

AGENDA DENOD

1927

PHYSIQUE INDUSTRIELLE

ECOLE CENTRALE DE LILLE



D0000081322

RUE BONAPARTE 02 PARIS

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Pour apprendre la MÉCANIQUE

adressez-vous à l'INSTITUT POLYTECHNIQUE
DE L'ÉCOLE DU GÉNIE CIVIL

PLACÉE SOUS LE HAUT PATRONAGE DE L'ÉTAT

Directeur : J. GALOPIN  I., Ingénieur

152, Avenue de Wagram, PARIS. Tél. : Wagram 27-97

Fondé il y a 25 ans par des INDUSTRIELS

Dirigé par des INGÉNIEURS-SPECIALISTES

Cet Institut met 300 COURS à votre disposition

Rédigés par 200 PROFESSEURS

Cours oraux de jour et de soir, 500 ÉLÈVES

Cours par Correspondance, 8.000 ÉLÈVES

Enseignement pratique, Élémentaire, Moyen et Supérieur

Diplômes de Contremaitres, Chefs, Ingénieurs :

*Automobile, Aviation, Machines à vapeur
à pétrole, à gaz, hydrauliques
frigorifiques*

Constructions métalliques

Constructions navales, Outillage

Usines, Dessin industriel.

Mécaniciens, Officiers, Ingénieurs de la Marine,

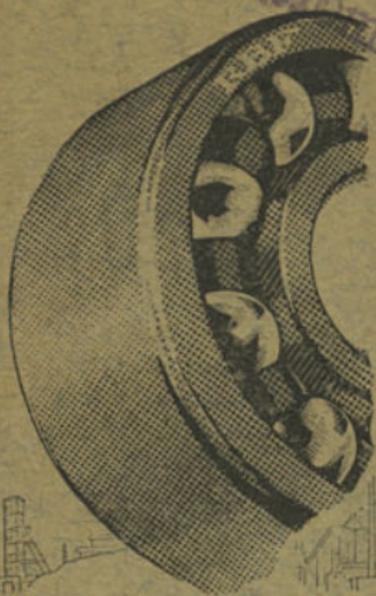
Jeunes techniciens, perfectionnez-vous

vous gagnerez davantage, et votre patron également

Envoi du Programme, n° 807.....	gratuit.
Guide des Situations Industrielles, 1 vol.....	2 fr.
Journal de Mathématiques et de Physique..	N° 1 fr.
La Situation dans l'Aviation.....	N° 2 fr.
Le Mécanicien de la Marine.....	N° 3 fr.

"La CAM a l'impression payée fabrique"

620 # IZA



**Pour
tout
ce
qui
tourne.**

(machines pour le travail du bois, des métaux, de la pierre; pompes, ventilateurs, essoreuses; broyeurs, pulvérisateurs, concasseurs, désagrégateurs; appareils de levage et de manutention mécanique; matériel de mines et de la métallurgie; matériel textile, de l'industrie papetière; matériel électrique, hydraulique; machine à travailler la peau, le cuir, le ca...

outchouc; automobile, aviation, chemins de fer et tramways, machines agricoles, etc --- etc ---)

employez les

roulements RBF

CAM 15 AVENUE DE LA GRANDE-ARMÉE PARIS

MAGASINS DE VENTE :

PARIS, 15, avenue de la Grande-Armée.

BORDEAUX, 33, rue Fondaudège.

LILLE, 71, boulevard de la Liberté.

LYON, 77, avenue de Saxe.

MARSEILLE, 21, boulevard National.

NANCY, 12, rue Notre-Dame.

NANTES, 22, rue de Strasbourg.

UNIVERSITÄT LILLE, 11, rue du Général-Foy.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

LA TECHNIQUE MODERNE

Revue Universelle des Sciences
appliquées à l'Industrie

Rédacteur en Chef : GEORGES BOURREY

Par l'ampleur et l'actualité des questions qu'elle traite, « *LA TECHNIQUE MODERNE* » est la première revue de technique générale. Ses études ne contiennent que des indications pratiques auxquelles vient s'ajouter seulement la part de théorie strictement indispensable à les étayer. Son but est d'être réellement utile aux Industriels et Ingénieurs en leur apportant une documentation sûre, pratique et concise.

PRINCIPAUX ARTICLES PUBLIÉS EN 1926

La fabrication mécanique et automatique de la verrerie; ses récents progrès. Le contrôle de la chauffe par l'analyse des résidus gazeux de la combustion. L'exploitation du pétrole. Les effets thermiques dans les parois des moteurs Diesel. L'aviation au début de 1926; les groupes motopulseurs. L'état actuel de l'industrie des machines-outils aux Etats-Unis. Les équipements électriques pour services auxiliaires de métallurgie. Contrôle et protection automatique des moteurs électriques par équipements à contacteurs. La surcompression dans les moteurs d'explosion. Sur les limites de rupture et de déformation permanente; application à la résistance du béton. Le moteur asynchrone à champ tournant; diagramme et formules pratiques. Les machines-outils pour le travail des métaux et du bois. Les récents progrès réalisés dans le chauffage des fours industriels. Le développement des réseaux télégraphiques privés; les appareils modernes. L'évolution des moteurs à huile lourde et leurs applications. Étude expérimentale du tirage mécanique.

Abonn^t annuel: France 80 fr. ; Étranger \$ 5,80
le n° : France 4 fr. ; Étranger \$ 0.25

IRIS, LILLIAD - Université Lille 1
DUNOD, Laitier, 92, Rue Bonaparte
PARIS (6^e) Téléph. : FLEURUS 33-43.

SUPÉRIORITÉ INCONTESTABLE

◆ ◆ DURÉE ILLIMITÉE ◆ ◆



Parquet Hygienique
SANS JOINT

Terrazzolith

SUPÉRIORITÉ GARANTIE
Ne s'endole ni ne se fend jamais.
Belles Couleurs Inaltérables
Durée Illimitée

DEMANDEZ PROSPECTUS

TELEPHONE JOURNÉES 47-31
NIGHTS 25-53

Terrazzolith
"DÉPOSÉ"

DOUCE & MOULIN 64, RUE PETIT PARIS XIX

Le Parquet par excellence pour :

BUREAUX, MAGASINS, ATELIERS, VOITURES à VOYAGEURS
ÉCOLES, HOPITAUX, ÉGLISES, SALLES de SPECTACLES

Procédés brevetés S. G. D. G.

Se méfier des substitutions.

LES TRAVAUX SONT ENTIÈREMENT GARANTIS

◆ ◆ RESISTANCE A TOUTE EPREUVE ◆ ◆
◆ ◆ ÉCONOMIE CERTAINE ◆ ◆

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

C^{ie} Parisienne d'Outillage à Air Comprimé

(Filiale de la " Compagnie Parisienne de l'Air Comprimé ")

Société anonyme au capital de 1.000.000 de Francs

Siège Social : 5, Rue de Liège - PARIS (9^e)

CODE LIEBER

TÉLÉPH. : CENTRAL 46-44

ADR. TÉL. : PARÉLÉCAIR

Gut. 21-69

INSTALLATIONS COMPLÈTES d'AIR COMPRIMÉ pour Chantiers et pour toutes les applications de l'air comprimé

Machines à enduire — Transporteurs pneumatiques de béton
Injections pneumatiques de béton

Groupes compresseurs mobiles — Compresseurs — Réservoirs — Canalisations — Perforatrices — Marteaux piqueurs — Pompes Mammouth pour épaissements —

LOCATION de MATÉRIEL

L'utilisation de la chaleur.

DÉFINITION DU RENDEMENT

On appelle rendement le rapport de la quantité de travail, de la quantité de chaleur réellement utilisées à la quantité maxima que le combustible pourrait théoriquement fournir, si l'on savait éviter toutes les causes de pertes. Pour mesurer ce rendement, il faut commencer par déterminer cette quantité maxima de travail ou de chaleur disponible dans la consommation d'une quantité déterminée d'un combustible.

Puissance mécanique disponible. — On calcule cette puissance maxima disponible en s'appuyant sur une généralisation du principe de Carnot.

La puissance développée dans une transformation entre deux états de la matière est maxima si tous les changements successifs sont réversibles ; elle est, par suite, la même pour tous les changements réversibles effectués entre deux mêmes états. Cette puissance maxima est donc le terme de comparaison auquel on doit rapporter le travail réellement produit dans des circonstances données pour mesurer le rendement obtenu dans ces conditions.

Pour déterminer la puissance maxima dans la combustion du charbon, c'est-à-dire dans sa transformation en acide carbonique, il suffira d'effectuer cette réaction par un procédé réversible dans des conditions telles, qu'il n'y ait avec le milieu extérieur au système d'autres échanges de travail. Le travail ainsi reçu par le milieu extérieur donnera la mesure de la puissance mécanique cherchée.

