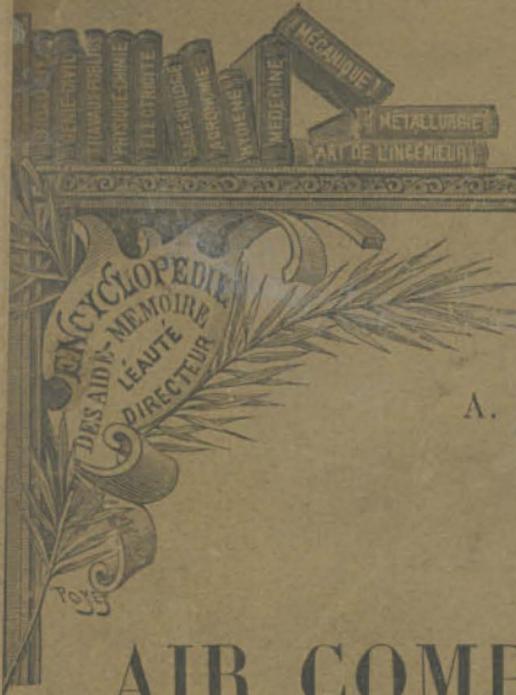


*Section de l'Ingénieur*

---



A. GOULLY

---

# AIR COMPRIMÉ

## OU RARÉFIÉ

---

DEUXIÈME ÉDITION

---

MUSÉE  
COMMERCIAL  
LILLE

GAUTHIER-VILLARS ET FILS

G. MASSON

# ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE DES AIDE-MÉMOIRE

COLLABORATEURS

## Section de l'Ingénieur

MM.	MM.	MM.
Alain-Abadie.	Godard.	Matignon.
Alheilig.	Gossot (Comm <sup>t</sup> ).	Meyer (Ernest).
Armengaud jeune.	Gouilly.	Michel-Lévy.
Arnaud.	Grimaux.	Minel (P.).
Bassot (Colonel).	Grouvelle (Jules).	Minet (Ad.).
Baume-Pluvinel(dela).	Guenez.	Moëssard (Comm <sup>t</sup> ).
Bérard (A.).	Guillaume (Ch.-Ed.).	Moissan.
Bergeron (J.).	Guilloux.	Monnier.
Berthelot.	Guye (Ph.-A.).	Moreau (Aug.).
Bertin.	Guyou (Comm <sup>t</sup> ).	Naudin (Laurent).
Biglia.	Hatt.	Ouvrard.
Billy (Ed. de).	Hébert.	Perrin.
Bloch (Fr.).	Hennebert (C <sup>t</sup> ).	Perrotin.
Blondel.	Hérisson.	Picou (R.-V.).
Boire (Em.).	Hospitalier (E.).	Poulet (J.).
Boucheron (H.).	Hubert (H.).	Prudhomme.
Bourlet.	Hutin.	Rateau.
Candlot.	Jacométy.	Resal (J.).
Caspari.	Jacquet (Louis).	Ricaud.
Charpy (G.).	Jean (Ferdinand).	Rocques (X.).
Clugnet.	Labrousse.	Rocques-Desvallées.
Croneau.	Launay (de).	Rouché.
Damour.	Laurent (H.).	Sarrau.
Defforges (Comm <sup>t</sup> ).	Laurent (Th.).	Sauvage.
Delafond.	Lavergne (Gérard).	Schlœsing fils (Th.).
Dudebout.	Léauté (H.).	Schützenberger.
Duquesnay.	Le Chatelier (H.).	Seyrig (T.).
Durin.	Lecomte.	Sinigaglia.
Dwelshauvers-Dery.	Leloutre.	Sorel.
Fabre (C.).	Lenicque.	Stanislas Meunier.
Fourment.	Le Verrier.	Trillat.
Fribourg (Comm <sup>t</sup> ).	Lindet (L.).	Urbain.
Frouin.	Lippmann (G.).	Vallier (Comm <sup>t</sup> ).
Garnier.	Lumière (A.).	Vermard.
Gassaud.	Lumière (L.).	Viaris (de).
Gautier (Armand).	Madamet (A.).	Vivet (L.).
Gautier (Henri).	Magnier de la Source.	Wallon (E.).
	Marchena (de).	Widmann.
	Margerie.	Witz (Aimé).

*N<sup>o</sup> 1789* *E. P. 29*



*BMAC 34*

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE

DES

AIDE - MÉMOIRE

PUBLIÉE

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

*N<sup>o</sup> Bib 386166 / - 101536*

GOUILLY — Air comprimé ou raréfié

1

*Ce volume est une publication de l'Encyclopédie  
scientifique des Aide-Mémoire ; F. Lafargue, ancien  
élève de l'École Polytechnique, Secrétaire général,  
46, rue Jœffroy (boulevard Malesherbes), Paris.*

N<sup>o</sup> 3 C

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE DES AIDE-MÉMOIRE

PUBLIÉE SOUS LA DIRECTION

DE M. LÉAUTÉ, MEMBRE DE L'INSTITUT.

---

TRANSMISSION DE LA FORCE MOTRICE

PAR

AIR COMPRIMÉ

OU

RARÉFIÉ

PAR

AL. GOULLY

Ingénieur des Arts et Manufactures  
Répétiteur à l'École Centrale

DEUXIÈME ÉDITION



PARIS

GAUTHIER-VILLARS ET FILS,

IMPRIMEURS-ÉDITEURS

Quai des Grands-Augustins, 55

G. MASSON, ÉDITEUR,

LIBRAIRE DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

Boulevard Saint-Germain, 120

(Tous droits réservés)

EXTRAIT DE LA REVUE GÉNÉRALE DE LA JURISPRUDENCE  
PUBLIÉE PAR M. L. DUBOIS, AVOCAT À LA COUR DE CASSATION

TRAVAUX DE LA SOCIÉTÉ DE JURISPRUDENCE

# AIR-COMPRISE

## BARRIÈRE

DE LA

PROPRIÉTÉ FONCIÈRE

DE LA

PARIS

ÉDITEUR : M. L. DUBOIS, AVOCAT À LA COUR DE CASSATION  
RUE DE LA HARPE, 101, PARIS



# NOTATIONS

EMPLOYÉES DANS CET OUVRAGE

- $t$ , température ;
- $p$ , pression en kilogrammes ;
- $v$ , volume spécifique ou volume de 1 kilogramme de gaz ;
- $\varpi$ , poids spécifique ou poids du mètre cube ;
- $\alpha_{0,0036}$  / coefficient de dilatation *à pression et à l'unité de volume de 0° à 10°*
- $V$ , volume d'un poids  $P$  d'un gaz ( $V$  désigne encore le volume d'un cylindre de compresseur ou de machine à air) ;
- $u, \pi, \theta$ , représentent le volume, la pression et la température d'une masse gazeuse qui passe dans un compresseur ou dans une machine à air ;
- $U$ , énergie interne par kilogramme d'un gaz ;
- $A$ , équivalent thermique du travail ;
- $dQ$ , quantité de chaleur nécessaire pour une transformation infiniment petite d'un gaz ;
- $C$ , chaleur spécifique à pression constante
- $C'$ , chaleur spécifique à volume constant ;
- $\bar{c}$ , travail en kilogrammètres.

*quantité de chaleur nécessaire pour produire une variation de température à pression constante sur l'unité de volume*



NOTES

REUNION DES DELEGUES

- 1. ...
- 2. ...
- 3. ...
- 4. ...
- 5. ...
- 6. ...
- 7. ...
- 8. ...
- 9. ...
- 10. ...
- 11. ...
- 12. ...
- 13. ...
- 14. ...
- 15. ...
- 16. ...
- 17. ...
- 18. ...
- 19. ...
- 20. ...

# PARTIE THÉORIQUE

---

## CHAPITRE PREMIER

---

### THÉORIE DES GAZ

**1. Équation de l'état gazeux.** — L'état d'un corps est défini par deux des trois quantités  $t$ ,  $p$ ,  $v$ , qui sont :  $t$ , la température de ce corps ;  $p$ , la pression normale par unité de surface ;  $v$ , le volume spécifique ou volume de l'unité de poids. Ces trois quantités sont liées par une équation qui est nommée « équation de l'état du corps ».

Pour les gaz, cette équation exprime les lois de Mariotte et de Gay-Lussac.

**LOI DE MARIOTTE.** — *Les volumes d'une même masse d'un gaz, à température constante, sont en raison inverse des pressions correspondantes.*

LOI DE GAY-LUSSAC. — *Le coefficient de dilatation est le même pour tous les gaz et est indépendant de la température et de la pression.*

Il en résulte que l'équation de l'état des gaz est

$$(1) \quad pv = p_0 v_0 (1 + \alpha t), = \alpha p_0 v_0 \left( \frac{1}{\alpha} + t \right) = RT$$

$v_0$  étant le volume spécifique répondant à la pression  $p_0$  et à la température de zéro degré du thermomètre centigrade.

Nous prendrons pour unité de longueur le mètre, et pour unité de poids le kilogramme.  $p_0$ , la pression d'une atmosphère, ou de 0<sup>m</sup>,760 de mercure, égale 10 332<sup>kg</sup>,6 par mètre carré. Le poids d'un mètre cube d'air sec, à zéro degré et sous la pression de 0<sup>m</sup>,760, est de 1<sup>kg</sup>,2932. C'est  $v_0$ .

$$\alpha = \frac{1}{273}$$

$$p_0 = 10332.6$$

$$v_0 = \frac{1}{\rho_0} = \frac{1}{1.293}$$

$$R = \frac{10332.6}{1.293 \times 273} = 29.28$$

$$\alpha = 0,003666 \text{ ou } \frac{1}{273} \text{ et } \alpha p_0 v_0 = 29,28 = R$$

Nous pourrions donc écrire

$$(2) \quad pv = 29,28 (273 + t).$$

Il est intéressant de remarquer combien les gaz s'éloignent des lois de Mariotte et de Gay-Lussac; d'après Regnault

## PRESSIONS EN MÈTRES DE MERCURE

Volume	Hydrogène	Air	Acide carbonique
1	1 <sup>m</sup> ,0000	1 <sup>m</sup> ,0000	1 <sup>m</sup> ,0000
$\frac{1}{5}$	5, 0116	4, 9794	4, 8288
$\frac{1}{10}$	10, 0560	9, 9162	9, 2262
$\frac{1}{20}$	20, 2687	19, 7198	16, 7054

## COEFFICIENT DE DILATATION DE L'ACIDE CARBONIQUE

Pression	A pression constante	A volume constant
0,760	0,00371	0,003688
2,520	0,003845	
16,702	0,00486	

En partant de la loi sur les capacités calorifiques, qui s'applique plus exactement aux gaz que les lois de Mariotte et de Gay-Lussac et qui s'énonce ainsi : *Les capacités calorifiques à pression constante et à volume constant sont indépendantes de la température et de la pression*, on arrive, pour l'équation de l'état des gaz, à

$$(p + m')(v + m'') + m'(273 + t) = 0 \quad (1),$$

(1) On dit que le point — 273 du thermomètre cen-

où  $m$ ,  $m'$ ,  $m''$ , sont des coefficients propres à chaque gaz.

## 2. Poids d'un volume de gaz, volume d'un poids de gaz.

Volume spécifique à  $0^{\circ}$  et  $0,760$  :

$$\frac{1}{1,2932}$$

Volume spécifique à  $t^{\circ}$  et à la pression  $p$  (en kilogrammes) :

$$v = \frac{29,28(273 + t)}{p} = \text{vol de 1 K}$$

tigrade est le *zéro absolu* de la température et que  $\frac{t}{273} + t = 273 + t$  est la *température absolue*. On dit encore, dans la théorie cinétique des gaz, qu'à cette température, leurs molécules seraient dénuées de tout mouvement vibratoire et que, par suite, la pression, qui résulte des chocs répétés des molécules contre les parois qui les contiennent, serait nulle. Il faut remarquer que la graduation thermométrique est une chose arbitraire et qu'on pourrait en imaginer d'autres que celle du thermomètre à air, par exemple, qui est exprimée par

$$\frac{v - v_0}{v_0(t - t_0)} = \frac{v_{100} - v_0}{v_0 \cdot 100} = \alpha.$$

Volume d'un poids  $P$  de gaz à  $t^{\circ}$  et à la pression  $p$  : sera  $P$  fois  $v$

$$V = Pv = \frac{29,28(273 + t)}{p} P.$$

Poids de l'unité de volume à  $t^{\circ}$  et à la pression  $p$  :

$$\varpi = \frac{1}{v} = \frac{p}{29,28(273 + t)}.$$

Poids d'un volume  $V$  à  $t^{\circ}$  et à la pression  $p$  :

$$P = \varpi V = \frac{pV}{29,28(273 + t)}.$$

$V$  doit être évalué en mètres cubes.

**3. Quantité de chaleur qu'il faut dépenser pour faire passer l'unité de poids d'un corps de l'état  $t, p, v$ , à l'état  $t + dt, p + dp, v + dv$ .** — Soit  $dQ$  cette quantité de chaleur. Une partie se transforme en force vive intime, force vive du mouvement vibratoire qui produit la variation de température; une autre partie se transforme en travail des forces intérieures, elle fait varier l'énergie potentielle. Ces deux quantités de chaleur, en définitive, font varier ce qu'on appelle l'énergie interne du gaz, que nous représentons par  $U$  et qui est, évi-

demment, d'après ce qui précède, une fonction de la température et du volume. Enfin, la partie de  $dQ$ , qui n'est pas employée à faire varier l'énergie interne, est transformée en travail de la pression  $p$  sur les corps extérieurs. L'expression de ce travail est  $p dv$  (1).

Appliquons le *premier principe de la Thermodynamique*, le principe de l'équivalence du travail et de la chaleur : *Il y a un rapport constant entre la quantité de chaleur et la quantité de travail qui se transforment simultanément l'une en l'autre*, et désignons par  $\frac{1}{A}$  l'équivalent mécanique de la chaleur ou le nombre de kilogrammètres équivalent à une calorie, soit 425 kilogrammètres. On a

$$dQ = A \left( \frac{dU}{dp} dp + \frac{dU}{dv} dv + p dv \right).$$

---

(1) Soit  $a'b'$  une nouvelle position de l'élément  $ab$  de la paroi quand le volume augmente de  $dv$ . Le travail de la pression  $p$  sur cet élément est  $p \cdot ab \cdot cb'$ , en désignant par  $cb'$  la distance des deux positions de l'élément de la paroi.  $ab \cdot cb'$  est un élément de la variation du volume et, si on fait la somme des éléments du travail sur toute la surface de la paroi, on obtient  $p dv$  pour cette somme.

Cette équation et l'équation  $pv = p_0v_0(1 + \alpha t)$  gouvernent les phénomènes thermiques et mécaniques dont les gaz sont le siège. Cependant il importe de remarquer que  $dQ$  n'est pas une différentielle exacte, qu'il s'agisse d'ailleurs d'un gaz ou d'un corps quelconque. Pour le démontrer, il suffit de remarquer que l'on ne peut avoir

$$\frac{d}{dv} \left( \frac{dU}{dp} \right) = \frac{d}{dp} \left( \frac{dU}{dv} + p \right),$$

puisque  $A$  est une constante. Or, nous l'avons fait remarquer,  $U$  est une fonction de la température et du volume, ou du volume et de la pression, puisque  $t, p, v$  sont liés par l'équation de l'état du corps. On a, par suite

$$\frac{d}{dv} \left( \frac{dU}{dp} \right) = \frac{d}{dp} \left( \frac{dU}{dv} \right).$$

Il faudrait donc, pour que  $dQ$  fût une différentielle exacte, que l'on eût  $\frac{d}{dp}(p) = 0$ , ce qui est impossible.

La quantité de chaleur  $Q$ , fournie pour passer d'un état  $t, p, v$  à un état  $t_1, p_1, v_1$ , n'est donc pas une fonction de  $t, p, v$ ; elle ne dépend pas seu-

lement de l'état initial et de l'état final du corps, elle dépend encore des états intermédiaires.

**4. Chaleurs spécifiques et expression de  $dQ$  pour les gaz.** — Soit  $C$ , la chaleur spécifique à volume constant,

$$C = \frac{dQ}{dt} = A \frac{dU}{dp} \frac{dp}{dt};$$

on suppose  $v$  constant dans  $dQ$ . Soit  $C$ , la chaleur spécifique à pression constante,

$$C = \frac{dQ}{dt} = A \left( \frac{dU}{dv} + p \right) \frac{dv}{dt};$$

on suppose  $p$  constant dans  $dQ$ .

*Les chaleurs spécifiques sont indépendantes du volume et de la pression.*

Par conséquent, en remarquant que  $dU$  est une différentielle exacte, on a

$$(C - C) \frac{d^2t}{dp dv} = A.$$

$\frac{d^2t}{dp dv}$  est fourni par l'équation

$$pv = p_0 v_0 (1 + \alpha t).$$

On a

$$(C - C) = \alpha p_0 v_0 A = 29,28 A.$$

On admet :

$$\frac{1}{A} = 425,$$

$$C = 0,2377,$$

$$C' = 0,1686,$$

$$\frac{C}{C'} = \gamma = 1,40.$$

L'expression de  $dQ$  en fonction des chaleurs spécifiques est

$$dQ = C' \left( \frac{dt}{dp} \right) dp + C \left( \frac{dt}{dv} \right) dv;$$

et, remplaçant  $\frac{dt}{dp}$  et  $\frac{dt}{dv}$  par leur valeur, on a

$$dQ = \frac{1}{\alpha p_0 v_0} (C' v dp + C p dv).$$

**5. Détente de 1 kilogramme d'un gaz à température constante  $t$ , ou détente isotherme.** — La différentielle totale de la température est nulle. Si, dans

$$dt = \left( \frac{dt}{pd} \right) dp + \left( \frac{dt}{dv} \right) dv,$$

on remplace les dérivées partielles par leurs va-

leurs particulières déduites de l'équation exprimant l'état d'un gaz, on a

$$vdp + pdv = 0,$$

qui équivaut d'ailleurs à  $pv = \text{constante}$ , expression de la loi de Mariotte. On en conclut

$$dQ = \frac{1}{\alpha p_0 v_0} (C - C') pdv.$$

Or

$$pv = \alpha p_0 v_0 (273 + t)$$

et

$$C - C' = \alpha p_0 v_0 A;$$

done

$$dQ = \alpha p_0 v_0 A (273 + t) \frac{dv}{v}.$$

**6. Passage d'une masse gazeuse de l'état  $t, p, V$  à l'état  $t, p_1, V_1$ .**

Quantité de chaleur fournie pendant la détente et par kilogramme de gaz :

$$Q = \alpha p_0 v_0 (273 + t) 2,30259 \log \frac{v_1}{v} =$$

$$= A 29,28 (273 + t) 2,30259 \log \frac{v_1}{v} ({}^1).$$

---

(<sup>1</sup>) Les logarithmes indiqués sont des logarithmes décimaux.

Quantité de chaleur fournie pendant la détente d'un poids P de gaz :

$$Q = PA \ 29,28 (273 + t) \ 2,30259 \log \frac{V_1}{V} =$$

$$= PA \ 29,28 (273 + t) \ 2,30259 \log \frac{p_1}{p}.$$

Quantité de chaleur fournie pendant la détente d'un volume V de gaz :

$$Q = ApV \ 2,30259 \log \frac{V_1}{V}.$$

Quantité de travail dépensé sur les corps extérieurs pour un volume V de gaz :

$$\bar{\epsilon} = \int_V^{V_1} p dV,$$

$$\bar{\epsilon} = pV \ 2,30259 \log \frac{V_1}{V}.$$

Travail dépensé par un poids P d'un gaz :

$$\bar{\epsilon} = P \ 29,28 (273 + t) \ 2,30259 \log \frac{p_1}{p}.$$

### 7. Détente adiabatique ou détente dans une enveloppe imperméable à la chaleur.

— Dans ce cas,  $dQ = 0$

$$C'vdp + Cp dv = 0$$

ou

$$\frac{dp}{p} + \gamma \frac{dv}{v} = 0;$$

l'intégration donne

$$\frac{p_1}{p} = \left(\frac{v}{v_1}\right)^\gamma.$$

**8. Passage d'un gaz de l'état  $t, p, V$  à l'état  $t_1, p_1, V_1$ , sans communication de chaleur avec l'extérieur.**

Loi de détente :

$$\frac{p_1}{p} = \left(\frac{V}{V_1}\right)^\gamma.$$

Travail sur les corps extérieurs :

$$\bar{\epsilon} = \int_V^{V_1} p dV,$$

$$\bar{\epsilon} = \int_V^{V_1} p_1 V_1^\gamma \frac{dV}{V^\gamma},$$

$$\bar{\epsilon} = \frac{1}{\gamma - 1} pV \left[ 1 - \left(\frac{V}{V_1}\right)^{\gamma-1} \right] =$$

$$= \frac{1}{\gamma - 1} pV \left[ 1 - \left(\frac{p_1}{p}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right];$$

car

$$\left(\frac{V}{V_1}\right)^{\gamma-1} = \left(\frac{p_1}{p}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

Travail sur les corps extérieurs en fonction du poids  $P$  du <sup>vol  $v$</sup>  gaz et des pressions initiale et finale

$$P = \frac{pV}{29,28 (273 + t)}; \quad \text{poids } M$$

d'où

$$\varepsilon = \frac{P \cdot 29,28 (273 + t)}{\gamma - 1} \left[ 1 - \left(\frac{p_1}{p}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right].$$

Variation de la température d'un gaz pendant la détente adiabatique.

Puisqu'il n'y a pas de communication de chaleur avec l'extérieur, le travail des pressions extérieures a pour équivalent la variation de l'énergie interne du gaz

*v = énergie interne par kilogramme de gaz*

$$dU = dQ - A p dv$$

$$= \frac{1}{\lambda p_0 v_0} (C' v dp + C p dv) - A p dv;$$

or

$$C = C' + \lambda p_0 v_0.$$

Donc la variation de l'énergie interne s'exprime par

$$dU = \frac{C'}{\alpha p_0 v_0} (v dp + p dv) = \frac{C'}{\alpha p_0 v_0} d(pv),$$

ou

$$dU = \frac{C'}{\alpha p_0 v_0} d \left[ \alpha p_0 v_0 (273 + t) \right];$$

on a donc, entre des limites données,

$$U = C' (273 + t) + \text{const.},$$

$$U_1 - U = C' (t_1 - t).$$

On doit voir dans cette formule l'expression de la loi de Joule : *La chaleur interne d'un gaz dépend uniquement de sa température et non de la pression.*

La quantité de chaleur équivalente à la variation de l'énergie interne étant convertie en travail sur les corps extérieurs dans la détente adiabatique, on a

$$C' (t - t_1) = A \frac{pv}{\gamma - 1} \left[ 1 - \left( \frac{v}{v_1} \right)^{\gamma-1} \right],$$

ce que l'on pourrait d'ailleurs vérifier directe-

ment. En remplaçant  $pv$ ,  $\gamma$  et  $C'$  par leurs valeurs, on a

$$\begin{aligned} t - t_1 &= (273 + t) \left[ 1 - \left( \frac{V}{V_1} \right)^{\gamma-1} \right] \\ &= (273 + t) \left[ 1 - \left( \frac{p_1}{p} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right]. \end{aligned}$$

**9. Deuxième principe fondamental de la Thermodynamique : principe de Carnot.**

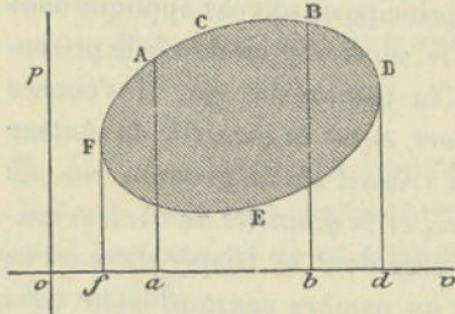
— Bien que ce principe ne soit pas appliqué dans cet Aide-Mémoire, nous croyons devoir le présenter à la fin de la théorie des gaz. Il s'énonce ainsi : *Le rapport, entre la quantité de chaleur transformée en travail de la pression sur les corps extérieurs, et la quantité de chaleur empruntée à la source dont la température est la plus élevée, est un nombre constant pour tous les corps qui se transforment suivant des cycles de Carnot, entre les deux mêmes températures extrêmes, et ne dépend que de ces températures.*

L'état d'un corps peut être représenté par un point d'un plan rapporté à deux axes rectangulaires, l'un sur lequel on porte le volume spécifique et l'autre sur lequel on porte la pression. Une succession continue de points représente une transformation. Le travail des forces exté-

rieures, celui de la pression sur les corps extérieurs, est  $\int p dv$ ; et, pour la transformation représentée par AB (*fig. 1*), ce travail est représenté par l'aire ACBba. Le travail est positif si la transformation s'effectue de A à B; il est négatif si la transformation s'effectue dans le sens contraire, de B à A.

On dit qu'une suite de transformations est un

Fig. 1



cycle quand la ligne qui les représente est fermée. Le corps partant de l'état A, par exemple, passe par les transformations CBDEF

et revient à l'état A. Un cycle peut être parcouru dans deux sens et le travail des forces extérieures est représenté par l'aire comprise à l'intérieur du contour fermé qui représente le cycle. Pour le cycle représenté sur la *fig. 1*, s'il est parcouru dans le sens AB, le travail des forces extérieures se compose du travail positif représenté par l'aire  $fFABDd$  et du travail négatif représenté par

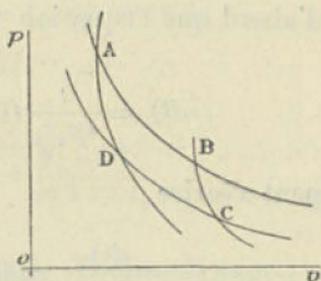
l'aire  $dDEFf$ . La somme de ces deux travaux est l'aire comprise dans le contour fermé.

Un cycle de Carnot ABCD (*fig. 2*) est composé de deux arcs de lignes isothermes AB, CD et de deux arcs de lignes adiabatiques BC, AD. Soient  $t_0$  et  $t_1$  les températures sur les lignes AB, CD et  $t_0 > t_1$ ; je suppose que le cycle est parcouru dans le sens ABCD.

Pendant la transformation AB, le corps emprunte une quantité de chaleur  $Q_0$  à la source dont la température est la plus élevée. Pendant la transformation BC, il n'y a pas de transport de chaleur. Pendant la transformation CD, le corps abandonne une quantité de chaleur  $Q_1$  à la source dont la température est la plus basse. Enfin, pendant la transformation DA, il n'y a pas de transport de chaleur.

Le corps est revenu à son état primitif, son énergie interne est ce qu'elle était au départ. Le travail de la pression sur les corps extérieurs est représenté par l'aire du quadrilatère curviligne qui constitue le cycle; il est équivalent à la quantité de chaleur  $Q_0 - Q_1$ , différence entre la

Fig. 2



quantité de chaleur empruntée à la source dont la température est la plus élevée et la quantité de chaleur cédée à la source dont la température est la plus basse.

Le rapport, dont il est question dans l'énoncé de Carnot, est

$$\frac{Q_0 - Q_1}{Q_0}.$$

Calculons ce rapport pour un gaz. Remarquons d'abord que l'équation

$$dQ = \frac{1}{2p_0v_0} (C'vdp + Cpdv)$$

peut s'écrire

$$\frac{dQ}{273 + t} = C' \frac{dp}{p} + C \frac{dv}{v}$$

et que le second membre est une différentielle exacte, celle de la fonction  $\varphi = v^C \cdot p^{C'}$ , en sorte que l'on peut écrire

$$\frac{dQ}{273 + t} = d\varphi.$$

Sur la ligne isotherme AB, la température est égale à  $t_0$ ,  $d\varphi$  ne dépend que d'une variable

indépendante  $p$  ou  $v$ , et si  $\varphi_0$  et  $\varphi_1$  sont les constantes qui caractérisent les lignes adiabatiques BC, DA, la quantité de chaleur empruntée à la source la plus chaude, pendant la transformation AB, est

$$Q_0 = (273 + t_0) (\varphi_1 - \varphi_0).$$

Sur la ligne isotherme CD, la quantité de chaleur, cédée par le corps à la source la plus froide, est

$$Q_1 = (273 + t_1) (\varphi_0 - \varphi_1).$$

Par suite, on a

$$\frac{Q_0 - Q_1}{Q_0} = \frac{t_0 - t_1}{273 + t_0}.$$

Les deux principes de la Thermodynamique, rappelés dans cette théorie, ne sont point susceptibles d'une démonstration directe. Ils sont vérifiés dans tous les phénomènes mécaniques et calorifiques dont les machines sont le siège. Cependant, par la *réduction à l'absurde*, on démontrerait facilement que si A était une quantité spécifique, variable d'un corps à un autre, il serait possible de créer indéfiniment de la chaleur avec une dépense initiale limitée de travail, ou bien de créer indéfiniment du travail

avec une dépense initiale limitée de chaleur. On démontrerait encore que si le deuxième principe n'était point vrai, c'est-à-dire que si le rapport  $\frac{Q_0 - Q_1}{Q_0}$  n'était pas constant et le même pour tous les corps, il serait possible de faire passer, sans dépense de travail correspondante, de la chaleur d'un corps sur un autre dont la température serait plus élevée que celle du premier, ce qui est considéré comme impossible.

Il est évident que la réalisation d'un cycle de Carnot est impossible. On ne peut imaginer les sources de chaleur infinies et de conductibilité parfaite qui seraient nécessaires pour les transformations isothermes, ni les corps absolument dénués de conductibilité qui seraient nécessaires pour produire les transformations adiabatiques. Le principe de Carnot doit être considéré comme une vérité métaphysique servant à l'étude des cycles réels. Cette étude est en dehors du plan de cet ouvrage.

Nous terminerons en énonçant le théorème suivant : *Le maximum de rendement thermique que l'on puisse obtenir, entre deux températures données, est celui d'une transformation suivant un cycle de Carnot, entre ces mêmes températures.*

---

## CHAPITRE II

---

### FORMULES RELATIVES AUX TRANSMISSIONS PAR L'AIR COMPRIMÉ

**10. 1<sup>o</sup> Compresseurs d'air.** — Les formules contenues dans ce chapitre sont établies en supposant que les parois des machines sont imperméables à la chaleur; elles ne tiennent aucun compte des frottements, des espaces nuisibles, des fuites et, en général, d'aucune des pertes de travail que les machines présentent inévitablement. Il faut les considérer cependant comme donnant de bons renseignements dans l'établissement des projets. Il ne faut pas oublier que ce n'est que lorsqu'une machine est construite que l'on peut expérimentalement en donner le rendement; du moins, il en est ainsi à cause de l'impossibilité de tenir compte *à priori* de toutes

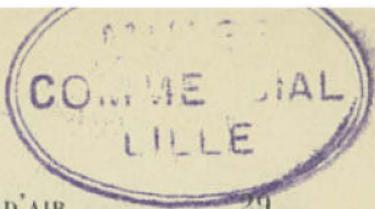
les circonstances du fonctionnement et de calculer les gains ou les pertes de travail qui en résultent. Dans l'établissement d'une machine, d'une industrie, il faut surtout agir par comparaison avec ce qui a été déjà fait. Il faudra donc que les formules suivantes soient modifiées par des coefficients que les applications existantes apprennent à connaître :

*Travail qu'il faut dépenser pour faire passer un poids  $P$  d'air d'un réservoir où son état est caractérisé par  $t, p, V$ , dans un autre réservoir où il est à l'état  $t_1, p_1, V_1$ .*

L'appareil qui sert à cette opération est toujours comparable à une pompe. Il suffit donc de suivre, par la pensée, le fonctionnement d'une pompe pour se rendre compte des explications suivantes.

Le travail qu'il s'agit de calculer se compose :

1° Du travail du gaz à pleine pression sur le piston de la pompe, pendant qu'un volume  $V$  d'air passe du premier réservoir dans le corps de pompe. Ce travail est négatif, par rapport au travail total qu'il s'agit d'évaluer, parce que la pression s'exerce dans le sens du mouvement du piston ; il n'est donc point une dépense, il vient



en déduction de la dépense. Ce travail est  $- pV$ .

Or

$$pV = Pz p_0 v_0 (273 + t) = P \frac{C - C'}{A} (273 + t).$$

2° Du travail de la compression dans le cylindre de la pompe, travail nécessaire pour passer de l'état  $t, p, V$  à l'état  $t_1, p_1, V_1$ , le gaz subissant une transformation adiabatique. Ce travail est l'équivalent de la variation de l'énergie interne du gaz. C'est donc

$$P \frac{C'}{A} (t_1 - t).$$

3° Du travail du piston à pleine pression pour refouler le volume  $V_1$  de gaz à  $p_1$  et  $t_1$  dans le deuxième réservoir. Ce travail est  $p_1 V_1$  et

$$p_1 V_1 = P \frac{C - C'}{A} (273 + t_1).$$

En additionnant ces trois travaux, on trouve

$$\varepsilon = P \frac{C}{A} (t_1 - t);$$

et en remplaçant les lettres par leur valeur

$$\varepsilon = 425.0,2377 (t_1 - t) P = 101 P (t_1 - t).$$

Il est évident que ce travail est celui que l'air

du second réservoir pourrait restituer si on le faisait passer à nouveau dans le premier.

