguesse — L. Manouvrier — Motais  
 A. Nicolas — P. Nobécourt — O. Pasteau  
 M. Picou — A. Prenant — H. Rieffel — Ch. Simon — A. Soulié

## ÉTAT DE LA PUBLICATION (JANVIER 1904)

- TOME PREMIER** (*Deuxième édition, entièrement refondue*). — **Embryologie.**  
 — **Ostéologie.** — **Arthrologie.** 1 vol. gr. in-8° avec 807 figures. 20 fr.
- TOME II** (*Deuxième édition, entièrement refondue*). — 1<sup>er</sup> Fascicule : **Myologie.** 1 vol. grand in-8° avec 331 figures . . . . . 12 fr.  
 2<sup>e</sup> Fascicule (*Deuxième édition, entièrement refondue*) : **Angéiologie.**  
 (*Cœur et Artères. Histologie*). 1 vol. gr. in-8° avec 150 figures. 8 fr.  
 3<sup>e</sup> Fascicule (*Deuxième édition, revue*) : **Angéiologie (Capillaires, Veines).** 1 vol. gr. in-8° avec 75 figures. . . . . 6 fr.  
 4<sup>e</sup> Fascicule : **Les Lymphatiques.** 1 vol. gr. in-8° avec 117 fig. 8 fr.
- TOME III** (*Deuxième édition, entièrement refondue*). — 1<sup>er</sup> Fascicule : **Système nerveux** (*Méninges, moelle, encéphale, embryologie, histologie*). 1 vol. grand in-8° avec 265 figures. . . . . 10 fr.  
 2<sup>e</sup> Fascicule (*Deuxième édition, entièrement refondue*) : **Système nerveux.** (*Encéphale*). 1 vol. grand in-8° avec 131 figures . . . 10 fr.  
 3<sup>e</sup> Fascicule (*Deuxième édition, entièrement refondue*) : **Système nerveux** (*Les nerfs, nerfs craniens, nerfs rachidiens*). 1 vol. gr. in-8° avec 205 figures. . . . . 12 fr.
- TOME IV.** — 1<sup>er</sup> Fascicule (*Deuxième édition, entièrement refondue*) : **Tube digestif.** 1 vol. grand in-8°, avec 205 figures. . . . . 12 fr.  
 2<sup>e</sup> Fascicule (*Deuxième édition, revue*) : **Appareil respiratoire.**  
 1 vol. grand in-8°, avec 121 figures . . . . . 6 fr.  
 3<sup>e</sup> Fascicule : **Annexes du tube digestif. Péritoine.** 1 vol. grand in-8° avec 361 figures en noir et en couleurs. . . . . 16 fr.
- TOME V.** — 1<sup>er</sup> Fascicule : **Organes génito-urinaires.** 1 vol. grand in-8° avec 431 figures. . . . . 20 fr.  
 2<sup>e</sup> Fascicule : **Les Organes des Sens.**

---

**CHARCOT — BOUCHARD — BRISSAUD**

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

---

# Traité de Médecine

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.

---

**DEUXIÈME ÉDITION**

10 vol. gr. in-8° avec figures dans le texte. *En souscription* : 150 fr.

---

**TOME I.** — 1 vol. gr. in-8° de 843 pages, avec figures dans le texte : 16 fr.

Les Bactéries. — Pathologie générale infectieuse. — Troubles et maladies de la Nutrition. — Maladies infectieuses communes à l'homme et aux animaux.

**TOME II.** — 1 vol. gr. in-8° de 894 pages avec figures dans le texte : 16 fr.

Fièvre typhoïde. — Maladies infectieuses. — Typhus exanthématique. — Fièvres éruptives. — Erysipèle. — Diphtérie. — Rhumatisme. — Scorbut.

**TOME III.** — 1 vol. gr. in-8° de 702 pages avec figures dans le texte : 16 fr.

Maladies cutanées. — Maladies vénériennes. — Maladies du sang. — Intoxications.

**TOME IV.** — 1 vol. gr. in-8° de 680 pages avec figures dans le texte : 16 fr.

Maladies de la bouche et du pharynx. — Maladies de l'estomac. — Maladies du pancréas. — Maladies de l'intestin. — Maladies du péritoine.

**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. — Maladies du rein et des capsules surrénales. — Pathologie des organes hématopoiétiques et des glandes vasculaires sanguines.