Prenons du charbon et de l'air, tous deux à la température ordinaire et chauffons-les en les maintenant isolés l'un de l'autre, jusqu'à une température où la dissociation de l'acide carbonique soit complète. Mettons alors les deux corps en contact et refroidissons lentement le système en laissant les réactions se produire progressivement et d'une façon réver-

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

(Voir la suite page 4.)



R. C. 5.748 Versailles

AYEZ TOUJOURS un ŒIL dans votre USINE
 grâce à l'emploi rationnel de nos
Spécialités d'ENREGISTREURS
 P^r **CONTROLE SCIENTIFIQUE DANS L'INDUSTRIE**



Contrôle de la Combustion,
Compteurs d'eau, etc.
Analyseurs de gaz,
d'eau, etc.



Pyrométrie optique



Des milliers de références élogieuses
 sont à votre disposition.

Écrivez aujourd'hui aux **ÉTABLISSEMENTS IZART**, route
 de Paris, SAINNOIS (S. et O.), et vous recevrez tous
 renseignements susceptibles de vous intéresser.

MAISON BREGUET

Siège Social :

Service Commercial :

19, Rue Didot, PARIS

34, Rue de Châteaudun, PARIS

TURBINES A VAPEUR
MATÉRIEL ÉLECTRIQUE

POMPES CENTRIFUGES
CONDENSATION ET VIDE
COMPRESSION DES VAPEURS

sible. Après retour à la température ordinaire on aura effectué la combustion du charbon par voie entièrement réversible.

Tous les échanges de chaleur nécessaires à l'accomplissement de ce cycle sont supposés obtenus au moyen d'une machine réversible de Carnot; le corps servant aux échanges décrit un cycle composé de deux isothermes et de deux adiabatiques de façon à prendre de la chaleur au milieu ambiant supposé indéfini pour le remonter au corps à échauffer ou réciproquement pendant le refroidissement, de telle façon qu'il n'y ait eu finalement avec l'extérieur que des échanges de travail. La puissance mécanique dz correspondant au transport d'une quantité de chaleur dq , à un corps à la température T en prenant seulement de la chaleur dans le milieu indéfini ambiant à température T_0 , est donnée par l'expression :

$$dz = dq \frac{T - T_0}{T}$$

Le calcul dans le cas de la combustion du carbone est assez compliqué parce que la dissociation ne se produit que d'une façon progressive et que, d'autre part, il faut faire intervenir les données numériques relatives à l'équilibre entre le charbon et l'acide carbonique et l'oxyde de carbone, ainsi que celles relatives à la dissociation de l'acide carbonique en oxyde de carbone et oxygène, parce que l'on n'observe pas directement la dissociation de l'acide carbonique en charbon et oxygène (1).

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

(1) *Le Chauffage Industriel*, par H. LE CHATELIER. — Dunod, éditeur, Paris.

557F

NI = 55

PHYSIQUE
INDUSTRIELLE

1927

AGENDAS DUNOD

Assurances, par P. VÉRON et F. POURCHEIROUX.

Automobile, par G. LIENHARD.

Banque, par H. DUFAYEL.

Bâtiment, par E. AUCAMUS, revu par Ph. ROUSSEAU.

Chemins de fer, par L. VIOLET.

Chimie, par E. JAVET.

Commerce, par G. LE MERCIER.

Construction Mécanique, par J. IZART.

Électricité, par J.-A. MONTPELLIER, revu par L.-D. FOURCAULT.

Métallurgie, par L. DESCROIX, revu par S. BRULL.

Mines. — *Prospection et exploitation.* — *Préparation mécanique*, par J. ROUX-BRAHIC.

Physique Industrielle. — *Chaudières et machines à vapeur*, par J. IZART.

Travaux publics, par E. AUCAMUS, revu par Ph. ROUSSEAU.

*Prix de chaque volume relié toile souple : 12 fr.
augmenté de la hausse en vigueur au moment de la vente*

PHYSIQUE INDUSTRIELLE

PAR

J. IZART
Ingénieur-Conseil.

A L'USAGE DES

Ingénieurs, Constructeurs-Mécaniciens, Industriels
Chefs d'ateliers et Constructeurs

7^e édition

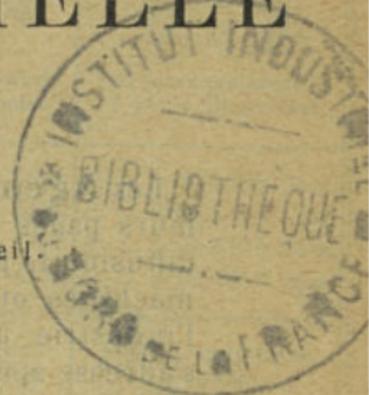
1927

PARIS

DUNOD

92, RUE BONAPARTE (VI)

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1



Les **Agendas Dunod** offrent, dans leurs pages d'annonces, le moyen de diffusion le plus puissant des procédés, machines ou fournitures utilisés par l'industrie à laquelle chacun d'eux s'adresse spécialement.

Tout industriel et commerçant disposant d'un budget de propagande, ou prévoyant une campagne d'annonces doit s'adresser au **Service de publicité des Agendas Dunod**.

JANVIER



Les jours croissent de
1 heure 3 minutes

FÉVRIER



Les jours croissent de
1 heure 31 minutes

MARS



Les jours croissent de
1 heure 48 minutes

N. L. le 3, à 20 h. 28 m.
P. Q. le 10, à 14 h. 43 m.
P. L. le 17, à 22 h. 27 m.
D. Q. le 26, à 2 h. 5 m.

N. L. le 2, à 8 h. 54 m.
P. Q. le 8, à 23 h. 54 m.
P. L. le 16, à 16 h. 18 m.
D. Q. le 24, à 20 h. 42 m.

N. L. le 3, à 19 h. 25 m.
P. Q. le 10, à 11 h. 3 m.
P. L. le 18, à 10 h. 24 m.
D. Q. le 26, à 11 h. 35 m.

1	S	<i>Circumcision</i>
2	D	S. Basile
3	L	S ^e Geneviève
4	M	S. Rigobert
5	M	S ^e Amélie
6	J	<i>Epiphanie</i>
7	V	S ^e Mélanie
8	S	S. Lucien
9	D	S. Julien
10	L	S. Guillaume
11	M	S ^e Hovtense
12	M	S ^e Césarie
13	J	<i>Bapt. de N.-S.</i>
14	V	S. Hilaire
15	S	S. Paul
16	D	S. Marcel
17	L	S. Antoine
18	M	Ch. s. Pierre
19	M	S. Sulpice
20	J	S. Sébastien
21	V	S ^e Agnès
22	S	S. Vincent
23	D	S. Raymond
24	L	S. Babylas.
25	M	Conv. s. Paul
26	M	S. Polycarpe
27	J	S. Jean Chrys.
28	V	S. Charlem.
29	S	S. Fr. de S.
30	D	S ^e Martine
31	L	S ^e Marcelle

1	M	S. Ignace
2	M	<i>Purification</i>
3	J	S. Blaise
4	V	S. Gilbert
5	S	S ^e Agathe
6	D	S ^e Dorotheés
7	L	S. Fidèle
8	M	S. Jean M.
9	M	S ^e Apolline
10	J	S ^e Scholast.
11	V	S. Adolphe
12	S	S ^e Eulalie
13	D	<i>Septuagésime</i>
14	L	S. Valentin
15	M	S. Faustin
16	M	S ^e Julienne
17	J	S. Luce
18	V	S. Siméon
19	S	S. Gabin
20	D	<i>Sexagésime</i>
21	L	S. Pépin
22	M	S ^e Isabelle
23	M	S. Pierre D.
24	J	S. Mathias
25	V	S. Léandre
26	S	S. Porphyre
27	D	<i>Quinquagés.</i>
28	L	S. Romain

1	M	<i>Mardi-Gras</i>
2	M	<i>Cendres</i>
3	J	S. Marin
4	V	S. Casimir
5	S	S. Théophile
6	D	<i>Quadrages.</i>
7	L	S. Thomas A.
8	M	S ^e Véronique
9	M	S. Franç. Q.-I.
10	J	Quar.-Mart.
11	V	S. Euloge
12	S	S. Marius
13	D	<i>Reminiscere</i>
14	L	S ^e Mathilde
15	M	S. Zacharie
16	M	S. Cyriaque
17	J	S. Patrice
18	V	S. Alexandre
19	S	S. Joseph
20	D	<i>Ocu'i</i>
21	L	S. Benoît
22	M	S ^e Léa
23	M	S. Victorien
24	J	<i>Mi-Carême</i>
25	V	<i>Annonciation</i>
26	S	S. Emmanuel
27	D	<i>Lestare</i>
28	L	S. Gontran
29	M	S. Eustase
30	M	S. Amédée
31	J	S. Benjamin