Cette relation peut prendre une autre forme où entrent les pressions extrêmes et la température initiale, savoir

$$\bar{\epsilon} = 101 \cdot P (273 + t) \left[ \left( \frac{p_1}{p} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right].$$

En effet

$$\frac{p}{p_1} = \left( \frac{v_1}{v} \right)^{\gamma},$$

$$pV = \alpha p_0 v_0 (273 + t) P$$

et

$$p_1 V_1 = \alpha p_0 v_0 (273 + t) P.$$

Le travail peut s'exprimer en fonction du volume  $V$  d'air à comprimer

$$\bar{\epsilon} = pV \frac{\gamma}{\gamma - 1} \frac{t_1 - t}{273 + t}$$

ou

$$\bar{\epsilon} = pV \frac{\gamma}{\gamma - 1} \left[ \left( \frac{p_1}{p} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right];$$

il suffit de remarquer que

$$P = \frac{pV}{\alpha p_0 v_0 (273 + t)}.$$

*Volume à donner au cylindre de la pompe.*

— Soit  $n$  le nombre de tours de la manivelle par minute; le poids d'air comprimé dans un tour est  $\frac{P}{n}$  en admettant que  $P$  soit le poids d'air comprimé par minute. Par suite, le volume du cylindre est, en supposant la pompe à double effet,

$$\frac{1}{2} \frac{P}{n} \frac{z p_0 v_0 (273 + t)}{p} = \frac{14,64 P (273 + t)}{np}$$

*Température finale de l'air comprimé.* — En supposant que la température initiale  $t$  soit de  $20^\circ$ , de sorte que  $273 + t = 293^\circ$ , et que  $\frac{p_1}{p}$  désigne le rapport de la pression finale à la pression initiale, on obtient les valeurs suivantes de la température finale  $t_1$  :

$\frac{p_1}{p}$	$273 + t$	$t_1$	$\frac{p_1}{p}$	$273 + t$	$t_1$
2	358,2	85,2	9	554,1	281,1
3	402,9	129,9	10	571,3	298,3
4	437,9	164,9	11	587,2	314,2
5	467,2	194,2	12	602,7	329,2
6	492,6	219,6	13	616,4	343,4
7	515,1	242,1	14	629,8	356,8
8	535,6	262,4	15	642,5	369,5

*Réduction de l'échauffement et du travail à dépenser par l'emploi de cylindres étagés.* — L'échauffement de l'air pendant la compression est la cause d'une perte de travail considérable ; il a en outre divers inconvénients, en particulier il rend le graissage difficile. L'échauffement de l'air pendant la compression est combattu par une injection d'eau ou un courant d'eau, en général, mais il est bon de s'assurer que la température finale de l'air comprimé pourrait être abaissée considérablement en opérant la compression en plusieurs fois.

Supposons que nous prenions de l'air à l'état  $t, p, v$  et que nous le comprimions à l'état  $t', p', v'$  ; mais que dans un réservoir intermédiaire nous le ramenions à la température initiale  $t$  sous la pression  $p'$ . Supposons enfin que, dans un second cylindre compresseur, il passe de l'état  $t, p'$  à l'état  $t_1, p_1$  ; cette pression  $p_1$  étant celle qu'il faut obtenir. En appliquant les formules que nous avons données p. 21, on a

$$\frac{273 + t'}{273 + t} = \left(\frac{p'}{p}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}},$$

$$\frac{273 + t_1}{273 + t} = \left(\frac{p_1}{p'}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}};$$

d'où l'on tire

$$(273 + t')(273 + t_1) = (273 + t)^2 \left(\frac{p_1}{p}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}.$$

Les deux facteurs du premier membre ayant un produit constant, si on veut que la plus grande des températures soit minima, il faut prendre  $t' = t_1$ , ce qui conduit à

$$p' = \sqrt{p \cdot p_1}$$

c'est-à-dire que, dans cette opération, la pression du réservoir intermédiaire, qui est la limite de la pression dans la première compression, serait la moyenne géométrique entre les pressions extrêmes.

Quant au travail de compression, il est donné par

$$\begin{aligned} \tau &= 101 P (t' - t) + 101 P (t_1 - t) = \\ &= 101 P (t_1 + t' - 2t). \end{aligned}$$

On voit encore que la condition  $t_1 = t'$  donne le minimum de travail à dépenser, puisque

$$(273 + t_1)(273 + t')$$

est constant.

Donc, en opérant comme il vient d'être dit, la pression finale, dans le premier cylindre, serait

$$p' = \sqrt{p \cdot p_1}.$$

La température finale dans les deux cylindres serait

$$273 + t_1 = (273 + t) \left( \frac{p_1}{p} \right)^{\frac{\gamma-1}{2\gamma}}.$$

Le travail serait donné par la formule

$$\zeta = 202 P (t_1 - t).$$

Enfin, les volumes des cylindres compresseurs seraient

$$V = \frac{14,64 P (273 + t)}{np},$$

$$V_1 = \frac{14,64 P (273 + t)}{np'}.$$

Citons l'opinion de M. Hanarte : « la compression étagée est d'autant plus avantageuse que les compresseurs d'air sont plus défectueux, c'est-à-dire que les moyens de refroidissement en sont moins parfaits.

TABLEAU DES TEMPÉRATURES CALCULÉES  
POUR LE CAS DE DEUX CYLINDRES ÉTAGÉS

$\frac{p_1}{p}$	Température finie avec 2 cylindres	Rapport du travail dépensé pour une compression en deux fois au travail dépensé pour une compression en une fois
2	49,3	0,95
3	69,8	0,92
4	81,4	0,90
5	96,1	0,88
6	107,9	0,87
7	113,7	0,86
8	122,5	0,85
9	128,5	0,84
10	135,5	0,83
11	140,1	0,83
12	145,9	0,82
13	151,8	0,81
14	156,2	0,81
15	160,6	0,80
64	"	0,70
100	"	0,57

Des compresseurs dans lesquels s'effectuerait la compression isothermique ne présenteraient aucun avantage s'ils étaient étagés, tandis que si la compression s'y effectuait, hypothèse irréalisable, sans que la chaleur produite n'en

pût sortir d'aucune façon, alors deux compresseurs étagés fourniraient un bénéfice maximum ».

Il résulte de cela que, avec des compresseurs à refroidissement même médiocres, les bénéfices indiqués au tableau précédent doivent être réduits considérablement, et qu'il y a lieu de penser que la complication mécanique, les frottements plus grands, réduisent à presque rien le bénéfice de la compression étagée quand il s'agit de pression allant jusqu'à 8 et 10 kilogrammes.

*Quantité d'eau pulvérisée à injecter pour refroidir l'air au compresseur.* — Pour refroidir l'air au compresseur, le professeur Colladon a eu l'idée d'injecter de l'eau dans le cylindre compresseur.

M. Pernolet a déterminé, par l'analyse suivante, la quantité d'eau à injecter. Il suppose que la température maxima qu'il veut avoir au compresseur est 40°. Il cherche la quantité de chaleur que les corps extérieurs doivent prendre à l'air s'il se comprime, à cette température, de la pression atmosphérique à la pres-

sion du compresseur. Pour cela, il emploie la formule

$$Q = A \cdot 29,28 (273 + 40) \cdot 2,30259 \log \frac{V}{V_1}.$$

où

$$\frac{V}{V_1} = \frac{p_1}{p},$$

que nous avons donné à la p. 17 et où

$$A = \frac{1}{425}.$$

Ensuite, il calcule le poids d'eau qui, passant de la température de 20° à la température de 40°, enlèverait cette quantité de chaleur. Chaque kilogramme d'eau pulvérisée enlevant 20 calories,  $\frac{Q}{20}$  est le nombre de kilogrammes d'eau qu'il faut introduire par kilogramme d'air fourni par le compresseur.

Le tableau de la page suivante a été calculé en adoptant pour A la valeur  $\frac{1}{432}$ .

Ce tableau et les précédents ont été calculés

POIDS D'EAU A INJECTER POUR REFROIDIR L'AIR  
AU COMPRESSEUR

Pression absolue à laquelle l'air est comprimé	Quantité de chaleur développée par la compression.	Poids d'eau à 20° cen- tigrades à injecter par kilog. d'air pour empêcher la tempé- rature finale de dé- passer 40° centig.
atmosphères	calories	kilog.
2	14,70	0,73
3	23,28	1,16
4	29,39	1,47
5	34,12	1,70
6	37,98	1,89
7	41,26	2,06
8	44,09	2,20
9	46,59	2,33
10	48,82	2,44
11	50,85	2,54
12	52,69	2,63
13	54,39	2,72
14	55,96	2,80
15	57,43	2,87

par M. Mallard jusqu'à 10 atmosphères et conti-  
nués par M. Pernolet jusqu'à 15.

**11. 2° Machines réceptrices.** — Les ma-  
chines réceptrices sont le siège des transforma-

tions inverses de celles qui ont lieu dans les compresseurs : l'air comprimé conduit la force motrice au lieu où il faut, met en mouvement une machine réceptrice sur le piston de laquelle il agit en se détendant de la pression qui règne dans la conduite de distribution à la pression atmosphérique. Dans les machines réceptrices à air raréfié, c'est l'air extérieur à la machine qui pénètre dans celle-ci, s'y détend, depuis la pression atmosphérique jusqu'à la pression de l'air raréfié de la distribution, et agit sur le piston en se raréfiant. Ces transformations n'offrent rien qui soit essentiellement différent, et en traitant les formules relatives à l'air comprimé, on traite, en même temps, celles qui se rapportent à l'air raréfié.

Soient :

- $u$ , le volume d'air qui pénètre dans la machine ;
- $\pi, \theta$ , la pression et la température de cet air ;
- $\pi', \theta'$ , la pression et la température à la fin de la détente ;
- $\pi_1, \theta_1$ , la pression et la température d'échappement à l'atmosphère.

*Machine à détente complète.* — Cette machine est caractérisée par le fait que la détente s'effec-

tue jusqu'à ce que l'air soit à la pression atmosphérique,  $\pi' = \pi_1$ . En se reportant aux formules démontrées précédemment, la température finale  $\theta$  est donnée par

$$\frac{273 + \theta_1}{273 + \theta} = \left(\frac{\pi_1}{\pi}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}};$$

le travail fourni par  $P^{\text{kg}}$  d'air, pendant la détente, est donné par

$$\begin{aligned} \bar{\epsilon} &= 101 P (273 + \theta) \left[ 1 - \left(\frac{\pi_1}{\pi}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right] = \\ &= 101 P (\theta - \theta_1); \end{aligned}$$

le poids d'air nécessaire par minute pour alimenter une machine qui doit fournir  $N$  chevaux est donné par

$$P = \frac{75.N.60}{101 (\theta - \theta_1)} = 44,53 \frac{N}{\theta - \theta_1},$$

sachant que

$$75.N.60 = 101 P (\theta - \theta_1);$$

le poids par seconde est donné par

$$\frac{P}{60} = 0,74 \frac{N}{\theta - \theta_1}.$$

Le volume d'air à la pression  $\pi_1$  qu'il faut dépenser par minute, est

$$\begin{aligned} V &= \frac{44,53.N.29,28(273 + \theta_1)}{(\theta - \theta_1) \pi_1} = \\ &= \frac{1304 (273 + \theta_1) N}{(\theta - \theta_1) \pi_1}. \end{aligned}$$

Le volume du cylindre, en supposant que  $n$  soit le nombre des tours par minute, est

$$u = \frac{V}{2n} = \frac{652 (273 + \theta_1) N}{(\theta - \theta_1) \pi_1 n}.$$

Le rendement théorique ou rapport du travail que l'air comprimé fournit à la réceptrice,  $P \frac{C}{A} (\theta - \theta_1)$ , au travail que le compresseur emmagasine,  $P \frac{C}{A} (t_1 - t)$ , est

$$R = \frac{\theta - \theta_1}{t_1 - t} = \frac{(273 + \theta_1) \left[ \left( \frac{\pi_1}{\pi} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right]}{(273 + t) \left[ \left( \frac{p_1}{p} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right]} = \frac{273 + \theta_1}{273 + t},$$

le dernier rapport étant obtenu en négligeant toutes pertes de charge et en supposant, par suite, que  $\pi = p_1$  et  $\pi_1 = p$ .

Ce rendement serait le rapport de la *tempéra-*

*ture absolue* de l'air à la sortie de la réceptrice à la *température absolue* de l'air à l'entrée du compresseur.

Le volume d'air à la pression  $\pi$  introduit dans le cylindre pour un coup de piston est

$$u = u_1 \left( \frac{\pi_1}{\pi} \right)^{\frac{1}{\gamma}} .$$

*Tableau des températures finales répondant à une température initiale  $\theta = 20^\circ$  centigrades.*

$\frac{\pi}{\pi_1}$	$\theta_1$	$\frac{\pi}{\pi_1}$	$\theta_1$
2	— 33°,4	9	— 118°,1
3	— 60, 0	10	— 122, 9
4	— 77, 0	11	— 126, 9
5	— 89, 3	12	— 130, 5
6	— 98, 8	13	— 133, 8
7	— 106, 4	14	— 136, 7
8	— 112, 7	15	— 139, 4

Ce tableau et les suivants ont été calculés par M. Mallard jusqu'à 10 atmosphères et continués par M. Pernolet jusqu'à 15 atmosphères.

*Machine sans détente.* — Lorsque l'air agit



à pleine pression, pendant toute la course du piston, le travail est

$$u (\pi - \pi_1) = P \frac{29,28 (273 + \theta)}{\pi} (\pi - \pi_1).$$

P étant le poids de l'air occupant le volume  $u$  du cylindre à la pression  $\pi$ , et  $\pi_1$  étant la pression de l'atmosphère. D'autre part, ce travail peut s'exprimer au moyen des températures initiale et finale  $\theta$  et  $\theta_1$ ;  $\theta_1$  désignant la température de l'air détendu brusquement, à la sortie du cylindre, de la pression  $\pi$  à la pression atmosphérique  $\pi_1$ . Nous avons vu, en effet, que

$$\tau = P \frac{C}{A} (\theta - \theta_1).$$

En égalant ces deux valeurs de  $\tau$  et en remarquant que

$$29,28 = \alpha p_0 v_0 = \frac{C - C'}{A},$$

on a

$$\frac{C - C'}{C} \left(1 - \frac{\pi_1}{\pi}\right) = 1 - \frac{273 + \theta_1}{273 + \theta},$$

d'où

$$\frac{273 + \theta_1}{273 + \theta} = 0,71 + 0,29 \frac{\pi_1}{\pi}.$$

Cette formule donne la température d'échappement de l'air.

Poids d'air à dépenser par seconde pour actionner une machine motrice de N chevaux :

$$P = 0,74 \frac{N}{\theta - \theta_1}.$$

Volume du cylindre, en supposant que  $n$  soit le nombre des tours par minute :

$$u_1 = \frac{652 (273 + \theta) N}{(\theta - \theta_1) \pi n}.$$

Tableau de la température  $\theta_1$ , pour différentes valeurs de  $\frac{\pi}{\pi_1}$ .

$\frac{\pi}{\pi_1}$	$\theta_1$	$\frac{\pi}{\pi_1}$	$\theta_1$
2	-22°,4	9	-55°,6
3	-36,9	10	-56,5
4	-43,2	11	-57,4
5	-48,0	12	-58,0
6	-51,0	13	-58,6
7	-53,0	14	-59,2
8	-54,5	15	-59,5

Le calcul est fait en partant de  $\theta = 20^\circ$ .

*Comparaison des rendements des machines à détente complète et des machines à pleine pression.*

$\frac{\pi}{\pi_1}$ ou $\frac{p}{p_1}$	Rendement — Cas de détente complète	Rendement — Cas de pleine pression	Rapport entre le rendement pour la pleine pression et le rendement pour la détente complète
2	0,84	0,72	0,84
3	0,74	0,53	0,71
4	0,69	0,46	0,66
5	0,65	0,42	0,64
10	0,53	0,29	0,55

Ces calculs ont été faits en supposant que la température initiale de l'air, écoulé dans chacune des machines, était de 20°.

Dans les machines à pleine pression le refroidissement dans le cylindre au moment de l'échappement est considérablement diminué ; mais, par contre, le rendement est diminué beaucoup et d'autant plus que la pression est plus élevée.

*Machines à détente incomplète.* — Le travail recueilli est toujours

$$\tau = P \frac{G}{A} (\theta - \theta_1).$$

$\theta_1$  étant la température de l'air au moment de l'échappement. Si  $\theta'$  est la température à la fin de la détente on a

$$\frac{273 + \theta'}{273 + \theta} = \left(\frac{\pi'}{\pi}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}},$$

et  $\theta_1$  est donné par la formule de la p. 43

$$\frac{C - C'}{C} \left(1 - \frac{\pi_1}{\pi}\right) = 1 - \frac{273 + \theta_1}{273 + \theta'}.$$

Cette formule s'obtient en égalant les deux expressions du travail entre les températures  $\theta'$  et  $\theta_1$ , et en écrivant

$$P \frac{C}{A} (\theta' - \theta_1) = P \frac{C - C'}{A} (273 + \theta') \left(1 - \frac{\pi_1}{\pi}\right).$$

Le poids d'air à dépenser par seconde est

$$P = 0,74 \frac{N}{\theta - \theta_1}.$$

Le volume du cylindre est

$$u = \frac{652 N}{\pi' \frac{273 + \theta}{273 + \theta'} \left(1 - \frac{273 + \theta_1}{273 + \theta}\right) n}$$

ou

$$u_1 = \frac{652 N (273 + \theta')}{\pi' n (\theta - \theta_1)}.$$

Le volume d'air à introduire dans le cylindre à la pression  $\pi$  est

$$u = u_1 \left( \frac{\pi'}{\pi} \right)^{\frac{1}{\gamma}}.$$

Les formules précédentes se rapportent à l'air sec.

*Quantité d'eau chaude à injecter pour pouvoir marcher à détente complète.* — M. Pernolet a calculé comme suit la quantité d'eau chaude à injecter dans le cylindre des machines réceptrices pour pouvoir marcher à détente complète, tout en maintenant la température finale au-dessus de  $0^\circ$ . Il suppose que l'eau introduite peut être à  $20$ ,  $50$  ou encore  $100^\circ$ . La formule à appliquer est donnée (p. 37); c'est

$$Q = A. 29.28. 273. 2,30259. \log \frac{V_1}{V},$$

où

$$\frac{V_1}{V} = \frac{p}{p_1}.$$

Pour calculer le poids d'eau, il remarque que 1 kilogramme d'eau à  $20^\circ$  ne peut se congeler

qu'en abandonnant  $20 + 79 = 99$  calories ;  
 qu'un kilogramme d'eau à  $50^{\circ}$  abandonnerait  
 $50 + 79 = 129$  calories ; et qu'enfin un kilo-  
 gramme d'eau à  $100^{\circ}$  abandonnerait 179 calo-  
 ries.

Pression absolue à laquelle l'air est introduit	Quantité de chaleur fournie pour maintenir la température de l'air à zéro pendant la détente compète	Poids d'eau à injecter par kilog. d'air introduit pour que la température finale ne descende pas au-dessous de $0^{\circ}$ . La tem- pérature de l'eau injectée étant		
		$20^{\circ}$	$50^{\circ}$	$100^{\circ}$
atmosphères	calories	kilog.	kilog.	kilog.
2	13,28	0,134	0,103	0,074
3	21,03	0,212	0,163	0,117
4	26,55	0,268	0,206	0,148
5	30,83	0,311	0,240	0,178
6	34,33	0,346	0,266	0,192
7	37,29	0,376	0,289	0,208
8	39,83	0,402	0,309	0,223
9	42,09	0,425	0,326	0,235
10	44,11	0,445	0,342	0,247
11	45,95	0,464	0,356	0,256
12	47,61	0,480	0,369	0,266
13	49,15	0,496	0,381	0,274
14	50,56	0,510	0,392	0,282
15	51,89	0,524	0,402	0,290

Ces calculs ont été faits en supposant  $\Lambda = \frac{1}{432}$ .

**12. 3° Influence de la vapeur d'eau.** — Nous ne reproduisons ici que les conclusions du mémoire de M. Mallard relatif à l'influence de la vapeur d'eau :

*Admettons que le mélange d'air et de vapeur d'eau, dont on suppose que toutes les parties sont à la même température, reste toujours saturé, qu'il se comprime ou qu'il se détende.*

*La présence de la vapeur d'eau produit dans une certaine mesure l'augmentation du travail recueilli dans les machines réceptrices, surtout si la température initiale de l'air est plus grande.*

Cette augmentation est très faible en définitive pour les températures auxquelles on emploie l'air, températures qui ne sont pas supérieures à 20°.

*La présence de la vapeur d'eau a pour effet une augmentation considérable de la température finale après la détente.*

Le tableau suivant indique la pression initiale, pour diverses températures initiales, pour que

l'air après détente complète n'ait pas une température inférieure à 0° centigrade.

Température finale	Température initiale	Valeur $\frac{\pi}{\pi_1}$ pour de l'air	
		saturé de vapeur d'eau	sec
0	20°	1,50	1,28
0	30°	1,89	1,43
0	40°	2,39	1,60
0	50°	3,06	1,78

Ainsi on pourrait marcher à détente complète avec de l'air à 50° saturé de vapeur d'eau à la pression de 3 atmosphères et la température finale ne descendrait pas au-dessous de 0°, ce qui ne serait possible qu'avec une pression de 1<sup>atm</sup>,78 pour de l'air sec.

*Le volume du cylindre ne diffère pas notablement, que l'on emploie de l'air sec ou que l'on emploie de l'air saturé.*

Nous donnons, à la page suivante, un tableau indiquant la pression finale en partant d'une température initiale de 20° pour comprimer de

l'air saturé, la pression initiale étant 10 333 kilogrammes.

Remarquons qu'avec de l'air sec à 7 atmosphères la température finale eût été 251° centigrades.

Pression en kilogrammes par mètre carré	Température finale	Poids d'eau à introduire par kilogramme d'air pour maintenir la saturation
13 628 <sup>kg</sup>	30	0 <sup>kg</sup> ,020
18 166	40	0, 027
24 468	50	0, 034
33 059	60	0, 042
43 987	70	0, 050
58 628	80	0, 058
77 506	90	0, 066

**13. 4° Conduites d'air.** — D'après des expériences faites au Mont-Cenis, la perte de pression due au frottement dans une conduite peut être exprimée par la formule

$$\Delta p = 0,00936 \cdot \frac{u^2 l}{d};$$

dans laquelle  $u$  représente la vitesse de l'air en mètres par seconde ;  $l$ , la longueur de la conduite

en mètres ;  $d$ , le diamètre de la conduite, également en mètres.

Soient  $p_1$ , la pression de l'air dans le réservoir d'air comprimé et  $t_1$ , la température de cet air, le volume d'air qui s'écoule, à cette pression, dans la conduite est  $3,14 \frac{d^2}{4} u$  par seconde. Le poids de ce volume d'air est

$$3,14 \frac{d^2}{4} u \frac{p_1}{273 + t_1} \frac{A}{C - C'} = P.$$

La perte de pression correspondant à l'écoulement de ce poids  $P$  d'air comprimé est donc

$$\Delta p = 13 \frac{P^2 (273 + t_1)^2 l}{p_1^2 d^5}.$$

*Cette formule suppose que la conduite est horizontale.* Dans le cas d'une transmission de force motrice dans une mine, la différence de niveau peut être telle que l'augmentation de charge qui en résulte compense la perte de charge due au frottement dans la conduite. Comme on ignore la répartition de la température dans l'étendue de la conduite, il est difficile d'apprécier l'influence des différences de niveau. En effet, si on applique le théorème de la quantité

de mouvement à la masse gazeuse qui est contenue, pendant un temps très court, entre deux sections d'un tuyau cylindrique à distance  $ds$  l'une de l'autre, on trouve

$$\frac{u du}{g} = dz - \frac{dp}{\varpi} - \frac{\chi}{\Omega} b_1 u^2 ds,$$

où  $dz$  désigne la différence de niveau des centres de gravité des sections ;  $\varpi$ , le poids spécifique du gaz ;  $\chi$ , le périmètre mouillé ;  $\Omega$ , l'aire de la section et  $b_1$ , un coefficient de frottement. Cette formule ne peut être intégrée facilement qu'en faisant des hypothèses qui se rapprochent d'ailleurs de ce qui se passe réellement dans les conduites que nous étudions. Supposons que  $\varpi$  varie très peu et qu'il en soit de même pour la vitesse, on aura

$$z_1 - z_0 + \frac{p_0}{\varpi} - \frac{p_1}{\varpi} - \frac{\chi}{\Omega} b_1 u^2 = 0,$$

et on pourra écrire

$$\Delta p = (z_0 - z_1) \varpi + \varpi \frac{\chi}{\Omega} b_1 u^2.$$

Navier a donné  $b_1 = 0,000355$ . Si on admet, pour le frottement dans les conduites, les

résultats obtenus au Mont-Cenis, on pourra écrire

$$\Delta p = (z_0 - z_1) \varpi + 13 \frac{P^2 (273 + t_1)^2 l}{p_1^2 d^5}.$$

M. Ch. Ledoux, Ingénieur en chef des Mines, a donné pour  $b_1$  la valeur 0,00094 pour des pressions variant de 9<sup>atm.</sup>,65 à 5<sup>atm.</sup>,66.

Le premier terme du second membre est négatif quand il s'agit d'une conduite descendante, comme celle qui serait destinée à transporter de l'air comprimé dans une mine.

Dans les conduites destinées au transport de la force motrice par l'air comprimé ou raréfié dans les villes, le terme  $(z_0 - z_1)\varpi$  est négligeable.

M. Haton de la Goupillière a donné une théorie de l'écoulement varié des gaz insérée aux *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 1886. Cette théorie ne laisse rien à désirer et il serait regrettable que l'on ne s'en servit point dans les applications. Nous ne la donnerons point ici parce que nous ne savons pas qu'on l'ait appliquée ; mais nous engageons les ingénieurs à en prendre connaissance.

---

# PARTIE PRATIQUE

---

## CHAPITRE III

---

### COMPARAISON DES DIVERS SYSTÈMES DE TRANSMISSION DE LA FORCE MOTRICE A GRANDE DISTANCE

**14.** — Les moyens de transporter la force motrice à grande distance sont nombreux : les câbles téléodynamiques ; le gaz ; l'eau, sous pression, à l'état de vapeur, simplement chaude et enfin froide ; l'air raréfié ; l'air comprimé ; l'électricité.

Le choix du mode de transmission doit être basé, comme toute installation mécanique d'ailleurs, sur des considérations de frais de premier établissement, de rendement mécanique, de frais d'entretien, de difficultés locales, de nature de travail à effectuer.

La plus économique de toutes les transmissions, jusqu'à 1 000 mètres du moins, est celle par câble

télédynamique. L'usage des câbles télédynamiques est dû à C.-F. Hirn, qui en installa dès 1850. Le rendement diminue assez rapidement quand la distance augmente ; de 0,96 pour 100 mètres, il passe à 0,93 pour 500 mètres, 0,90 pour 1 000 mètres, 0,60 pour 5 000 mètres. Ce genre de transmission a trois inconvénients : 1° il manque de « souplesse », il se prête peu aux changements de direction, aux « coudes » ; 2° la grande rapidité du mouvement des câbles et leurs mouvements irréguliers en rendent l'approche dangereuse ; 3° dans ce genre de transmission, la division de la force motrice transmise est limitée.

Les machines à gaz, depuis que Lenoir les a rendues applicables (1860), ont donné au gaz une grande valeur comme moyen de transmission. Ces machines, dont l'usage peut être le meilleur dans beaucoup de cas, ont cependant les inconvénients qui sont inhérents aux machines thermiques : elles exigent un assez grand volume d'eau pour refroidir les cylindres, un graissage particulièrement bien fait, l'évacuation de produits de la combustion et autres.

Dans ces dernières années, de grands progrès ont été réalisés pour la transformation de l'énergie électrique en énergie dynamique. C'est sur-

tout aux Etats-Unis qu'il faut faire honneur de l'application de l'électricité à la traction mécanique. Dans ce pays, les progrès ont été tels que si, en 1887, on ne comptait que 7 lignes de tramways électriques, en 1892, on en comptait 436. MM. Schneider et C<sup>ie</sup> du Creusot ont construit, en 1892, un pont roulant de 150 tonnes pour leur aciérie. Plus loin, nous donnons la comparaison des prix de transport de la force motrice par les divers moyens dont nous parlons ici.

Les transmissions dont l'air est l'agent sont surtout comparables à celles dont l'agent est l'eau. Les unes et les autres sont applicables quelles que soient les conditions locales. Les transmissions par l'air ont de nombreux avantages. Elles ne présentent pas les inconvénients de la chaleur qui se dégage des conduites de vapeur ou d'eau chaude; elles n'ont point l'inconvénient des fuites de vapeur, des fuites d'eau, des suintements des conduites d'eau; les différences de niveau n'influent que fort peu sur les transmissions par l'air; les conduites sont plus faibles pour l'air qu'elles ne le sont pour l'eau et même la vapeur et, de plus, il n'y a point à se préoccuper de conduites de retour.

Les machines réceptrices pour l'air raréfié ou pour l'air comprimé surtout, sont plus petites que les machines à gaz, de même puissance, plus simples que les machines à vapeur.

Pour une distribution dans les villes par l'eau, il y aurait, le plus généralement, des difficultés à se procurer la quantité d'eau nécessaire, d'une part, et, d'autre part, à donner à cette eau la pression de plusieurs atmosphères.

Cependant les transmissions par l'air offrent les désavantages suivants : le rendement est faible et la production de l'air comprimé ou raréfié est chère. Il faut, en effet, une machine spéciale pour comprimer ou raréfier l'air qui circule dans la conduite de la transmission. Ces inconvénients disparaissent complètement devant les avantages, quand il s'agit de transmissions destinées à répandre la force motrice dans les mines et dans les villes, par fractions que l'on peut rendre aussi faibles et aussi nombreuses que les circonstances l'exigent et sans que la présence de la transmission soit une cause quelconque de gêne ou de danger.

Dans une étude sur la comparaison entre les divers systèmes de transmission de forces motrices, parue dans le *Génie civil*, 1886, t. IX, n<sup>os</sup> 20 et 22, M. J. Lauriol donne le tableau suivant,

Système employé	Distance de transmission					
	100 <sup>m</sup>	500 <sup>m</sup>	1 000 <sup>m</sup>	5 000 <sup>m</sup>	10 000 <sup>m</sup>	20 000 <sup>m</sup>
	Avec moteur à vapeur					
Électricité . . . . .	0,187	0,192	0,202	0,236	0,296	0,480
Eau sous pression . . . . .	0,236	0,246	0,272	0,420	0,603	0,997
Air comprimé . . . . .	0,330	0,336	0,347	0,422	0,547	0,666
Câble téléodynamique . . . . .	0,130	0,155	0,165	0,300	0,520	1,321
	Avec moteur hydraulique					
Électricité . . . . .	0,048	0,050	0,055	0,065	0,071	0,120
Eau sous pression . . . . .	0,048	0,057	0,065	0,139	0,232	0,369
Air comprimé . . . . .	0,075	0,083	0,087	0,126	0,194	0,350
Câble téléodynamique . . . . .	0,026	0,028	0,031	0,083	0,148	0,353

résumant d'après lui le prix en francs du cheval-heure utilisable transmis par quantité de 100 chevaux-vapeur.

Dans un second tableau, M. Lauriol donne le prix en francs du cheval-heure utilisable transmis à 1 000 mètres par quantité de 5, 10, 50, 100 chevaux utilisables.

Puissance	Électricité	Eau comprimée	Air comprimé	Câble télé-dynamique
Avec moteur à vapeur				
5	0,238	0,484	0,549	0,255
10	0,188	0,426	0,477	0,230
50	0,175	0,275	0,363	0,175
100	0,202	0,272	0,347	0,165
Avec moteur hydraulique				
5	0,079	0,162	0,210	0,088
10	0,055	0,130	0,161	0,074
50	0,050	0,071	0,101	0,034
100	0,055	0,065	0,087	0,031

Dans son Mémoire à la Société des Ingénieurs civils (1885), sur l'établissement de transmission de force motrice par l'air raréfié, installé rue Beaubourg, M. Boudenoot donne le tableau reproduit ci-après :

TABLEAU COMPARATIF DES DIMENSIONS PRINCIPALES  
DES MACHINES A GAZ ET DES MACHINES A AIR RARÉFIÉ

Désignation des moteurs	Hauteur	Largeur	Longueur	Diamètre du volant	
Moteurs à air raréfié de	6 kilogram <sup>m</sup> res	0 <sup>m</sup> ,38	0 <sup>m</sup> ,23	0 <sup>m</sup> ,23	0 <sup>m</sup> ,25
	24 —	0, 80	0, 45	0, 45	0, 56
	80 —	1, 05	0, 55	0, 55	0, 90
Moteurs à gaz Bisschop de	6 kilogram <sup>m</sup> res	1 <sup>m</sup> ,25	0 <sup>m</sup> ,55	0 <sup>m</sup> ,66	0 <sup>m</sup> ,60
	25 —	1, 90	0, 73	1, 00	1, 16
	50 —	2, 20	0, 85	1, 15	1, 30

## CHAPITRE IV

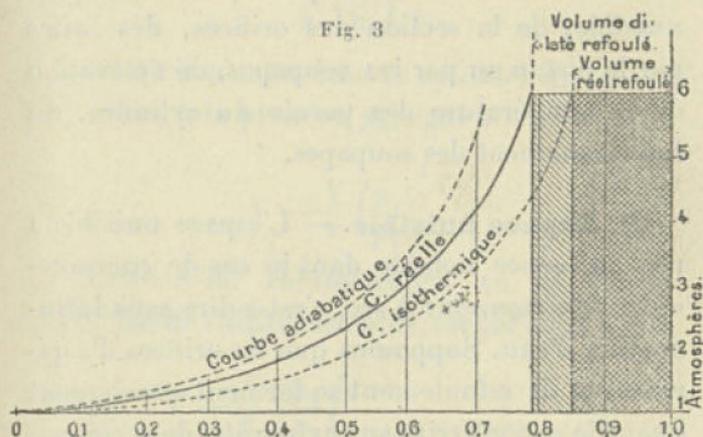
---

### DONNÉES ET COEFFICIENTS POUR L'APPLICATION DES FORMULES

#### I. COMPRESSEURS

**15.** — Les compresseurs et machines réceptrices fonctionnent dans des conditions tout autres que celles que l'on suppose pour établir les formules qui précèdent. Ainsi les températures élevées résultant de la compression détruiraient les huiles qui servent au graissage et, pour diminuer l'échauffement de l'air, il faut injecter de l'eau soit à l'intérieur, soit à l'extérieur du cylindre compresseur; ainsi encore, les parois ne sont pas imperméables à la chaleur et il n'est pas possible de considérer les transformations comme s'opérant sans qu'il y ait communication de

chaleur avec les corps extérieurs. Ces deux différences entre la réalité des transformations dont les machines à air sont le siège et les transformations que nous avons imaginées sont fondamentales, mais il y en a un grand nombre d'autres. La *fig. 3* indique la différence entre le travail qu'il faudrait dépenser pour opérer une



compression isotherme, celui qu'il faudrait dépenser pour opérer une compression adiabatique et celui qui est réellement dépensé.