**TOME VI.** — 1 vol. gr. in-8° de 612 pages avec figures dans le texte : 14 fr.

Maladies du nez et du larynx. — Asthme. — Coqueluche. — Maladies des bronches. — Troubles de la circulation pulmonaire. — Maladies aiguës du poumon.

**TOME VII.** — 1 vol. gr. in-8° de 550 pages avec figures dans le texte : 14 fr.

Maladies chroniques du poumon. — Phtisie pulmonaire. — Maladies de la plèvre. — Maladies du médiastin.

**TOME VIII.** — 1 vol. gr. in-8° de 580 pages avec figures dans le texte : 14 fr.

Maladies du cœur. — Maladies des vaisseaux sanguins.

**TOME IX.** — 1 vol. grand in-8°, avec fig. dans le texte. (*Sous presse.*)

Maladies de l'encéphale. — Maladies de la protubérance et du bulbe. — Maladies intrinsèques de la moëlle épinière. — Maladies extrinsèques de la moëlle épinière. — Maladies des méninges. — Syphilis des centres nerveux.

**TOME X.** — 1 vol. grand in-8° avec fig. dans le texte. (*Sous presse.*)

# Traité de Physiologie

PAR

**J.-P. MORAT**

Professeur à l'Université de Lyon.

**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.

## VOLUMES PUBLIÉS

- II. — **Fonctions d'innervation**, par J.-P. MORAT. 1 vol. gr. in-8°, avec 263 figures noires et en couleurs. . . . . 15 fr.  
 III. — **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.  
 IV. — **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.

*Sous presse* : Tome I. — **Fonctions élémentaires.**

# PRÉCIS D'OBSTÉTRIQUE

PAR MM.

**A. RIBEMONT-DESSAIGNES**

Agrégé de la Faculté de médecine  
Accoucheur de l'hôpital Beaujon  
Membre de l'Académie de médecine.

**G. LEPAGE**

Professeur agrégé à la Faculté  
de médecine de Paris.  
Accoucheur de l'hôpital de la Pitié.

## SIXIÈME ÉDITION

avec 568 figures dans le texte, dont 400 dessinées par M. RIBEMONT-DESSAIGNES

1 vol. grand in-8° de 1420 pages, relié toile. . . . . 30 fr.

# Les Fractures des Os longs

Leur traitement pratique

PAR LES DOCTEURS

**J. HENNEQUIN**

Membre de la Société de Chirurgie

**Robert LÉWY**

Lauréat de l'Institut.

1 volume in-8° avec 215 figures dans le texte . . . . . 16 fr.

# 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, CADIOT, CHABRIÉ, CHANTEMESSÉ, CHARRIN, CHAUFFARD, J. COURMONT, DEJERINE, PIERRE DELBET, DEVIC, DUCAMP, MATHIAS DUVAL, FÉREÉ, GAUCHER, GILBERT, GLEY, GOUGET, GUIGNARD, LOUIS GUINON, J.-F. GUYON, HALLÉ, HÉNOQUE, HUGOUNENQ, LAMBLING, LANDOUZY, LAVERAN, LEBRETON, LE GENDRE, LEJARS, LE NOIR, LERMOYER, LESNÉ, LETULLE, LUBET-BARHON, MARFAN, MAYOR, MENETRIER, MORAX, NETTER, PIERRET, RAVAUT, G.-H. ROGER, GABRIEL ROUX, RUFFER, SICARD, RAYMOND, TRAPIER, 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.  
**Tome II.** 1 vol. grand in-8° de 940 pages avec figures dans le texte. 18 fr.  
**Tome III.** 1 vol. in-8° de 1400 p., av. fig. dans le texte, publié en 2 fasc. 28 fr.  
**Tome IV.** 1 vol. in-8° de 719 pages avec figures dans le texte. . . . . 16 fr.  
**Tome V.** 1 fort vol. in-8° de 1180 pages av. nombr. figures dans le texte. 28 fr.  
**Tome VI.** 1 vol. grand in-8° avec figures dans le texte. . . . . 18 fr.

# Manuel de Pathologie externe

PAR MM.

**RECLUS, KIRMISSON, PEYROT, BOUILLY**

Professeurs agrégés à la Faculté de médecine de Paris, chirurgiens des hôpitaux.