AVRIL



Les jours croissent de
1 heure 39 minutes

N. L. le 2, à 4 h. 24 m.
P. Q. le 9, à 0 h. 21 m.
P. L. le 17, à 3 h. 35 m.
D. Q. le 24, à 22 h. 21 m.

1	V	S. Hugues
2	S	S. François P.
3	D	<i>Passion</i>
4	L	S. Isidore
5	M	S. Vincent F.
6	M	S. Prudent
7	J	S. Clotaire
8	V	S. Albert
9	S	S ^e Marie E.
10	D	<i>Rameaux</i>
11	L	S. Léon
12	M	S. Jules
13	M	S ^e Ida
14	J	S. Tiburce
15	V	<i>Vend.-Saint</i>
16	S	S. Fructueux
17	D	Pâques
18	L	FÉRIÉ
19	M	S ^e Emma
20	M	S. Théodore
21	J	S. Anselme
22	V	S ^e Opportune
23	S	S. Georges
24	D	<i>Quasimodo</i>
25	L	S. Marc
26	M	S. Clot
27	M	S. Frédéric
28	J	S. Paul de Cr.
29	V	S. Pierre
30	S	S ^e Cather. S.

MAI



Les jours croissent de
1 heure 18 minutes

N. L. le 1, à 12 h. 40 m.
P. Q. le 8, à 15 h. 27 m.
P. L. le 17, à 19 h. 3 m.
D. Q. le 24, à 5 h. 34 m.
N. L. le 30, à 21 h. 6 m.

1	D	SS. Phil. et J.
2	L	S. Athanase
3	M	<i>Inv. s^e Croix</i>
4	M	S ^e Monique
5	J	S. Pie V
6	V	S. Jean P.-L.
7	S	S. Stanislas
8	D	<i>Fête J. d'Arc</i>
9	L	S. Grégoire N.
10	M	S. Antonin
11	M	S. Mamert
12	J	S. Achille
13	V	S. Servais
14	S	S. Pacôme
15	D	S ^e Denise
16	L	S. Honoré
17	M	S. Pascal
18	M	S. Venant
19	J	S. Yves
20	V	S. Bernardin
21	S	S ^e Gisèle
22	D	S ^e Julie
23	L	<i>Rogations</i>
24	M	S ^e Angèle
25	M	S. Urbain
26	J	Ascension
27	V	S. Ildevert
28	S	S. Germain
29	D	S. Girard
30	L	S. Ferdinand
31	M	S ^e Pétronille

JUIN



Les jours croissent de
15 minutes

P. Q. le 7, à 7 h. 49 m.
P. L. le 15, à 8 h. 19 m.
D. Q. le 22, à 10 h. 29 m.
N. L. le 29, à 6 h. 32 m.

1	M	S. Fortuné
2	J	S. Marcellin
3	V	S ^e Clotilde
4	S	S. Optat
5	D	Pentecôte
6	L	FÉRIÉ
7	M	S. Lié
8	M	S. Médard Q.-I.
9	J	S. Félicien
10	V	S. Landry
11	S	S. Barnabé
12	D	<i>Trinité</i>
13	L	S. Ant. de P.
14	M	S. Basile
15	M	S. Modeste
16	J	<i>Fête-Dieu</i>
17	V	S. Aurélien
18	S	S ^e Marine
19	D	S. Gervais
20	L	S. Silvère
21	M	S. Raoul
22	M	S. Alban
23	J	S. Félix
24	V	<i>N. de s. J.-B.</i>
25	S	S. Guillaume
26	D	SS. Jean et P.
27	L	S. Ladislas
28	M	S. Irénée
29	M	SS. Pier. et P.
30	J	S. Émilien

JUILLET



Les jours diminuent de
56 minutes

AOUT



Les jours diminuent de
1 heure 35 minutes

SEPTEMBRE



Les jours diminuent de
1 heure 42 minutes

P. Q. le 7, à 0h. 52m.
P. L. le 14, à 19h. 22m.
D. Q. le 21, à 14h. 43m.
N. L. le 28, à 17h. 36m.

P. Q. le 5, à 18h. 5m.
P. L. le 13, à 4h. 37m.
D. Q. le 19, à 19h. 54m.
N. L. le 27, à 6h. 46m.

P. Q. le 4, à 10h. 45m.
P. L. le 11, à 12h. 54m.
D. Q. le 18, à 3h. 30m.
N. L. le 25, à 22h. 11m.

1	V	S. Thierry
2	S	<i>Visitat. N.-D.</i>
3	D	S. Anatole
4	L	S. Berthe
5	M	S. Zoé
6	M	S. Tranquille
7	J	S. Elié
8	V	S. Elisabeth
9	S	S. Cyrille
10	D	S. Felicité
11	L	S. Norbert
12	M	S. Jean G.
13	M	S. Eugène
14	J	<i>Fête Nation.</i>
15	V	S. Henri
16	S	<i>N.-D. du C.</i>
17	D	S. Alexis
18	L	S. Camille
19	M	S. V. de Paul
20	M	S. Marguer.
21	J	S. Victor
22	V	S. Madeleine
23	S	S. Apollinaire
24	D	S. Christine
25	L	S. Jacques
26	M	S. Anne
27	M	S. Nathalie
28	J	S. Nazaire
29	V	S. Marthe
30	S	S. Ignace L.
31	D	S. Germain

1	L	S. Pierre
2	M	S. Alphonse
3	M	S. Geoffroy
4	J	S. Dominiq.
5	V	S. Abel
6	S	<i>Transf. J.-C.</i>
7	D	S. Gaëtan
8	L	S. Justin
9	M	S. Samuel
10	M	S. Laurent
11	J	S. Suzanne
12	V	S. Claire
13	S	S. Hyppolyte
14	D	S. Eusébe
15	L	<i>Assomption</i>
16	M	S. Roch
17	M	S. Mammès
18	J	S. Hélène
19	V	S. Joachim
20	S	S. Bernard
21	D	S. Jeanne
22	L	S. Symphor.
23	M	S. Philippe
24	M	S. Barthél.
25	J	S. Louis, roi
26	V	S. Zéphyrin
27	S	S. Armand
28	D	S. Augustin
29	L	S. Médéric
30	M	S. Rose de L.
31	M	S. Raymond

1	J	S. Gilles
2	V	S. Étienne
3	D	S. Lazare
4	S	S. Rosalie
5	L	S. Laurent
6	M	S. Reine
7	M	S. Cloud
8	J	<i>Nat. de N.-D.</i>
9	V	S. Omer
10	S	S. Nicolas
11	D	S. Hyacinthe
12	L	S. Pulchérie
13	M	S. Aimé
14	M	<i>Exalt. de Cr.</i>
15	J	S. Nicom. Q.-I.
16	V	S. Corneille
17	S	S. Lambert
18	D	S. Joseph
19	L	S. Janvier
20	M	S. Eustache
21	M	S. Matthieu
22	J	S. Maurice
23	V	S. Thècle
24	S	<i>N.-D. de la M.</i>
25	D	S. Firmin
26	L	S. Justine
27	M	S. Coëme
28	M	S. Wenceslas
29	J	S. Michel
30	V	S. Jérôme

OCTOBRE



Les jours diminuent de
1 heure 44 minutes

P. Q. le 4, à 2 h. 2 m.
P. L. le 10, à 21 h. 15 m.
D. Q. le 17, à 14 h. 32 m.
N. L. le 25, à 15 h. 37 m.

1	S	S. Remi
2	D	SS. Anges
3	L	S. Denys
4	M	S. François
5	M	S. Placide
6	J	S. Bruno
7	V	S. Serge
8	S	S ^e Brigitte
9	D	S. Denis
10	L	S. François B.
11	M	S. Nicaise
12	M	S. Wilfrid
13	J	S. Édouard
14	V	S. Calixte
15	S	S ^e Thérèse
16	D	S. Léopold
17	L	S ^e Hedwige
18	M	S. Luc, év.
19	M	S. Pierre
20	J	S. Jean Cant.
21	V	S ^e Ursule
22	S	S. Mellon
23	D	S. Rédempt.
24	L	S. Raphaël
25	M	S. Crépin
26	M	S. Évariste
27	J	S. Frumence
28	V	S. Simon
29	S	S. Narcisse
30	D	S. Lucaïn
31	L	S. Quentin

NOVEMBRE



Les jours diminuent de
1 heure 20 minutes

P. Q. le 2, à 15 h. 16 m.
P. L. le 9, à 6 h. 36 m.
D. Q. le 16, à 5 h. 28 m.
N. L. le 24, à 10 h. 9 m.

1	M	Toussaint
2	M	<i>Les Trépassés</i>
3	J	S. Hubert
4	V	S. Charles
5	S	S ^e Bertilde
6	D	S. Léonard
7	L	S. Ernest
8	M	S. Godfroy
9	M	S. Théodore
10	J	S. Juste
11	V	<i>Fête Victoire</i>
12	S	S. René, év.
13	D	S. Didace
14	L	S. Stanislas
15	M	S ^e Gertrude
16	M	S. Edmond
17	J	S. Grégoire
18	V	S. Eudes
19	S	S ^e Élisabeth
20	D	S. Félix
21	L	<i>Prés. de N.-D.</i>
22	M	S ^e Cécile
23	M	S. Clément
24	J	S. Jean de C.
25	V	S ^e Catherine
26	S	S ^e Geneviève
27	D	<i>Avent</i>
28	L	S. Sosthène
29	M	S. Saturnin
30	M	S. André

DÉCEMBRE



Les jours diminuent de
17 minutes

P. Q. le 2, à 2 h. 15 m.
P. L. le 8, à 17 h. 32 m.
D. Q. le 16, à 0 h. 4 m.
N. L. le 24, à 4 h. 13 m.
P. Q. le 31, à 11 h. 22 m.