**16. Débit d'un compresseur.** — Le débit d'un compresseur n'est pas tout le volume d'air qu'il pourrait fournir si on ne tenait compte que des dimensions géométriques du cylindre. On

doit tenir compte d'un *rendement volumétrique* qui est le rapport entre le volume réellement débité, et ramené à la pression atmosphérique, et le volume du cylindre.

L'inverse de ce rendement est le coefficient dont il faudrait affecter la formule calculée p. 31 pour avoir le volume du cylindre.

Ce rendement volumétrique dépend de l'espace nuisible, de la section des orifices, des fuites par le piston ou par les soupapes, de l'élévation de la température des parois du cylindre, du fonctionnement des soupapes.

**17. Espace nuisible.** — L'espace nuisible a une influence notable dans le cas de compresseurs *fonctionnant à sec*, c'est-à-dire sans introduction d'eau. Supposons que les orifices d'aspiration et de refoulement se ferment exactement quand le piston arrive aux extrémités de sa course.

Soient :

$V$ , le volume du cylindre :

$\frac{V}{r}$ , le volume de l'espace nuisible ;

$p_0$ , la pression atmosphérique ;

$p_1$ , la pression de l'air comprimé.

Le piston étant à fond de course, laisse derrière lui un espace nuisible plein d'air à la pression

de refoulement  $p_1$  et les soupapes sont fermées. Quand le piston revient sur lui-même, cet air se dilate et quand il atteint la pression extérieure  $p_0$  la soupape d'aspiration s'ouvre. A ce moment la masse d'air qui occupait un volume  $\frac{V}{r}$  en occupe un égal à

$$\frac{V}{r} \left( \frac{p_1}{p_0} \right)^{\frac{1}{\gamma}};$$

de sorte qu'il n'entre dans le cylindre qu'un volume d'air, à la pression  $p_0$ , égal à

$$V - \frac{V}{r} \left( \frac{p_1}{p_0} \right)^{\frac{1}{\gamma}}.$$

Le rendement volumétrique, en ne tenant compte que de l'espace nuisible, est par suite égal à

$$\frac{V - \frac{V}{r} \left( \frac{p_1}{p_0} \right)^{\frac{1}{\gamma}}}{V} = 1 - \frac{n}{r},$$

$n$  désignant le rapport de la pression finale à la pression initiale. On voit que l'influence de l'espace nuisible est d'autant plus considérable que la pression finale est plus grande par rapport à la pression initiale et que l'espace nuisible est plus grand.

L'usage des pistons hydrauliques, employé

en vue de rafraîchir l'air comprimé, a surtout pour effet de supprimer l'espace nuisible. Nous en parlerons plus loin (§ 21).

L'espace nuisible est sans influence sur le rendement dynamique parce que l'air contenu dans l'espace nuisible restitue au piston le travail qui a servi à le comprimer.

**18. Section des orifices d'aspiration et de refoulement.** — Cette section doit être telle que le passage de l'air s'y effectue sans étirage, sans dépression sensible. Il est évident que, si à l'admission l'air est étiré, le rendement volumétrique diminue. Cependant cet inconvénient n'est à craindre qu'autant que la dépression persiste pendant toute la course du piston; et si le gaz peut prendre la pression extérieure avant l'arrivée du piston à l'extrémité de sa course pendant l'aspiration, le cylindre est rempli dans des conditions normales.

L'étranglement à la sortie donne lieu à une perte de travail, parce que le compresseur doit fournir de l'air à une pression plus élevée que celle qui règne dans le réservoir de refoulement.

Les sections des orifices dépendent évidemment de la vitesse du piston. La vitesse de l'air à l'entrée du cylindre pourra être de 15 mètres

par seconde environ et, à la sortie, elle pourra être de 25 mètres environ. La section pour l'aspiration est du  $\frac{1}{6}$  au  $\frac{1}{4}$  de la section du piston. Pour le refoulement, la section est du  $\frac{1}{20}$  au  $\frac{1}{10}$  de la section du piston. Il ne peut être que favorable d'augmenter ces dimensions, à la condition toutefois qu'on ne soit pas obligé d'augmenter les espaces nuisibles pour y arriver.

La levée pour les soupapes circulaires serait la meilleure possible si elle était du  $\frac{1}{4}$  du diamètre de la soupape, parce que l'air n'éprouverait pas d'étranglement à la sortie de la soupape. Dans les compresseurs, on donne de  $\frac{1}{8}$  à  $\frac{1}{6}$  du diamètre du siège.

**19. Conditions de fonctionnement des soupapes.** — La fermeture complète et rapide des orifices d'aspiration et de refoulement est une condition essentielle d'un bon fonctionnement des soupapes. Le retard de la fermeture à l'aspiration amènerait un refoulement, dans l'atmosphère, de l'air introduit dans le cylindre pendant l'aspiration; et le retard de la fermeture de la soupape de refoulement amènerait la rentrée dans le cylindre d'un certain volume d'air comprimé à la pression du réservoir.

Il est à remarquer que le temps que les soupapes mettent à se fermer est indépendant de la vitesse du piston, si les soupapes sont indépendantes du mécanisme. Il en résulte que l'influence mauvaise d'une fermeture lente est d'autant plus considérable que le piston donne un plus grand nombre de coups par minute.

Dans les compresseurs à faible vitesse, le poids des soupapes suffit pour produire une fermeture rapide, si toutefois la levée n'est point trop grande. Quand le nombre des coups de piston est considérable, il importe d'employer des dispositions spéciales. On a imaginé de solliciter les soupapes par des ressorts ayant pour effet de les ramener rapidement sur leur siège. Il peut en résulter une trop grande résistance à l'ouverture, ce qui est un inconvénient considérable à l'aspiration surtout. M. Reumaux a eu l'idée d'opérer mécaniquement l'ouverture au moyen de cames. Il a fait mieux encore en supprimant les ressorts et en facilitant la fermeture par injection d'eau sous pression contre une des faces de la soupape.

La solution la meilleure consiste à répartir la section d'aspiration et aussi la section de refoulement entre plusieurs orifices munis chacun de leur clapet. Ces clapets sont légèrement incli-

nés par rapport à la verticale, de sorte que leur poids agit dans le sens de la fermeture des orifices sans toutefois s'opposer trop au soulèvement du clapet. En un mot, ces clapets de petites dimensions ont une mobilité favorable à l'ouverture et à la fermeture des orifices.

A l'article *Télégraphe pneumatique*, nous décrivons les soupapes, dites Corliss, en usage aux compresseurs de l'Hôtel des Postes, soupapes dont le fonctionnement est excellent.

**20. Fuites par le piston.** — Les fuites par le piston diminuent quand la vitesse de celui-ci augmente. L'emploi de l'eau diminue considérablement l'influence des fuites par le piston.

**21. Échauffement de l'air.** — L'échauffement de l'air pendant la compression est aussi une cause de diminution du rendement volumétrique des compresseurs. Il suffit pour s'en rendre compte d'examiner sur la *fig. 3* la différence entre le volume de l'air dilaté refoulé dans le réservoir, à la température produite par la compression et sous l'influence des parois du cylindre, et le volume de cet air quand il est ramené à la température du réservoir sous la même pression.

Cet échauffement considérable de l'air dans le compresseur se dissipe très rapidement. Les

pouvoirs réfrigérants des surfaces des conduites, du réservoir, les diverses expansions que subit l'air soit dans le transport, soit par les fuites, ont bientôt fait de ramener la température de l'air à une moyenne de 30 degrés centigrades, même pour des pressions élevées. De sorte que si la compression de l'air, en l'échauffant, amène nécessairement au compresseur une diminution du volume d'air comprimé utilement, en même temps qu'une augmentation du travail pour comprimer cet air, elle ne peut produire une augmentation de température persistant jusqu'aux machines réceptrices et pouvant combattre l'effet du refroidissement de l'air produit dans ces dernières machines par l'expansion. Il faudra, pour augmenter l'effet utile dans ces dernières machines, avoir recours à des moyens d'échauffement.

Ajoutons que pour combattre l'échauffement au compresseur, l'emploi du piston hydraulique est peu efficace. La couche d'eau au contact avec l'air s'échauffe rapidement et devient sans action sur l'air aspiré. Il est probable que le refroidissement n'est dû surtout qu'à la mince couche d'humidité qui recouvre les parois du cylindre. Le moyen efficace de refroidissement consiste dans l'injection d'une certaine quantité d'eau pulvérisée. Il est dû au professeur Colladon.

Les points de contact de l'eau avec l'air sont rendus aussi nombreux que possible par la pulvérisation.

Nous avons donné (p. 36) le calcul de la quantité d'eau à injecter.

**22. Evaluation du rendement d'un compresseur.** — Le rendement volumétrique peut s'obtenir en calculant le nombre des coups de piston nécessaires pour remplir un réservoir connu d'air à la température ordinaire et à la pression que doit produire le compresseur et en mesurant ensuite le nombre de coups nécessaires pour que le compresseur ait effectivement rempli le réservoir d'air à la pression considérée. Le rapport de ces deux nombres est le *rendement volumétrique*.

Pour que cette expérience soit rigoureuse, il faut que la pression dans le réservoir soit maintenue constante depuis le commencement jusqu'à la fin de l'expérience. Un moyen de maintenir une pression constante dans un réservoir recevant de l'air comprimé consiste à le mettre en communication avec un réservoir d'eau d'altitude convenable.

Pour se rendre compte de l'emploi du travail fourni par la vapeur en vue de comprimer de l'air, il faut relever un diagramme au cylindre à

vapeur et en relever un au cylindre compresseur. Soient  $\tau_v$ , le travail indiqué de la vapeur au cylindre à vapeur;  $\tau_c$ , le travail indiqué par le diagramme au compresseur et enfin  $\tau_i$ , le travail qu'il faudrait dépenser pour comprimer à température constante le poids d'air fourni par le compresseur.  $\tau_v - \tau_c$  représente le travail dépensé en frottement à la machine motrice, au condenseur, dans les organes secondaires, le travail des pompes d'injection, et le reste.  $\tau_c$  est le travail uniquement employé à la compression et à l'emmagasinement de l'air comprimé. Enfin  $\tau_c - \tau_i$  représente la quantité de travail employé à l'échauffement de l'air et celle qui résulte des étranglements tant à l'entrée qu'à la sortie.

Le *rendement dynamique*, c'est-à-dire le rapport entre le travail nécessaire pour comprimer à température constante le poids d'air fourni par le compresseur et le travail total que pourrait produire la vapeur, est le quotient  $\frac{\tau_i}{\tau_v}$ .

Supposons les données suivantes :

Diamètre du piston . . . . .	0 <sup>m</sup> ,54
Course . . . . .	1 <sup>m</sup> ,10
Nombre de tours par minute . . . . .	27
Travail indiqué de la vapeur . . . . .	52 <sup>ch</sup> ,5

Travail relevé au diagramme du compresseur, employé à la compression et au refoulement de l'air . . .	45 <sup>ch</sup> ,70
Compression absolue . . . . .	4 <sup>atm</sup> .
Rendement volumétrique . . . . .	0,90

On a (formule p. 17)

$$\varepsilon_i = \frac{1}{75} \cdot 0,90 \cdot 10333 \cdot \frac{\pi \overline{0,54}^2 \cdot 1,10}{4} \\ \times \frac{2 \cdot 27}{30} \cdot 2,30259 \log 4.$$

Tout calcul fait,

$$\varepsilon_i = 38^{\text{ch}},94,$$

D'après cela :

Le travail dépensé en résistances passives est  $52,5 - 45,7 = 6,8$  soit  $\frac{6,8}{52,5} = 0,13$  du travail indiqué.

Le travail résultant de l'échauffement de l'air et des étranglements est  $45,70 - 38,94 = 6,76$  soit environ 0,128 du travail indiqué.

Le rendement dynamique est  $\frac{38,94}{52,5} = 0,74$ .

*Rendement volumétrique.* — Le rendement volumétrique peut être pris égal à 0,90 avec des compresseurs bien construits.

*Rendement dynamique.* — Les compresseurs à piston hydraulique fonctionnant à 2 atmosphères absolues et une vitesse du piston de  $0^m,33$ , peuvent avoir un rendement de 0,90. Ce rendement s'abaisse à 0,75 s'ils fonctionnent à 8 atmosphères et avec une vitesse de piston de  $0^m,75$ .

Un compresseur à action directe et à injection d'eau pulvérisée peut fonctionner à des pressions absolues de 8 et 10 atmosphères, avec une vitesse de  $1^m,75$  du piston, et le rendement peut atteindre néanmoins 0,80.

Ces derniers compresseurs sont beaucoup moins chers que les premiers, où l'entrée de l'eau est mal réglée et où la quantité d'eau, qui est dans le cylindre, est trois ou quatre fois ce qui est nécessaire pour la pulvérisation.

### 23. Vitesse du piston des compresseurs. —

Les dimensions du cylindre sont basées sur la règle suivante : on ne doit pas dépasser environ 15 tours pour les compresseurs à piston hydraulique et 60 pour les compresseurs à action directe.

On tiendra compte du rendement volumétrique. On prendra ensuite une vitesse du piston qui sera environ de  $0^m,75$  pour les compresseurs à piston hydraulique et de  $1^m,75$  pour les autres.

Le refroidissement par la surface du cylindre



ne pouvant avoir qu'un effet utile au bon fonctionnement, il n'y a aucun inconvénient à allonger la course relativement au diamètre, dans le cas où cela serait nécessaire,

## II. MACHINES RÉCEPTRICES

**24. Lumières de distribution.** — Les lumières d'entrée et de sortie de l'air, actionnant les machines réceptrices, doivent être calculées de manière que la vitesse de l'air y soit à peu près égale à la vitesse de la vapeur dans les lumières de distribution des machines à vapeur. Or, les vitesses d'écoulement des gaz, toutes choses égales d'ailleurs, sont entre elles en raison inverse des densités. Les lumières des distributions pour l'air seront donc à celles destinées à la vapeur dans le rapport de la densité de l'air à celle de la vapeur considérée à la même pression.

Généralement, la section des lumières pour l'air comprimé approche du  $\frac{1}{20}$  de celle du piston.

**25. Pression de l'air et détente. Réchauffeurs.** — Les hautes pressions et la détente ont pour avantage de permettre l'emploi de conduites

moins grandes et de diminuer par suite considérablement les frais de premier établissement.

Il y a encore beaucoup de machines fonctionnant à 2 atmosphères. A moins d'employer des artifices pour se débarrasser de la glace qui se produit pendant la détente, on ne peut fonctionner régulièrement à plus de 5 atmosphères.

Des études que nous avons faites sur la théorie des machines à air, il résulte que le rendement descend considérablement à mesure que la pression à laquelle on emploie l'air est plus grande.

Il peut cependant se présenter des cas où l'emploi de l'air sous une haute pression devient nécessaire. Il est alors indispensable de prendre des moyens pour relever la température finale après détente. Nous avons indiqué (p. 47) la quantité d'eau chaude qu'il faudrait injecter au cylindre de la machine réceptrice pour qu'elle pût fonctionner à détente complète. Cette injection d'eau chaude a été indiquée par M. Siemens en Angleterre et par M. Cornet en Belgique. Ce dernier même en a fait l'application.

MM. Hurd et Simpson, en Angleterre, ont eu l'idée de réchauffer l'air avant son entrée dans la machine réceptrice. Sur la conduite d'air, près de la machine, ils installent un fourneau de

charbon qu'ils alimentent avec l'air même de la conduite. Ce moyen a paru être peu efficace et surtout peu commode.

Il est préférable d'agir sur l'air à l'intérieur même de la machine et pendant qu'il se détend. C'est ce qui aurait lieu en injectant de l'eau chaude.

M. Mékarski, dans les machines de traction dont il est l'inventeur, emploie de l'air comprimé à 25 atmosphères. Entre les réservoirs qui contiennent cet air, et dont la contenance est d'environ  $2\text{m}^3$ , il place un petit réservoir d'eau surchauffée à  $180^\circ$  et fournie par une chaudière à 10 atmosphères par conséquent. L'air des réservoirs, avant de passer sous les pistons de la machine, doit circuler dans cette eau. C'est un mélange d'air et d'eau vaporisée qui se détend dans les cylindres de la machine. La chaleur ainsi fournie à l'air augmente le travail qu'il pourrait donner et permet en outre d'utiliser une détente assez forte.

Beaucoup de machines marchent à pleine pression. Le rendement d'une machine à pleine pression n'est qu'une fraction du rendement obtenu dans la marche à détente complète et cette fraction décroît rapidement quand la pression de l'air augmente. La marche à pleine

pression entraîne donc la marche à basse pression, moins de 3 atmosphères. L'avantage de cette marche est dans ce fait qu'il n'y a pas de refroidissement trop grand à l'intérieur de la machine, qu'il ne s'en produit que dans la détente brusque dont le siège est dans les orifices de sortie, de sorte que la glace qui se produit dans ces orifices est chassée par l'air dont la vitesse est très grande.

Les machines à détente, pour lesquelles on n'emploie point de système particulier pour réchauffer, ont de faibles détentes. On va le plus souvent jusqu'à la moitié de la course sans détendre.

**26. Rendement total des transmissions à air comprimé.** — Le rendement des transmissions par l'air comprimé et aussi par l'air raréfié est très faible relativement à d'autres modes de distribution de la force motrice. En effet, les compresseurs peuvent toujours être considérés comme ayant un bon rendement, soit 0,80 ; mais les machines à air, destinées généralement à un travail irrégulier, ont une construction nécessairement peu soignée, un entretien souvent difficile, et ne peuvent guère donner un rendement supérieur à 0,60 en moyenne.

Nous trouvons, en ne tenant pas compte des pertes résultant de la conduite, que le rendement total d'une transmission par air comprimé serait au maximum de  $0,80 \times 0,60 = 0,48$ .

On estime qu'avec une marche à pression un peu élevée, le rendement total n'est que de 20 à 25 % du travail indiqué au cylindre de la machine à vapeur actionnant les compresseurs et qu'avec une marche à basse pression, ce rendement peut être de 35 à 40 %.

#### 27. Rendement des machines à air. —

Dans les machines bien construites et dont les proportions sont les meilleures pour le travail qu'on leur demande, le rendement le meilleur que l'on ait obtenu est 0,70 à 0,75 du travail que l'air pourrait fournir.

Dans les machines destinées à un travail variable ou mal soignées, le rendement descend à 0,55.

### III. RÉSERVOIRS ET CONDUITES

28. Réservoirs. — Près des compresseurs sont installés des réservoirs où se rend l'air comprimé avant de s'engager dans la conduite. Ces appareils ont un double rôle à remplir: ils sont

des *régulateurs de pression* et des *accumulateurs de travail*. Pour ce double service, il est favorable de leur donner le plus grand volume possible.

Comme *régulateurs de pression*, ils sont destinés à corriger l'irrégularité qui résulterait du fonctionnement même du compresseur et des arrêts des machines à air. Trois à cinq fois, le volume fourni par le compresseur en une minute serait une dimension suffisante à donner aux réservoirs pour cette fonction.

Comme *accumulateurs*, ils ont pour effet de parer aux arrêts des compresseurs. Il est simplement nécessaire de considérer les arrêts pour les menues réparations, telles que changements de clapets, réfection d'un joint. Pour ce service, il suffirait de leur donner un volume nécessaire pour recevoir la production des compresseurs pour 15 à 20 minutes.

Dans les villes, où les variations du travail des machines à air sont faibles relativement à l'ensemble de la puissance à transporter et où l'usine à comprimer l'air est spécialement destinée à ce travail, les réservoirs n'ont pas besoin d'être d'une grande dimension. Trente à quarante fois le volume fourni par le compresseur paraît constituer un volume suffisant pour les réservoirs. Dans les installations des télégraphes pneumati-

ques, le volume des réservoirs d'air est bien autrement considérable.

**29. Conduites.** — Il ne faut point oublier que la conduite constitue une des plus grosses dépenses de l'installation d'une transmission de force motrice. L'emploi des hautes pressions et de la détente, facilité par les détendeurs, réchauffeurs et autres appareils, permet une économie considérable dans l'établissement de la conduite.

Pour appliquer à une longue conduite les formules de la p. 52, il suffirait de fractionner cette conduite en tronçons suffisamment courts.

Voici un tableau résumant les expériences faites au Mont-Cenis par MM. Grandis, Sommeiller et Grattoni :

Vitesse de l'air à l'origine des conduites en mètres par seconde	Perte de pression en millimètres de mercure observée dans des conduites de 1000 mètres de longueur et d'un diamètre intérieur de					
	0 <sup>m</sup> ,10	0 <sup>m</sup> ,15	0 <sup>m</sup> ,20	0 <sup>m</sup> ,25	0 <sup>m</sup> ,30	0 <sup>m</sup> ,35
1	6	4	3	3	2	2
2	26	18	13	11	9	8
3	62	42	31	25	21	18
4	108	72	54	44	36	31
5	167	112	84	67	56	48
6	233	156	117	94	78	67

#### IV. DÉTAILS D'ÉTABLISSEMENT ET DE CONSTRUCTION

**30. Connexion du compresseur et d'un moteur à vapeur.** — La connexion la plus directe, celle qui consisterait à rendre le piston du compresseur solidaire de celui de la machine à vapeur, aurait pour inconvénient d'exiger un volant considérable. La plus faible pression au cylindre répond, en effet, à la plus forte pression au compresseur et inversement. Ces pressions sont directement opposées, donc il y aurait toujours un écart considérable entre le travail résistant et le travail moteur et par suite, la régularité de marche ne pourrait être obtenue que par l'emploi d'un volant d'un poids considérable.

Pour éviter cet inconvénient, il faut avoir recours aux moteurs conjugués ou aux accouplements par manivelles calées sous des angles tels que la plus grande résistance corresponde à la plus grande puissance.

**31. Pistons.** — Les pistons doivent être d'une construction fort légère. Dans les grandes machines horizontales, on prolonge quelquefois la

tige du piston de manière qu'elle traverse les deux fonds du cylindre. Le piston est ainsi soutenu et guidé. L'usure est rendue plus régulière et moins grande.

Le presse-étoupes peut être surmonté ou précédé, suivant la position du cylindre, d'une petite bêche contenant de l'eau destinée à refroidir la tige du piston. Enfin, cette tige peut être garnie d'une enveloppe en bronze qui la garantit de l'action oxydante de l'eau chargée d'air.

**32. Orifices de sortie des machines réceptrices.** — Les orifices de sortie des machines réceptrices d'air comprimé doivent être très courts, afin qu'il n'y ait pas à craindre l'obstruction par la glace. Ces orifices doivent être percés au bas du cylindre s'il est placé horizontalement. La lumière de ces orifices doit être très abordable. Dans certaines dispositions, on a supprimé la boîte de distribution; la coquille est maintenue sur la glace par la pression qu'elle reçoit dans une glissière où elle se déplace. L'air comprimé arrive par la lumière centrale et l'échappement se fait directement dans l'atmosphère.

**33. Garnitures.** — La tendance est à l'em-

ploi des garnitures métalliques. Cependant, les pistons de compresseurs peuvent être garnis de chanvre, de cuir gras, quand ils fonctionnent à basse pression, 2 atmosphères. On peut employer le cuir embouti pour les moyennes pressions de 3,5 à 4,5 atmosphères. Pour les hautes pressions, les garnitures métalliques s'imposent ; la chaleur résultant de la compression de l'air aurait bientôt détruit toute autre garniture. Quelques constructeurs ont simplement muni le piston de rainures circonférencielles qui constituent des bourrelets d'air.

Pour les machines réceptrices, le cuir embouti avec garniture du cylindre formée d'une chemise en bronze constitue un bon joint au piston, au point de vue de l'herméticité et du frottement ; mais la garniture métallique du piston est d'un bon usage.

**34. Presse-étoupes.** — Dans les compresseurs hydrauliques, les garnitures de chanvre sont suffisantes.

Dans les autres cas, il faut employer les rondelles de cuir gras, les cuirs emboutis, les garnitures métalliques même, si la chaleur dégagée pouvait devenir grande.

**35. Graissage.** — Pour les compresseurs hydrauliques, le graissage est inutile, sauf au presse-étoupes qu'il faut maintenir très gras. Pour les compresseurs à action directe sur l'air, il faut employer le graphite ou l'eau de savon, si les clapets sont en caoutchouc, et le suif, s'ils sont métalliques.

Pour les machines réceptrices, marchant sans détente, l'huile est préférable à tout autre lubrifiant; cependant, il ne faut pas qu'elle puisse s'accumuler près de l'orifice d'échappement, parce que là s'opère l'abaissement considérable de température correspondant à la détente brusque de l'air qui se dégage dans l'atmosphère et l'huile gèlerait près des lumières d'échappement plus facilement encore que l'eau de condensation. Dans les cas où les machines réceptrices fonctionnent à une détente, même faible, l'huile se congèle et enraye la machine, il convient de graisser avec du suif.

**36. Collecteur.** — Près des compresseurs, il faut placer un collecteur pour recueillir l'eau qui en sort avec l'air comprimé. Cet appareil est surtout indispensable dans les cas où il y a injection d'eau au compresseur.

Cet appareil est rendu automatique par un

flotteur relié à un robinet purgeur placé au bas. Un indicateur de niveau doit se trouver sur le collecteur.

**37. Clapet de retraite.** — Ce clapet est placé entre les compresseurs et les réservoirs ; il est destiné à éviter la sortie de l'air comprimé du côté des compresseurs dans le cas où ceux-ci subiraient un arrêt considérable.

**38. Réservoirs.** — Les réservoirs sont des cylindres en tôle de 1 à 2 mètres de diamètre, fermés par des calottes sphériques. Si la place est grande pour l'installation des appareils, on les établit horizontalement, ou plutôt on ne leur donne qu'une très légère pente, celle qui peut permettre à l'eau qu'ils reçoivent de s'accumuler vers un purgeur. Si la place manque, on les met verticalement.

Les réservoirs doivent être munis d'un purgeur, d'un indicateur de niveau, d'un manomètre et d'un appareil de sûreté.

**39. Régulateur de pression.** — S'il était nécessaire d'avoir une pression rigoureusement constante dans le cours de la transmission, on

pourrait recourir au moyen suivant : les réservoirs seraient mis en communication avec un réservoir d'eau dont l'altitude répondrait à la pression qu'il s'agirait de tenir constante.

**40. Matière des tuyaux.** — Le *fer étiré* donne des tuyaux légers et ayant une précieuse flexibilité : jusqu'à 0<sup>m</sup>,10 de diamètre, ces tuyaux peuvent être coudés jusque sur 6 mètres de rayon. Les tuyaux en fer étiré sont meilleur marché que les tuyaux en fonte jusqu'à 0<sup>m</sup>,10 de diamètre au moins. Ils pèsent un tiers du poids des tuyaux de fonte.

Les tuyaux de *fonte* sont préférables dans les endroits où la conduite peut être soumise à des frottements et surtout quand elle est exposée à l'action d'eaux corrosives.

Le *cuivre* est trop cher pour être employé dans le cours de la conduite, mais la malléabilité du cuivre le rend précieux pour les tuyaux qui doivent être coudés sur place, suivant des contours compliqués. De plus, en raison de son élasticité, on l'emploie pour les pièces destinées à parer aux inconvénients de la dilatation.

Le *caoutchouc* est destiné aux raccords qui doivent avoir une flexibilité complète.

**41. Joints.** — Les joints sont rendus hermétiques par la compression d'une cordelette de caoutchouc dans les rainures des collets.

On peut encore comprimer une rondelle de caoutchouc entre deux collets tournés et sur lesquels on a tracé deux grains d'orge circulaires dans lesquels pénètre le caoutchouc quand il est comprimé entre les brides.

**42. Points d'appui de la conduite.** — Dans les galeries où la température est constante, dans les égouts, les conduites d'air sont soutenues par des crampons ou par des étriers. Dans les endroits où la température varie et pour les conduites soumises aux variations atmosphériques, on emploie, pour soutenir les tuyaux, des massifs de maçonnerie, sur lesquels ils reposent par l'intermédiaire de rouleaux, de sorte qu'ils ne soient point gênés dans les mouvements qui résultent de la dilatation. Il faut avoir soin, pour les conduites placées dans ces conditions, d'établir des points fixes ; on choisit, de préférence, les coudes, les changements de direction.

Le *plomb* doit être exclus ; il est trop malléable pour entrer dans la composition de conduites exposées à des chocs.

**43. Dilatation des tuyaux.** — Pour compléter les dispositions précédentes, prises contre la dilatation, et pour faciliter, d'ailleurs, le montage et le démontage des tuyaux, on dispose, de distance en distance, sur la conduite, des pièces élastiques.

On se sert de tuyaux en cuivre recourbés plusieurs fois ; leur forme est celle d'un  $\Omega$ .

On fait encore usage de boîtes de dilatation, composées d'un bout mâle attaché à une partie de la conduite et pénétrant dans un bout femelle attaché à l'autre partie de la conduite. Le bout femelle est garni d'un cuir embouti retenu par une couronne boulonnée sur un collet extérieur terminant le bout femelle. Par l'effet de ce cuir, le bout mâle ne peut pénétrer qu'à frottement et le joint est hermétique tout en présentant une mobilité suffisante.

**44. Purgeurs.** — Aux points bas de la conduite il faut établir des collecteurs pour l'eau qui se condense et au bas de ces collecteurs des robinets purgeurs.

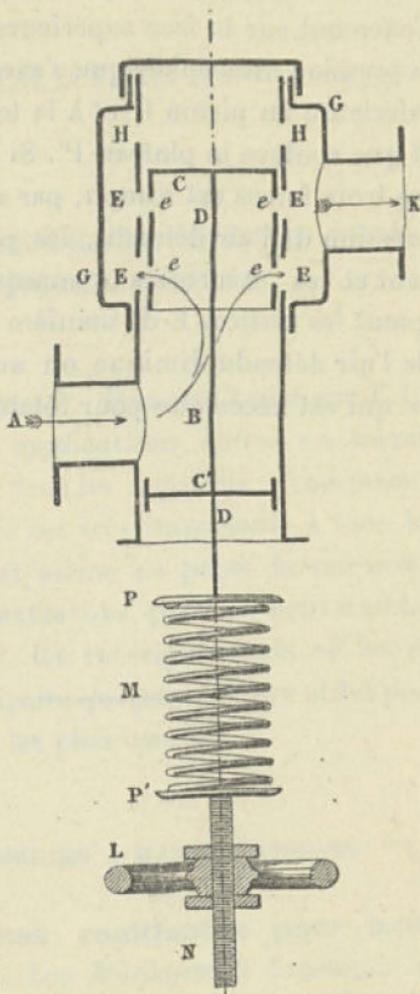
45. — On place un clapet de retraite à l'extrémité des conduites d'air comprimé dans les fonçages de puits ou de piles de ponts. Près des machines fixes, on met un réservoir ayant pour but d'empêcher l'air de prendre une vitesse trop grande à l'extrémité de la conduite au moment de la mise en train. Pour les machines mobiles on établit des conduites flexibles et pour les machines multiples des distributeurs d'air.

**46. Détendeurs et régulateurs de pression.** — Enfin, dans certaines circonstances, on est obligé de détendre l'air comprimé de manière à ne l'admettre dans la machine qu'à une pression bien inférieure à celle qu'il a reçue au compresseur. La *fig. 4* représente le détendeur que M. Ribourt a inventé pour les locomotives à air comprimé.

Le jeu de cet appareil est facile à comprendre. Si les ouvertures *e* du piston C sont en face des pleins du cylindre B, il ne passe point d'air de A en K. Si, en agissant sur la vis N, on relève le plateau P', le système des pistons C, C' se relève et les orifices *e* démasquent plus ou moins les orifices E. L'air pénètre dans la chambre G et au-dessus du piston C. Sa pression est en rap-

Fig. 4

- A, tubulure d'arrivée de l'air comprimé.  
 B, cylindre dans lequel se déplace un système de deux pistons G, C'.  
 C, C', deux pistons solidarisés par la tige D.  
 E, orifices par où l'air pénètre dans une chambre G.  
 G, chambre où l'air est détendu et qui communique par les orifices H avec le dessus du piston C.  
 K, tuyau par où s'échappe l'air détendu pour aller à la machine à air.  
 L, manette dont le moyeu est un écrou qui produit le mouvement vertical de la vis N fixée à un plateau P.  
 M, est un ressort qui éloigne du plateau fixe P le plateau P' auquel est fixée la tige DD' qui porte les pistons C, C'.



port avec le passage laissé libre. Le système des pistons est soumis à la pression de l'air détendu s'exerçant sur la face supérieure du piston  $C$ , à la pression atmosphérique s'exerçant sur la face inférieure du piston  $C'$  et à la tension du ressort  $M$  que soulève le plateau  $P'$ . Si l'équilibre entre ces trois forces est rompu, par une variation de pression de l'air détendu, les pistons se déplacent et les ouvertures  $e$  masquent ou démasquent les orifices  $E$  de manière que la pression de l'air détendu diminue ou augmente suivant ce qui est nécessaire pour rétablir l'équilibre.