*Septième édition illustrée entièrement revue.*

- I. Maladies des tissus et des organes**, par le D<sup>r</sup> P. RECLUS.  
**II. Maladies des régions, Tête et Rachis**, par le D<sup>r</sup> KIRMISSON.  
**III. Maladies des régions, Poitrine, Abdomen**, par le D<sup>r</sup> PEYROT.  
**IV. Maladies des régions, Organes génito-urinaires**, par le D<sup>r</sup> BOUILLY  
4 volumes in-8° avec figures dans le texte. . . . . 40 fr.  
Chaque volume est vendu séparément . . . . . 10 fr.

# L'Alimentation et les Régimes < < <

> > > > > chez l'Homme sain et chez les Malades

PAR **Armand GAUTIER**

Membre de l'Institut et de l'Académie de médecine  
Professeur à la Faculté de médecine de Paris

1 vol. in-8° avec figures, broché. . . . . 10 fr.

Traité élémentaire de

*Vient de paraître*

## Clinique Thérapeutique

Par le Dr **Gaston LYON**

Ancien chef de Clinique médicale à la Faculté de médecine de Paris

CINQUIÈME ÉDITION REVUE ET AUGMENTÉE

1 vol. grand in-8° de 1654 pages. Relié peau . . . . . 25 fr.

## FORMULAIRE THÉRAPEUTIQUE

PAR MM.

**G. LYON**

Ancien chef de clinique à la Faculté

**P. LOISEAU**

Ancien Préparateur à l'École de pharmacie

AVEC LA COLLABORATION DE **E. LACAILLE**

Assistant à la Clinique médicale de la Faculté de l'Hôtel-Dieu

1 vol. in-18 en indien très mince, relié maroquin souple. . 6 fr.

## Traité de Physique Biologique

*publié sous la direction de MM.*

**D'ARSONVAL — GARIEL — CHAUVEAU — MAREY**

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 . . . . . 70 fr.

**TOME PREMIER.** 1 vol. in-8° de 1150 pages, avec 501 figures . . . 25 fr.

**TOME II.** 1 volume de 1144 pages avec 665 figures et 3 planches. . . 25 fr.

**L'ŒUVRE MÉDICO-CHIRURGICAL** (Dr CRITZMAN, directeur)

## Suite de Monographies cliniques

### DERNIÈRES MONOGRAPHIES PUBLIÉES

34. Le Rhumatisme tuberculeux pseudo-rhumatisme d'origine bacillaire, par le professeur ANTONIN PONCET et MAURICE MAILLAND.
35. Les Consultations de Nourrissons, par Ch. MAYGRIER, agrégé, accoucheur de la Charité.
36. La Médication phosphorée, par le prof. GILBERT et le Dr POSTERNAK.

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).

**Traité de** QUATRIÈME ÉDITION  
REVUE ET AUGMENTÉE  
**Chirurgie d'Urgence**

Par **Félix LEJARS**

Professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris  
Chirurgien de l'hôpital Tenon, membre de la Société de Chirurgie.

820 figures dont 478 dessinées d'après nature par le Dr E. DALEINE; 167 photographies originales et 16 planches hors texte en couleurs.

1 vol. grand in-8° de 1046 pages. Relié toile. . . . 30 fr.

---

**Traité des Maladies de l'Enfance**

**Deuxième Edition, revue et augmentée**

PUBLIÉE SOUS LA DIRECTION DE MM.

**J. GRANCHER**

**J. COMBY**

Professeur à la Faculté de Paris  
Membre de l'Académie de médecine.

Médecin  
de l'hôpital des Enfants-Malades.

5 vol. grand in-8° avec figures dans le texte. En souscription. 100 fr.  
Tome I : 22 fr. — Tome II : 22 fr.

---

**Traité de Technique opératoire**

PAR

**CH. MONOD**

**J. VANVERTS**

Professeur agrégé à la Faculté  
de médecine de Paris  
Chirurgien de l'Hôpital Saint-Antoine  
Membre de l'Académie de médecine

Ancien interne lauréat des Hôpitaux  
de Paris  
Chef de clinique à la Faculté  
de médecine de Lille

2 vol. gr. in-8° formant ensemble 1960 pages, avec 1908 figures  
dans le texte . . . . . 40 fr.