1	J	S. Eloi
2	V	S ^e Aurélie
3	S	S. Franc. X.
4	D	S ^e Barbe
5	L	S. Sabas
6	M	S. Nicolas
7	M	S. Ambroise
8	J	<i>Imm. Conc.</i>
9	V	S ^e Léocadie
10	S	<i>N.-D. de L.</i>
11	D	S. Damase
12	L	S. Valery
13	M	S ^e Lucie
14	M	S. Nicaise
15	J	S. Mesmin Q.-I.
16	V	S ^e Adélaïde
17	S	S ^e Yolande
18	D	S. Gatien
19	L	S. Maurice
20	M	S. Philog.
21	M	S. Thomas
22	J	S. Honorat
23	V	S ^e Victoire
24	S	S ^e Delphine
25	D	Noël
26	L	S. Étienne
27	M	S. Jean, ap.
28	M	SS. Innocents
29	J	S. Thomas.
30	V	S. Roger
31	S	S. Sylvestre

TABLE DES MATIÈRES

CHAPITRE PREMIER

Mesures et Conversions d'unités.

	Pages.
Abréviations pour les poids et mesures.....	1
Mesures légales en France.....	1
Mesures anglaises usitées en physique.....	2
Pressions en livres par pouce carré et leurs équivalents en kilogrammes par centimètre carré.....	4
Définition et mesure des températures.....	5
Échelles usuelles de températures.....	5
Comparaison des échelles thermométriques C et F.....	6
Repères pour l'étalonnage des thermomètres.....	7
Évaluation des températures par les radiations lumineuses.....	7
Évaluation des températures élevées. — Montres fusibles.....	8
Pyrométrie optique.....	9
Définition et mesure des pressions.....	13
Tableau de conversion des diverses unités de pression.....	16
Densités. Poids et volume de l'eau entre 40 et 300° C.....	17
Densité des liquides industriels.....	18
Densité de quelques métaux usuels.....	18
Poids et volume des gaz à vapeurs.....	18
Densités de l'alcool.....	19
Volumes relatifs d'eau et d'alcool.....	20
Concentration et dilution par la densité.....	22
Concentration et dilution par l'extrait sec.....	23
Correspondance des degrés Baumé et des densités.....	24
Tableau de conversion des diverses unités d'énergie.....	26
Tableau de conversion des diverses unités de puissance.....	27
Mesure du travail et de la puissance.....	27
Tableau des poids atomiques.....	28

CHAPITRE II

Chaleur, Transmission, Échange.

	Pages.
Températures de fusion, d'ébullition.....	29
Définition et mesure des températures.....	29
Points d'ébullition de quelques corps à la pression atmosphérique....	29
Points de fusion des métaux et alliages.....	29
Températures de combustion.....	31
Chaleurs d'échauffement des gaz.....	33
Transmission de la chaleur.....	36
Lois du rayonnement.....	39
Rayonnement calorifique.....	39
Rayonnement lumineux.....	40
Données sur le chauffage de l'air.....	41

CHAPITRE III

Gaz et vapeurs, Séchage, Évaporation, Condensation.

Propriétés des gaz et vapeurs.....	40
Relations entre pression, volume, température.....	44
Poids spécifique d'un gaz sec.....	46
Poids spécifique d'un gaz humide.....	47
Réduction des volumes à zéro et 760.....	47
Conversion des volumes à zéro en volumes à la température t	49
Conversion des poids à zéro en poids à la température t	49
Table des valeurs de $\frac{1}{1 + \alpha t} \frac{H}{760}$ pour la réduction des volumes de gaz sec à zéro et 760.....	50
Table des valeurs de $\frac{1}{1 + \alpha t}$ et $1 + \alpha t$ pour la conversion des volumes et poids de gaz secs entre zéro et 1.500° à la pression atmosphérique.....	52
Table pour la conversion des poids et volumes des gaz secs entre 0 et 450° à la pression atmosphérique.....	54
Poids du mètre cube des gaz industriels.....	56
Densité des vapeurs par rapport à l'air.....	56
Constantes et caractéristiques des principaux gaz secs.....	57
Tensions de la vapeur d'eau.....	58
Réduction des milib. (mètres de mercure) en kg. cm ²	58

	Pages.
Chaleur dans la vapeur aux basses pressions.....	58
Tensions de la vapeur d'eau saturée en mm. Hg entre 0 et 110°.....	59
Propriétés thermiques de la vapeur d'eau.....	60
Chaleur dans la vapeur saturée, humide, surchauffée.....	60
Table de Mollier pour la vapeur surchauffée.....	62
— — — — — humide.....	63
Table de Zeuner pour la vapeur saturée sèche.....	64
Table de Mollier pour les propriétés de la vapeur d'eau saturée sèche entre 0 et 130°.....	70
Diagramme entropique de Izart.....	72
Écoulement de la vapeur.....	75
Propriétés de l'air aux pressions ambiantes.....	76
Table du poids de l'air sec à 760 millimètres aux différentes tempé- ratures.....	77
Composition physique dans l'air atmosphérique.....	79
Humidité dans l'air atmosphérique sous les climats tempérés.....	80
Solubilité de l'air dans l'eau.....	80
Composition chimique de l'air atmosphérique.....	81
Mélange des gaz et des vapeurs.....	81
Tension des mélanges de gaz et vapeur.....	81
Température des mélanges de gaz et vapeurs.....	82

HYGROMÉTRIE

Définition et mesure de l'état hygrométrique.....	82
Eau dans l'air humide.....	83
Poids du mètre cube d'air humide aux divers degrés de saturation.....	85
Volume de 1 kilogramme d'air sec dans le mélange humide.....	86
Calcul direct du poids spécifique de l'air humide.....	88
Capacité d'absorption en eau d'un kilogramme de gaz sec.....	88
Chaleur dans l'air humide.....	89
Chaleur en jeu dans l'évaporation et la condensation à l'air libre.....	91
Chaleur totale en calories (chiffre supérieur) et poids d'eau en grammes (chiffre inférieur) par kilogramme d'air pur et sec.....	92
Caractéristiques hydriques de l'air humide rapportées au kilogramme d'air sec.....	96
Caractéristiques thermiques de l'air humide rapportées au kilogramme d'air sec.....	97

SÉCHAGE

Données pratiques sur le séchage.....	98
Poids d'eau à enlever par 100 kilogrammes pour ramener l'humidité initiale a 0/0 à l'humidité finale b 0/0.....	99
Exemple de séchage.....	100

ÉVAPORATION

	Pages.
Points d'ébullition sous vide.....	103
Poids d'eau à évaporer par 100 kg. pour concentrer un liquide de a 0/0 d'extrait sec à b 0/0.....	104
Volume à évaporer en 0/0 du volume initial pour concentrer les jus sucrés et densités correspondantes.....	105
Classement des appareils d'évaporation.....	106

CONDENSATION

Mesure du vide.....	111
Correction barométrique.....	111
Progrès des méthodes de condensation.....	113
Consommation d'eau de refroidissement.....	114
Consommation de puissance pour la condensation.....	115
Poids d'eau nécessaire pour condenser un kilogramme de vapeur d'eau.....	116
Poids et volume d'air à extraire.....	116
Volume de l'air-sec raréfié aux diverses températures en m^3 : kg.....	117
Dimension des pompes à vide.....	118
Ejecteurs à air.....	119
Dispositifs pratiques de condensation.....	122

CHAPITRE IV

Mouvement des liquides. — Pompes.