---

## CHAPITRE V

---

### DIMENSIONS GÉNÉRALES ET EFFET UTILE DES COMPRESSEURS

47. — M. Pernolet, dans son traité sur l'*Air comprimé et ses applications*, donne un travail très complet sur tous les appareils à comprimer l'air. Cette étude est très importante à tous les points de vue et même au point de vue historique. Nous en extrayons, pour un petit nombre de types choisis, les renseignements et les dimensions principales qui peuvent être utiles pour les applications les plus usuelles.

#### COMPRESSEURS A BASSE PRESSION

48. **Machines soufflantes pour hauts fourneaux.** — Les *Machines à balancier* ont l'avantage de tenir moins de place que les ma-

chines horizontales et d'avoir des frottements moindres.

Les *Machines horizontales à action directe* ont l'avantage de coûter moins cher que les précédentes et d'être d'un entretien facile.

Les *Machines à cylindres superposés verticalement*, c'est-à-dire celles où le cylindre soufflant est placé au-dessus du cylindre à vapeur, réunissent les avantages des machines à balanciers et coûtent moins cher; de sorte qu'il y aurait lieu de les préférer, laissant de côté la facilité d'entretien qui est moins grande que dans les machines horizontales.

Dans les machines à balanciers citées au tableau n° 1 des p. 110 et 111, les clapets sont en cuir avec surcharge métallique et battent sur des grilles en fonte. Les orifices d'admission dans le *type d'Ebbw-Vale* occupent une surface qui est plus du double de celle qui est affectée aux orifices de refoulement.

Les garnitures de piston sont en cuir.

Dans la *Machine horizontale de Thomas et Laurens*, c'est le jeu d'un tiroir qui règle l'entrée de l'air atmosphérique et la sortie de l'air comprimé.

Dans la *Machine horizontale de Farcot et fils* les clapets sont en cuir battant sur des

grilles en fonte disposées sur les fonds du cylindre. Les clapets d'aspiration sont sur deux rangs sur les moitiés supérieures des fonds de cylindre. Le rang supérieur de chaque fond tourne autour d'axes verticaux et le rang inférieur autour d'axes horizontaux. Les clapets de refoulement occupent sur deux rangs la moitié inférieure de la surface des fonds, et ils tournent les uns et les autres, autour d'axes verticaux.

Dans la *Machine horizontale Georgs-Marien Hütte*, les clapets ont une disposition analogue à celle adoptée par Farcot et fils.

Dans la *Machine soufflante à cylindres superposés de la Société Cockerill*, la surface des orifices d'aspiration est  $0^{\text{m}^2},80$ , soit environ  $0,22$  de la surface du piston. Les orifices d'échappement ont une surface totale de  $0^{\text{m}^2},24$ , soit environ  $0,08$  de la surface du piston.

Dans la *Machine du Creusot*, les orifices d'aspiration et de refoulement ont  $1^{\text{m}^2},66$ , soit  $0,235$  de la section totale du cylindre, et la vitesse de l'air, passant dans ces orifices, est de  $4^{\text{m}},25$  par seconde.

## COMPRESSEURS A MOYENNE PRESSION

49. — Les compresseurs employés pour le fonçage des puits de mines n'ont besoin que d'un faible débit et leur construction est moins soignée que celle des compresseurs destinés aux grands travaux, tels que fondations de piles de pont.

Nous donnons quelques types de compresseurs à pression moyenne (tableau n° 2, p. 112 et 113). Les garnitures des clapets et des pistons peuvent être faites en cuir. Cependant on emploie les garnitures métalliques au piston, exemple : le *compresseur Cail employé au pont de Kehl*. Dans ce compresseur, les orifices d'aspiration forment 0,90 de la surface du piston. Ce n'est pas une disposition favorable parce qu'il a fallu augmenter considérablement les espaces nuisibles pour arriver à ce résultat. C'est dans ce compresseur que fut, pour la première fois, injectée de l'eau en vue de refroidir l'air comprimé ; et cette idée est venue à M. Maréchal, directeur du matériel aux travaux du pont de Kehl. Cette injection était faite dans la caisse à air, réservoir d'air qui surmontait le compresseur. Plus tard, c'est dans le cylindre même que l'injection fut faite.

*Le Compresseur du Creusot pour convertis-*

seur Bessemer se compose de deux compresseurs

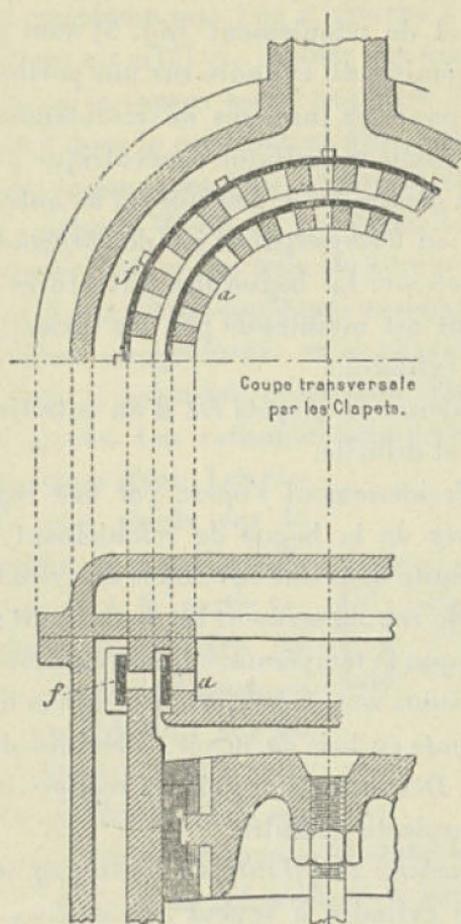


Fig. 5. — Coupe longitudinale d'un cylindre soufflant et du piston.

actionnés directement chacun par une machine

GOULLY — Air comprimé ou raréfié

à vapeur et les deux machines sont accouplées. Le système est horizontal. Les lumières d'admission et de refoulement (*fig. 5*) sont placées aux extrémités du cylindre sur une portion de sa surface pour les lumières de refoulement *f* et sur une partie cylindrique concentrique pour les lumières d'admission. Les unes et les autres sont ouvertes ou fermées par le jeu de *clapets-bagues* en caoutchouc. La bague des ouvertures de refoulement est maintenue par des étriers légers fixés au cylindre.

Ce système de clapets est d'un entretien très coûteux et difficile.

Le refroidissement s'opère par une injection d'eau près de la bague de refoulement; l'eau passe ensuite dans une enveloppe du cylindre. Ce procédé de refroidissement est insuffisant; on a constaté que la température finale était 60°.

Les pistons sont légers, à garniture composée de segments en bois de noyer, chevillés de bois de gaïac. Des ressorts arqués les repoussent contre les parois du cylindre.

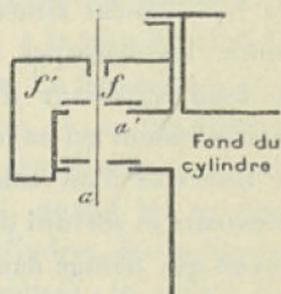
La *Machine soufflante de Pittsburg* est verticale; le cylindre à vapeur est au-dessous du cylindre compresseur. Les soupapes d'aspiration et de refoulement se partagent les fonds inférieur et supérieur du cylindre compresseur. Les cla-

pets sont de légers disques en caoutchouc, maintenus par des disques en laiton.

Le problème que l'on a cherché à résoudre à Bessèges est celui-ci : étudier une machine soufflante où la vapeur serait employée à grande détente et dont la distribution d'air serait faite au moyen de soupapes d'un entretien facile. On choisit la détente Woolf et, par suite, la machine à balancier malgré ses frais de premier établissement. La machine soufflante se compose de deux cylindres compresseurs mus chacun par une machine à balancier, et les deux machines sont conjuguées. Les cylindres sont entourés d'une circulation d'eau. Les clapets

sont placés sur le pourtour à la partie inférieure et à la partie supérieure du cylindre. Ils sont formés de disques en fer garnis de cuir sur les deux faces et enfilés deux par deux sur une tige qui traverse toute la couronne formant les chapelles d'aspiration et de refoulement et battent sur des sièges en bronze (*fig. 6*). La surface totale des orifices d'aspiration est  $0\text{m}^2,2586$ , soit  $0,283$  de la surface du piston ; la surface des orifices de re-

Fig. 6



foulement est de  $0^{\text{m}^2}$ ,1985, soit 0,216 de la surface du piston.

La température du gaz à la sortie du compresseur est de  $60^{\circ}$ .

Le compresseur *Randolph* des *Houillères de Govan*, près Glasgow : machine à balancier commandant deux cylindres compresseurs. Le piston de chacun des compresseurs est muni de soupapes d'aspiration, noyées dans une couche d'eau constamment renouvelée. L'aspiration se fait par le bas du cylindre pendant que le piston monte ; quand il descend, l'air passe au-dessus du piston ; cet air est comprimé quand le piston monte et il s'échappe ensuite dans des chapelles de refoulement situées au-dessus des compresseurs, les soupapes de refoulement étant dans le fond supérieur du cylindre. L'eau de refroidissement est envoyée par une pompe dans le réservoir d'air compris entre les deux compresseurs et servant de support au balancier. Un tuyau qui plonge dans cette eau et débouche au haut du cylindre déverse de l'eau sur le piston.

Les soupapes de refoulement et celles d'aspiration se composent de sphères en laiton de  $0^{\text{m}}$ ,050 de diamètre reposant sur un siège en laiton. Il y en a 44 pour l'aspiration et 44 pour le refoulement.

Les soupapes de refoulement sont constamment plongées dans l'eau. L'eau, qui est sur le piston, passe avec l'air au-dessus des clapets de refoulement et l'excès tombe dans le réservoir intermédiaire et se mêle à l'eau froide fournie par la pompe.

La température de l'air comprimé est environ de 46°.

## COMPRESSEURS A HAUTE PRESSION

50. — Ce sont les appareils de cette classe (tableau n° 3, p. 114 et 115) qui doivent surtout être considérés comme servant à la transmission de la force motrice à distance. La pression de l'air s'y élève de 4 à 8 atmosphères. Or, les machines à air qui sont les plus employées fonctionnent au-dessus de 3 atmosphères et, quand les moyens de réchauffer l'air aux cylindres des machines réceptrices se seront généralisés, ce seront des pressions de 6 et 7 atmosphères que l'on emploiera. En effet, l'économie réalisée par les grandes pressions est considérable sur les frais de premier établissement et sur les frais d'entretien.

C'est M. Triger qui, le premier, a reconnu l'uti-

lité de l'injection d'eau. Il a préconisé tout au moins l'emploi d'une couche d'eau sur le piston des compresseurs. Cette couche d'eau a pour effet : 1° de faire un joint hermétique, 2° de lubrifier les parois du cylindre, 3° d'être un moyen de réfrigération plus actif que la circulation d'eau à l'extérieur du cylindre puisque c'est sur les parois en contact avec le gaz que l'action de l'eau peut surtout être efficace à ce point de vue.

Diverses machines ont été établies avec des compresseurs à couches d'eau sur cylindre. Nous en donnons une bien construite et bien étudiée, celle de Randolph, citée aux compresseurs de pression moyenne.

En 1872, M. Benjamin Roy, à Vevey, fut chargé par M. Favre de la construction des *compresseurs à installer à Gœschenen*, entrée nord du tunnel de Saint-Gothard. Le refroidissement, dans ces appareils, fut obtenu par courant d'eau parcourant la tige creuse du piston, se répandant dans le piston pour être distribuée sur son pourtour au moyen d'une rainure qu'il portait sur sa partie cylindrique.

Ce système se prête aux grandes vitesses et peut s'appliquer aux compresseurs à double effet.

La *Compagnie des Forges et Fonderies de l'Horme* a étudié, d'après le système breveté Benjamin Roy, un compresseur pour mines. Le système du refroidissement est celui que nous venons de décrire. La machine se compose de deux cylindres compresseurs horizontaux placés sur les prolongements des bâtis d'une machine à vapeur à deux cylindres conjugués. Le volant est commun aux deux machines. Les soupapes d'aspiration ont une surface de 0,146 de celle du piston. La surface de refoulement est 0,044 de celle du piston. Les soupapes en acier, garnies de cuir gras ou de caoutchouc, sont ramenées sur leurs sièges par des ressorts à boudin.

Le refroidissement dans le *compresseur Révollier, Biatrix et C<sup>ie</sup>* est obtenu par *injection d'eau* au cylindre et par circulation d'eau autour du cylindre. Cette machine est agencée comme la précédente dans son ensemble.

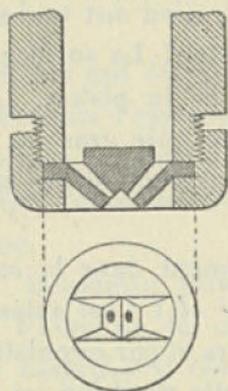
L'injection d'eau s'opère à chaque fond du cylindre par une gerbe d'eau lancée sous pression au travers de trous très fins.

La surface des orifices d'aspiration est 0,16 de celle du piston. La surface des orifices de refoulement est 0,13 de celle du piston.

Daniel Colladon, professeur à Genève, a ima-

giné un compresseur dans lequel le refroidissement est presque complet. Il injecte au cylindre de l'eau pulvérisée, ce qui augmente dans la limite du possible les surfaces de contact entre l'air et le réfrigérant, et il maintient une circulation autour du cylindre, dans la tige du piston. Nous donnons le type d'*Airolo* (*Tunnel de Saint-Gothard*). La circulation autour du cylindre et

Fig. 7



dans les fonds s'obtient par une pompe établie latéralement au cylindre et prenant son mouvement sur la traverse d'attelage de la tige du piston du compresseur. La même pompe chasse de l'eau dans la tige du piston et dans le piston lui-même. La tige du piston qui traverse les deux fonds du cylindre est creuse et contient un tube en cuivre. L'eau arrive par un tube fixé à l'ar-

rière du cylindre compresseur et qui pénètre à frottement dans le tube de cuivre de la tige du piston ; elle parcourt ce dernier tube et revient dans l'espace compris entre ce tube et la tige du piston ; dans le parcours elle pénètre dans le piston. Revenue à l'extrémité de la tige du piston, l'eau sort par un tube en caoutchouc. L'eau pulvérisée est envoyée par la même pompe ; elle est lancée de chaque fond par une petite buse (*fig. 7*) qui présente deux trous inclinés l'un vers l'autre, de telle sorte que les jets très minces qui se produisent ainsi se rencontrent sous un angle presque droit. Le choc produit la pulvérisation. La quantité d'eau injectée doit être telle que l'air soit saturé et qu'il y ait un léger excès d'eau liquide. La température de l'air comprimé peut se maintenir aux environs de  $40^{\circ}$ .

La surface des orifices d'aspiration est 0,11 de la surface du piston et la surface des orifices de refoulement en est les 0,04.

Les *compresseurs à pistons hydrauliques* ont été étudiés par M. Colladon qui a indiqué ce système dans son Mémoire présenté en 1852 au gouvernement sarde. M. Colladon rappelle que l'ingénieur Taylor s'était servi de pompes à piston hydraulique pour comprimer de l'air à 30 atmosphères. M. Pernolet donne la descrip-

tion de ces appareils empruntée à la première édition du *Traité de chimie appliquée aux arts*, de M. Dumas, 1828. M. Sommeiller, pour la première fois, les a employés en grand au percement du Mont-Cenis.

Ces appareils n'ont pas d'espace nuisible, la lubrification y est très bonne, le refroidissement de l'air y est satisfaisant. Ils sont d'un entretien facile lorsque l'eau ne contient pas de sable en suspension. Mais ces appareils sont volumineux parce qu'ils sont à petite vitesse, en raison de la masse considérable de l'eau qu'il faut mettre en mouvement à chaque impulsion et dont il faut détruire la force vive à chaque changement de sens du mouvement. De plus, s'il n'y a pas d'espace nuisible, il y a toutefois une perte sur le volume utile du cylindre, causée par l'excès d'eau que l'on introduit à chaque cylindrée.

Le principe du premier appareil Sommeiller consiste en ceci : un corps de pompe horizontal est muni à chacune de ses deux extrémités, d'une colonne verticale, au haut de laquelle se trouvent une soupape d'aspiration et une soupape de refoulement. Le piston de la pompe en se mouvant refoule d'un côté une masse d'eau, et l'air, qui est au-dessus, s'échappe dans la cha-

pelle de refoulement et le mouvement s'arrête quand il est sorti une certaine quantité d'eau destinée à baigner la soupape de refoulement. De l'autre côté, la colonne d'eau descend, fait le vide, et de l'air à la pression atmosphérique pénètre dans la colonne. Une pompe auxiliaire injecte au-dessus des pistons l'eau nécessaire pour remplacer celle qui s'échappe par le refoulement. Les soupapes sont coniques, en bronze, et ont les 0,25 de la surface du piston.

M. Kraft, ingénieur de la société Cockerill, a étudié et construit sur ce principe un compresseur pour les mines de Marihaye. Le piston a une garniture de cuirs emboutis disposés inversement.

La température de l'air comprimé y est de 40°.

Les compresseurs de *Ronchamp* et du *puits d'Haveluy (Anzin)* ne diffèrent du précédent que par des dispositions de détail.

La société *Cockerill* a construit une machine à comprimer l'air composée de deux compresseurs *Sommeiller*, placés chacun à la suite d'un cylindre à vapeur, l'ensemble étant conjugué de manière à n'avoir qu'un seul volant. La commande se fait directement entre chaque cylindre à vapeur et le compresseur correspondant. Il en résulte que la machine à vapeur ne fait que

15 tours par minute, ce qui n'est pas favorable *a priori* à un fonctionnement économique de la machine à vapeur. On évite, il est vrai, une transmission et les pertes qui en résultent, mais on a une machine considérable et dans laquelle les frottements sont plus grands que dans une machine à grande vitesse.

Le piston du compresseur est à garniture métallique. Les soupapes d'aspiration sont remplacées par des clapets en bronze à garniture de cuir, qui battent sur un siège en fonte légèrement incliné sur la verticale. Chaque soupape est précédée d'une petite bêche où s'accumule l'eau qui doit pénétrer dans le compresseur.

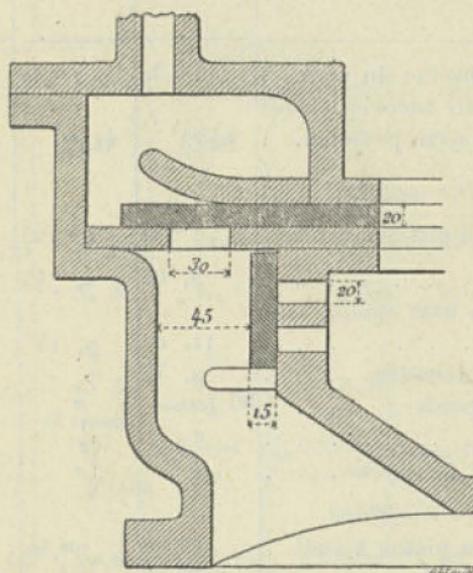
La tige du piston est garnie d'une chemise de bronze destinée à le protéger contre l'action oxydante du mélange d'eau et d'air des compresseurs.

Les *compresseurs Sievers* sont des compresseurs Sommeiller dans lesquels le piston est remplacé par un système de deux pistons plongeurs solidaires, agissant horizontalement pour faire mouvoir les colonnes liquides séparées l'une de l'autre.

Ces appareils offrent des détails de construction très intéressants.

Voici un croquis des soupapes de l'une des machines Sievers (*fig. 8*). La soupape d'aspiration est formée d'un cylindre en caoutchouc, de  $0^m,015$  d'épaisseur et de  $0^m,10$  de hauteur, appliqué sur la lanterne où se trouvent les orifices

Fig. 8



d'admission de l'air. La soupape de refoulement est formée d'un anneau plat en caoutchouc de  $0^m,020$  d'épaisseur fixé par son bord intérieur sur le siège horizontal où sont les orifices de refoulement. Sa levée est limitée par une butée.

Termes de comparaison	Machines soufflantes à balancier		
	d'Ebbw- Vale (pays de Galles).	de Shelton.	Nieder- rheinische Hütte à détente système Woolf.
Pression absolue du vent. . .	1 <sup>at</sup> ,30	1 <sup>at</sup> ,30	1 <sup>at</sup> ,30
Volume d'air théoriquement fourni à cette pression. . .	948m <sup>3</sup>	414m <sup>3</sup>	232m <sup>3</sup>
<i>Machine motrice.</i>			
Diamètre du piston à vapeur.	1 <sup>m</sup> ,83	1 <sup>m</sup> ,125	5. 1 <sup>m</sup> ,10 p. 0 <sup>m</sup> ,60
Course . . . . .	3, 66	2, 745	//
Balancier à bras égaux, lon- gueur . . . . .	11, 00	9, 15	9, 42
Volant — diamètre. . . . .	9, 35	7	6
poids . . . . .	85 tonnes	//	//
Détente . . . . .	//	$\frac{1}{2}$	//
Pression de la vapeur. . . . .	//	//	//
<i>Cylindre soufflant.</i>			
Diamètre du piston à vent . . .	3 <sup>m</sup> ,66	2 <sup>m</sup> ,50	2 <sup>m</sup> ,20
Surface du piston . . . . .	10 <sup>m</sup> <sup>2</sup> ,52	4 <sup>m</sup> <sup>2</sup> ,91	3 <sup>m</sup> <sup>2</sup> ,80
Course . . . . .	3 <sup>m</sup> ,66	2 <sup>m</sup> ,749	2 <sup>m</sup> ,20
Volume utile du cylindre . . .	38m <sup>3</sup> ,51	13m <sup>3</sup> ,49	8m <sup>3</sup> ,36
Nombre de tours par minute.	16 <sup>t</sup> à 17 <sup>t</sup>	20 <sup>t</sup> à 24 <sup>t</sup>	18 <sup>t</sup>
Vitesse du piston par seconde.	1 <sup>m</sup> ,9 à 42	1 <sup>m</sup> ,82 à 2,2	1 <sup>m</sup> ,32
Volume théorique engendré par minute . . . . .	123m <sup>3</sup> ,21	938m <sup>3</sup>	301m <sup>3</sup>

(1) Les types marqués d'un astérisque sont

Machines soufflantes horizontales			Machines verticales à cylindres superposés		
* Thomas et Laurens.	* Georgs Marien Hütte.	* Fareot et fils.	* Société Cockerill.	* Creusot.	Philadelphie (États-Unis).
1 <sup>at</sup> ,30	1 <sup>at</sup> ,33	1 <sup>at</sup> ,25	1 <sup>at</sup> ,40	1 <sup>at</sup> ,30	1 <sup>at</sup> ,30
138m <sup>3</sup>	436m <sup>3</sup>	267m <sup>3</sup>	136m <sup>3</sup>	326m <sup>3</sup>	334m <sup>3</sup>
0 <sup>m</sup> ,70	1 <sup>m</sup> ,334	1 <sup>m</sup> ,27	1 <sup>m</sup> ,25	1 <sup>m</sup> ,25	1 <sup>m</sup> ,118
1	2, 200	2, 10	2, 40	2, 50	1, 219
//	//	//	//	//	//
4, 95	9, 50	10	7, 40	7	2 de 6 <sup>m</sup> ,50
//	28 tonnes	//	//	//	//
1/8	3/8	Fareot	3/10 (soupap.)	Soup. var.	Soupapes
5 <sup>at</sup>	4 <sup>at</sup> ,50	5 <sup>at</sup>	4 <sup>at</sup>	5 <sup>at</sup>	//
1 <sup>m</sup> ,45	2 <sup>m</sup> ,825	2 <sup>m</sup> ,10	1 <sup>m</sup> ,90	3 <sup>m</sup>	2 <sup>m</sup> ,134
1 <sup>m</sup> <sup>2</sup> ,65	6 <sup>m</sup> <sup>2</sup> ,29	3 <sup>m</sup> <sup>2</sup> ,53	2 <sup>m</sup> <sup>2</sup> ,84	7 <sup>m</sup> <sup>2</sup> ,07	2 <sup>m</sup> <sup>2</sup> ,56
1 <sup>m</sup>	2 <sup>m</sup> ,20	2 <sup>m</sup> ,10	2 <sup>m</sup> ,40	2 <sup>m</sup> ,56	1 <sup>m</sup> ,219
1 <sup>m</sup> <sup>3</sup> ,65	13 <sup>m</sup> <sup>3</sup> ,84	7 <sup>m</sup> <sup>3</sup> ,41	6 <sup>m</sup> <sup>3</sup> ,80	17 <sup>m</sup> <sup>3</sup> ,67	4 <sup>m</sup> <sup>3</sup> ,35
50 <sup>t</sup>	21 <sup>t</sup>	22 <sup>t</sup> ,50	14 <sup>t</sup>	12 <sup>t</sup>	50 <sup>t</sup>
1 <sup>m</sup> ,666	1 <sup>m</sup> ,54	1 <sup>m</sup> ,575	1 <sup>m</sup> ,14	1 <sup>m</sup>	2 <sup>m</sup> ,32
165m <sup>3</sup>	581m <sup>3</sup>	334m <sup>3</sup>	191m <sup>3</sup>	424m <sup>3</sup>	435m <sup>3</sup>

ceux dont il est parlé dans le texte.

Termes de comparaison	Compresseurs pour fondations tubulaires ou pour fondations par caissons		
	Pont de Szegedin sur la Theiss 1857. (vertical)	Castor Kehl. (horizontal)	*Cail au pont de Kehl. (horizontal)
Pression absolue de l'air. . .	3at	3at,50	3at,50
Volume d'air fourni à cette pression . . . . .	1m <sup>3</sup> ,130	6m <sup>3</sup> ,045	1m <sup>3</sup> ,724
<i>Machine motrice</i>			
Diamètre du piston. . . . .	0m,220	0m,270	0m,320
Course . . . . .	0, 200	1	0, 600
Diamètre du volant. . . . .	//	2, 80	2
Détente . . . . .	//	//	//
Pression de la vapeur. . . . .	//	5at	5at
<i>Cylindre compresseur</i>			
Diamètre du piston . . . . .	0m,300	0m,670	0m,400
Surface du piston . . . . .	0m <sup>2</sup> ,071	0m <sup>2</sup> ,3526	0m <sup>2</sup> ,1257
Course du piston . . . . .	0m,200	1m	0m,600
Volume utile du cylindre . . . . .	0m <sup>3</sup> ,014	0m <sup>3</sup> ,3526	0m <sup>3</sup> ,075
Nombre de tours par minute.	120 <sup>t</sup>	30 <sup>t</sup>	40 <sup>t</sup>
Vitesse du piston . . . . .	0m,60	1m	0m,80
Volume engendré par minute.	3m <sup>3</sup> ,39	21m <sup>3</sup> ,16	6m <sup>3</sup> ,034

(1) Les types marqués d'un astérique sont ceux dont il est parlé compresseur. — (†) Pour les deux compresseurs.



n° 2

MOYENNE PRESSION (1)

113

Compresseurs pour fouçage de puits		Machines soufflantes pour convertisseur Bessemer			* Compresseur Randolph Houillères de Govan près Glasgow. 2 compresseurs à simple effet.
La Louvière (Belgique) 1857. (horizontal)	de Horloz (Belgique).	* Creuzot 2 machines horizontales semblables accouplées.	* de Pittsburg (Et.-Unis) cylindres superposés.	* Bessèges (Gard) 2 machines à balancier semblables conjuguées.	
2 <sup>at</sup> ,50	3 <sup>at</sup>	2 <sup>at</sup> ,59	2 <sup>at</sup> ,66	2 <sup>at</sup> ,33	2 <sup>at</sup> ,5
8 <sup>m</sup> <sup>3</sup> ,06	3 <sup>m</sup> <sup>3</sup> ,39	106 <sup>m</sup> <sup>3</sup>	67 <sup>m</sup> <sup>3</sup> ,70	78 <sup>m</sup> <sup>3</sup> ,6	2 <sup>m</sup> <sup>3</sup> ,04
0 <sup>m</sup> ,40	0 <sup>m</sup> ,380	1 <sup>m</sup> ,20	1 <sup>m</sup> ,067	P. 0 <sup>m</sup> ,665 gr. 1 <sup>m</sup> ,140	0 <sup>m</sup> ,381
1	0, 700	1, 80	1, 219	P. 1 <sup>m</sup> ,860 gr. 2 <sup>m</sup> ,500	0, 914
//	//	8 (2)	//	7 <sup>m</sup> (2)	3
//	//	4 10	//	$\frac{1}{6}$ à $\frac{1}{20}$ à la main	//
//	3 <sup>at</sup> ,50	5 <sup>at</sup>	//	5 <sup>at</sup>	2 <sup>at</sup> ,25
0 <sup>m</sup> ,40	0 <sup>m</sup> ,600	1 <sup>m</sup> ,50	1 <sup>m</sup> ,372	1 <sup>m</sup> ,08	0 <sup>m</sup> ,533(3)
0 <sup>m</sup> <sup>2</sup> ,126	0 <sup>m</sup> <sup>2</sup> ,283	1 <sup>m</sup> <sup>2</sup> ,77	1 <sup>m</sup> <sup>2</sup> ,48	0 <sup>m</sup> <sup>2</sup> ,92	0 <sup>m</sup> <sup>2</sup> ,223
//	0 <sup>m</sup> ,600	1 <sup>m</sup> ,80	1 <sup>m</sup> ,22	2 <sup>m</sup> ,50	0 <sup>m</sup> ,457
0 <sup>m</sup> <sup>3</sup> ,126	0 <sup>m</sup> <sup>3</sup> ,170	3 <sup>m</sup> <sup>3</sup> ,18	1 <sup>m</sup> <sup>3</sup> ,80	2 <sup>m</sup> <sup>3</sup> ,29	0 <sup>m</sup> <sup>3</sup> ,102
80 <sup>t</sup> à 120 <sup>t</sup>	30 <sup>t</sup>	21 <sup>t</sup> ,5	50 <sup>t</sup>	20 <sup>t</sup>	25 <sup>t</sup>
2 <sup>m</sup> ,66 à 4 <sup>m</sup>	0 <sup>m</sup> ,600	1 <sup>m</sup> ,29	2 <sup>m</sup> ,03	1 <sup>m</sup> ,66	0 <sup>m</sup> ,380
20 à 30 <sup>m</sup> <sup>3</sup>	10 <sup>m</sup> <sup>3</sup> ,18	137 <sup>m</sup> <sup>3</sup>	180 <sup>m</sup> <sup>3</sup>	91 <sup>m</sup> <sup>3</sup> ,61	5 <sup>m</sup> <sup>3</sup> ,30(4)

dans le texte. — (2) Pour les deux machines. — (3) Pour chaque

Gouilly -- Air comprimé ou raréfié

8

Termes de comparaison	* Compres- seur de l'Horme 2 machines semblables conjuguées injection d'eau par le piston.	* Compres- seur Révollier (Anzin) 2 machines semblables conjuguées injection d'eau aux fonds du cylindre.	* Compres- seur Colladon d'Airolo injection d'eau pulvérisée.
Pression absolue de l'air. . .	6at	4at	6at
Volume d'air fourni à cette pression . . . . .	4 <sup>m</sup> 3,02	9 <sup>m</sup> 3,57	2 <sup>m</sup> 3,24
<i>- Machine motrice</i>			
Diamètre du piston. . . . .	0 <sup>m</sup> ,50	0 <sup>m</sup> ,650	(2)
Course . . . . .	0, 80	1, 600	//
Diamètre du volant. . . . .	3, 50 (3)	6 (3)	//
Poids du volant . . . . .	//	//	//
Détente . . . . .	Variable à la main.	Variable à la main.	//
Pression de la vapeur . . . .	//	//	//
Rapport des engrenages . . .	//	//	//
<i>Cylindre compresseur</i>			
Diamètre du piston. . . . .	0 <sup>m</sup> ,40	0 <sup>m</sup> ,552	0 <sup>m</sup> ,460
Surface du piston . . . . .	0 <sup>m</sup> 2,1256	0 <sup>m</sup> 2,239	0 <sup>m</sup> 2,169
Course du piston . . . . .	0 <sup>m</sup> ,80	1 <sup>m</sup> ,600	0 <sup>m</sup> ,450
Volume utile du cylindre . .	0 <sup>m</sup> 3,101	0 <sup>m</sup> 3,383	0 <sup>m</sup> 3,075
Nombre de tours par minute.	60 <sup>t</sup>	25 <sup>t</sup>	90 <sup>t</sup>
Vitesse du piston . . . . .	1 <sup>m</sup> ,60	1 <sup>m</sup> ,333	1 <sup>m</sup> ,35
Volume cylindré par minute.	12 <sup>m</sup> 3,06	19 <sup>m</sup> 3,288	13 <sup>m</sup> 3,46

(1) Les types marqués d'un astérisque sont ceux dont il est parlé

(2) Pour 3 compresseurs : une turbine verticale de 1<sup>m</sup>,20 de dia-  
mètre, transmission par engrenage : rapport de 1 à 4,35.

(3) Pour les deux machines.