---

➤ ➤ ➤ ➤ ➤ ➤ ➤ ➤ **Traité** << << << << << << <<  
**d'Anatomie pathologique générale**

PAR **R. TRIPIER**

Professeur d'Anatomie pathologique à la Faculté de médecine  
de l'Université de Lyon.

1 vol. grand in-8°, avec 239 figures en noir et en couleurs. 25 fr.

**Les Maladies infectieuses**, par G.-H. ROGER, professeur agrégé, médecin des hôpitaux. 1 vol. in-8° de 1520 pages. 28 fr.

**Les Maladies du Cuir chevelu**, par le D<sup>r</sup> R. SABOURAUD, chef du laboratoire de la Ville de Paris à l'hôpital Saint-Louis.

I. **Maladies séborrhéiques : Séborrhée, Acnés, Calvitie.**  
1 vol. in-8°, avec 91 figures dont 40 aquarelles en coul. . 10 fr.

II. **Maladies desquamatives : Pytiriasis et Alopécies pelliculaires.** 1 vol. in-8° avec 122 figures dans le texte, en noir et en couleurs . . . . . 22 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. *Troisième édition, refondue et augmentée.* 2 volumes grand in-8° . . . . . 22 fr.

**Traité d'Hygiène**, par le Prof. A. PROUST, membre de l'Académie de médecine. *Troisième édition revue et considérablement augmentée*, avec la collaboration de A. NETTER, agrégé, médecin de l'hôpital Trousseau, et H. BOURGES, chef du laboratoire d'hygiène à la Faculté de médecine. 1 vol. in-8° de 1240 pages, avec figures et cartes . . . . . 25 fr.

**L'Anesthésie localisée par la Cocaïne**, par PAUL RECLUS, professeur agrégé, chirurgien de l'hôpital Laënnec, membre de l'Académie de médecine. 1 vol. petit in-8°, avec 59 figures . . . . . 4 fr.

**Les Difformités acquises de l'Appareil locomoteur**, pendant l'Enfance et l'Adolescence, par le Prof. E. KIRMISSON, chirurgien de l'hôpital Trousseau. 1 volume in-8°, avec 430 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.

**Nouveaux Procédés d'Exploration.** Leçons professées à la Faculté de médecine de Paris, par CH. ACHARD, agrégé, recueillis par P. SAINTON et M. LÉPER. 1 vol. in-8° av. fig. 8 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.*

*Vient de paraître :*

- Manuel de Pathologie interne**, par G. DIEULAFOY, professeur à la Faculté de médecine de Paris. *Quatorzième édition entièrement refondue et augmentée.* 4 vol. avec fig. en n. et en coul. 32 fr.
- 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 125 figures . . . . . 7 fr. 50
- Manuel de Thérapeutique**, par le D<sup>r</sup> 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 D<sup>r</sup> BERLIOZ, avec préface de M. le professeur LANDOUZY. 1 vol. avec fig. 6 fr.
- Précis de Chirurgie cérébrale**, par Aug. BROCA, chirurgien de l'hôpital Tenon, professeur agrégé à la Faculté de médecine. 1 vol. avec figures . . . . . 6 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 Paris, avec préface, par M. RIBEMONT-DESSAIGNES. 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 D<sup>r</sup> L.-H. THOINOT, professeur agrégé à la Faculté, et E.-J. MASSELIN, médecin-vétérinaire. *Quatrième édition entièrement refondue.* 1 volume, avec figures en noir et en couleurs. . . . . 8 fr.
- Précis de Bactériologie clinique**, par le D<sup>r</sup> 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.  
 ~~~~~

**VOLUMES PUBLIÉS**

L'Hygiène du Goutteux. — L'Hygiène de l'Obèse. — L'Hygiène des  
 Asthmatiques. — L'Hygiène du Syphilitique. — Hygiène et théra-  
 peutique thermales. — Les Cures thermales. — L'Hygiène du Neu-  
 rasthénique. — L'Hygiène des Albuminuriques. — L'Hygiène du  
 Tuberculeux. — Hygiène et thérapeutique des maladies de la  
 Bouche. — Hygiène des Maladies du Cœur. — Hygiène du Diabé-  
 tique. — L'Hygiène du Dyspeptique. — Hygiène thérapeutique des  
 Maladies des Fosses nasales.

Précis de < < < < < < < < < < < < < <  
 > > > **Technique opératoire**

**PAR LES PROSECTEURS**

DE LA FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

AVEC INTRODUCTION PAR LE D<sup>r</sup> PAUL BERGER

Professeur de Médecine opératoire à la Faculté de médecine de Paris

Le Précis de Technique opératoire est divisé en 7 volumes :

Vient de paraître

Tête et Cou, par CH. LENORMANT. — Thorax et membre supérieur, par  
 A. SCHWARTZ — Abdomen, par M. GUIBÉ. — Appareil urinaire et  
 appareil génital de l'Homme, par PIERRE DUVAL. — Pratique cou-  
 rante et Chirurgie d'Urgence, par VICTOR VEAU.

Pour paraître prochainement

Membre inférieur, par G. LABRY. — Appareil génital de la Femme,  
 par ROBERT PROUST.