Mouvement de l'eau. — Écoulement. — Débit. — Puissance.....	123
Table des vitesses d'écoulement de l'eau.....	125
Table donnant la transformation des litres en seconde en litres par minute; en m^3 par heure; en m^3 par jour; et réciproquement.....	126
Table de la puissance théorique en chevaux pour l'élévation de l'eau.....	128
Canaux et cours d'eau.....	129
Écoulement dans les cours d'eau.....	129
Vitesses par temps absolument calme.....	129
Jaugeage pratique d'un cours d'eau.....	130
Écoulement par déversoirs.....	131
Débits donnés par un déversoir de hauteur h et de 1 mètre de large sans contraction sur le seuil.....	131
Écoulement par vannes.....	132
Table des débits d'une vanne de fond pour 1 mètre de largeur.....	132
Orifices et tuyauteries.....	133
Écoulement par orifices.....	133

TABLE DES MATIÈRES

v

	Pages
Jaugeage par tuyère.....	133
Table des débits en litres par seconde d'un ajutage convergent à 30°..	134
Débit et portée des jets de lance d'arrosage.....	135
Hauteur verticale des jets d'eau en mètres.....	136
Débit d'une conduite d'eau.....	137
Table des débits en m ³ par minute et des pertes de charge par frottement.....	139
Calcul du diamètre des conduites d'eau.....	143
Section et surface extérieure des tuyaux.....	146
Équation des tubes et branchements dans l'hypothèse d'une même perte de charge linéaire.....	147
Pertes de charge. — Frottement dans les conduites.....	148
Pertes de charge accessoires.....	149
Résistance des coudes.....	149
Changement de section.....	150
Vannes et robinets.....	151
Pompes.....	154
Poids spécifique des principaux liquides industriels.....	154
Limites d'aspiration.....	154
Installation des pompes.....	157
Amorçage.....	158
Contrôle de la hauteur totale.....	158
Pompes centrifuges.....	159
Caractéristiques. — Débit. — Charge et puissance.....	159
Rendement des pompes centrifuges.....	160
Pompes à piston.....	161
Puissance et rendement.....	161

CHAPITRE V

Mouvement des gaz sous faible pression. — Ventilateurs.

Pression.....	162
Vitesses d'écoulement.....	163
Vitesse d'écoulement de l'air à 15°.....	164
Débit.....	164
Mesure du débit. — Jaugeages gazeux. — Volumètres enregistreurs..	164
Travail de ventilation.....	166
Pression et débit en chambre close.....	166
Pertes de charge.....	168
Frottement dans les conduites.....	168
Pertes de charge	170

	Pages.
Diamètre des conduites de vent.....	172
Résistance totale et orifice équivalent.....	172
Orifice équivalent des systèmes complexes.....	174
Calcul d'une conduite simple.....	175
Calcul d'un ensemble complexe de conduites.....	175
Vérification des débits pressions et vitesses.....	177
Installations des ventilateurs.....	179
Pressions utilisées dans l'industrie.....	179
Travail et rendement des ventilateurs.....	179
Pression ou dépression utile. — Orifice de passage.....	180
Courbes caractéristiques.....	180
Variations de la pression, du débit, de la puissance avec la vitesse....	181
Choix des ventilateurs.....	182
Essai des ventilateurs.....	183

CHAPITRE VI

Mouvement des gaz sous pression. — Air comprimé, Froid.

Travail des gaz parfaits.....	184
Écoulement de la vapeur.....	188
Écoulement des gaz sous pression.....	192
Formules employées pour calculer les conduites de gaz ou d'air comprimé.....	193

AIR COMPRIMÉ

Température de compression.....	195
Travail de compression adiabatique.....	195
Influence du refroidissement.....	196
Compression bi-étagée.....	197
Températures et travail de compression pour la compression en une phase et en deux phases d'air ambiant à 20°.....	200
Choix et essai des compresseurs.....	201
Données pratiques sur les installations d'air comprimé.....	203
Consommation des outils à air comprimé.....	203
Commande des compresseurs.....	203
Puissance pour la commande des compresseurs d'air.....	204
Réservoirs à air comprimé.....	205
Tuyauteries.....	206

	Pages.
Équation des tuyaux à gaz dans l'hypothèse d'une même perte de pression.....	207
Diamètre des conduites pour air comprimé à 6 kilogrammes.....	209

FROID

Température et humidité dans les chambres froides.....	210
Consommation de frigories.....	210
Consommation de puissance des compresseurs.....	211
Pression dans les appareils.....	212
Constantes physiques des gaz employés dans les compresseurs.....	212
Constantes physiques des saumures de réfrigération.....	213

CHAPITRE VII

Combustibles, Foyers, Contrôle de la combustion.

Classification des houilles.....	214
Pouvoir calorifique des charbons (abaque Izart).....	215
Propriétés thermiques du carbone $C = 12$	216
Poids spécifiques réel et pratique des combustibles.....	216
Poids du stère de bois.....	217
Pouvoir calorifique des bois.....	217
Données sur les combustibles liquides.....	218
Mauvais combustibles et déchets végétaux.....	219
Chaleurs spécifiques moyennes des corps entrant dans la chaufferie... ..	219
Combustion, tirage, cheminées.....	220
Chaleurs de combustion.....	220
Poids, volume et chaleur spécifique des fumées à zéro et 760.....	221

TIRAGE

Composition de l'air.....	222
Volume d'air pour la combustion.....	222
Allures de combustion et tirage nécessaire à la grille.....	224
Tirage naturel.....	224
Intensité du tirage théorique des cheminées.....	226
Calcul approché de la hauteur de cheminée et section.....	226
Proportions des cheminées en briques.....	227
Tirage mécanique.....	227
Comparaison des systèmes de tirage.....	228

FOYERS

	Pages.
Briques standardisées.....	230
Établissement des voûtes.....	231
Voûtes plates non appareillées.....	234
Types de chambres de combustion.....	235
Desiderata d'un foyer rationnel.....	236
Foyers mécaniques.....	237
Foyers avec grilles chargées à main.....	238

CONTRÔLE DE LA COMBUSTION

Pertes dans les foyers.....	239
Tableau des pertes en chaleur sensible par la cheminée.....	240
Méthodes économiques de contrôle industriel.....	241
Analyseurs de gaz.....	241
Analyseur physique Unographe.....	242
Postes de mesures et de réglage.....	245
Contrôle permanent par doseur d'air enregistreur.....	245
Contrôle des foyers par Duplex.....	249
Contrôle des tirages combinés par Triplex.....	251

CHAPITRE VIII

Générateurs de vapeur et accessoires.

Essais de chaudières et rendement.....	252
Rendement thermique.....	252
Chaleur dans la vapeur.....	252
Chiffre de vaporisation.....	254
Normes pour les essais de chaudières.....	254
Chaudières, proportions usuelles.....	263
Types de chaudières.....	263
Surface de chauffe des chaudières.....	263
Allures de vaporisation usuelles par mètre carré de surface de chauffe des chaudières.....	264
Rapport de la surface de chauffe à la surface de grille.....	264
Proportions des grilles.....	264
Proportions des éco.....	265

	Pages.
Proportions de la section des carneaux et cheminées.....	265
Appareils accessoires.....	266
Soupapes de sûreté.....	266
Table des soupapes de sûreté.....	267
Alimentation et poste d'eau.....	268
Importance du poste d'eau.....	268
Schémas de postes d'eau.....	269
Contrôle du poste d'eau.....	269
Essai alcalimétrique des eaux.....	271
Essai hydrotimétrique.....	271
Essai au salinomètre.....	272
Épuration, dégazage et déshuilage des eaux.....	272
Réactifs pour l'épuration chimique.....	273
Mesurage des quantités d'eau.....	274
Disposition des tuyauteries d'alimentation.....	275
Groupes alimentaires.....	276
Économiseurs.....	277
Réchauffeurs d'alimentation.....	277
Réchauffeurs tubulaires et serpents.....	277
Économiseurs.....	278
La transmission thermique dans les économiseurs.....	278
Calcul de la surface de chauffe d'un économiseur.....	279
Économie des économiseurs.....	280
Économiseur Green.....	281
Surchauffeurs.....	282
Limites d'emploi de la surchauffe.....	282
Température à adopter.....	283
Précautions à prendre dans la conduite des surchauffeurs.....	283
Transmission thermique dans les surchauffeurs.....	284
Calcul de la surface de chauffe d'un surchauffeur.....	285
Canalisations de vapeur.....	286
Résistance mécanique et établissement des conduites.....	286
Section des conduites.....	286
Pertes de charge.....	286
Volumes et poids spécifiques de la vapeur saturée et de la vapeur surchauffée.....	287
Pertes thermiques et calorifuges.....	288
Peinture des tuyauteries.....	288
Récupération des purges.....	289
Pompes de retour d'eau chaude.....	290

CHAPITRE IX

Moteurs à vapeur et Condenseurs.