Compres- seur Sautter et Lemonnier des mines de Lens (système Colladon) deux ma- chines semblables conjuguées.	Compresseur à piston hydraulique Système Sommeiller				
	* Compres- seur de Marihaye 2 machines semblables conjuguées.	Compres- seur de Ronchamp (H.-Saône) deux com- presseurs sur une seule machine.	Compres- seur du puits d'Haveluy (Anzin) deux com- presseurs pour une seule machine.	* Type Cockerill, deux ma- chines semblables conjuguées.	Compres- seur Sievers mines de Saarbrück 2 compres- seurs par machine.
5at	5at	5dt,5	5at	4at à 6	4at
4m <sup>3</sup> ,245	0m <sup>3</sup> ,763	0m <sup>3</sup> ,78	0m <sup>3</sup> ,71	3m <sup>3</sup> ,05 à 2, 04	0m <sup>3</sup> ,99
4m,700	0m,400	0m,360	0m,650	0m,500	0m,628
1	0,600	0,740	0,750	1,200	1,99
5.07 (3)	//	3,5	3,80	5t,10	5
7t,200 (3)	//	2t,155	//	5t,600	//
$\frac{5}{10}$	//	//	Variable à la main.	Variable à la main.	Variable par régulateur.
4at	4at	6at	//	5 à 7at	4at
//	1 à 4	1 à 3,5	1 à 5	//	//
0m,540	0m,450	0m,450	0m,450	0m,450	0m,394
0m <sup>2</sup> ,229	0m <sup>2</sup> ,159	0m <sup>2</sup> ,159	0m <sup>2</sup> ,159	0m <sup>2</sup> ,159	0m <sup>2</sup> ,122
1m	1m	1m	1m,400	1m,200	1m,256
0m <sup>3</sup> ,229	0m <sup>3</sup> ,159	0m <sup>3</sup> ,159	0m <sup>3</sup> ,223	0m <sup>3</sup> ,191	0m <sup>3</sup> ,153
35t à 45t	6t	13t,5	8t	16t	13t
20m <sup>3</sup> ,61	0m,200	0m,45	0m,373	0m,640	0m,544
//	3m <sup>3</sup> ,816	4m <sup>3</sup> ,586	3m <sup>3</sup> ,56	6m <sup>3</sup> ,106	7m <sup>3</sup> ,96

dans le texte.

mètre, 160 litres par seconde sous 165 mètres de hauteur, 390 tours

LES COMPRESSEURS  
DE L'EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1889

51. — A l'Exposition de 1889, il y a eu un grand nombre d'appareils et de dessins exposés qui ont attiré l'attention des ingénieurs. Il n'y a pas eu d'application de principes nouveaux ; mais les détails de construction, destinés à l'amélioration du rendement, et les dimensions des appareils offraient le plus grand intérêt. En définitive, les principes qui servent aujourd'hui de base à la bonne construction des compresseurs ont été définitivement confirmés.

1° Les compresseurs *genre Sommeiller* doivent être munis d'évasements aux sommets des colonnes, afin que l'eau qui y arrive, soulevée par le piston, ait une faible vitesse au moment où elle atteint les soupapes qui sont établies au-dessus même de cet évasement. On évite ainsi les chocs et il est possible d'augmenter, dans une certaine mesure, la vitesse du piston de ces appareils. De plus, les soupapes peuvent être installées plus commodément et avoir des dimensions plus grandes.

2° La vitesse de l'air à l'aspiration doit être entre 15 et 20 mètres par seconde et la vitesse de

l'air au refoulement ne doit pas dépasser 30 mètres, Ces vitesses permettent d'éviter les étranglements et, par suite, les pertes de pression au passage des soupapes. Il ne faut pas descendre beaucoup au-dessous de ces vitesses sous peine d'augmenter les espaces nuisibles.

3° Dans les compresseurs où on a besoin de simplicité, ceux par exemple qui sont destinés aux mines, l'introduction de l'eau au cylindre doit se faire par les clapets d'aspiration. L'air et l'eau pénétrant ensemble se mélangeront bien et le refroidissement sera suffisant.

Dans les compresseurs où l'on désire obtenir une compression de l'air dans les conditions les plus économiques possible, l'introduction se fera par injection. Et même l'injection se fera par pulvérisation, l'injection par jet liquide n'ayant pas une efficacité suffisante. On conçoit que l'adjonction d'une pompe au compresseur en complique la construction et l'entretien, en rend le prix plus grand et qu'il faut que ce supplément de dépense soit justifié par une économie suffisante, obtenue par un fonctionnement plus parfait des appareils.

52. — Nous ne citerons que quatre des appareils ayant figuré à l'Exposition, parce qu'il nous

paraît utile de joindre leurs dimensions à celles que nous avons déjà données pour un assez grand nombre de compresseurs.

Le *compresseur Hanarte* est une variété de compresseur Sommeiller. Le diamètre du piston est  $0^m,620$ , la course  $1^m$ , le nombre des révolutions est de 32 par minute, la vitesse du piston, qui en résulte, est de  $0^m,933$ ; le rendement volumétrique de l'appareil est 0,90 et le rendement dynamique 0,75. La pression de l'air comprimé est  $5^{at}, 9$ .

Le *compresseur Dubois et François* est un compresseur à injection d'eau pulvérisée. Le cylindre est horizontal. Les dimensions principales sont : diamètre du piston  $0^m,660$ , course  $1^m,20$ , nombre de tours par minute 50, vitesse du piston  $2^m$ . Il porte, à chaque extrémité du cylindre, deux soupapes de refoulement, placées horizontalement en haut de deux colonnes s'élevant au-dessus du cylindre. Il possède, à chaque extrémité également, deux soupapes d'aspiration; mais celles-ci, s'ouvrant au bas des colonnes précédentes, sont verticales. La disposition de ces soupapes est très intéressante. Les soupapes, qui sont en face l'une de l'autre sur les deux extrémités du cylindre, sont reliées par une tige horizontale supportée par un système

de couteaux en acier, ce qui diminue le frottement dans le mouvement des soupapes. Cette tige horizontale est composée de deux parties mobiles qui tendent à être ramenées l'une vers l'autre par l'action d'un ressort à boudin, de sorte que la fermeture s'obtient avec l'instantanéité désirable.

Le compresseur est destiné à comprimer l'air à la pression de 7 atmosphères et son rendement est de 0,80.

Parmi les *compresseurs secs*, c'est-à-dire ceux dans lesquels on n'opère aucune injection d'eau et où on se contente d'entourer les parois extérieures du cylindre d'une circulation d'eau, il faut citer le compresseur de MM. *Burckhardt et Weiss* (Bâle). L'aspiration et le refoulement de l'air sont réglés par un tiroir d'une disposition très intéressante. Il résulte de la suppression de l'eau au cylindre, de la suppression des soupapes que l'appareil peut marcher à grande vitesse, qu'il est plus simple et de dimensions moindres que les *compresseurs humides*, c'est-à-dire recevant de l'eau dans le cylindre. Les dimensions sont : diamètre du piston 0<sup>m</sup>,500, course 0<sup>m</sup>,600, nombre de tours 100, vitesse moyenne du piston 2<sup>m</sup> par seconde. La pression de l'air comprimé est de 4<sup>at</sup>,21 et le rendement dynamique est 0,65.

M. Mèkarski a inventé, pour comprimer à 30 atmosphères l'air nécessaire au mouvement des locomotives de son système, un *compresseur compound* dans lequel la compression totale s'opère en deux fois, à l'aide de deux cylindres réunis par un réservoir intermédiaire. Si l'on désirait obtenir la pression de 30 atmosphères par la compression dans un seul cylindre on rencontrerait d'assez grandes difficultés, résultant 1° de l'échauffement très considérable qu'il serait difficile de combattre efficacement par les moyens connus ; 2° de l'espace nuisible, qui, si petit qu'il puisse être, aurait une très grande influence sur le rendement volumétrique pour de si grandes pressions, 3° des variations considérables de pression sur le piston, d'où il résulte une grande fatigue pour les pièces en mouvement et la nécessité d'employer un grand volant.

Le *compresseur Mèkarski* se compose de deux cylindres à la suite l'un de l'autre. Ils sont à simple effet. Un cylindre, le grand, n'a pas de fond du côté de l'aspiration de l'air dans l'atmosphère ; l'autre cylindre, le petit, n'en a pas du côté où il aspire, dans un réservoir intermédiaire, l'air qui y a été comprimé par le grand cylindre.

Pendant que le grand piston comprime et refoule l'air, le petit se remplit d'air fourni par le réservoir, et pendant que le grand piston aspire l'air atmosphérique, le petit comprime et refoule dans un deuxième réservoir l'air dont la pression est alors de 30 atmosphères.

Les deux pistons ont une même course et leurs diamètres sont dans le rapport 1 à 4,65, la garniture du piston du petit cylindre est nécessairement métallique, celle du piston du grand cylindre résiste assez bien si elle est en cuir ou, mieux, en bois dur.

Le rendement volumétrique du compresseur Mèkarski a été trouvé égal à 0,76.

#### SYSTÈMES DIVERS POUR COMPRIMER OU RARÉFIER L'AIR

##### **53. Appareils à simple déplacement.**

— Ces appareils pour la compression sont en principe des réservoirs, qui, une fois pleins d'air, reçoivent de l'eau sous pression par leur partie inférieure. On comprend que l'eau ne peut cesser d'entrer qu'au moment où l'air, accumulé dans le haut du réservoir, est à la pression de l'eau.

Au lieu de faire l'opération dans un seul réservoir, on se sert de deux réservoirs, dans l'un desquels arrive l'eau, tandis que dans l'autre s'emmagasine l'air comprimé.

On conçoit qu'il est facile au moyen de flotteurs de rendre ces appareils automatiques.

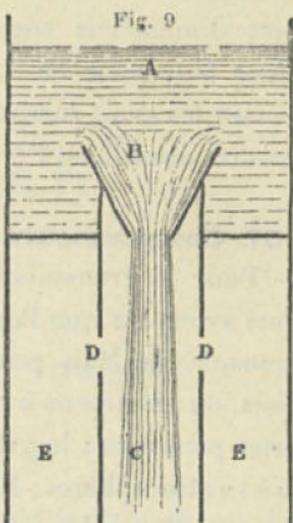
Le grand inconvénient de ces appareils c'est la lenteur du remplissage. Leurs grandes dimensions en sont un autre dans les cas où, précisément, leur emploi offrirait un grand avantage en raison de leur simplicité, comme par exemple dans les villes où l'eau est sous une pression suffisante.

Leur rendement est faible : 21 %.

**54. Appareils à entraînement.** — Les appareils à entraînement servent à comprimer ou à raréfier l'air. Ces appareils ont pour types les trompes des forges catalanes. Pour donner l'explication de ces appareils, imaginons un réservoir A plein d'eau qui s'échappe par une buse B dans un tuyau C. Ce tuyau porte des ouvertures D par où entre l'air d'une chambre E. Cet air est entraîné par le courant d'eau, de sorte que l'air de la chambre E est raréfié. Si, au bas du tube C on recueille le mélange d'eau et d'air dans un réservoir convenablement disposé, l'air

se sépare de l'eau, se rend à la partie supérieure du réservoir. Cet air est comprimé. On conçoit que cet appareil soit susceptible d'un fonctionnement continu si on règle convenablement le départ et l'arrivée de l'eau à ses deux niveaux extrêmes.

L'effet utile de ces appareils est d'environ 0,40.



**55. Injecteurs.** — L'injecteur à vapeur a été appliqué à la propulsion des gaz. Divers appareils ont été disposés en vue de cette opération, entre autres, l'injecteur Giffard.

M. Siemens a disposé un appareil qui, avec de la vapeur à 3 atmosphères, fait un vide de 0<sup>m</sup>,60 de mercure. Les compressions possibles avec cet appareil sont de 0<sup>m</sup>,60 de mercure environ.

**56. Compresseurs à choc.** — Ces compresseurs imaginés par M. Sommeiller ne sont autres que des béliers hydrauliques de grande

dimension. Leur rendement est très mauvais, leurs dimensions considérables ; aussi, avant même leur mise en fonctionnement, M. Sommeiller les avait remplacés par les compresseurs à piston dont il est l'inventeur.

### 57. Compresseurs à très haute pression.

— Pour la transmission de la force motrice, nous avons vu que l'on ne dépasse guère 5 ou 6 atmosphères. Mais, pour certains besoins industriels, on est amené à comprimer l'air à de plus fortes pressions : le gaz portatif est comprimé de 10 à 12 atmosphères ; M. Mékarski a comprimé de l'air à 30 atmosphères pour l'emmagasiner sur les locomotives de son système ; des bateaux porte-torpilles emmagasinent de l'air comprimé jusqu'à 64 atmosphères, soit en vue de la machine motrice du bateau, soit en vue du lancement des torpilles. Nous avons donné le principe du compresseur Mékarski, mais nous pensons que l'étude des compresseurs à très haute pression est liée plus spécialement à l'étude des industries où leur emploi est nécessaire.

---

## CHAPITRE VI

—

### APPLICATIONS DIVERSES

#### TÉLÉGRAPHES PNEUMATIQUES

**58. Compresseurs.**— A Londres, les compresseurs sont à action directe. Ils sont mus par des machines Woolf à balancier et chaque machine actionne deux compresseurs placés, l'un à droite, l'autre à gauche du balancier. Les clapets des cylindres sont disposés pour que le cylindre soit aspirant ou foulant.

A Vienne, les compresseurs sont à action directe, mus par des machines horizontales.

A Paris, on s'est servi pendant longtemps de machines hydrauliques, telles que des turbines, par exemple, pour actionner les compresseurs ;

on disposait de la pression de l'eau de ville qui peut aller jusqu'à 40 mètres dans certains quartiers. Le service pneumatique de Paris comprend un réseau de plus de 50 kilomètres ; diverses stations répandues sur la surface de Paris renferment les pompes et les compresseurs nécessaires. La propulsion des trains de dépêches s'obtient soit par le vide fait en avant des boîtes, soit par la compression faite derrière.

En juin 1886 a été inaugurée l'installation de l'Hôtel des Postes à Paris. La compression et la raréfaction de l'air se font simultanément, à double effet, dans deux cylindres placés à la suite l'un de l'autre et du cylindre à vapeur qui les actionne. La commande du compresseur et de la pompe à vide se fait donc directement sur la tige du piston. Nous avons fait remarquer que pour cette disposition le rendement est meilleur et l'entretien plus facile.

Le compresseur et la pompe à vide ne diffèrent que par la disposition des soupapes. Ces soupapes, dites du système Corliss, ont une construction particulière. Elles sont formées d'une rondelle mince en bronze phosphoreux guidée et pressée sur son siège au moyen d'un ressort composé d'une lame en bronze phosphoreux enroulée en spirale. La masse de ces sou-

papes est très faible et leur fermeture est à la fois rapide et complète. Chaque fond du cylindre du compresseur et du cylindre de la pompe à vide a 60 de ces soupapes, dont 30 disposées pour l'aspiration et 30 pour le refoulement. L'Hôtel des Postes a un système de compresseur et de pompe en activité et un autre de rechange. Ces appareils ont été fournis par le Creusot. Les principales dimensions sont :

Diamètre. . . . .	0 <sup>m</sup> ,630
Course du piston. . . . .	1, 000
Nombre de coupes doubles par minute	53
Volume d'air aspiré par minute . .	30 <sup>m</sup> 3
Section des clapets de refoulement et d'aspiration . . . . .	0 <sup>m</sup> 2,0420
Vitesse moyenne de l'air dans les clapets. . . . .	13 <sup>m</sup>

Pour combattre l'échauffement de l'air, on doit renoncer à l'injection d'eau, et on se sert d'un courant d'eau dans une enveloppe du cylindre. L'humidité de l'air se condensant dans les parties froides, les égouts, par exemple, salirait les dépêches. L'eau qui se congèlerait dans les conduites interromprait le service. Le débouillage des conduites est difficile et l'on a dû, contre la glace, employer des pistons de fer rouge. On a cherché bien des moyens pour combattre l'humidi-

dité de l'air : on a renoncé à la dessiccation par le chlorure de calcium ; on emploie dans quelques stations les condenseurs à surface ; on a imaginé d'employer le même air dans une conduite fermée et on y a renoncé. Ce que l'on fait de mieux c'est de faire fonctionner par le vide les lignes ayant des parties froides.

L'air comprimé est reçu, avant d'aller au réseau, dans de grands réservoirs cylindriques de 19 mètres de long, de 2<sup>m</sup>,20 de diamètre, faits en tôle d'acier de 7 millimètres d'épaisseur. Ils sont placés horizontalement dans les sous-sols de l'hôtel.

Le programme auquel devaient répondre les moteurs était celui-ci : refouler dans un réservoir 30 mètres cubes d'air atmosphérique et le comprimer à 136 centimètres de mercure ; en outre rejeter dans l'atmosphère 30 mètres cubes d'air pris dans un réservoir d'air raréfié à 0<sup>m</sup>,26 de mercure. La dépense devait être de 6<sup>kg</sup>,50 par force de cheval utile de 75 kilogrammètres.

Il y a deux moteurs, un par groupe de un compresseur et d'une pompe. Les dimensions principales sont les suivantes :

Diamètre du piston . . . . .	0 <sup>m</sup> ,450
Course du piston . . . . .	1 <sup>m</sup> ,000
Nombre de tours . . . . .	53

Diamètre du volant . . . . .	4 <sup>m</sup> ,50
Poids du volant . . . . .	8 tonnes
Diamètre de la tige du piston . . . . .	0 <sup>m</sup> ,08
Diamètre de la pompe à air . . . . .	0 <sup>m</sup> ,365
Course de la pompe à air . . . . .	0 <sup>m</sup> ,300
Diamètre du tuyau d'échappement . . . . .	0 <sup>m</sup> ,180
Diamètre du tuyau d'injection . . . . .	0 <sup>m</sup> ,08
Puissance indiquée sur le piston . . . . .	105 ch.

Quatre générateurs Belleville, dont deux de rechange, fournissent la vapeur nécessaire et donnent 1050 kilog. de vapeur sèche à l'heure.

**59. Renseignements divers.**— A Londres, les tubes ont 0<sup>m</sup>,057 de diamètre dans la plus grande partie du réseau et 0<sup>m</sup>,076 sur des lignes à circulation active.

A Paris, les tuyaux ont, sur certaines lignes, 0<sup>m</sup>,065 et sur d'autres, 0<sup>m</sup>,080 et les épaisseurs sont de 3<sup>mm</sup>,5 à 4<sup>mm</sup>,5.

En tranchée, les tuyaux sont généralement en fonte avec joints en plomb; on adopte le fer pour tuyaux placés en égout.

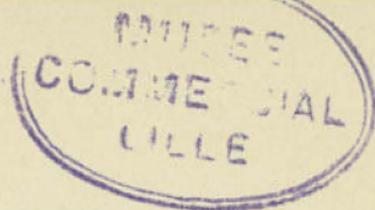
La vitesse des boîtes dans les tuyaux est d'environ 400 mètres par seconde. Pour le voyage des dépêches, on compte 4 minutes par mille mètres et 4 minutes par bureau d'arrêt.

DISTRIBUTION PNEUMATIQUE DE L'HEURE  
DANS PARIS

**60. Entreprise de MM. Popp et Resch (1881).** — L'idée de la distribution de l'heure est antérieure à 1881. En 1877, Eugène Bourdon avait présenté à la Société d'encouragement une horloge hydropneumatique.

Voici le principe du système Popp et Resch :

Une *usine centrale*, située rue d'Argenteuil, est destinée à comprimer de l'air à une pression de 2 à 3 atmosphères. Elle comprend deux compresseurs actionnés, l'un ou l'autre, par une locomobile. Cet air, par une conduite de 0<sup>m</sup>,060, se rend dans un réservoir dit à *haute pression*, situé rue Sainte-Anne, où se trouve concentré le reste du matériel de préparation de l'air comprimé et de distribution. L'air qui arrive par la conduite de 0<sup>m</sup>,060 passe dans un *régulateur de pression* et de là dans un réservoir dit à *basse pression* où la pression de l'air n'est plus que de 1<sup>at</sup>  $\frac{3}{4}$ . Deux *horloges centrales*, dont l'une agit et dont l'autre peut être mise en service en cas d'arrêt de celle qui agit, peuvent commander un tiroir de distribution de l'air



emmagasiné à  $1^{\text{st}} \frac{3}{4}$ . Ce tiroir permet de lancer de l'air comprimé dans la canalisation pendant 20" consécutives et cette opération se renouvelle toutes les minutes. Il en résulte que l'air de la canalisation de distribution aux horloges publiques, à chaque minute, passe une fois de la pression de 1 atmosphère à la pression de  $1^{\text{st}} \frac{3}{4}$ .

Le temps pendant lequel on verse de l'air comprimé dans la conduite, qui était de 20" dans l'installation de Paris en 1881, dépend de la longueur et du diamètre des conduites.

Tous les appareils que nous venons de citer sont en double, afin qu'il n'y ait pas d'interruption dans le service. Un avertisseur électrique signale les dérangements qui arrivent à l'horloge en fonction, pour que le surveillant puisse établir la commande du tiroir de distribution par la seconde horloge.

Quand la pression est de  $1^{\text{st}} \frac{3}{4}$ , dans la canalisation, un soufflet, entrant dans la composition des horloges publiques ou privées, se gonfle et pousse une tige qui actionne la minuterie dont le mouvement se communique aux aiguilles. Quand la pression de l'air n'est plus que 1 atmosphère, le soufflet se dégonfle, la tige, qu'il commande, revient à sa place primi-

tive. Un cliquet empêche tout mouvement rétrograde dans la minuterie.

La *canalisation* se compose d'un tuyau de 0<sup>m</sup>,060 de la rue d'Argenteuil à la rue S<sup>te</sup>-Anne. La canalisation allant aux horloges publiques et aux immeubles se compose de tuyaux en fer étiré de 0<sup>m</sup>,016 à 0<sup>m</sup>,027. Dans les immeubles, les *colonnes montantes* sont des tuyaux de plomb de 0<sup>m</sup>,006 à 0<sup>m</sup>,010; les conduites de distribution aux appartements sont des tubes en caoutchouc de 0<sup>m</sup>,003.

Une deuxième station centrale est établie rue de la Franche-Comté. Il y a donc deux réseaux de distribution. Ils représentent actuellement 70 kilomètres de conduite environ et alimentent 7 500 horloges.

#### TRANSMISSION DE LA FORCE MOTRICE PAR L'AIR RARÉFIÉ

**61. Système Petit et Boudenoot.** — (*Siège social et usine centrale, rue Beaubourg*). — Les Mémoires de M. Boudenoot à la Société des Ingénieurs civils, en 1885 et 1889, donnent très complètement les détails relatifs : 1° à la phase d'expériences préliminaires et à l'installation ;

2° à la phase d'exploitation. Ces derniers sont d'ailleurs consignés dans un Mémoire de M. Daujat, conservé à la Société des Ingénieurs civils. Nous recommandons aux Ingénieurs la lecture de ces documents.

**62. But et conduite de l'entreprise.** — Depuis de nombreuses années déjà on s'est occupé de mettre la force motrice à la disposition de la petite industrie. Divers systèmes ont été préconisés et installés. Ainsi on a établi des *locations de force motrice*, sortes de vastes ateliers divisés en compartiments où s'installent de petites industries : polissage des métaux, guillochage, fabrications relatives à la bimbeloterie, à la couture, au tournage des bois, etc. L'ouvrier s'y installe le matin et s'en retourne le soir après la journée.

On a fait mieux : on a fait en sorte que l'ouvrier vive près des siens et on a installé des cités où l'ouvrier trouve à loger sa famille et où il reçoit, dans son logement même, la force motrice nécessaire à son industrie. L'inconvénient de ce système est que ces cités ne peuvent être construites que dans des quartiers spéciaux où le prix des terrains et des immeubles permet de telles installations.

Le dernier mot en cette matière était de porter la force motrice au petit industriel, à l'ouvrier dans l'immeuble même où il loge. Il y a aujourd'hui plusieurs solutions à ce problème et celle qui fait l'objet spécial de ce chapitre, c'est la transmission par l'air raréfié.

Nous prenons pour type la transmission établie, rue Beaubourg, par MM. Petit et Boudenoit. L'étude de cette entreprise est très intéressante tant au point de vue technique qu'au point de vue de la sagesse avec laquelle a été et est conduite l'affaire. Elle montre ce que peuvent la prévoyance, la persévérance, l'ordre, l'économie et la bonne foi pour le succès des affaires. Cette énumération n'est point une redondance, même dans la rédaction d'un aide-mémoire, parce qu'il est toujours bon de rappeler les qualités diverses, et trop rarement réunies, qui expliquent la prospérité de l'établissement que nous allons étudier, comme celle de tout autre où l'on n'aurait en vue que le bien public. Il y a là une leçon très utile, aussi entrerons-nous dans des détails suffisants pour que l'on en puisse profiter.

Dès 1874, M. Petit était en possession de l'idée de la transmission de la force motrice par l'air raréfié. Il fit de nombreuses expériences en petit

pour prouver la possibilité d'aspirer de l'air atmosphérique dans une canalisation, cet air passant par les cylindres de moteurs auxquels il donne le mouvement. En 1881, M. Petit prit un brevet et put entreprendre de faire mouvoir de petits appareils en se servant d'une canalisation de 600 mètres. L'expérience eut lieu boulevard Voltaire et avenue Parmentier. Elle réussit à souhait. L'inventeur s'aboucha alors avec M. Boudenoot en vue d'étudier la réalisation du système et son avenir commercial.

En 1882, MM. Petit et Boudenoot fondèrent une société commerciale au capital de 190 000 francs versés et de 110 000 francs représentant, par des actions libérées, les avances de la société d'études et les apports. Une augmentation des capitaux fut prévue, mais sous réserve expresse que l'on trouverait les capitaux sans commission et sans majoration d'aucune sorte.

La clientèle fut composée d'abonnés chez lesquels on installait, sans qu'ils fissent la moindre dépense, une conduite montante, des machines réceptrices, restant la propriété de la société qui en assurait l'entretien. La redevance à payer par l'abonné à la force motrice était basée sur le nombre de tours faits par la machine dont il louait l'usage, nombre de tours enregistrés par

un compteur spécial actionné par la machine. Le paiement s'effectuait tous les dix jours par avance et la première avance était de 20 journées de travail de la machine. Enfin les abonnés furent intéressés au succès de l'affaire, par une participation sur les bénéfices.

La transmission fonctionna d'abord de 8<sup>h</sup> du matin à 11<sup>h</sup>  $\frac{1}{2}$  et de 1<sup>h</sup> à 5<sup>h</sup>  $\frac{1}{2}$  du soir, maintenant elle fonctionne de 7<sup>h</sup> du matin à midi et de 1<sup>h</sup> à 8<sup>h</sup> du soir.

On loua, rue Beaubourg, un local modeste mais suffisant pour y installer tous les engins et chaudières prévus pour l'installation définitive ; mais la première installation ne fut faite qu'en vue de transmettre 30 à 40 chevaux effectifs par une canalisation de 300 à 400 mètres en se servant d'une machine aspirante de 70 à 80 chevaux.

Successivement, on devait ajouter de nouvelles machines et prolonger la canalisation quand augmenterait le nombre des abonnés. En 1890, 3 machines fonctionnaient, dépensant ensemble environ 300 chevaux, prenant la vapeur de 2 chaudières et actionnant environ 150 moteurs de 50, 75, 125 kilogrammètres. La canalisation avait 800 mètres. Afin d'économiser sur les frais généraux, on avait eu, dès le début,

l'idée d'adjoindre une distribution de lumière électrique, de sorte que tout le matériel fût le plus possible utilisé. Au lieu de vendre de l'électricité, la société a loué de la force motrice à des électriciens qui vendent de la lumière dans les environs de l'usine. Ce service est fait par une quatrième machine de la force de 100 chevaux.

Passons à l'examen technique de l'entreprise.

**63. Choix de l'air raréfié.** — M. Boudenoot fit d'abord la comparaison du système proposé par M. Petit avec les systèmes connus. Nous avons déjà (p. 54) fait cette comparaison ; nous n'y reviendrons pas ; cependant il nous resterait à mettre en parallèle l'air comprimé et l'air raréfié, les deux agents de transmission de force motrice qui paraissent actuellement encore être les plus appropriés à l'intérieur des villes.

M. Boudenoot a donné la préférence à l'air raréfié, parce que :

1° Les frais de premier établissement sont moins grands. Pour comprimer l'air il faut des compresseurs d'une construction plus coûteuse que celle des simples cylindres à vent qui servent à raréfier. De plus, ces compresseurs exigent une connexion spéciale avec la machine à vapeur motrice, tandis que les cylindres à vent,

pour raréfier, admettent une connexion directe, c'est-à-dire sur la tige du piston à vapeur.

2° L'air comprimé entraîne toujours avec lui de l'eau ; il est nécessaire de prévoir la purge de tous les appareils et de la canalisation. L'air raréfié est transmis presque sans humidité dans la canalisation, ainsi que l'avait prévu Papin dans ses écrits.

3° Les transmissions par l'air comprimé ont un rendement moindre <sup>(1)</sup> que les transmissions par l'air raréfié. Voici comment raisonne M. Boudenoot sur ce point important :

Soient 0,75 le rendement des pompes de compression par rapport au travail moteur fourni par la machine, 0,95 celui de la canalisation, 0,60 celui du mécanisme des réceptrices et 0,50 le rendement de celles-ci sur le travail de l'air qui y pénètre et qui les actionne à pleine pression. D'après cela, le rendement de la transmission totale est  $0,75 \cdot 0,95 \cdot 0,60 \cdot 0,50 = 21 \%$ .

Soient maintenant, pour l'air raréfié, 0,93 le rendement du cylindre à vent, 0,60 celui du mécanisme du récepteur et 0,85 celui de l'air qui

---

(1) Les données de M. Boudenoot, à ce sujet, nous paraissent différentes de celles qui sont reçues aujourd'hui. Lui-même ne donne à l'air qu'une détente faible dans les réceptrices.

actionne le récepteur en s'y détendant. Le rendement de la transmission par l'air raréfié serait 0,93. 0,95. 0,60. 0,85 = 45 %.

L'air comprimé conserve l'avantage quand il s'agit de transmettre de grandes forces, parce qu'il demande des réceptrices de dimensions moindres, mais pour les petites forces, l'air raréfié sera préférable pour les raisons précédentes.

**64. Degré de vide.** — Le degré de vide est en moyenne de 0<sup>at</sup>,75. Au début de l'entreprise, la canalisation étant petite et la force à transmettre faible relativement aux moyens de raréfaction, le vide s'est opéré d'une manière suffisante.

Mais quand le nombre des abonnés a augmenté, quand le travail a subi des variations considérables dans la journée, le vide a subi des retards aux extrémités de la canalisation, bien qu'il parût constant à l'usine même. Le remède à cet état de choses a été de marcher tantôt avec les trois cylindres à vent, tantôt avec deux.

Un fait très explicable et non prévu d'abord, s'est produit lors de la marche avec trois machines. C'est la présence de l'eau dans la canalisation et la difficulté de faire le vide à la mise en train. Cela résultait de ce qu'à la fin de la journée, par suite du ralentissement du travail,

on ne faisait agir que deux machines sans se préoccuper de la troisième, que l'on laissait en communication avec la canalisation. L'eau injectée au cylindre de cette troisième machine se vaporisait et se répandait dans la conduite. Il a suffi d'isoler cette machine de la canalisation pour remédier à cet inconvénient.

**65. Cylindres à vent.** — Les cylindres à vent puisent de l'air à  $\frac{1}{4}$  d'atmosphère environ dans la canalisation, le compriment et le rejettent dans l'atmosphère. Ils font de 20 à 50 tours par minute. Le vide est entre 0,67 et 0,80. Pour refroidir l'air pendant sa compression, on injecte dans les cylindres de l'eau pulvérisée. L'eau pulvérisée se mêle mieux à la masse de l'air et le refroidit plus énergiquement que la circulation à l'extérieur du cylindre. D'ailleurs, l'enveloppe d'eau rend le volume du cylindre plus grand.

Au début, le cylindre à vent qui fonctionnait avait une garniture en caoutchouc. Celle-ci, par le frottement, s'usait vite; il en résultait et une intanchéité préjudiciable et de plus un encrassement considérable des grilles des clapets d'aspiration parce que des fragments de caoutchouc se collant à la grille des clapets d'aspiration, les poussières des ateliers, aspirées par le cylindre, s'atta-

chaient aux grilles et les obstruaient en partie.

La connexion est directe. La tige du piston traverse les fonds du cylindre.

Le volume d'un cylindre à vent a été calculé ainsi qu'il suit : La base du calcul est qu'il fallait distribuer 35 chevaux au maximum et 25 aux minimum d'une part, et, d'autre part, qu'un mètre cube d'air, pris à la pression atmosphérique et pénétrant dans la conduite à  $\frac{1}{4}$  d'atmosphère pouvait produire 13530 kilogrammètres. Le volume d'air à la pression atmosphérique nécessaire pour transmettre 35 chevaux, le rendement étant de 0,45, est donc

$$\frac{35,75}{13530 \cdot 0,45} = 0^{\text{m}^3},426 \text{ par seconde.}$$

Le volume de la masse de cet air pris à 0,25 atmosphère est  $1^{\text{m}^3},704$ .

Le volume du cylindre, à double effet, à raison de 50 tours par minute, doit être de  $1^{\text{m}^3},020$ . La course du piston de la machine à vapeur étant  $1^{\text{m}},07$ , le diamètre du cylindre est  $1^{\text{m}},09$ .

On peut dès lors établir le tableau suivant qui résume la marche du cylindre à vent :

à 50 <sup>t</sup>	la force transmise est 35 <sup>ch</sup>	et le volume d'air	$0^{\text{m}^3},426$
à 36	''	25	''
à 20	''	20	''
			0, 300
			0, 250

On commença à fonctionner avec un cylindre à vent. L'usine en possède trois maintenant.

**66. Machines à vapeur.** — Chaque cylindre a sa machine ; le type adopté est celui d'une machine Corliss fonctionnant à  $4^{\text{at}} \frac{1}{2}$ , détente  $\frac{1}{5}$  faisant 25 chevaux à 36 tours. Ce type offrait assez d'élasticité pour se prêter à la marche très irrégulière de la première installation. La force de cette machine était déduite du rendement de la transmission de force motrice, 0,45 ;

pour 25 <sup>ch</sup> à transmettre, elle devait faire	$\frac{25}{0,45} = 55^{\text{ch}}$
pour 35 <sup>ch</sup> //                    //	$\frac{35}{0,45} = 80^{\text{ch}}$

**67. Machines réceptrices.** — Dans les premiers temps, M. Boudenoot pensa que les réceptrices pourraient être de divers types donnant 80, 40, 24, 12, 6 et même 3 kilogrammètres. Aujourd'hui, elles sont de 50, 75 et 125 kilogrammètres.