~~~~~  
 Chaque volume, cartonné toile et illustré d'environ 200 figures, la  
 plupart originales. . . . . 4 fr. 50

R. WAGNER et F. FISCHER

Traité de

Chimie industrielle

QUATRIÈME ÉDITION FRANÇAISE ENTIÈREMENT REFONDUE

Rédigée d'après la quinzième édition allemande

par le D<sup>r</sup> L. GAUTIER

2 vol. grand in-8° avec de nombreuses figures dans le texte . . . 35 fr.

**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<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> 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 des sciences, professeur à l'École supérieure des Sciences d'Alger. 1 volume in-12, broché . . . . . 3 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.

# 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,  
Expert-comptable au Tribunal civil de la Seine.

CINQUIÈME ÉDITION REVUE ET MODIFIÉE

1 vol. petit in-8°, cartonné toile anglaise. . . . . 4 fr.

# D'ALGER au CONGO par le TCHAD

Par **F. FOUREAU**, Lauréat de l'Institut.

1 fort volume in-8°, avec 170 figures et une carte en couleurs.  
Broché : 12 fr.; Richement cartonné : 15 fr.

# Traité de Zoologie

Par 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. . . . .	10 fr.
FASCICULE VII et dernier : Vertébrés marcheurs ( <i>En préparation</i> ).	

## 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.
- La Lozère**, par E. CORD, ingénieur-agronome, G. CORD, docteur en  
droit, avec la collaboration de M. A. VIRÉ, docteur ès sciences.
- 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.
- La Haute-Savoie**, par MARC LE ROUX, conservateur du Musée  
d'Annecy.
- La Savoie**, par J. RÉVIL, président de la Société d'Histoire  
naturelle de la Savoie, et J. CORCELLE, agrégé de l'Université.
- Chaque volume in-16, relié toile anglaise avec figures et cartes  
en couleurs. . . . . 4 fr. 50*

*En préparation : Le Velay — les Alpes du Dauphiné.*

OUVRAGES DE M. A. DE LAPPARENT

Membre de l'Institut, professeur à l'École libre des Hautes-Études.

TRAITÉ DE GÉOLOGIE

QUATRIÈME ÉDITION ENTIÈREMENT REFOUDUE ET CONSIDÉRABLEMENT AUGMENTÉE

3 vol. grand in-8°, avec nomb. fig., cartes et croquis . . . 35 fr.

- Abrégé de géologie.** *Cinquième édition, refondue et augmentée.* 1 vol. 157 gravures et une carte géologique de la France en chronolithographie, cartonné toile . . . . . 4 fr.
- Notions générales sur l'écorce terrestre.** 1 vol. in-16 de 456 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. . . . . 15 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

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. *Sixième édition.*
- Nouvelles Recettes utiles et Appareils pratiques.** *Troisième série,* par Gaston TISSANDIER. *Quatrième édition.*
- Recettes et Procédés utiles.** *Quatrième série,* par Gaston TISSANDIER. *Troisième édition.*
- Recettes et Procédés utiles.** *Cinquième série,* par J. LAFFARGUE, secrétaire de la rédaction de *la Nature*. *Deuxième édition.*

Chaque volume in-18 avec figures est vendu

Broché . . . . . 2 fr. 25 | Cartonné toile . . . . . 3 fr.

**La Physique sans appareils et la Chimie sans laboratoire,** par Gaston TISSANDIER. *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 A 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. MARETHEUX, imprimeur, 1, rue Cassette. — 6560.