	Pages.
Détente de la vapeur d'eau.....	291
Détente adiabatique.....	291
Détente hyperbolique.....	293
Économie des moteurs à vapeur.....	294
Causes des pertes dans les machines à piston.....	295
Intérêt de la surchauffe.....	300
Intérêt de la condensation.....	300
Intérêt des prélèvements de vapeur.....	301
Emploi de la vapeur en cascade.....	305
Consommation des moteurs à vapeur.....	308
Consommation théorique.....	308
Consommation pratique.....	311
Consommation pratique de vapeur des turbines.....	312
Consommation pratique de vapeur des machines à piston.....	314
Condenseurs de moteurs à vapeur.....	315
Condensation.....	315
Consommation de puissance pour la condensation.....	315
Installations de condenseurs à mélange.....	315
Installations de condenseurs à surface.....	317

CHAPITRE X

Gazogènes et Moteurs à combustion interne.

Carburants liquides.....	318
Carburants gazeux.....	319
Constituants des gaz de gazogène.....	319
Composition des principaux gaz combustibles et industriels.....	321
Volume de gaz produit au gazogène.....	321
Composition du gaz de gazogène.....	321
Composition élémentaire des gaz de gazogènes.....	323
Combustion des gaz.....	324
Égalités en volume.....	324
Moteurs à gaz et à pétrole.....	328
Généralités.....	328
Le moteur à essence et à pétrole.....	330
Thermodynamique des moteurs à combustion.....	332
Cycle à quatre IRIS. LILLIAD. - Université Lille 1.....	332

	Pages.
Cycle à deux temps.....	333
Cycle Diesel à pression constante.....	333
Rendement thermique.....	334
Compression.....	335
Calcul des dimensions principales.....	336
Pouvoir calorifique, air nécessaire à la combustion et dépense de combustible.....	338
Rendement volumétrique de la course d'aspiration des types principaux.....	339
Évaluation de la puissance des moteurs d'après leurs dimensions.....	341
Moteurs industriels.....	341
Coefficients pour le calcul de la puissance des moteurs à gaz.....	342
Moteurs légers, type automobile.....	343
Tableau donnant les puissances des moteurs à 4 cylindres type automobile.....	344

CHAPITRE XI

Chauffage, ventilation et rafraîchissement.

Température moyenne dans les diverses contrées.....	346
Quantité de chaleur à fournir.....	346
Tableau des coefficients K pour les calculs de chauffage.....	347
Chauffage et ventilation par pulsion.....	348
Chauffage par surface d'échange (radiateurs).....	351
Chauffage domestique.....	352

LÉGISLATION DU TRAVAIL

Généralités.

<i>Des conventions relatives au travail.....</i>	A 1
Du contrat de travail.....	A 1
Du salaire.....	A 11
Du placement des travailleurs.....	A 12
<i>Des groupements professionnels.....</i>	A 15
Loi du 21 mars 1884.....	A 15

	Pages.
<i>Des conflits du travail</i>	A 18
Conciliation et arbitrage.....	A 19
Conseils consultatifs du travail.....	A 21
<i>De la prévoyance sociale</i>	A 23
Accidents du travail.....	A 23
Retraites ouvrières.....	A 37
<i>De la durée du travail</i>	A 43
Loi du 23 avril 1919.....	A 43
<i>Du repos hebdomadaire et des jours fériés</i>	A 43
<i>Hygiène et sécurité des travailleurs</i>	A 44
<i>Relations avec l'inspection du travail</i>	A 46

Législation spéciale.

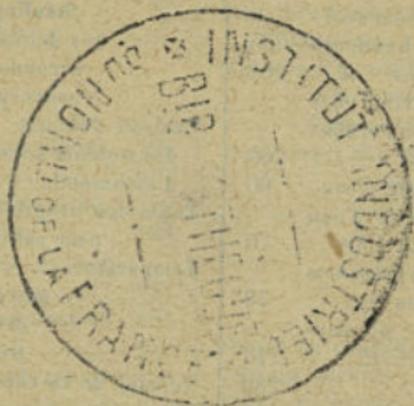
<i>Durée du travail</i>	A 47
<i>Repos hebdomadaire</i>	A 54
<i>Emploi des enfants et des femmes</i>	A 55
<i>Hygiène et sécurité des travailleurs</i>	A 57

INDEX ALPHABÉTIQUE

	Pages
A	
Pages.	
Air comprimé.....	195, 203
Allures de combustion et tirage nécessaire à la grille.	224
— de vaporisation usuelles par mètre carré de surface de chauffe des chaudières.....	263
Analyseur de gaz.....	241
B	
Briques standardisées.....	230
C	
Calcul des conduites d'eau.....	143
Calorifuges.....	288
Canalisations de vapeur.....	286
Carburants liquides.....	318
Chaleur dans la vapeur.....	58
— d'échauffement des gaz.	33
— totale en calories et poids d'eau en gr. par kg. d'air pur et sec.....	92
— spécifique de la vapeur d'eau surchauffée....	60
— — moyenne des corps entrant dans la chauffe.....	219
Chaudières, proportions usuelles	263
Chauffage et ventilation	346
Classification des houilles.....	214
Coefficient de transmission.....	36
Combustibles gazeux.....	319
— liquides... 318 et	218
— (mauvais).....	219
*Combustion.....	220
— des gaz.....	324
Comparaison des échelles ther- mométriques C. et F.....	6
Composition chimique de l'air atmosphérique.	81
— du gaz de gazo- gène.....	323
— physique de l'air atmosphérique.	79
Compresseurs.....	201
Condensation.....	110
Consommation des moteurs à vapeur.....	308
Contrôle de la combustion...	249
— des foyers mécaniques par doseurs «Duplex»	249
— par doseurs «Tri- plex».....	251
Conversion des poids spécifiques à 0, en poids à la température t ...	52
— des volumes à 0, en volumes à la tem- pérature t	54
Correspondance des degrés Baumé et des densités.....	24
D	
Debit d'eau.....	137

Pages.	Pages.
Débits donnés par un déversoir de hauteur h et de 1 mètre de large.....	131
Débits d'une vanne de fond pour 1 mètre de largeur.....	132
Désiderata d'une combustion rationnelle.....	236
Détente adiabatique.....	291
— hyperbolique.....	293
Diagramme entropique Izart...	72
E	
Économie de la machine à piston.	294
Économiseurs.....	277
Écoulement dans les cours d'eau.	129
— de la vapeur.....	188
— par orifices et par ajutages.....	133
— des gaz sous pression	192
Éjecteurs.....	119
Essai des chaudières et rendement.....	252
F	
Foyers et réfractaires.....	230
Foyers mécaniques.....	237
— avec grilles à main.....	238
Froid.....	210
G	
Gazogènes.....	319
H	
Humidité dans l'air atmosphérique sous les climats tempérés.....	80
Hygrométrie.....	158
J	
Jaugeage pratique d'un cours d'eau.....	130
M	
Mélange des gaz et vapeurs...	81
Mesures anglaises usitées en physique.....	2
Moteurs à gaz et à pétrole.....	328
— industriels.....	341
— légers, type auto.....	343
Mouvement des gaz sous pression.....	184
— de l'eau.....	123
P	
Pertes de charge.....	148, 286
Pétrole, essence.....	318
Poids atomiques.....	28
Poids de l'air et des gaz aux différentes températures.	77
Poids du mètre cube d'air humide aux divers degrés de saturation.....	85
Poids du stère de bois.....	217
— spécifique.....	28, 49
— — pratique des combustibles.	216
— — réel des combustibles....	216
Points d'ébullition de quelques corps à la pression atmosphérique.....	29
Points de fusion des métaux et alliages.....	29
Pompes.....	154
— à piston.....	161
— à vide.....	148
— — — — —	159

Pages.	Pages.
Pouvoir calorifique, des charbons... 215	Soupapes de sûreté..... 266
— — des bois.. 217	Surchauffeurs..... 282
Pressions..... 13	T
Pressions en livres par pouce carré et leurs équivalents en kilogramme par centimètre carré..... 4	Tableau de conversion des diverses unités de pressions..... 16
Proportions des cheminées en briques..... 227	Tableau des coefficients K pour les calculs de chauffage..... 347
— des économiseurs et surchauffeurs 265	— des débits en litres par seconde d'un ajutage convergent à 30°... 134
— des grilles..... 264	Tableau donnant la puissance des moteurs à quatre cylindres d'automobile..... 344
— de la section des carreaux et cheminées..... 265	Table des propriétés de la vapeur saturée sèche... 64
Propriétés de la vapeur d'eau. 60	Températures..... 5
— de la vapeur d'eau entre 0 et 130°... 70	— moyenne dans les diverses contrées..... 346
Propriétés de l'air aux pressions ambiantes..... 76	Tension de la vapeur d'eau... 58
— thermiques du carbone C = 12... 216	Thermodynamique des moteurs à combustion..... 332
Purges..... 289	Thermométrie..... 29
Pyrométrie..... 9	Tirage et cheminées..... 220
R	Transmission de la chaleur par conduction... 36
Rapport de la surface de chauffe à la surface de grille..... 264	Transmission de la chaleur par convection... 36
Réduction des volumes à 0 et 760..... 47	— de la chaleur par radiation..... 37
Relations entre pression, volume, température..... 44	Types de chambres de combustions..... 235
S	V
Séchage..... 98	Voûtes plates non appareillées. 234
Section des conduites..... 286	
Solubilité de l'air dans l'eau... 80	



TABLES ET FORMULES USUELLES

Pages.