La détente est faible, elle résulte simplement de l'angle de calage de l'excentrique. Cela évite les effets caloriques des grandes détentes, cela rend le moteur moins compliqué et plus facile à entretenir.

Le piston est à fourreau. Le cylindre est muni de grandes ailettes rayonnantes afin qu'il

s'échauffe plus facilement au contact de l'air ambiant. Les grandes surfaces du piston agissent dans le même sens.

Le régulateur actionne le piston creux de l'appareil de prise d'air. Ce piston peut occuper en hauteur diverses positions. Les ouvertures qu'il porte, suivant les génératrices de sa surface, livrent à l'air un passage plus ou moins grand suivant la position du piston.

On produit l'arrêt de la machine en ouvrant une soupape par où s'introduit l'air atmosphérique dans le cylindre.

Un appareil réchauffeur, joint à la prise d'air, rend des services surtout en hiver.

Enfin un contrepoids est destiné à accommoder le moteur à diverses vitesses.

Le volume d'air qui doit pénétrer dans les réceptrices à la pression atmosphérique est celui qui doit être refoulé dans l'air par le cylindre à vent; or le vide dans la conduite étant de  $0^{\text{at}},75$ , il en résulte une relation simple entre ce volume et celui du cylindre à vent. Le volume engendré par le piston du cylindre à vent par minute est quatre fois celui de l'air qui pénètre dans les réceptrices pendant le même temps.

M. Boudenoot donne pour les volumes respectifs des récepteurs à double effet :

Moteurs	Cas de la pleine pression	Cas de la détente aux $\frac{3}{8}$	Nombre de tours
Le cylindre du moteur d'un demi-cheval doit avoir une capacité de .	5 litres	7 litres $\frac{1}{2}$	30
	2 litres $\frac{1}{2}$	3 litres $\frac{3}{4}$	60
	1 litre $\frac{1}{4}$	1 litre $\frac{7}{8}$	120
Le cylindre du moteur d'un tiers cheval doit avoir une capacité de .	3 litres $\frac{1}{3}$	5 litres	30
	1 litre $\frac{2}{3}$	2 litres $\frac{1}{2}$	60
	0 litre $\frac{2}{3}$	1 litre $\frac{1}{4}$	120

*Résultats d'expériences faites sur un moteur à fourreau d'une force de 50 kilogrammètres.*

Désignation	Nombre de tours par minute	Pressions moyennes	Consommation d'air par minute	Force indiquée au diagramme	Force indiquée au frein	Rendement organique
Marche à vide	140	0,144	4 lit	26kgm, $\frac{1}{3}$	„	„
Marche en faible charge	134	0,282	7	49 $\frac{1}{2}$	33kgm,58	68 %
Marche en charge moyenne	125	0,414	11	67 $\frac{2}{3}$	54,86	81 %
Marche en pleine charge	115	0,540	16	81,25	72,06	88 %

**68. Générateurs.** — Les chaudières dites inexplosibles, à vaporisation-rapide, ont été rejetées en raison de l'irrégularité de travail de l'usine. On a préféré un type offrant un réservoir de vapeur assez grand et capable d'alimenter deux machines de 70 chevaux. Une chaudière était donc plus que suffisante pour la première installation qui ne comprenait qu'une machine devant donner 60 chevaux au maximum.

La chaudière est semi-tubulaire, à bouilleurs, et timbrée à 6 kilogrammes. Son diamètre est  $1^m,80$  et elle a  $4^m,60$  de longueur au corps. Les deux bouilleurs ont chacun  $0^m,70$  de diamètre et  $5^m,20$  de longueur. La surface de chauffe est de  $140^m^2$ . Mais pour que cette chaudière réponde au service de la première installation, on a réduit d'un tiers environ la surface du foyer : pour cela on a mis des briques réfractaires à partir de l'autel sur une largeur de  $0^m,66$  et entre les deux portes sur une largeur de  $0^m,22$ , depuis la paroi d'avant jusqu'au fond.

**69. Cheminées.** — On était dans l'impossibilité, vu le peu de place, de construire une seule cheminée pour toute l'usine. On en a fait deux d'un

moindre diamètre. En n'en construisant qu'une pour la chaudière du premier établissement, on réduisait d'ailleurs les premiers frais. L'installation des cheminées offre une particularité surtout intéressante. Sur le devant de chacune est une porte que l'on peut ouvrir afin d'obtenir, au devant de la chaudière correspondante, l'emplacement nécessaire pour la manœuvre des tubes de la chaudière.

**70. Canalisation.** — La canalisation sert de régulateur à la pression, mais afin qu'elle ne soit pas trop considérable, ce qui produirait d'importantes pertes de charge si on n'augmentait pas sensiblement le diamètre, chaque cylindre à vent est muni d'un réservoir de 1<sup>m</sup>,25 de diamètre et 3<sup>m</sup>,50 de hauteur.

La conduite jusqu'à la sortie du local de l'usine a 0<sup>m</sup>,25 de diamètre; elle n'a plus que 0<sup>m</sup>,20 jusqu'à la rue Michel-Lecomte. Elle se termine par des diamètres de 0<sup>m</sup>,15 et 0<sup>m</sup>,10. Les tuyaux de distribution ont de 6 à 10 millimètres d'épaisseur. Les conduites montantes sont en plomb, ainsi que les branchements dans les immeubles,

**71. Accessoires.** — Les parties accessoires de cette installation sont : un puits, une pompe, des enregistreurs de vide à l'usine et sur la canalisation, des valves sur la conduite principale, des raccords pour robinets de conduite montante, des robinets de branchements, des compteurs de tours. La Société a la clef des boîtes, des robinets et des compteurs.

TRANSMISSION DE LA FORCE MOTRICE  
PAR L'AIR COMPRIMÉ

**72. Système Popp.** — La C<sup>ie</sup> parisienne de l'air comprimé a établi dans Paris une considérable transmission de force motrice par l'air comprimé. Cette installation comprend deux grandes usines : l'une de 5 000 chevaux à Saint-Fargeau, l'autre de 8 000 chevaux au quai de la Gare. Ce système permet de servir une clientèle dépensant une force motrice relativement considérable. Les réceptrices sont des moteurs rotatifs analogues à ceux employés par MM. Boudenoot et Petit, pour les forces de 6 kilogrammètres à deux chevaux. A partir de cette puissance, on emploie des moteurs semblables aux machines à vapeur,

M. Solignac estime que les petits moteurs dépensent 35 mètres cubes d'air par cheval sans réchauffage et 27 avec réchauffage et que la consommation n'est que de 15 mètres cubes par cheval pour les moteurs plus puissants. En adoptant le prix de 0<sup>fr</sup>,015 par mètre cube d'air comprimé, chiffre donné par M. Solignac, on arriverait à 0<sup>fr</sup>,50 pour la dépense moyenne par cheval pour les machines de faibles puissances et à 0<sup>fr</sup>,225 pour celles de 5, 10 et 15 chevaux. Les chiffres ainsi établis se rapportent à l'air ramené à la pression atmosphérique.

Les conduites formaient un réseau de 80 kilomètres en 1892. Les conduites principales ont 0<sup>m</sup>,300 de diamètre pour celles qui descendent de Saint-Fargeau et 0,500 pour celles qui partent de l'usine de la Gare. Elles sont en fonte. La pression de l'air y est de 4 à 6 kilogrammes.

La C<sup>ie</sup> parisienne ne vise pas seulement que la distribution de force motrice aux ateliers ; elle considère aussi que l'air comprimé serait d'un emploi plus économique que celui de l'eau pour les monte-charges et ascenseurs, parce que la dépense en air comprimé est proportionnelle au travail à effectuer ; enfin, elle a installé des chambres frigorifiques pour la conservation des matières animales et végétales.

## BIBLIOGRAPHIE

---

RENSEIGNEMENTS BIBLIOGRAPHIQUES SUR LA PRODUCTION ET L'EMPLOI DE L'AIR COMPRIMÉ OU RARÉFIÉ.

*Annales des Mines :*

- 1874 T. VI. De la transmission et de la distribution des forces motrices à grande distance, au moyen de l'eau sous pression et de l'air comprimé, par M. Achard. — T. VII. Suite de ce mémoire en 1875.
- 1880 T. XVIII. Frein pneumatique de M. Smith et comparaison du frein électrique Achard avec le frein pneumatique Smith.
1892. Etude sur les pertes de charge de l'air comprimé et de la vapeur dans les tuyaux de conduite, par M. Ch. Ledoux, Ingénieur en chef des Mines.

*Annales des Ponts et Chaussées :*

1883. Fondations à l'air comprimé. Etude générale par M. Séjourné, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

*Annales industrielles :*

1875. Locomotive à air comprimé employée au Saint-Gothard.
1877. Compresseur d'air, système Colladon, comprimant à 14 atmosphères, pour la traction mécanique.
1880. Compresseurs d'air à deux cylindres, système Sautter et Lemonnier.
1882. Procédé de vidange pneumatique, système Berlier.
1883. Frein à vide, système Eames.
1883. Frein continu à air comprimé, système Westinghouse.
1884. Machine à comprimer l'air, système Dubois et François.
1884. Frein continu Wenger à air comprimé, automatique et modérable.
1886. Frein à vide continu et automatique, système Hardy.
1889. Usines à air comprimé V. Popp au Lac Saint-Fargeau.

*Annales des Travaux publics :*

T. XXXIV. De l'emploi de l'air comprimé, par Ph. Banneux.

*Bulletin de la Société d'Encouragement :*

1875. Note sur le compresseur Colladon employé au tunnel du St-Gothard.
1876. Système de locomotive à l'air comprimé construite au Creusot et employée au tunnel du St-Gothard, par M. Ribourt.

1876. Sur les compresseurs employés à la production de l'air comprimé, par M. Pernolet.
1877. Locomotive à air comprimé, système Mékarski.
1879. Substitution de l'air comprimé à la poudre pour l'abatage du charbon dans les houillères.
1882. Emploi de l'air comprimé pour la transmission de l'heure, système de MM. Popp et Resch.
1882. Nouvelle pompe pour la compression des gaz, par M. Cailletet.
1882. Communication faite par M. Solignac, ingénieur de la maison Popp, sur l'industrie de l'air comprimé.

*Bulletin de la Société de l'Industrie minière :*

- 1866-67. Etude théorique sur les machines à air comprimé, par M. Mallard, Ingénieur des Mines, professeur à l'École des Mines de Paris.
1880. Notice sur la résistance d'un cylindre creux, simple ou composé, soumis à une pression intérieure, par M. Rollet, ingénieur au Creusot.
1888. L'air comprimé aux mines de Blanzky, par M. Mathet, Ingénieur en chef de la Compagnie des Mines de Blanzky.

*Cuyper :*

- 1887 T. I. Note sur l'établissement des machines à comprimer l'air aux charbonnages du Levant du Flénu.
- 1878 T. III. Note sur l'effet utile de l'air comprimé et de l'eau à haute pression, par M. Trasenter.
- 1878 T. III. Note sur une machine à air comprimé, à détente, installée aux charbonnages du Levant du Flénu, à Cuesmes.

- 1880 T. VII. Emploi de l'air comprimé, par M. Habets.
- 1880 T. VIII. Expériences faites au tunnel du Saint-Gothard sur l'écoulement de l'air comprimé en longues conduites métalliques pour la transmission des forces motrices.
1886. Les machines du service pneumatique du nouvel hôtel des postes à Paris, par M. Wünschendorff, ancien élève de l'École Polytechnique, Ingénieur des télégraphes. Dunod, éditeur.
- 1886 T. XX. L'air raréfié : théorie et calculs faits pour sa production, sa transmission et son utilisation, par M. Hanarte.
- 1889 (2<sup>e</sup> semestre). Le transport et la distribution de la force motrice à grande distance par l'air comprimé, par M. Deschamps, professeur à l'université de Liège.
- 1890 (2<sup>e</sup> semestre). Le transport et la distribution de la force motrice à grande distance par l'air raréfié, par M. Deschamps.

*François (Joseph)*, Ingénieur :

1888. Rapport sur le transport et la distribution de la force motrice par l'air comprimé dans la Ville de Paris. Chaix, éditeur.

*Génie Civil* :

1886. Transmission de la force motrice par l'air raréfié, système Petit, par M. Max de Nansouty.
1888. Expériences faites aux États-Unis sur le frein Westinghouse.
1889. Expériences de M. Kennedy sur la transmission de force motrice établie à Paris par M. Popp.

*Hanarte :*

1879. Théorie et calculs faits pour la production et l'utilisation de l'air comprimé. Dacquin, éditeur, Mons.
1891. Conférence faite à l'association des ingénieurs sortis de l'école de Liège (Revue universelle des Mines, t. XVI, 3<sup>e</sup> série, 3<sup>e</sup> année, 1891).

*Mémoires de la Société des Ingénieurs civils et Bulletin de la dite Société :*

1867. Ventilation mécanique par l'air comprimé, par MM. Piarron de Mondésir et Lehaitre.
- 1885 (1<sup>er</sup> semestre). Distribution de la force motrice à domicile au moyen de l'air raréfié. Mémoire de M. Boudenoot.
- 1885 (2<sup>e</sup> semestre). Observations techniques à propos du mémoire de M. Boudenoot sur l'air raréfié, par M. Piarron de Mondésir.
- 1886 (1<sup>er</sup> semestre). Lettre de M. Mékarski sur les moteurs à air raréfié.
- 1888 (*Bulletin d'octobre*). Construction et calcul des cylindres de presses hydrauliques ou à air, par M. Barbet, Ingénieur de la maison Cail.
- 1889 (1<sup>er</sup> semestre). Communication de M. Boudenoot relative au mémoire de M. Daujat sur la distribution de la force par l'air raréfié.

*Oypermann (machines) :*

1878. Réchauffeur, saturateur et régulateur de détente des tramways à air comprimé de M. Mékarski.
1879. Frein à vide de Smith.

1880. Trompette de brume à air comprimé.  
 1882. Système de distribution de force à domicile au moyen de l'air comprimé.  
 1883. Frein à vide de la Compagnie *The vacuum broke Company*.  
 1886. Locomotive à air comprimé, système Mékarski, pour le Métropolitain de Paris.  
 1886. Compresseurs d'air à grande vitesse, exécutés par la Compagnie de Fives-Lille, pour la Société des Mines de Lens.  
 1886. Machine à essayer les sacs de freins à vide.  
 1888. Moteur à air raréfié, système Petit et Boudenoot.

*Pernolet*, Ingénieur :

1876. L'air comprimé et ses applications.

*Publication industrielle Armengaud* :

- T. XX. Pompes à comprimer l'air et les gaz, par Colladon.  
 T. XXIII. Appareil et pompes employées à Berlin pour le transport des dépêches, simultanément au moyen du vide et de la pression.  
 T. XXXI. Compresseur d'air, système Burckardt et Weiss.

*Revue Industrielle* :

1886. Appareils pour mesurer la compressibilité des gaz à haute pression, système Amagat.
-

## APERÇU CHRONOLOGIQUE

DES APPLICATIONS DE L'AIR COMPRIMÉ OU RARÉFIÉ (1)

—

*Cloches à plongeur :*

1538. Deux Grecs descendent dans le Tage, à Tolède, au moyen d'une cloche à plongeur.
1552. Expériences analogues faites à Venise.
1667. William Philipps repêche un trésor, perdu dans un naufrage, dans les environs de Saint-Domingue.
1721. L'astronome anglais Halley alimente une cloche à plongeur au moyen de tonneaux pleins d'air que l'on descendait au-dessous de la cloche et dans laquelle on les vidait.
1780. Triewald, ingénieur suédois, fit une cloche en cuivre étamé et Spalding perfectionna les moyens de descente ou de remonte en plaçant des poids mobiles que l'on pouvait suspendre à la cloche ou faire reposer sur le fond, au milieu de l'eau.
1786. Smeaton alimente la cloche au moyen d'une pompe foulante.

---

(1) D'après PEAROLET : *Air comprimé*. Dunod, 1876.

1812. L'ingénieur Rennie fait des cloches parallépipédiques en fonte et perfectionne le mode de suspension.
1846. De la Gournerie, Ingénieur des Ponts et Chaussées, fait, au Croisic, une application importante de la cloche à plongeur.

*Scaphandres :*

1721. John Lethbridge imagine de munir la cloche à plongeur de deux trous pour les bras et d'une lentille.
1797. Klingert essaie, à Breslau, dans l'Oder, un cylindre métallique fermé d'une calotte hémisphérique, s'adaptant sur le corps du plongeur, dont les bras sortaient par deux trous et dont les yeux pouvaient agir au moyen de trous garnis de lentilles. Deux tuyaux souples, aboutissant à la surface, servaient, l'un à l'arrivée de l'air frais; l'autre, à l'évacuation de l'air expiré.
1829. Siebe, de Londres, perfectionne ce premier scaphandre de Klingert.
1857. Scaphandre de Cabirol.
1867. Scaphandre de Rouquayrol et Denayrouze.

*Bateaux sous-marins :*

1776. Le premier essai est fait aux Etats-Unis, lors de la guerre de l'Indépendance, par David Bushnell, du Connecticut, qui crée un bateau submersible avec lequel il essaie d'aller fixer au flanc des navires ennemis un tonneau de poudre.
1800. Fulton reprend ces essais avec l'appui de Bonaparte.

1809. Essais faits au Havre par les frères Coëssin.
1862. Essai intéressant, à Philadelphie et à Noirmoutiers, d'un bateau sous-marin de M. Villeroi, de Nantes.
- Bateau le *Plongeur*, construit à Rochefort par le contre-amiral Bourgois.
1886. Le *Goubet*, bateau porte-torpille, reçoit une application de l'air comprimé à l'aération d'un bateau sous-marin. 150 litres d'air comprimé à 50 atmosphères, fournissent pendant 8 heures une quantité de 800 litres à l'heure à la pression atmosphérique pour les deux hommes de l'équipage.

*Application de l'air comprimé au fonçage des puits et des piles en terrains inconsistants et aquifères :*

1839. Triger (1) eut l'idée d'injecter de l'air à 3 ou 4 atmosphères, pour chasser l'eau d'un tube en tôle de 1<sup>m</sup>,033 de diamètre et pouvoir creuser au bas du tube en y travaillant à sec.
1845. Nouvelle application de Triger au fonçage d'un puits de 1<sup>m</sup>,80 de diamètre intérieur.
1851. William Cubbit applique l'air comprimé à la fondation des piles du pont de Rochester, sur la Medway.
1854. Brunel fait la même application au pont de Saltash.
1854. Premiers essais de télégraphie pneumatique à Londres par Latimer Clark.

---

(1) Voir les *Comptes rendus de l'Académie des Sciences* de l'année 1811, t. XIII, p. 884.

1859. Substitution du caisson aux tubes employés primitivement, innovation de M. Fleur Saint-Denis, appliquée la première fois au pont de Kehl.

1861. Fondation des piles du pont d'Argenteuil.

Il serait difficile de donner une nomenclature de tous les travaux de fondations exécutés avec le secours de l'air comprimé tant ils sont nombreux. Citons, en terminant :

1888-89. Fondation des quatre pieds de la tour Eiffel.

*Transmission de force motrice :*

1688. Dans les *Acta eruditorum, Lipsiæ*. Papin fait la description d'un système de transmission de la force motrice par l'air raréfié.

1694. *Recueil des diverses pièces, Cassel*. Papin revient sur ce système et fait remarquer que les conduites ne contiendraient jamais d'eau.

1845. Triger, aux mines de Chalonnès, transmet la force motrice d'une machine à 230 mètres de distance par le moyen de l'air comprimé.

1849. Même application dans une houillère, près Glasgow, et depuis, dans la plupart des grandes exploitations houillères.

1852. Daniel Colladon, professeur à Genève, propose, pour le percement du Mont-Cenis, des procédés basés sur l'emploi de l'air comprimé.

1855. Sommeiller, Grandis et Grattoni pensent à actionner le perforateur Bartlett par l'air comprimé et à s'en servir au percement des Alpes. L'air était comprimé par un système de bélier à colonne d'eau,

1861. Sommeiller, pour remplacer ces béliers défectueux, invente le compresseur à pistons. De la force motrice fut transmise à plus de 6000 mètres du point où elle était recueillie par des roues hydrauliques.
1864. Etablissement d'une transmission par l'air comprimé aux mines de Sars-Longchamp, Belgique ;
1866. — aux mines royales de Saarbrück ;
1867. — dans le bassin de la Loire ;
1868. — aux mines de Marihaye, dans le bassin de Liège, et aux mines d'Anzin, en France ;
1870. — aux mines de Ronchamp, dans la Haute-Saône.

Depuis, ces installations se sont généralisées.

1872. Entreprise du percement du mont Saint-Gothard de 14 920 mètres de longueur, par les procédés analogues à ceux employés au percement du Mont-Cenis.
1882. Petit et Boudenoot publient leur projet de distribution de la force motrice par l'air raréfié. Cette distribution, destinée au quartier Saint-Avoye, a été réalisée en 1885.
- Bientôt après, M. Boudenoot inventait un récepteur destiné à utiliser l'air raréfié.
- 1881-92. Etablissement à Paris du système de distribution de la force motrice à domicile, par l'air comprimé (système Popp). Usines à Saint-Fargeau et au quai de la Gare.

*Locomotives à air comprimé :*

1840. Andraud et Tessjé du Motay ont fait circuler

- sur un petit chemin de fer, à Chaillot, une voiture mue par l'air comprimé.
1858. Sommeiller a fait circuler une locomotive à air comprimé, entre Gênes et une usine voisine.
1874. M. Favre, entrepreneur du tunnel du Saint-Gothard, a fait le transport des déblais par des locomotives ordinaires actionnées par l'air comprimé contenu dans un réservoir attelé à l'arrière.
1875. M. Ribourt, Ingénieur des machines au Saint-Gothard, a inventé une machine locomotive à air comprimé à 14 atmosphères.

*Applications diverses :*

1810. Madhurst, Ingénieur danois, a l'idée d'un chemin de fer atmosphérique, c'est-à-dire actionné par la pression atmosphérique.
1818. Vallance donne corps à cette idée et imagine de faire mouvoir, dans un tube, par la pression atmosphérique, un cylindre contenant des voyageurs et des marchandises.
1824. Pinkus propose un système de traction produite par le mouvement, dans un tube, d'un piston devant lequel on faisait le vide, et qui était relié à un chariot par une tige sortant par une fente latérale du tube.
1839. Première expérience de ce système à Wormwood Scrubs, près Londres.
1847. Ouverture du chemin de fer atmosphérique de Paris à St-Germain, construit par Flachat. Cette entreprise finit en 1860.

1877. Eugène Bourdon présente une horloge pneumatique à la Société d'encouragement.
1877. Resch et Popp installent la distribution pneumatique de l'heure à Vienne.
- 1872-73. Frein Westinghouse à air comprimé. La Compagnie des chemins de fer de l'Ouest, la première, a mis en œuvre le frein Westinghouse.
1881. Distribution pneumatique de l'heure à Paris, usine installée par M. Popp.
1886. Inauguration du service pneumatique du nouvel Hôtel des Postes à Paris.
-



# TABLE DES MATIÈRES

## PARTIE THÉORIQUE

### CHAPITRE PREMIER

#### *Théorie des gaz*

	Pages
Equation de l'état gazeux . . . . .	7
Poids d'un volume de gaz; volume d'un poids de gaz . . . . .	10
Quantité de chaleur correspondante à un changement d'état d'un gaz . . . . .	11
Détente isothermique . . . . .	15
Détente adiabatique . . . . .	17
Passage d'un gaz de l'état $t, p, V$ , à l'état $t_1, p_1, V_1$ , sans communication de chaleur avec l'extérieur.	18
Principe de Carnot . . . . .	21

### CHAPITRE II

#### *Formules relatives aux transmissions par l'air comprimé*

1° Compresseurs d'air . . . . .	27
Travail à dépenser pour faire passer un poids donné d'air dans un réservoir . . . . .	28
Volume à donner au cylindre de la pompe . . . . .	31
Température finale de l'air comprimé . . . . .	31

	Pages
Cylindres étagés . . . . .	32
Quantité d'eau pulvérisée à injecter pour refroidir l'air au compresseur . . . . .	36
2° Machines réceptrices . . . . .	38
Machines à détente complète. . . . .	39
" sans détente . . . . .	42
" à détente incomplète . . . . .	45
Quantité d'eau chaude à injecter pour marcher à détente complète . . . . .	47
3° Influence de la vapeur d'eau. . . . .	49
4° Conduites d'air . . . . .	51

## PARTIE PRATIQUE

### CHAPITRE III

#### *Divers systèmes de transmission de la force motrice à grande distance*

Comparaison des systèmes . . . . .	55
------------------------------------	----

### CHAPITRE IV

#### *Données et coefficients pour l'application des formules*

1° Compresseurs . . . . .	62
Débit d'un compresseur . . . . .	63
Espace nuisible . . . . .	64
Section des orifices d'aspiration et de refoulement . . . . .	66



TABLE DES MATIÈRES

165

	Pages
Fonctionnement des soupapes . . . . .	67
Fuites par le piston . . . . .	69
Echauffement de l'air . . . . .	69
Evaluation du rendement d'un compresseur .	71
Rendement volumétrique . . . . .	73
Rendement dynamique . . . . .	74
Vitesse du piston . . . . .	74
2° Machines réceptrices . . . . .	75
Lumières de distribution . . . . .	75
Pression de l'air, détente réchauffeurs . . .	75
Rendement total d'une transmission par l'air comprimé . . . . .	78
Rendement des machines à air . . . . .	79
3° Réservoirs et conduites . . . . .	79
Réservoirs . . . . .	79
Conduites . . . . .	81
4° Détails d'application et de construction . .	82
Connexion d'un compresseur et d'une ma- chine à vapeur . . . . .	82
Pistons . . . . .	82
Orifices de sortie des machines réceptrices .	83
Garnitures . . . . .	83
Presse-étoupes . . . . .	84
Graissage . . . . .	85
Collecteur . . . . .	85
Clapet de retraite . . . . .	86
Réservoirs . . . . .	86
Régulateur de pression . . . . .	86
Matières des tuyaux . . . . .	87
Joints . . . . .	88
Points d'appui de la conduite . . . . .	88

	Pages
Dilatation des tuyaux . . . . .	89
Purgeurs . . . . .	89
Appareils terminant les conduites . . . . .	90
Détendeurs et régulateurs de pression pour les machines réceptrices . . . . .	90

## CHAPITRE V

*Dimensions générales et effet utile des compresseurs*

Compresseurs à basse pression. Machines soufflantes . . . . .	93
Machines soufflantes à balancier d'Ebbw-Vale — Shelton — Niederrheinische Hütte . . .	94
Machines soufflantes horizontales Thomas et Laurens — Georgs-Marien Hütte — Farcot et fils . . . . .	94
Machines verticales à cylindres superposés de la Société Cockerill — Crenсот — Philadelphie (Etats-Unis) . . . . .	95
Compresseurs à moyenne pression. . . . .	96
Pour fonçage de puits — Machine employée à la Louvière (Belgique) — Machine de Horloz (Belgique) . . . . .	96
Pour fondations tubulaires ou pour fondations par caissons. — Machines du pont de Szege-din. — Machine Castor (Kehl) — Machine Cail (Kehl). . . . .	96
Compresseurs pour convertisseurs Bessemer — Machines horizontales conjuguées du Creusot	

	Page
— Machine de Pittsburg (Etats-Unis) à cylindres superposés — Machine de Bessèges . . . . .	96
Compresseurs à haute pression . . . . .	101
Compresseur de l'Homme — Compresseur Révollier (Anzin) — Compresseur Colladon d'Airolo — Compresseur Sautter et Lemonnier (mines de Lens) — Compresseur de Marihaye — Compresseur de Ronchamp — Compresseur d'Anzin — Type Cockerill — Compresseur Sievers (Saarbrück) . . . . .	103
Compresseurs de l'Exposition universelle de 1889. . . . .	116
Compresseur Hanarte — Compresseur Dubois et François — Compresseur Burckardt et Weiss — Compresseur Mékarski (système Compound) . . . . .	118
Systèmes divers . . . . .	121
Appareils à déplacement . . . . .	121
Appareils à entraînement. . . . .	122
Injecteurs . . . . .	123
Compresseur à choc . . . . .	123
Compresseur à très haute pression. . . . .	124

## CHAPITRE VI

*Applications diverses*

Télégraphes pneumatiques. . . . .	125
Compresseurs . . . . .	125
Renseignements divers . . . . .	129
Distribution pneumatique de l'heure . . . . .	130
Distribution de la force motrice à domicile	

	Pages
par l'air raréfié, à Paris (système Petit et Boudenoot . . . . .	132
Distribution de la force motrice par l'air comprimé, à Paris (système Popp). . . . .	147

### BIBLIOGRAPHIE ET HISTORIQUE

Renseignements bibliographiques . . . . .	149
Aperçu chronologique des applications de l'air comprimé ou raréfié . . . . .	155

---

ST-AMAND (CHER). IMPRIMERIE DESTENAY, BUSSIÈRE FRÈRES

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

55, QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS, A PARIS.

Envoi *franco* contre mandat-poste ou valeur sur Paris.

# THERMOCHIMIE.

## DONNÉES ET LOIS NUMÉRIQUES.

PAR

M. BERTHELOT,

Sénateur, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences,  
Professeur au Collège de France.

TOME I : Les lois numériques, XVII-737 pages. — TOME II : les données expérimentales, 878 pages.

DEUX BEAUX VOLUMES GRAND IN-8; 1897, SE VENDANT  
ENSEMBLE..... 50 FR.

*Extrait de la Note de M. BERTHELOT accompagnant la présentation de son Ouvrage à l'Académie des Sciences (séance du 8 juin 1897).*

Depuis la publication de mon *Essai de Mécanique chimique* (1879), et sous l'impulsion des idées qui s'y trouvaient développées, les recherches expérimentales de Thermo-chimie ont pris une extension tous les jours plus considérable, dans mon laboratoire et dans ceux des autres savants, français et étrangers. En effet, j'ai poursuivi mes travaux sans relâche, et de nombreux élèves les ont continués et développés sous ma direction....

Toutefois, par une conséquence presque inévitable, ce développement rapide de la Thermo-chimie a fini par amener une certaine confusion... Non seulement les résultats sont épars dans les recueils spéciaux, mais une difficulté, plus grande peut-être, est née de cette circonstance que les chiffres relatifs à la formation des combinaisons n'ont été que rarement mesurés directement.

Il était donc indispensable de revoir toutes ces valeurs. Dès lors, il fallait refaire tous les calculs, en suivant un plan uniforme, afin d'obtenir des données comparables entre elles.

J'ai cru utile, non seulement de donner les valeurs rectifiées, mais aussi d'exposer à propos de chaque nombre quelle était l'expérience spéciale dont il est déduit et quelles étaient les autres données expérimentales, à l'aide desquelles le nombre déduit de cette expérience a été calculé.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

LES MÉTHODES NOUVELLES  
DE LA  
MÉCANIQUE CÉLESTE,

Par H. POINCARÉ,

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

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

TOME I : Solutions périodiques. Non-existence des intégrales uniformes. Solutions asymptotiques 1892..... 12 fr.

TOME II : Méthodes de MM. Newcomb, Gylden, Lindstedt et Böhlin; 1894. 14 fr.

TOME III : Invariants intégraux. Stabilité. Solutions périodiques du deuxième genre. Solutions doublement asymptotiques. Prix pour les souscripteurs..... 12 fr.

UN FASCICULE (200 PAGES) A PARU.

ŒUVRES DE LAGUERRE

PUBLIÉES SOUS LES AUSPICES DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES,

Par MM. Ch. HERMITE, H. POINCARÉ et E. ROUCHÉ,

Membres de l'Institut.

DEUX VOLUMES GRAND IN-8 SE VENDANT SÉPARÉMENT.

TOME I : Algèbre. Calcul intégral; 1898..... 15 fr.

TOME II : Géométrie..... (Sous presse.)

PRÉCIS ÉLÉMENTAIRE

DE LA THÉORIE

DES FONCTIONS ELLIPTIQUES

AVEC TABLES NUMÉRIQUES ET APPLICATIONS.

Par M. Lucien LÉVY,

Examinateur d'admission et Répétiteur d'analyse à l'École Polytechnique.

UN VOLUME GRAND IN-8, AVEC FIGURES; 1898..... 7 FR. 50 C.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

INTRODUCTION

A LA

GÉOMÉTRIE DIFFÉRENTIELLE

SUIVANT LA MÉTHODE DE H. GRASSMANN,

Par C. BURALI-FORTI,

Professeur à l'Académie militaire de Turin,

UN VOLUME IN-8, AVEC FIGURES; 1897..... 4 FR. 50 C.

COURS DE PHYSIQUE

A L'USAGE DES CANDIDATS AUX ÉCOLES SPÉCIALES

(conforme aux derniers programmes),

PAR

**James CHAPPUIS,**  
Agrégé Docteur ès Sciences,  
Professeur de Physique générale  
à l'École Centrale  
des Arts et Manufactures.

**Alphonse BERGET,**  
Docteur ès Sciences,  
Attaché au Laboratoire des recherches  
physiques à la Sorbonne.

UN BEAU VOLUME, GRAND IN-8 (23<sup>cm</sup> × 16<sup>cm</sup>) DE IV-697 PAGES,  
AVEC 463 FIGURES.

Broché..... 14 fr. | Relié cuir souple..... 17 fr.

EXPLOSIFS NITRÉS.

TRAITÉ PRATIQUE CONCERNANT LES PROPRIÉTÉS, LA FABRICATION ET  
L'ANALYSE DES SUBSTANCES ORGANIQUES EXPLOSIBLES NITRÉES, Y  
COMPRIS LES FULMINATES, LES POUDRES SANS FUMÉE ET LE CEL-  
LULOÏD.

Par P. Gerald SANFORD.

de l'Imperial College, Chimiste conseil de la Cotton Powder Company.