Arithmétique.....	I
<i>Proportions</i>	I
<i>Progressions</i>	I
Trigonométrie.....	II
<i>Facteurs-usuels</i>	III
Géométrie.....	IV
<i>Surfaces</i>	IV
<i>Volumes</i>	VI
Carrés, cubes, racines carrées, racines cubiques, circonférences, surfaces et logarithmes des nombres ou diamètres de 1 à 105.....	VII
Arcs, cordes, flèches, et surfaces des segments.....	X
Tangentes et cotangentes des angles de 0 à 90°.....	XII
Sinus et cosinus des angles de 0 à 90°.....	XII
Intérêts composés.....	XIII
Temps de l'amortissement.....	XIV
Valeur de 1 franc payable à la fin de n années.....	XV
Taux de l'amortissement.....	XV
Annuités d'amortissement.....	XVI
Transformation des pentes métriques en degrés d'inclinaison.....	XVII
Transformation des degrés d'inclinaison en pentes métriques.....	XVII
Transformation de fractions ordinaires en fractions décimales.....	XVII
Transformation des litres par seconde en litres par minute.....	XVII
Mesures (Loi du 2 avril 1919).....	XVIII
Mesures de la marine.....	XXIII
<i>Mesures de longueur</i>	XXIII
<i>Mesures topographiques</i>	XXIII
<i>Mesures de volume</i>	XXIII
Mesures de certaines substances.....	XXIII
Mesures anglaises.....	XXIV
Autres mesures étrangères.....	XXV
<i>Mesures de longueur</i>	XXV
<i>Mesures de poids</i>	XXV
Anciennes mesures françaises.....	XXV
Poids et diamètres des monnaies.....	XXVI
Monnaies usuelles des pays étrangers.....	XXVI
Mesures agraires.....	XXVII
Densités des gaz.....	XXVII

	Pages.
Densités des vapeurs.....	XXVII
Densités des liquides.....	XXVII
Densités des solides.....	XXVIII
Poids des feuilles de tôle en fer laminé, cuivre rouge, plomb, zinc, étain, argent, aluminium.....	XXIX
Numéros et poids des feuilles de zinc laminé.....	XXIX
Poids des fers carrés et ronds.....	XXX
Météorologie.....	XXXI
Températures.....	XXXI
Vitesse du son et de la lumière.....	XXXI
Pressions des vents.....	XXXI
Neige.....	XXXI
Points de fusion.....	XXXII
Points d'ébullition.....	XXXII
Coefficients de dilatation linéaire.....	XXXII

Extrait du catalogue de la librairie Dunod.

Organisation industrielle et commerciale.....	XXXIV
Enseignement général et professionnel.....	XXXVII
Mécanique et Machines.....	XL
Automobilisme. — Aéronautique.....	XLIII
Électricité. — Télégraphie. — Téléphonie.....	XLV
Chimie. — Analyse chimique.....	XLVIII
Industries diverses.....	L
Agriculture.....	LIII
Architecture. — Constructions. — Travaux publics.....	LIII
Chemins de fer et tramways.....	LIX
Géologie — Mines. — Métallurgie.....	LX

BIBLIOGRAPHIE

Principaux ouvrages sur la **Physique Industrielle** parus en France, d'avril 1925 à avril 1926 ⁽¹⁾. (*Prix sous réserve de variations.*)

(Voir aussi le catalogue page xxxiii de l'appendice.)

- L'Installateur de pompes**, LEDOUX. In-16 de 86 pages, avec figures. Cartonné 10 fr.
- Tracé et construction des aubages tournants par la méthode de la représentation conforme** (aubages de turbines hydrauliques, pompes centrifuges, pales d'hélices, etc.), J. MAISONNEUVE et R. PFYFFER. In-8° de 24 pages, 16 figures 6 fr.
- Etude raisonnée de la distribution par tiroir à excentrique unique**, E. HENNING. 3^e édit. In-8° de 46 pages et atlas de 119 fig. 8 fr.
- Théorie succincte, description, conduite et entretien du moteur Diesel**, Y. LE GALLOU et F. BONHOUR. 2^e édit. In-8° de xvi-316 pages, 187 figures 36 fr.
- Invention de la Turbine**, M. CROZET-FOURNEYRON. Préface de G. KÖNIGS. In-8° de 55 pages, 32 figures 12 fr.
- Les moteurs à gaz et les gazogènes. Manuel pour l'étude, la construction et la conduite des installations de force motrice à gaz**, H. HAEDER, 4^e édit. augmentée, traduite par M. VARINOIS. 2^e partie. In-8° de x-304 pages, avec figures 46 fr.
- Machines motrices**, F. DAUCHY et A. JACQUET (*Programme des Ecoles nationales professionnelles*). In-16 de viii-361 pages, avec figures 16 fr.
- La fabrication de l'acide sulfurique par le procédé de contact**, H. BRAIDY. In-8° de 302 pages, 94 figures 15 fr.
- Vade-mecum de sucrerie. Recueil de problèmes et tables pratiques**, PELLET et MEBILLON 15 fr.
- Etude sur l'écoulement des Fluides**, A. LEBRASSEUR et F. D'ESPINE. In-8° de 75 pages, 161 figures 14 fr.
- Les moteurs à explosion à huiles lourdes dits « semi-Diesel »**, A. LANG, A. DOLL. In-8° raisin de 320 pages, 211 figures dans le texte et 5 planches hors texte 45 fr.
- Notions sur les machines à vapeur**, M. AUGUENOT. In-8° de 186 p. et 155 figures 15 fr.

(1) L'ordre de parution.

- Machines à vapeur et machines thermiques diverses**, J. DEJUST, 2^e édition mise à jour par A. DOZOUL. In-8° de 668 pages, 406 figures. Relié toile souple..... 52 fr. 50
- Machines à vapeur à mouvement alternatif**, Paul GAILLARD. 392 p. 35 fr.
- Turbines à vapeur et à gaz.** *Ouvrage suivi de considérations sur les machines thermiques et leur avenir.* A. STODOLA. 2^e édition française, traduite d'après la 6^e édition allemande, par E. HAHN. Deux volumes. In-4° avec une pochette de 6 grandes planches. Reliés 320 fr.; brochés 300 fr.
- Turbines hydrauliques**, A. RATEAU, D. EYDOUX et M. GARIEL, grand in-8° de 692 pages, 178 figures..... 70 fr.
- Cours élémentaire de machines marines.** E. OUDOT. In-16 de 280 pages, 180 figures..... 15 fr. 50
- Ventilateurs et compresseurs**, M. CRUSSARD grand in-8° de 400 p., 150 figures..... 50 fr.
- La réorganisation des usines suivant des méthodes Taylor-Thompson.** *Réorganisation administrative. Réorganisation à l'atelier*, C. BERTRAND THOMPSON. 2 vol. in-8° de 296 et 280 pages, 127 figures imprimé sur papier de luxe avec un cahier de notes personnelles à la fin de chaque tome..... 90 fr.

PHYSIQUE INDUSTRIELLE

CHAPITRE I

MESURES ET CONVERSIONS D'UNITÉS

1. Abréviations pour les poids et mesures.

- Longueur.* — mètre (m); kilomètre (km); décimètre (dm); centimètre (cm); millimètre (mm); $\mu = 0,001$ mm.; $\mu\mu$ millimicron = 1 millionième de mm.
- Surface.* — are (a); hectare (ha); mètre carré (m²); kilomètre carré (km²); décimètre carré (dm²); centimètre carré (cm²); millimètre carré (mm²).
- Volume.* — litre (l); hectolitre (hl); décilitre (dl); centilitre (cl); millilitre (ml); mètre cube (m³); kilomètre cube (km³); décimètre cube (dm³); centimètre cube (cm³); millimètre cube (mm³).
- Masse.* — gramme (g); kilogramme (kg); décigramme (dg); centigramme (cg); milligramme (mg).