TRADUIT, REVU ET AUGMENTÉ

par J. DANIEL,

Ingénieur des Arts et Manufactures.

UN VOLUME IN-8, AVEC 43 FIGURES; 1898..... 6 FR.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

# COMPOSITIONS D'ANALYSE

CINÉMATIQUE, MÉCANIQUE ET ASTRONOMIE

données depuis 1869 à la Sorbonne pour la Licence ès Sciences mathématiques.

ÉNONCÉS ET SOLUTIONS,

Par E. VILLIÉ,

Ancien Ingénieur des Mines, Docteur ès Sciences.  
Professeur à la Faculté libre des Sciences de Lille.

3 VOLUMES IN-8 AVEC FIGURES, SE VENDANT SÉPARÉMENT :

I <sup>re</sup> PARTIE : Compositions données depuis 1869. In-8; 1885.....	9 fr.
II <sup>e</sup> PARTIE : Compositions données depuis 1885. In-8; 1890.....	8 fr. 50 c.
III <sup>e</sup> PARTIE : Compositions données depuis 1889. In-8; 1898.....	8 fr.

## COURS DE GÉOMÉTRIE DE LA FACULTÉ DES SCIENCES

LEÇONS SUR LA THÉORIE GÉNÉRALE DES

# SURFACES

ET LES

APPLICATIONS GÉOMÉTRIQUES DU CALCUL INFINITÉSIMAL

Par G. DARBOUX,

Membre de l'Institut, Doyen de la Faculté des Sciences.

4 VOLUMES GRAND IN-8, AVEC FIGURES, SE VENDANT SÉPARÉMENT :

I <sup>re</sup> PARTIE : Généralités. Coordonnées curvilignes. Surfaces minima; 1887..	15 fr.
II <sup>e</sup> PARTIE : Les congruences et les équations linéaires aux dérivées partielles. Des lignes tracées sur les surfaces; 1889.....	15 fr.
III <sup>e</sup> PARTIE : Lignes géodésiques et courbure géodésique.— Paramètres différentiels. — Déformation des surfaces; 1894.....	15 fr.
IV <sup>e</sup> PARTIE : Déformation infiniment petite et représentation sphérique; 1896.	15 fr.

LEÇONS SUR LES

# SYSTÈMES ORTHOGONAUX

ET LES COORDONNÉES CURVILIGNES,

Par G. DARBOUX,

Membre de l'Institut, Doyen de la Faculté des Sciences.

DEUX VOLUMES GRAND IN-8, AVEC FIGURES, SE VENDANT SÉPARÉMENT :

TOME I : Volume de vi-338 pages; 1893.....	10 fr.
TOME II.....	( <i>Sous presse</i> ).

# COURS DE PHYSIQUE

DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,

Par M. J. JAMIN.

QUATRIÈME ÉDITION, AUGMENTÉE ET ENTIÈREMENT REFONDUE

Par M. E. BOUTY,

Professeur à la Faculté des Sciences de Paris.

Quatre tomes in-8, de plus de 4000 pages, avec 1587 figures et 14 planches sur acier, dont 2 en couleur; 1885-1891. (OUVRAGE COMPLET)..... 72 fr.

On vend séparément :

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 fig. 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*; avec 139 figures et 3 planches..... 4 fr.  
 3<sup>e</sup> fascicule. — *Étude 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.

(\*) Les matières du programme d'admission à l'École Polytechnique sont comprises dans les parties suivantes de l'Ouvrage : Tome I, 1<sup>er</sup> fascicule; Tome II, 1<sup>er</sup> et 2<sup>e</sup> fascicules; Tome III, 2<sup>e</sup> fascicule.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

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.

*Tables générales, par ordre de matières et par noms d'auteurs des quatre volumes du Cours de Physique.* In-8; 1891... 60 c.

Des suppléments destinés à exposer les progrès accomplis viendront 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.

# LES BALLONS-SONDES

DE MM. HERMITE ET BESANÇON,

ET LES ASCENSIONS INTERNATIONALES,

PAR

**WILFRID DE FONVIELLE,**

Secrétaire de la Commission internationale d'Aéronautique,

PRÉCÉDÉ D'UNE INTRODUCTION

Par **M. BOUQUET DE LA GRYE,**

Membre de l'Institut,

Président de la Commission scientifique d'Aérostation de Paris.

Un volume in-18 jésus avec 27 figures; 1898..... 2 fr. 75 c.

# LEÇONS SUR L'ÉLECTRICITÉ

PROFESSÉES A L'INSTITUT ÉLECTROTECHNIQUE MONTEFIORE  
ANNEXÉ A L'UNIVERSITÉ DE LIÈGE,

Par **M. Eric GÉRARD,**

Directeur de l'Institut électrotechnique Montefiore.

3<sup>e</sup> ÉDITION, REFONDUE ET COMPLÉTÉE.

TOME I : Théorie de l'Électricité et du Magnétisme. Électrométrie. Théorie et construction des générateurs et des transformateurs électriques, avec 381 figures; 1897..... 12 fr.

TOME II : Canalisation et distribution de l'énergie électrique. Application de l'électricité à la télégraphie et à la téléphonie, à la production et à la transmission de la puissance motrice, à la traction, à l'éclairage et à la métallurgie. Avec 378 figures; 1898..... 12 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

# THÉORIE

DES

# FONCTIONS ALGÈBRIQUES

DE DEUX VARIABLES INDÉPENDANTES,

PAR

Émile PICARD,

Membre de l'Institut,  
Professeur à l'Université de Paris.

Georges SIMART,

Capitaine de frégate,  
Répétiteur à l'École Polytechnique.

DEUX VOLUMES GRAND IN-8, SE VENDANT SÉPARÉMENT.

TOME I, grand in-8 de vi-246 pages; 1897..... 9 fr.

TOME II..... (En préparation).

LA

# PRATIQUE DU TEINTURIER

PAR

JULES GARÇON,

Ingénieur-Chimiste, Licencié ès Sciences,

TROIS VOLUMES IN-8, SE VENDANT SÉPARÉMENT :

TOME I : Les Méthodes et les essais de teinture. Le succès en teinture ;  
1894..... 3 fr. 50 c.

TOME II : Le Matériel de teinture. Avec 245 figures; 1894..... 10 fr.

TOME III : Les Recettes types et les procédés spéciaux de teinture; 1897.  
9 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

LE  
**LABORATOIRE D'ÉLECTRICITÉ.**

NOTES ET FORMULES,

Par le **D<sup>r</sup> J.-A. FLEMING,**

de l'*University College* de Londres.

Traduit de l'anglais sur la 2<sup>e</sup> édition et augmenté d'un Appendice.

Par **J.-L. ROUTIN,**

Ancien Élève de l'École Polytechnique.

UN VOLUME IN-8, AVEC FIGURES; 1897.

BROCHÉ..... 6 FR. | CARTONNÉ..... 7 FR. 50 C.

ÉCOLE PRATIQUE DE PHYSIQUE

COURS SUPÉRIEUR

**DE MANIPULATIONS DE PHYSIQUE**

PRÉPARATOIRE AUX CERTIFICATS D'ÉTUDES SUPÉRIEURES ET A LA LICENCE.

Par **M. Aimé WITZ,**

Docteur ès Sciences, Ingénieur des Arts et Manufactures,  
Professeur aux Facultés catholiques de Lille.

2<sup>e</sup> ÉDITION, REVUE ET AUGMENTÉE. IN-8, AVEC 138 FIGURES; 1897. 10 FR.

PRINCIPES

DE LA

**THÉORIE DES FONCTIONS ELLIPTIQUES  
ET APPLICATIONS,**

PAR

**P. APPELL,**

Membre de l'Institut, Professeur  
à l'Université de Paris.

**E. LACOUR,**

Maître de Conférences à l'Université  
de Nancy.

UN BEAU VOLUME GRAND IN-8, AVEC FIGURES; 1897..... 12 FR.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

# ENCYCLOPÉDIE DES TRAVAUX PUBLICS

ET ENCYCLOPÉDIE INDUSTRIELLE

Fondées par M.-C. LECHALAS, Inspecteur général des Ponts et Chaussées.

## TRAITÉ DES MACHINES A VAPEUR

RÉDIGÉ CONFORMÉMENT AU PROGRAMME DU COURS DE MACHINES A VAPEUR  
DE L'ÉCOLE CENTRALE.

PAR

**ALHEILIG,**

Ingénieur de la Marine,  
Ex-Professeur à l'École d'application  
du Génie maritime.

**Camille ROCHE,**

Industriel,  
Ancien Ingénieur de la Marine.

DEUX BEAUX VOLUMES GRAND IN-8, SE VENDANT SÉPARÉMENT (E. I.) :

**TOME I :** Thermodynamique théorique et applications. La machine à vapeur et les métaux qui y sont employés. Puissance des machines, diagrammes indicateurs. Freins. Dynamomètres. Calcul et dispositions des organes d'une machine à vapeur. Régulation, épures de détente et de régulation. Théorie des mécanismes de distribution, détente et changement de marche. Condensation, alimentation. Pompes de service. — Volume de XI-604 pages, avec 412 figures; 1895. . . . . **20 fr.**

**TOME II :** Forces d'inertie. Moments moteurs. Volants régulateurs. Description et classification des machines. Machines marines. Moteurs à gaz, à pétrole et à air chaud. Graissage, joints et presse-étoupes. Montage des machines et essais des moteurs. Pas-sation des marchés. Prix de revient, d'exploitation et de construction. Servo-moteurs. Tables numériques. — Volume de IV-560 pages, avec 281 figures; 1895. . . . . **18 fr.**

## CHEMINS DE FER

MATÉRIEL ROULANT. RÉSISTANCE DES TRAINS. TRACTION.

PAR

**E. DEHARME,**

Ingénieur principal du Service central  
de la Compagnie du Midi.

**A. PULIN,**

Ingénieur, Inspecteur principal  
de l'Atelier central des chemins de fer  
du Nord.

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

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

## COURS DE CHEMINS DE FER

PROFESSÉ A L'ÉCOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSÉES,

Par **M. 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 : Études. — Construction. — Voie et appareils de voie. — Volume de VIII-634 pages avec 326 figures; 1894..... 20 fr.

TOME II : Matériel roulant et Traction. — Exploitation technique. — Tarifs. — Dépenses de construction et d'exploitation. — Régime des concessions. — Chemins de fer de systèmes divers. — Volume de 709 pages, avec 177 figures; 1894..... 20 fr.

## COUVERTURE DES ÉDIFICES

ARDOISES, TUILES, MÉTAUX, MATIÈRES DIVERSES,

Par **M. 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 **M. J. DENFER,**

Architecte, Professeur à l'École Centrale.

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

TOME I : Généralités sur la fonte, le fer et l'acier. — Résistance de ces matériaux. — Assemblages des éléments métalliques. — Chainages, linteaux et poitrails. — Planchers en fer. — Supports verticaux. Colonnes en fonte. Poteaux et piliers en fer. — Grand in-8 de 584 pages avec 479 figures; 1894..... 20 fr.

TOME II : Pans métalliques. — Combles. — Passerelles et petits ponts. — Escaliers en fer. — Serrurerie. (Ferrements des charpentes et menuiseries. Paratonnerres. Clôtures métalliques. Menuiserie en fer. Serres et vérandas). — Grand in-8 de 626 pages avec 571 figures; 1894..... 20 fr.

## ÉLÉMENTS ET ORGANES DES MACHINES

Par **M. AL. GOUILLY,**

Ingénieur des Arts et Manufactures.

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

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

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

Par **Henri DE LAPPARENT**,

Inspecteur général de l'Agriculture.

INFLUENCE DES CÉPAGES, DES CLIMATS, DES SOLS, ETC., SUR LA QUALITÉ DU VIN, VINIFICATION, CUVERIE ET CHAIS, LE VIN APRÈS LE DÉCUVAGE, ÉCONOMIE, LÉGISLATION.

GRAND IN-8 DE XII-533-PAGES, AVEC 111 FIG. ET 28 CARTES DANS LE TEXTE; 1895 (E. I.)..... 12 FR.

## CONSTRUCTION PRATIQUE des NAVIRES de GUERRE

Par **M. A. CRONEAU**,

Ingénieur de la Marine,

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

DEUX VOLUMES GRAND IN-8 ET ATLAS; 1894 (E. I.).

TOME I : Plans et devis. — Matériaux. — Assemblages. — Différents types de navires. — Charpente. — Revêtement de la coque et des ponts. — Gr. in-8 de 379 pages avec 305 fig. et un Atlas de 11 pl. in-4 doubles, dont 2 en trois couleurs; 1894. 18 fr.

TOME II : Compartimentage. — Cuirassement. — Pavois et garde-corps. — Ouvertures pratiquées dans la coque, les ponts et les cloisons. — Pièces rapportées sur la coque. — Ventilation. — Service d'eau. — Gouvernails. — Corrosion et salissure. — Poids et résistance des coques. — Grand in-8 de 616 pages 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).

## TRAITÉ DES INDUSTRIES CÉRAMIQUES

TERRES CUITES.

PRODUITS RÉFRACTAIRES. FAÏENCES. GRÈS. PORCELAINES.

Par **E. BOURRY**,

Ingénieur des Arts et Manufactures.

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

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

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.

UN VOLUME GRAND IN-8 DE 674 PAGES, AVEC 368 FIGURES ET ÉCHAN-  
TILLONS DE TISSUS IMPRIMÉS; 1893 (E. I.)..... 30 FR.

TRAITÉ DE CHIMIE ORGANIQUE APPLIQUÉE

Par **M. A. JOANNIS,**

Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux,  
Chargé de cours à la Faculté des Sciences de Paris.

DEUX VOLUMES GRAND IN-8 (E. I.).

TOME I : Généralités. Carbures. Alcools. Phénols. Éthers. Aldéhydes. Cétones.  
Quinones. Sucres. — Volume de 688 pages, avec figures; 1896..... 20 fr.

TOME II : Hydrates de carbone. Acides monobasiques à fonction simple. Acides  
polybasiques à fonction simple. Acides à fonctions mixtes. Alcalis organiques. Amides.  
Nitriles. Carbylamines. Composés azoïques et diazoïques. Composés organo-métal-  
liques. Matières albuminoïdes. Fermentations. Conservation des matières alimentaires.  
Volume de 718 pages, avec figures; 1896..... 15 fr.

MANUEL DE DROIT ADMINISTRATIF

SERVICE DES PONTS ET CHAUSSÉES ET DES CHEMINS VICINAUX,

Par **M. Georges LECHALAS,**

Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

DEUX VOLUMES GRAND IN-8, SE VENDANT SÉPARÉMENT (E. T. P.).

TOME I : Notions sur les trois pouvoirs. Personnel des Ponts et Chaussées. Principes  
d'ordre financier. Travaux intéressant plusieurs services. Expropriations. Dommages  
et occupations temporaires. — Volume de CXLVII-536 pages; 1889..... 20 fr.

TOME II (1<sup>re</sup> PARTIE) : Participation des tiers aux dépenses des travaux publics.  
Adjudications. Fournitures. Régie. Entreprises. Concessions. — Volume de VIII-  
399 pages; 1893..... 10 fr.

COURS DE GÉOMÉTRIE DESCRIPTIVE

ET DE GÉOMÉTRIE INFINITÉSIMALE,

Par **M. Maurice D'OCAGNE,**

Ingénieur des Ponts et Chaussées, Professeur à l'École des Ponts et Chaussées,  
Répétiteur à l'École Polytechnique.

UN VOLUME GRAND IN-8, DE XI-428 PAGES, AVEC 340 FIGURES; 1896  
(E. T. P.)..... 12 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.

A côté d'Ouvrages d'une certaine étendue, comme le *Traité* de M. Davanne, le *Traité encyclopédique* de M. Fabre, le *Dictionnaire de Chimie photographique* de M. Fourtier, la *Photographie médicale* de M. Londe, etc., elle comprend une série de monographies nécessaires à celui qui veut étudier à fond un procédé et apprendre les tours de main indispensables pour le mettre en pratique. Elle s'adresse donc aussi bien à l'amateur qu'au professionnel, au savant qu'au praticien.

## LES PAPIERS PHOTOGRAPHIQUES AU CHARBON.

ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR DE LA PHOTOGRAPHIE.

(COURS PROFESSÉ A LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHOTOGRAPHIE.)

Par R. COLSON, Capitaine du Génie, Répétiteur  
à l'École Polytechnique.

Un volume grand in-8; 1898..... 2 fr. 75 c.

## LA PRATIQUE DE LA PHOTOTYPOGRAVURE AMÉRICAINE.

Par M. Wilhelm CRONENBERG. — Traduit par M. C. FÉRY.

In-18, avec 66 figures et 13 planches; 1898..... 3 fr.

## LA PHOTOGRAPHIE. TRAITÉ THÉORIQUE ET PRATIQUE.

Par M. DAVANNE.

2 beaux volumes grand in-8, avec 234 fig. et 4 planches spécimens.. 32 fr.

*On vend séparément :*

I<sup>re</sup> PARTIE : Notions élémentaires. — Historique. — Épreuves négatives. — Principes communs à tous les procédés négatifs. — Épreuves sur albumine, sur collodion, sur gélatinobromure d'argent, sur pellicules, sur papier. Avec 2 planches spécimens et 120 figures; 1886..... 16 fr.

II<sup>e</sup> PARTIE : Épreuves positives : aux sels d'argent, de platine, de fer, de chrome. — Épreuves par impressions photomécaniques. — Divers : Les couleurs en Photographie. Épreuves stéréoscopiques. Projections, agrandissements, micrographie. Réductions, épreuves microscopiques. Notions élémentaires de Chimie, vocabulaire. Avec 2 planches spécimens et 114 figures; 1888..... 16 fr.

Un Supplément, mettant cet important Ouvrage au courant des derniers travaux, est en préparation.

## LA TRIPLICE PHOTOGRAPHIQUE DES COULEURS ET L'IMPRIMERIE.

*Système de Photochromographie* LOUIS DUCOS DU HAURON.

Par ALCIDE DUCOS DU HAURON.

In-18 Jésus de v-488 pages; 1897..... 6 fr. 50 c.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

**TRAITÉ ENCYCLOPÉDIQUE DE PHOTOGRAPHIE,**

Par M. 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 volume grand in-8 de 400 pages avec nombreuses figures; 1898..... 14 fr.

Les 6 volumes se vendent ensemble..... 72 fr.

**LA PRATIQUE DES PROJECTIONS.**

Etude méthodique des appareils. Les accessoires. Usages et applications diverses des projections. Conduite des séances;

Par M. H. FOURTIER.

2 vol. in-18 jésus.

TOME I. Les Appareils, avec 66 figures; 1892..... 2 fr. 75 c.

TOME II. Les Accessoires. La Séance de projections, avec 67 fig.; 1893. 2 fr. 75 c.

**TRAITÉ DE PHOTOGRAPHIE INDUSTRIELLE,**

THÉORIE ET PRATIQUE,

Par Ch. FÉRY et A. BURAI.

In-18 jésus, avec 94 figures et 9 planches; 1896..... 5 fr.

**L'ART DE RETOUCHER LES NÉGATIFS PHOTOGRAPHIQUES,**

Par C. KLARY, Artiste photographe.

4<sup>e</sup> tirage. In-18 jésus; 1897..... 2 fr.

**LE FORMULAIRE CLASSEUR DU PHOTO-CLUB DE PARIS.**

Collection de formules sur fiches renfermées dans un élégant cartonnage et classées en trois Parties: *Phototypes, Photocopies et Photocalques, Notes et renseignements divers*, divisées chacune en plusieurs Sections;

Par MM. H. FOURTIER, BOURGEOIS et BUCQUET.

Première Série; 1892..... 4 fr.

Deuxième Série; 1894..... 3 fr. 50 c.

**CHIMIE PHOTOGRAPHIQUE A L'USAGE DES DÉBUTANTS.**

Par M. R.-Ed. LIESEGANG.

Traduit de l'allemand et annoté par le Professeur J. MAUPEIRAL.

In-18 jésus, avec figures; 1898..... 3 fr. 50 c.

**LE DÉVELOPPEMENT DES PAPIERS PHOTOGRAPHIQUES  
A NOIRCISSEMENT DIRECT.**

Par M. R.-Ed. LIESEGANG. — Traduit de l'allemand

par M. V. HASSREIDTER.

In-18 jésus; 1898..... 1 fr. 75 c.

**LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS**

**LA PHOTOGRAPHIE INSTANTANÉE,**

THÉORIE ET PRATIQUE,

Par M. Albert LONDE.

Directeur du Service photographique à l'Hospice de la Salpêtrière,  
3<sup>e</sup> édition, entièrement refondue. In-18 jésus, avec figures; 1897. 2 fr. 75 c.

**TRAITÉ PRATIQUE DU DÉVELOPPEMENT.**

ÉTUDE RAISONNÉE DES DIVERS RÉVÉLATEURS ET DE LEUR MODE  
D'EMPLOI.

Par M. Albert LONDE.

3<sup>e</sup> édition. In-18 jésus, avec figures; 1898. . . . . 2 fr. 75 c.

**LE PROCÉDÉ A LA GOMME BICHROMATÉE  
OU PHOTO-AQUATEINTE.**

Par MM. Alfred MASKELL et Robert DEMACHY.

Traduit de l'anglais par M. G. DEVANLAY.

In-18 jésus, avec figures; 1898. . . . . 1 fr. 75 c.

**VIRAGES ET FIXAGES.**

Traité historique, théorique et pratique;

Par M. P. MERCIER,

Chimiste, Lauréat de l'École supérieure de Pharmacie de Paris.

2 volumes in-18 jésus; 1892. . . . . 5 fr.

*On vend séparément :*

I<sup>re</sup> PARTIE : Notice historique. Virages aux sels d'or. . . . . 2 fr. 75 c.

II<sup>e</sup> PARTIE : Virages aux divers métaux. Fixages. . . . . 2 fr. 75 c.

**OPTIQUE PHOTOGRAPHIQUE**

SANS DÉVELOPPEMENTS MATHÉMATIQUES

Par le Dr A. MIETHE.

Traduit de l'allemand par A. NOAILLON et V. HASSREIDTER.

Grand in-8, avec 72 figures et 2 Tableaux; 1896. . . . . 3 fr. 50 c.

**OPTIQUE PHOTOGRAPHIQUE.**

ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR DE LA PHOTOGRAPHIE.

(COURS PROFESSÉ A LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHOTOGRAPHIE).

Par M. P. MOËSSARD.

Grand in-8, avec nombreuses figures; 1898. . . . . 4 fr.

**DE LA PROPRIÉTÉ ARTISTIQUE EN PHOTOGRAPHIE**

SPÉCIALEMENT EN MATIÈRE DE PORTRAITS,

Par Édouard SAUVEL, Avocat au Conseil d'État et à la Cour de Cassation.

Un volume in-18 jésus; 1897. . . . . 2 fr. 75 c.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

TRAITÉ PRATIQUE  
DES AGRANDISSEMENTS PHOTOGRAPHIQUES.

Par M. E. TRUTAT.

2 volumes in-18 jésus, avec 412 figures ..... 5 fr.

*On vend séparément :*

I<sup>re</sup> PARTIE : Obtention des petits clichés; avec 52 figures; 1891..... 2 fr. 75 c.

II<sup>e</sup> PARTIE : Agrandissements. 2<sup>e</sup> édition, avec 60 figures; 1897..... 2 fr. 75 c.

LES ÉPREUVES POSITIVES SUR PAPIERS ÉMULSIONNÉS.

Papiers chlorurés. Papiers bromurés. Fabrication. Tirage et développement.  
Virages. Formules diverses.

Par M. E. TRUTAT.

Un volume in-18 jésus; 1896..... 2 fr.

LA PHOTOTYPOGRAVURE A DEMI-TEINTES.

Manuel pratique des procédés de demi-teintes, sur zinc et sur cuivre;

Par M. Julius VERFASSER.

Traduit de l'anglais par M. E. COUSTIN, Secrétaire-agent de la Société  
française de Photographie.

In-18 jésus, avec 56 figures et 3 planches; 1895..... 3 fr.

LA PHOTOGRAPHIE DES COULEURS.

*Sélection photographique des couleurs primaires. Son application à l'exécution de clichés et de tirages propres à la production d'images polychromes à trois couleurs;*

Par M. Léon VIDAL,

Officier de l'Instruction publique, Professeur à l'École nationale  
des Arts décoratifs.

In-18 jésus, avec 10 figures et 5 planches en couleurs; 1897..... 2 fr. 75 c.

TRAITÉ PRATIQUE DE PHOTOLITHOGRAPHIE.

Photolithographie directe et par voie de transfert. Photozincographie. Photocollographie. Autographie. Photographie sur bois et sur métal à graver.  
Tours de main et formules diverses;

Par M. Léon VIDAL.

In-18 jésus, avec 25 fig., 2 planches et spécimens de papiers autographiques;  
1893..... 6 fr. 50 c.

MANUEL PRATIQUE D'ORTHOCHROMATISME.

Par M. Léon VIDAL.

In-18 jésus, avec figures et 2 planches, dont une en photocollographie et un  
spectre en couleur; 1891..... 2 fr. 75 c.

NOUVEAU GUIDE PRATIQUE DU PHOTOGRAPHE AMATEUR.

Par M. G. VIEUILLE.

3<sup>e</sup> édition, refondue et beaucoup augmentée. In-18 jésus, avec figures;  
1892..... 2 fr. 75 c.

6115 B. — Paris, Imp. Gauthier-Villars et fils, 55, quai des Gr.-Augustins.

MASSON & C<sup>ie</sup>, Éditeurs

LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

120, Boulevard Saint-Germain, Paris

P. n° 73.

EXTRAIT DU CATALOGUE

(Août 1897)

L'ŒUVRE MÉDICO-CHIRURGICALE

D<sup>r</sup> CRITZMAN, directeur

Suite de

Monographies cliniques

SUR LES QUESTIONS NOUVELLES

en Médecine, en Chirurgie et en Biologie

La science médicale réalise journallement des progrès incessants; les questions et découvertes vieillissent pour ainsi dire au moment même de leur éclosion. Les traités de médecine et de chirurgie, quelque rapides que soient leurs différentes éditions, auront toujours grand'peine à se tenir au courant.

C'est pour obvier à ce grave inconvénient, auquel les journaux, malgré la diversité de leurs matières, ne sauraient remédier, que nous fondons, avec le concours des savants et des praticiens les plus autorisés, un recueil de Monographies dont le titre général, *L'Œuvre médico-chirurgicale*, nous paraît bien indiquer le but et la portée.

Nous publierons, aussi souvent qu'il sera nécessaire, des fascicules de 30 à 40 pages dont chacun résumera et mettra au point une question médicale à l'ordre du jour, et cela de telle sorte qu'aucune ne puisse être omise au moment opportun.

Nous tenant essentiellement sur le terrain pratique, nous essayerons de donner à chaque problème une formule complète. La valeur et l'importance des questions seront examinées d'une manière critique, de façon à constituer un chapitre entier, digne de figurer dans le meilleur traité médico-chirurgical. Cette nouvelle publication pourrait être intitulée aussi : *Complément à tous les Traités de Pathologie, de Clinique et de Thérapeutique*.

#### CONDITIONS DE LA PUBLICATION

Chaque monographie est vendue séparément. . . . . 1 fr. 25

Il est accepté des abonnements pour une série de 10 Monographies au prix à forfait et payable d'avance de 10 francs pour la France et 12 francs pour l'étranger (port compris).

#### MONOGRAPHIES PUBLIÉES

N° 1. **L'Appendicite**, par le D<sup>r</sup> FÉLIX LEOUËU, chirurgien des hôpitaux de Paris.

N° 2. **Le Traitement du mal de Pott**, par le D<sup>r</sup> A. CHIPAULT, de Paris.

N° 3. **Le Lavage du Sang**, par le D<sup>r</sup> LEJARS, professeur agrégé, chirurgien des hôpitaux, membre de la Société de chirurgie.

#### EN PRÉPARATION

L'Hérédité, par le D<sup>r</sup> DEBIERRE.  
Le Séro-diagnostic de la fièvre typhoïde,  
par le D<sup>r</sup> FERNAND VIDAL.

Le Myxœdème, par le D<sup>r</sup> THIBIERGE.  
L'Alcoolisme, par le D<sup>r</sup> JAQUET.  
Les Myélites infectieuses, par le D<sup>r</sup> ROGER.

# Traité de Pathologie générale

PUBLIÉ PAR

Ch. BOUCHARD

MEMBRE DE L'INSTITUT

PROFESSEUR DE PATHOLOGIE GÉNÉRALE A LA FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

6 volumes grand in-8° avec figures dans le texte

EN SOUSCRIPTION (1<sup>er</sup> août 1897) . . . . . 102 fr.

## DIVISIONS DU TOME I<sup>er</sup>

1 vol. grand in-8° de 1018 pages avec figures dans le texte. 18 fr.

- H. ROGER. — Introduction à l'étude de la pathologie générale.  
 H. ROGER et P.-J. CADIOT. Pathol. comparée de l'homme et des animaux.  
 P. VUILLEMIN. Considérations générales sur les maladies des végétaux.  
 MATHIAS DUVAL. — Pathogénie générale de l'embryon. Tératogénie.  
 LE GENDRE. — L'hérédité et la pathologie générale.  
 BOURCY. — Prédilection et immunité.  
 MARFAN. — La fatigue et le surmenage.  
 LEJARS. — Les Agents mécaniques.  
 LE NOIR. — Les Agents physiques. Chaleur. Froid. Lumière. Pression atmosphérique. Son.  
 D'ARSONVAL. — Les Agents physiques. L'énergie électrique et la matière vivante.  
 LE NOIR. — Les Agents chimiques : les caustiques.  
 H. ROGER. — Les intoxications.

## DIVISIONS DU TOME II

1 vol. grand in-8° de 932 pages avec figures dans le texte. . . 18 fr.

- CHARRIN. — L'infection.  
 GUIGNARD. — Notions générales de morphologie bactériologique.  
 HUGONENQ. — Notions de chimie bactériologique.  
 CHANTEMESSE. — Le sol, l'eau et l'air agents de transmission des maladies infectieuses.  
 GABRIEL ROUX. — Les microbes pathogènes.  
 LAVERAN. — Des maladies épidémiques.  
 RUFFER. — Sur les parasites des tumeurs épithéliales malignes.  
 R. BLANCHARD. — Les parasites.

## VIENT DE PARAÎTRE

## DIVISIONS DU TOME IV

1 vol. grand in-8° de 720 pages avec figures dans le texte. . . . 16 fr.

- DUCAMP. — Évolution des Maladies.  
 GILBERT. — Sémiologie du sang.  
 HÉNOQUE. — Spectroscopie du sang. Sémiologie.  
 TRIPIER et DEVIC. — Sémiologie du cœur et des vaisseaux.  
 LERMOYÉZ et BOULAY. — Sémiologie du nez, du pharynx nasal et du larynx.  
 LEBRETON. — Sémiologie des voies respiratoires.  
 LEGENDRE. — Sémiologie générale du tube digestif.

# Traité des Maladies de l'Enfance

PUBLIÉ SOUS LA DIRECTION DE MM.

**J. GRANCHER**

Professeur à la Faculté de médecine de Paris,  
Membre de l'Académie de médecine, médecin de l'hôpital des Enfants-Malades.

**J. COMBY**

Médecin  
de l'hôpital des Enfants-Malades.

**A.-B. MARFAN**

Agrégé,  
Médecin des hôpitaux.

*Le Traité des Maladies de l'Enfance est publié en cinq volumes qui paraissent à des intervalles rapprochés. Chaque volume est vendu séparément, et le prix en est fixé selon l'étendue des matières.*

*Les tomes I, II et III sont en vente (Août 1897). Les autres paraîtront prochainement à intervalles rapprochés.*

*Il est accepté des souscriptions au Traité des Maladies de l'Enfance à un prix à forfait quels que soient l'étendue et le prix de l'ouvrage complet. Ce prix est, jusqu'à la publication du tome IV, fixé à 90 francs.*

~~~~~

**TOME I (PARU EN DÉCEMBRE 1896)**

*1 vol. in-8° de xvi-816 pages avec figures dans le texte . . . 18 fr.*

Physiologie et hygiène de l'enfance. — Considérations thérapeutiques sur les maladies de l'enfance. — Maladies infectieuses.

**TOME II (PARU EN MARS 1897)**

*1 vol. in-8° de 818 pages avec figures dans le texte. . . 18 fr.*

Maladies générales de la nutrition. — Maladies du tube digestif.

**TOME III (PARU EN JUILLET 1897)**

*1 vol. de 950 pages avec figures dans le texte. . . . 20 fr.*

Abdomen et annexes. — Appareil circulatoire. — Nez, larynx et annexes.

**TOME IV (SOUS PRESSE)**

Maladies des bronches, du poumon, des plèvres, du médiastin. — Maladies du système nerveux.

**TOME V (EN PRÉPARATION)**

Appareil locomoteur. — Organes des sens. — Maladies de la peau. — Maladies du fœtus. — Table.

# Traité de Chirurgie

PUBLIÉ SOUS LA DIRECTION DE MM.

**Simon DUPLAY**

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

**Paul RECLUS**

Professeur agrégé à la Faculté de médecine  
Secrétaire général  
de la Société de Chirurgie  
Chirurgien des hôpitaux  
Membre de l'Académie de médecine

PAR MM.

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

## DEUXIÈME ÉDITION

ENTIÈREMENT REFOUNDUE

8 vol. grand in-8 avec nombreuses figures dans le texte  
En souscription. . . 150 fr.

### TOME I (MIS EN VENTE EN FÉVRIER 1897)

1 vol. grand in-8° de 912 pages, avec 218 figures dans le texte. 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 (MIS EN VENTE EN FÉVRIER 1897)

1 vol. grand in-8° de 996 pages, avec 361 figures dans le texte. 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 (MIS EN VENTE EN JUILLET 1897)

1 vol. grand in-8° de 940 pages avec 285 figures dans le texte. 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.

Le tome IV paraîtra en Octobre prochain. Les volumes suivants seront publiés successivement et à intervalles très rapprochés.

*Traité*  
**d'Anatomie Humaine**

PUBLIÉ SOUS LA DIRECTION DE

**Paul POIRIER**

PROFESSEUR AGRÉGÉ A LA FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS  
CHEF DES TRAVAUX ANATOMIQUES, CHIRURGIEN DES HOPITAUX

PAR MM.

**A. CHARPY**

PROFESSEUR D'ANATOMIE  
A LA FACULTÉ DE  
TOULOUSE

**A. NICOLAS**

PROFESSEUR D'ANATOMIE  
A LA FACULTÉ DE  
NANCY

**A. PRENANT**

PROFESSEUR D'HISTOLOGIE  
A LA FACULTÉ DE  
NANCY

**P. POIRIER**

PROFESSEUR AGRÉGÉ  
CHEF DES TRAVAUX ANATOMIQUES  
CHIRURGIEN DES HOPITAUX

**P. JACQUES**

PROFESSEUR AGRÉGÉ  
A LA FACULTÉ DE NANCY  
CHEF DES TRAVAUX ANATOMIQUES

ÉTAT DE LA PUBLICATION AU 1<sup>er</sup> OCTOBRE 1897

**TOME PREMIER**

Embryologie; Ostéologie; Arthrologie. Un volume grand in-8°  
avec 621 figures . . . . . 20 fr.

**TOME DEUXIÈME**

1<sup>er</sup> Fascicule : **Myologie**. Un volume grand in-8° avec 312 figures. 12 fr.  
2<sup>e</sup> Fascicule : **Angéiologie** (*Cœur et Artères*). Un volume grand  
in-8° avec 143 figures. . . . . 8 fr.  
3<sup>e</sup> Fascicule : **Angéiologie** (*Capillaires, Veines*). Un volume grand  
in-8° avec 73 figures . . . . . 6 fr.

**TOME TROISIÈME**

1<sup>er</sup> et 2<sup>e</sup> Fascicules : **Système nerveux**. Deux volumes grand  
in-8° avec 407 figures . . . . . 22 fr.

**TOME QUATRIÈME**

1<sup>er</sup> Fascicule : **Tube digestif**. Un volume grand in-8°, avec  
158 figures. . . . . 12 fr.  
2<sup>e</sup> Fascicule : **Appareil respiratoire; Larynx, trachée, poumons,  
plèvres, thyroïde, thymus**. Un volume grand in-8°, avec  
121 figures. . . . . 6 fr.

**IL RESTE A PUBLIER :**

Un fascicule du tome II (*Lymphatiques*);  
Un fascicule du tome III (*Nerfs périphériques. Organes des sens*);  
Un fascicule du tome IV (*Organes génito-urinaires*).

*Ces fascicules seront publiés successivement dans le plus bref délai possible.*

## BIBLIOTHÈQUE D'HYGIÈNE THÉRAPEUTIQUE

DIRIGÉE PAR LE Professeur PROUST

VIENT DE PARAÎTRE

# L'Hygiène du Neurasthénique

PAR MM.

Le Professeur PROUST

Membre de l'Académie de médecine,  
Médecin de l'Hôtel-Dieu.Le D<sup>r</sup> Gilbert BALLEZProfesseur agrégé,  
Médecin de l'hôpital Saint-Antoine.

1 volume in-16 de 282 pages, cartonné toile, tranches rouges, 4 fr.

L'hygiène, qui suffirait à prévenir la neurasthénie si elle était rigoureusement appliquée, suffit aussi le plus souvent à la guérir, quand la neurasthénie est susceptible de guérison. Sans vouloir proscrire la thérapeutique médicamenteuse, les auteurs ne craignent pas de dire que l'on a fait aux candidats neurasthéniques ou à ceux arrivés plus de mal avec les « drogues » qu'on ne leur a rendu de services. Nombreux sont les méfaits des médications dites toniques et reconstituantes, des hypnotiques variés, bref des produits pharmaceutiques dont sont surchargés les traitements plus ou moins bien avisés qui sont entrés dans la pratique journalière. Une bonne hygiène morale et physique, un régime alimentaire bien conçu, des conseils et des encouragements suggestifs, font d'habitude plus pour le neurasthénique qu'une polypharmacie souvent inutile et quelquefois nuisible. C'est dire assez l'intérêt de ce livre, à cette heure où, à la faveur des progrès de la civilisation, et du surcroît d'activité cérébrale qu'elle entraîne, les névroses sous toutes leurs formes sont devenues si communes.

VIENT DE PARAÎTRE

# Les Cures Thermales

Par G. DELFAU

Ancien interne des hôpitaux de Paris.

1 volume in-16 de 352 pages, cartonné toile, tranches rouges, 4 fr.

Dans un précédent volume de cette bibliothèque, M. Delfau avait décrit les localités thermales, il lui restait pour compléter son œuvre à étudier les cures thermales. Dans ce volume, l'auteur examine d'abord en détail les éléments des cures thermales : la boisson, les bains, les douches, les inhalations... aux points de vue particulièrement de leur mode d'emploi, de leurs actions physiologiques et de leurs effets thérapeutiques. Il envisage ensuite les agents des cures thermales, c'est-à-dire les eaux minérales successivement dans leur ensemble, puis dans les groupes établis d'après leurs propriétés médicales consacrées par la clinique. Enfin, il passe en revue les maladies chroniques tributaires des eaux minérales, états chroniques généraux et affections chroniques des divers organes, et s'attache à déterminer dans quelle mesure ces états morbides si variés peuvent bénéficier d'une cure thermale et quelle est celle dont ils sont justiciables. Pensant que la thérapeutique thermale ne doit pas se trainer dans la paléontologie médicale, M. Delfau a voulu que ce livre fût « au point », et, se gardant de toute exagération, il a tenu compte de toutes les réelles acquisitions récentes de la science.

---

**VIENT DE PARAÎTRE**

# La Cure d'altitude

PAR

**Le D<sup>r</sup> Paul REGNARD**Membre de l'Académie de médecine,  
Directeur-adjoint du Laboratoire de physiologie à la Sorbonne.

OUVRAGE ACCOMPAGNÉ DE 110 FIGURES &amp; DE 29 PLANCHES HORS TEXTE

*1 volume grand in-8°, relié toile. . . . 15 fr.*

Dans son ouvrage, le D<sup>r</sup> Regnard fait connaître d'abord les recherches de laboratoire exécutées en Allemagne et en Suisse pour expliquer le mécanisme de l'action thérapeutique des hauteurs. Il y joint les travaux français et les siens propres entrepris dans le même but. Puis il examine les recherches de physiologie pathologique exécutées sur place, sur les malades qui fréquentent les montagnes.

Dans une seconde partie, essentiellement pratique, il passe en revue les principales stations actuellement organisées pour recevoir convenablement les malades. Il a joint à sa description des cartes topographiques qui la rendent plus claire et de très nombreuses photographies représentant les régions dont il parle. Il a pensé qu'il n'était pas inutile au praticien qui recommande une station d'en avoir au moins une idée, s'il n'a pu la visiter lui-même.

---

**VIENT DE PARAÎTRE**

# Cure marine de la phtisie pulmonaire

PAR

**Le D<sup>r</sup> F. LALESQUE**

Ancien interne des hôpitaux, Lauréat de la Société de biologie.

*1 volume in-8° avec planches, dessins, graphiques, tableaux. . . 6 fr.*

Synthétiser dans une formule les conditions météorologiques d'une contrée pour en tirer les indications qui en découlent, telle fut l'ambition de l'auteur. Trois grands chapitres se divisent cet ouvrage. Le premier est consacré à l'étude du milieu (*climatologie*); le second étudie l'action de ce milieu sur l'organisme (*climato-physiologie*); le troisième énumère ses effets dans la phtisie pulmonaire (*climato-thérapie*). La cure marine est établie par la valeur indéniable de son climat; le sol et les forêts que celui-ci peut comporter aident son action, et il résulte des développements dans lesquels entre l'auteur, que les avantages du voisinage de l'Atlantique se doublent, pour la bande littorale girondine et landaise, des avantages de la présence d'une vaste forêt de pins maritimes: la climatothérapie y trouvant à la fois les ressources d'une cure marine et forestière.

VIENT DE PARAÎTRE

# La Défense de l'Europe contre la Peste

ET LA CONFÉRENCE DE VENISE DE 1897

PAR

Le Professeur PROUST

MEMBRE DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE, MÉDECIN DE L'HOTEL-DIEU  
INSPECTEUR GÉNÉRAL DES SERVICES SANITAIRES*Un volume in-8<sup>o</sup> avec figures et cartes en noir et en couleurs. . . 9 fr.*

Cet ouvrage a pour but de répandre les connaissances scientifiques sur la peste, afin de donner à l'opinion les moyens de se rendre compte de ce que l'on doit faire pour empêcher le fléau, endémique en Extrême-Orient, de pénétrer en Egypte, dans la Méditerranée et en Europe, et cela sans apporter aucune entrave sérieuse au commerce et à la navigation. C'est une relation exacte de ce qui s'est passé à la conférence de Venise de 1897, l'exposé de la discussion telle qu'elle fut conduite, le récit des luttes que les représentants français eurent à soutenir pour triompher des oppositions de l'Angleterre et de la Turquie; mais c'est encore et surtout une sorte de monographie de l'histoire internationale et prophylactique de la peste, enrichie de toutes les données que l'étude des épidémies précédentes a permis d'y ajouter, des faits nombreux dont la bactériologie l'a si heureusement accrue, et aussi des moyens à mettre en œuvre en pareille occurrence. On lira aussi avec intérêt le chapitre consacré au traitement prophylactique et curatif de la peste, à la sérothérapie et à la vaccination antipesteuse de Yersin. Une bibliographie très riche, des figures et des cartes très claires complètent ce volume qui vient bien à son heure.

VIENT DE PARAÎTRE

# Leçons sur les Bactéries pathogènes

FAITES A L'HOTEL-DIEU ANNEXE

PAR

P. DUFLOCQ

*Un volume in-8<sup>o</sup>. . . . . 10 fr.*

En publiant ces leçons faites aux élèves de son service et à quelques auditeurs étrangers, le Dr Duflocq a désiré être utile aux étudiants et aux médecins qui n'ont ni le temps, ni les moyens de recueillir et de coordonner les documents épars dans la littérature française et étrangère. Chacune de ces études se termine par un chapitre consacré aux applications à l'homme; c'est là une de ces tentatives d'alliance entre la Clinique et la Bactériologie que l'on doit aujourd'hui, pour le plus grand bien des malades, chercher à idéaliser.

**Nomenclature des Bactéries étudiées.** — *Les Staphylocoques pyogènes* (2 leçons). — *Le Streptocoque* (4 leçons). — *Le pneumocoque* (5 leçons). — *Tétrades et Sarcines* (1 leçon). — *Le Gonocoque* (2 leçons). — *Le Bactérium coli-commune* (4 leçons). — *Le Bacille typhique* (10 leçons). — *Le Vibrion cholérique* (9 leçons). — *Le Bacille diphtérique* (9 leçons). — *Le Bacille tétanique* (8 leçons).

VIENT DE PARAÎTRE

# Précis d'Obstétrique

PAR

**A. RIBEMONT-DESSAIGNES**Professeur agrégé de la Faculté de médecine de Paris,  
Accoucheur de l'hôpital Beaujon.

ET

**G. LEPAGE**Ancien chef de clinique obstétricale à la Faculté de médecine,  
Accoucheur des hôpitaux.**TROISIÈME ÉDITION REVUE ET AUGMENTÉE**

avec 590 figures dans le texte dont 437 dessinées par A. RIBEMONT-DESSAIGNES

1 volume grand in-8° de 1396 pages, relié toile. . 30 fr.

Parue en janvier 1896, la seconde édition du *Précis d'Obstétrique* était épuisée dès le mois de novembre de la même année. Les auteurs ont tenu à revoir entièrement cette troisième édition et à la mettre au courant des travaux récents des accoucheurs français et étrangers. Les additions nombreuses qu'ils ont faites auraient donné à ce volume des proportions excessives, si l'on n'avait employé des caractères plus fins et si l'on n'avait diminué les dimensions de plusieurs figures. 80 figures ont été ainsi remaniées. Parmi celles qui ont été ajoutées, nous devons en signaler un certain nombre qui ont trait au développement de l'œuf et à la production des monstres, qui accompagnent un court résumé de tératologie placé à la fin du volume. Enfin on s'est en outre efforcé d'éliminer le plus possible, les figures schématiques et de ne prendre que des figures reproduisant des dessins d'après nature et des photographies. C'est seulement à l'aide de ces deux procédés que l'iconographie peut prêter à l'enseignement écrit un secours vraiment scientifique.

Tout en donnant sur plusieurs questions importantes de pratique obstétricale leur opinion personnelle, les auteurs ont continué à s'inspirer le plus possible de l'enseignement des professeurs S. Tarnier et A. Pinard.

VIENT DE PARAÎTRE

# *Précis de* *Géographie économique*

Par **MARCEL DUBOIS**

PROFESSEUR DE GÉOGRAPHIE COLONIALE A LA FACULTÉ DES LETTRES DE PARIS  
MAÎTRE DE CONFÉRENCES  
A L'ÉCOLE NORMALE SUPÉRIEURE DE JEUNES FILLES DE SÈVRES

et **J.-G. KERGOMARD**

PROFESSEUR AGRÉGÉ D'HISTOIRE ET GÉOGRAPHIE AU LYCÉE DE TOURS

*Un volume in-8° de 844 pages . . . . . 8 fr.*

Ce nouveau *Précis de Géographie économique* s'adresse à tous ceux qu'intéressent les graves problèmes de répartition et d'échange de la richesse. Les auteurs n'ont négligé aucun labeur pour donner un tableau exact des faits d'ordre économique, pour en faciliter l'interprétation impartiale. Ils ont surtout essayé de donner une idée juste de la condition de chaque peuple, de ses progrès, de ses tendances.

Faite dans l'esprit le plus impartial, à l'abri des théories pures et des systèmes, avec le seul désir de servir les intérêts de notre pays, cette étude mettra aux mains de ceux qui étudient ou agissent des renseignements nombreux, exacts et commentés avec soin.

---

# Leçons de Géographie physique

Par **Albert de LAPPARENT**

Professeur à l'École libre de Hautes Etudes  
Ancien Président de la Commission centrale de la Société de Géographie

*1 volume in-8° contenant 117 figures dans le texte  
et une planche en couleurs. . . 12 fr.*

Dans les derniers jours de 1895, lors de la discussion du budget devant le Sénat, M. Bardoux appelait l'attention du Ministre de l'Instruction publique sur la situation actuelle de l'enseignement de la Géographie physique. L'honorable sénateur constatait qu'il n'y avait aujourd'hui en France qu'un seul cours complet sur la matière, celui que professait M. de Lapparent à l'École libre de Hautes Etudes. C'est ce cours que nous venons offrir au public. Après plusieurs années d'essais, l'auteur croit avoir réussi à unir en un véritable corps de doctrines ces intéressantes considérations, relatives à la genèse des formes géographiques, dont on peut dire qu'il a été en France le plus persévérant initiateur.

VIENT DE PARAÎTRE

# La Céramique du Bâtiment

Par **Léon LEFÈVRE**

INGÉNIEUR (E. I. R.)

PRÉFACE DE **J.-C. FORMIGÉ**

Architecte du Gouvernement et de la Ville de Paris.

1 volume grand in-8° de 500 pages avec 5 planches hors texte,  
950 figures dans le texte et de nombreux devis, 15 fr.

Ce livre rendra de grands services aux fabricants de produits céramiques : briques, tuiles, tuyaux, terres cuites émaillées, carreaux ordinaires et incrustés, mosaïques en grès, faïences et grès architecturaux. Les indications techniques sur la fabrication, le séchage, la cuisson des produits céramiques seront appréciées par tous les fabricants. La céramique décorative fait l'objet de plusieurs chapitres importants où l'on trouve les procédés généraux de décoration des produits céramiques. A ce point de vue, il sera consulté avec fruit par les architectes.

# Traité de Zoologie

PAR

**Edmond PERRIER**

Membre de l'Institut, Professeur au Muséum d'Histoire naturelle.

VIENT DE PARAÎTRE

FASCICULE IV

## VERS ET MOLLUSQUES

1 vol. gr. in-8 de 792 pages, avec 566 figures. 16 fr.

ONT DÉJÀ PARU :

FASCICULE I : **Zoologie générale.** 412 pages, 458 figures. . . . 12 fr.FASCICULE II : **Protozoaires et Phytozoaires.** 452 p., 243 fig. 10 fr.FASCICULE III : **Arthropodes.** 480 pages, 278 figures. . . . . 8 fr.

Ces trois fascicules réunis forment la première partie. 1 vol.  
in-8° de 1344 pages, avec 980 figures . . . . . 30 fr.

# Traité

## des Matières colorantes

ORGANIQUES ET ARTIFICIELLES

de leur préparation industrielle et de leurs applications

Par **Léon LEFÈVRE**

Ingenieur (E. I. R.), Préparateur de chimie à l'École Polytechnique.

Préface de **E. GRIMAUX**, membre de l'Institut.

2 volumes grand in-8° comprenant ensemble 1650 pages, reliés toile anglaise, avec 31 gravures dans le texte et 261 échantillons.

Prix des deux volumes : 90 francs.

Le *Traité des matières colorantes* s'adresse à la fois au monde scientifique par l'étude des travaux réalisés dans cette branche si compliquée de la chimie, et au public industriel par l'exposé des méthodes rationnelles d'emploi des colorants nouveaux. L'auteur a réuni dans des tableaux qui permettent de trouver facilement une couleur quelconque, toutes les couleurs indiquées dans les mémoires et dans les brevets. La partie technique contient, avec l'indication des brevets, les procédés employés pour la fabrication des couleurs, la description et la figure des appareils, ainsi que la description des procédés rationnels d'application des couleurs les plus récentes. Cette partie importante de l'ouvrage est illustrée par un grand nombre d'échantillons teints ou imprimés, *fabriqués spécialement pour l'ouvrage*.

VIENT DE PARAÎTRE

# Chimie

## des Matières colorantes

PAR

**A. SEYEWETZ**

Chef des travaux  
à l'École de chimie industrielle de Lyon

**P. SISLEY**

Chimiste - Coloriste

1 volume grand in-8° de 822 pages. . . . . 30 fr.

Les auteurs, dans cette importante publication, se sont proposé de réunir sous la forme la plus rationnelle et la plus condensée tous les éléments pouvant contribuer à l'enseignement de la chimie des matières colorantes, qui a pris aujourd'hui une extension si considérable. Cet ouvrage est, par le plan sur lequel il est conçu, d'une utilité incontestable non seulement aux chimistes se destinant soit à la fabrication des matières colorantes, soit à la teinture, mais à tous ceux qui sont désireux de se tenir au courant de ces remarquables industries.

# Cours de Chimie

MINÉRALE, ORGANIQUE

Par **Armand GAUTIER**

Membre de l'Institut  
Professeur de Chimie à la Faculté de  
Médecine de Paris  
Membre de l'Académie de Médecine

## DEUXIÈME ÉDITION

Revue et mise au courant des travaux les plus récents

TOME I. — CHIMIE MINÉRALE. 1 vol. grand in-8° avec 244 figures. 16 fr.

TOME II. — CHIMIE ORGANIQUE. 1 vol. grand in-8° avec 72 figures. . 16 fr.

## LEÇONS DE CHIMIE BIOLOGIQUE, NORMALE ET PATHOLOGIQUE

Par A. GAUTIER

Ces leçons complètent le *Cours de Chimie* du professeur GAUTIER. Elles sont publiées avec la collaboration de MAURICE ARTHUS, professeur à l'Université de Fribourg.

1 volume grand in-8° de 826 pages avec 110 figures. . 18 fr.

VIENT DE PARAÎTRE

# Éléments de Chimie physiologique

Par **Maurice ARTHUS**

Professeur de physiologie et de chimie physiologique à l'Université de Fribourg (Suisse)

## DEUXIÈME ÉDITION, REVUE ET CORRIGÉE

1 vol. in-16 diamant, avec figures dans le texte. Cartonné toile. 4 fr.

Dans la préface de la première édition, l'auteur disait : « Actuellement, il n'existe pas d'ouvrage qui, intermédiaire aux traités de chimie physiologique et aux traités de physiologie, contienne toutes les notions chimiques et rien que les notions chimiques nécessaires à l'étudiant en physiologie. Je me suis proposé de combler cette lacune. »

Le succès a répondu à l'attente, puisque la première édition a été épuisée en moins de deux ans. Dans cette seconde édition, le plan général et l'étendue de la première ont été conservés. On s'est borné à rectifier les quelques erreurs de détail qui s'étaient glissées dans le premier travail, et à introduire les modifications rendues nécessaires par le développement de la science.

# PASTEUR

## Histoire d'un Esprit

Par **E. DUCLAUX**

Membre de l'Institut de France, Professeur à la Sorbonne,  
Directeur de l'Institut Pasteur.

1 volume in-8 de 400 pages avec 22 figures . . . . . 5 fr.

---

### EXTRAIT DE LA PRÉFACE DE L'AUTEUR

... C'est moins pour faire un panégyrique que pour en tirer un enseignement que j'ai essayé d'écrire son histoire, dans laquelle je laisse de côté tout ce qui est relatif à l'homme pour ne parler que du savant. J'ai voulu, dans l'ensemble comme dans le détail, faire la genèse de ses découvertes, estimant qu'il n'avait rien à perdre de cette analyse, et que nous avons beaucoup à gagner.

---

## Loi des Équivalents

## et Théorie nouvelle de la Chimie

Par **Gustave MARQFOY**

1 volume in-8 de xxxii-712 pages.. . . . 7 fr. 50

---

En considérant les divers éléments du monde physique, l'auteur a été naturellement amené à étudier la matière. Comme synthèse de cette étude, il a acquis la conviction que la matière est une. En faisant, dès lors, sur la loi de la formation des corps, la seule hypothèse qui lui ait paru simple et rationnelle, il a découvert la loi naturelle qui enchaîne les équivalents de la chimie dans une formule arithmétique. Après avoir exposé la loi suivant laquelle tous les corps ont été formés, M. Marqfoy établit la théorie constitutive des corps, basée sur l'hypothèse que la matière est une. La concordance des formules et des lois trouvées par cette théorie avec les expériences de la physique et de la chimie confirment la vérité de l'hypothèse.

VIENT DE PARAÎTRELeçonssur l'Électricité et le Magnétisme

De E. MASCART et J. JOUBERT

DEUXIÈME ÉDITION ENTIÈREMENT REFONDUE

Par E. MASCART

Membre de l'Institut, Professeur au Collège de France  
Directeur du bureau central de Météorologie

2 volumes grand in-8° avec figures dans le texte . . . . . 45 fr.

ON VEND SÉPARÉMENT :

**TOME I. — PHÉNOMÈNES GÉNÉRAUX ET THÉORIES**

1 volume grand in-8° avec 130 figures . . . . . 25 fr.

**TOME II. — MÉTHODES DE MESURE ET APPLICATIONS**

1 volume grand in-8° avec 160 figures . . . . . 25 fr.

L'accueil fait par le public à cet ouvrage, épuisé depuis plusieurs années, nous engageait à en donner une seconde édition, mais il a paru nécessaire d'en romancier presque entièrement la rédaction pour tenir compte des progrès accomplis dans le domaine de l'électricité. Les modifications introduites dans le texte primitif et les développements nouveaux qu'exige l'état actuel de la science, n'ont pas modifié le plan général de cet ouvrage.

Le premier volume continue à constituer une sorte de corps de doctrine, renfermant l'ensemble des faits et des conceptions qui ont servi à les coordonner. Le second volume est plus spécialement consacré à l'étude des méthodes d'observations, au détail des expériences et à l'examen des principaux caractères que présentent les applications si nombreuses de l'électricité dans l'industrie,

VIENT DE PARAÎTRE

# Formulaire de l'Électricien

PAR

**E. HOSPITALIER**

Ingénieur des Arts et Manufactures

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

---

**QUINZIÈME ANNÉE — 1897**

augmentée d'un

**VOCABULAIRE TECHNIQUE****FRANÇAIS, ANGLAIS, ALLEMAND**

Par M. LEVYLIER

Ancien élève de l'École Polytechnique

---

1 volume in-16, cartonné toile, tranches rouges . . . 5 fr.

Le succès toujours croissant de cet excellent recueil plaide mieux que tous les arguments en faveur de cet ouvrage, que l'on doit rencontrer dans les mains de quiconque s'occupe d'électricité. L'auteur a su rassembler, sous la forme la plus réduite, tous les renseignements théoriques et pratiques. Définitions, lois, unités de mesures, appareils et méthodes, sont ainsi constamment sous la main de l'électricien, qui dispose également de tous les résultats aujourd'hui acquis par les nombreuses expériences que la science et l'industrie nous apportent tous les jours.

L'édition actuelle a été tenue au courant de la science avec un soin scrupuleux; elle a été augmentée d'un *Vocabulaire technique*, où les électriciens trouveront facilement la traduction en anglais et en allemand des mots se rapportant à toutes les branches de l'électricité.

---

Paris. — L. MARETHEUX, imprimeur, 1, rue Cassette. — 10955.

# ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE DES AIDE-MÉMOIRE

DIRIGÉE PAR M. LÉAUTÉ, MEMBRE DE L'INSTITUT

Collection de 300 volumes petit in-8 (30 à 40 volumes publiés par an)

CHAQUE VOLUME SE VEND SÉPARÉMENT : BROCHÉ, 2 FR. 50; CARTONNÉ, 3 FR.

## Ouvrages parus

### Section de l'Ingénieur

- R.-V. PICOU. — Distribution de l'électricité. Installations isolées.  
A. GOUILLY. — Transmission de la force par air comprimé ou raréfié.  
DUQUESNAY. — Résistance des matériaux.  
D'WELSHAUVERS-DERY. — Étude expérimentale calorimétrique de la machine à vapeur.  
A. MADAMET. — Tiroirs et distributeurs de vapeur.  
MAGNIER DE LA SOURCE. — Analyse des vins.  
ALHEILIG. — Recette, conservation et travail des bois.  
R.-V. PICOU. — La distribution de l'électricité. Usines centrales.  
AIMÉ WITZ. — Thermodynamique à l'usage des Ingénieurs.  
INDET. — La lière.  
TH. SCHLESING fils. — Notions de chimie agricole.  
SAUVAGE. — Divers types de moteurs à vapeur.  
LE CHATELIER. — Le Grisou.  
MADAMET. — Détente variable de la vapeur. Dispositifs qui la produisent.  
DUDEBOUT. — Appareils d'essai des moteurs à vapeur.  
CRONEAU. — Canon, torpilles et cuirasse.  
H. GAUTIER. — Essais d'or et d'argent.  
LECOMTE. — Les textiles végétaux.  
ALHEILIG. — Corderie. Cordages en chanvre et en fils métalliques.  
DE LAUNAY. — Formation des gîtes métallifères.  
BERTIN. — Etat actuel de la marine de guerre.  
FERDINAND JEAN. — L'industrie des peaux et des cuirs.  
BERTHELOT. — Traité pratique de calorimétrie chimique.  
DE VIARIS. — L'art de chiffrer et déchiffrer les dépêches secrètes.  
MADAMET. — Epures de régulation.  
GUILLAUME. — Unités et étalons.  
WIDMANN. — Principes de la machine à vapeur.

### Section du Biologiste

- FAISANS. — Maladies des organes respiratoires. Méthodes d'exploration. Signes physiques.  
MAGNAN et SÉRIEUX. — Le délire chronique à évolution systématique.  
AUVARD. — Gynécologie. — Séméiologie génitale.  
G. WEISS. — Technique d'électrophysiologie.  
BAZY. — Maladies des voies urinaires. — Urètre. Vessie.  
WURTZ. — Technique bactériologique.  
TROUSSEAU. — Ophthalmologie. Hygiène de l'œil.  
FÉRÉ. — Epilepsie.  
LAVERAN. — Paludisme.  
POLIN et LABIT. — Examen des aliments suspects.  
BERGONIÉ. — Physique du physiologiste et de l'étudiant en médecine. Action moléculaires, Acoustique, Electricité.  
AUVARD. — Menstruation et fécondation.  
MÉGNIN. — Les acariens parasites.  
DEMELIN. — Anatomie obstétricale.  
CÉNÉNOT. — Les moyens de défense dans la série animale.  
A. OLIVIER. — La pratique de l'accouchement normal.  
BERGÉ. — Guide de l'étudiant à l'hôpital.  
CHARRIN. — Les poisons de l'organisme, Poisons de l'urine.  
ROGNER. — Physiologie normale et pathologique du foie.  
BROcq et JACQUET. — Précis élémentaire de dermatologie. Pathologie générale cutanée.  
HANOT. — De l'endocardite aiguë.  
WRELL-MANTOU. — Guide du médecin d'assurances sur la vie.  
LANGLOIS. — Le lait.  
DE BRUN. — Maladies des pays chauds. — Maladies climatériques et infectieuses.  
BROCA. — Le traitement des ostéoarthrites tuberculeuses des membres chez l'enfant.  
DU CAZAL et CATRIN. — Médecine légale militaire.

Ouvrages parus et en cours de publication

Section de l'Ingénieur

- MINEL (P.). — Electricité industrielle.  
 LAVERGNE (Gérard). — Turbines.  
 HÉBERT. — Boissons falsifiées.  
 NAUDIN. — Fabrication des vernis.  
 SINIGAGLIA. — Accidents de chaudières.  
 H. LAURENT. — Théorie des jeux de hasard.  
 GUENZ. — Décoration au feu de moufle.  
 VERMAND. — Moteurs à gaz et à pétrole.  
 MEYER (Ernest). — L'utilité publique et la propriété privée.  
 WALLON. — Objectifs photographiques.  
 BLOCH. — Appareils producteurs d'eau sous pression.  
 DE LAUNAY. — Statistique générale de la production métallifère.  
 CRONEAU. — Construction du navire.  
 DE MARCHENA. — Machines frigorifiques.  
 PRUDHOMME. — Teinture et impressions.  
 ALHEILIG. — Construction et résistance des machines à vapeur.  
 SOREL. — La rectification de l'alcool.  
 P. MINEL. — Electricité appliquée à la marine.  
 DWILSHAUVERS-DERY. — Étude expérimentale dynamique de la machine à vapeur.  
 AIMÉ WITZ. — Les moteurs thermiques.  
 H. LÉAUTÉ et A. BÉRAUD. — Transmissions par câbles métalliques.  
 P. MINEL. — Régularisation des moteurs des machines électriques.  
 CASPARI. — Chronomètres de marine.  
 HENNEBERT. (C<sup>1</sup>). — La fortification.  
 DE LA BÈME PLUVINEL. — La théorie des procédés photographiques.  
 HENNEBERT. — Les torpilles sèches.  
 DE BILLY. — Fabrication de la fonte.  
 STANISLAS MEUNIER. — Les météorites.  
 HATT. — Les marées.  
 LOUIS JACQUET. — La fabrication des eaux-de-vie.  
 GUYE (Ph.-A.). — Matières colorantes.  
 HOSPITALIER (E.). — Les compteurs d'électricité.  
 EMILE BOIRE. — La sucrerie.  
 MOISSAN et OUVRARD. — Le nickel.  
 ROUCHÉ. — La perspective.  
 LE VERRIER. — La fonderie.  
 SEYRIG. — Statique graphique.  
 C<sup>1</sup> BASSOT et C<sup>1</sup> DEFFORGES. — Géodésie.

Section du Biologiste

- LAPERSONNE (DE). — Maladies des paupières et des membranes de l'œil.  
 KÖHLER. — Application de la photographie aux Sciences naturelles.  
 DE BRUN. — Maladies des paupières — Maladies de l'appareil des lymphatiques et de la circulation sanguine.  
 BEAUREGARD. — Les microscopiques applications.  
 BROCC ET JACQUET. — Préface de Dermatologie. — En particulier.  
 LESAGE. — Le Choléra.  
 LANNELONGUE. — La Tuberculose chirurgicale.  
 CORNEVIN. — Production du Choléra.  
 J. CHATIN. — Anatomie comparée.  
 CASTEX. — Hygiène de la voix chantée.  
 MAGNAN ET SÉRIEUX. — La Tuberculose générale.  
 CUENOT. — L'influence du Choléra sur les animaux.  
 MERKLEN. — Maladies du Choléra.  
 G. ROCHÉ. — Les grandes puerperales modernes de la France.  
 OLLIER. — La régénération des réssections sous-périostées.  
 LETULLE. — Pus et suppuration.  
 CRITZMANN. — Le cancer.  
 ARMAND GAUTIER. — La cellule vivante.  
 MÉGNIN. — La faune des canaux.  
 SÉGLAS. — Le délire des négatifs.  
 OLLIER. — Les grandes réssections articulaires.  
 BAZY. — Troubles fonctionnels urinaires.  
 ETARD. — Les nouvelles thérapies.  
 FAISANS. — Diagnostic précoce de la tuberculose.  
 BUDIN. — Thérapeutique obstétricale.  
 DASTRE. — La Digestion.  
 AIMÉ GIRARD. — La betterave sucrière.  
 NAPIAS. — Hygiène industrielle professionnelle.  
 GONBAULT. — Pathologie du choléra.  
 LEGOUX. — Pathologie générale.  
 MARCHANT-GÉRARD. — Clinique du système nerveux : Cervicales.  
 BERTHAULT. — Les pleurites et temporaires.  
 BRAULT. — Myocarde et artères.  
 GAMALEIA. — Vaccination prophylactique.  
 ARLOING. — Maladies charbonnières.  
 NOCARD. — Les Tuberculoses et la Tuberculose humaine.  
 EDM. PERRIER. — Le Système circulatoire.  
 MATHIAS DUVAL. — La Fécondation.  
 BRISSAUD. — L'Hémisphère