2. Mesures légales en France.

voir dans les annexes à la fin du volume le tableau des unités légales d'après le décret du 26 juillet 1919 en application de la loi du 18 avril 1919.

MESURES ANGLAISES USITÉES EN PHYSIQUE

Table de conversion des principales unités de longueur, etc.

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	
Pieds = mètres	0	0,3048	0,6096	0,9144	1,2192	1,5240	1,8288	2,1336	2,4384	2,7432
	10	3,0480	3,3527	3,6575	3,9623	4,2671	4,5719	4,8767	5,1815	5,4863
	20	6,0509	6,4007	6,7055	7,0103	7,3151	7,6199	7,9247	8,2295	8,5343
	30	9,1439	9,4486	9,7534	10,058	10,363	10,668	10,973	11,277	11,582
	40	12,192	12,497	12,801	13,106	13,411	13,716	14,021	14,325	14,630
	50	15,240	15,545	15,849	16,154	16,459	16,764	17,069	17,373	17,678
	60	18,288	18,592	18,897	19,202	19,507	19,812	20,116	20,421	20,726
	70	21,336	21,640	21,945	22,250	22,555	22,860	23,164	23,469	23,774
	80	24,384	24,688	24,993	25,298	25,603	25,908	26,212	26,517	26,822
	90	27,432	27,736	28,041	28,346	28,651	28,956	29,260	29,565	29,870
Pouces carrés = cm ²	0	6,4514	12,903	19,354	25,805	32,257	38,708	45,160	51,611	58,062
	10	64,514	70,965	77,416	83,868	90,319	96,771	103,22	109,67	116,12
	20	129,03	135,48	141,93	148,38	154,83	161,28	167,74	174,19	180,64
	30	193,54	199,99	206,44	212,90	219,35	225,80	232,25	238,70	245,15
	40	258,05	264,51	270,96	277,41	283,86	290,31	296,76	303,21	309,67
	50	322,57	329,02	335,47	341,92	348,37	354,83	361,28	367,73	374,18
	60	387,08	393,53	399,98	406,44	412,89	419,34	425,79	432,24	438,69
	70	451,60	458,05	464,50	470,95	477,40	483,85	490,30	496,76	503,21
	80	516,11	522,56	529,01	535,46	541,91	548,37	554,82	561,27	567,72
	90	580,62	587,07	593,53	599,98	606,43	612,88	619,33	625,78	632,23
Pieds carrés = m ²	0	0,0929	0,1858	0,2787	0,3716	0,4645	0,5574	0,6503	0,7432	0,8361
	10	0,9290	1,0219	1,1148	1,2077	1,3006	1,3935	1,4864	1,5793	1,6722
	20	1,8580	1,9509	2,0438	2,1367	2,2296	2,3225	2,4154	2,5083	2,6012
	30	2,7870	2,8799	2,9728	3,0657	3,1586	3,2515	3,3444	3,4373	3,5302
	40	3,7160	3,8089	3,9018	3,9947	4,0876	4,1805	4,2734	4,3663	4,4592
	50	4,6450	4,7379	4,8308	4,9237	5,0166	5,1095	5,2024	5,2953	5,3882
	60	5,5740	5,6669	5,7598	5,8527	5,9456	6,0385	6,1314	6,2243	6,3172
	70	6,5030	6,5959	6,6888	6,7817	6,8746	6,9675	7,0604	7,1533	7,2462
	80	7,4320	7,5249	7,6178	7,7107	7,8036	7,8965	7,9894	8,0823	8,1752
	90	8,3610	8,4539	8,5468	8,6397	8,7326	8,8255	8,9184	9,0113	9,1042
Pouces cubes = cm ³	0	16,386	32,772	49,159	65,545	81,931	98,317	114,70	131,09	147,48
	10	163,86	180,25	196,63	213,02	229,41	245,79	262,18	278,56	294,95
	20	327,72	344,11	360,50	376,88	393,27	409,65	426,04	442,43	458,81
	30	491,59	507,97	524,36	540,74	557,13	573,52	589,90	606,29	622,67
	40	655,45	671,83	688,22	704,61	720,99	737,38	753,76	770,15	786,54
	50	819,31	835,69	852,08	868,47	884,85	901,24	917,63	934,01	950,40
	60	983,17	999,56	1015,95	1032,34	1048,73	1065,12	1081,51	1097,90	1114,29
	70	1147,0	1163,4	1179,8	1196,2	1212,6	1229,0	1245,3	1261,7	1278,1
	80	1310,9	1327,3	1343,7	1360,1	1376,4	1392,8	1409,2	1425,6	1442,0
	90	1474,8	1491,1	1507,5	1523,9	1540,3	1556,7	1573,1	1589,5	1605,8

Puissance et travail.

1 <i>Horse Power</i> =	1,014	cheval-vapeur.
	273,740	kilogrammètres par heure.
	76,04	— par seconde
	646	calories.
	746	watt-heure.
	10,69	calories par minute.
1 <i>foot pound</i>	0,13825	kilogrammètre.
	0,000326	calorie.
id. par seconde.....	1,3565	watt.
	0,001843	cheval.
	8,3	kgm. par minute.
id. par minute.....	0,0023	kgm. par seconde.
	0,0226	watt.
id. par mille.....	0,086	kgm. par kilomètre.
inch.....	0,055	kgm. par centimètre.
calorie anglaise.	0,555	kgm. par calorie
cubic foot.....	4,94	kgm. par m ³ .
square inch.....	0,021	kgm. par cm ² .

Conversion des unités de chaleur.

<i>Thermal Unit</i> . (B. T. U).....	0,252	calorie.
	107	kilogrammètres.
par minute.....	151	calories par heure.
per cubic foot.....	8,90	calories par m ³ .
per square foot.....	2,70	calories par m ² .
per square foot et par degré Fahr.	4,86	cal. par m ² et deg. cent.
par pound.....	0,557	cal. par kg.
<i>Pound-centigrade unit</i>	0,453	calorie.
	193,64	kilogrammètres.
par minute.....	31,647	watts.

Conversion des températures.

En appelant respectivement θ_C , θ_F les températures exprimées en degrés centigrades, ou Fahrenheit, on a :

$$\theta_C = \frac{5}{9} (\theta_F - 32)$$

et

$$\theta_F = 32 + \frac{9}{5} \theta_C.$$

Nous donnons plus loin un tableau des conversions toutes faites.

**Pressions en livres par pouce carré
et leurs équivalents en kilogrammes par centimètre carré.**

LIVRES par pouce carré	KILOGR. par centimètre carré	LIVRES par pouce carré	KILOGR. par centimètre carré	LIVRES par pouce carré	KILOGR. par centimètre carré	LIVRES par pouce carré	KILOGR. par centimètre carré
1	0,0703	44	3,093	87	6,116	129	9,069
2	0,1406	45	3,163	88	6,186	130	9,140
3	0,2109	46	3,233	89	6,256	131	9,210
4	0,2812	47	3,304	90	6,327	132	9,280
5	0,3515	48	3,374	91	6,397	133	9,350
6	0,4218	49	3,444	92	6,467	134	9,421
7	0,4921	50	3,515	93	6,537	135	9,491
8	0,5624	51	3,585	94	6,608	136	9,561
9	0,6327	52	3,655	95	6,678	137	9,632
10	0,7030	53	3,725	96	6,748	138	9,702
11	0,7733	54	3,796	97	6,819	139	9,772
12	0,8436	55	3,866	98	6,889	140	9,843
13	0,9140	56	3,936	99	6,959	141	9,913
14	0,9843	57	4,007	100	7,030	142	9,983
15	1,0546	58	4,077	101	7,101	143	10,054
16	1,1248	59	4,147	102	7,171	144	10,124
17	1,1952	60	4,218	103	7,241	145	10,194
18	1,265	61	4,288	104	7,312	146	10,264
19	1,335	62	4,358	105	7,382	147	10,335
20	1,406	63	4,428	106	7,452	148	10,405
21	1,476	64	4,499	107	7,522	149	10,475
22	1,546	65	4,569	108	7,593	150	10,546
23	1,616	66	4,639	109	7,663	155	10,897
24	1,687	67	4,710	110	7,733	160	11,249
25	1,757	68	4,780	111	7,804	165	11,600
26	1,827	69	4,850	112	7,874	170	11,952
27	1,898	70	4,921	113	7,944	175	12,303
28	1,968	71	4,991	114	8,015	180	12,655
29	2,038	72	5,061	115	8,085	185	13,006
30	2,109	73	5,131	116	8,155	190	13,358
31	2,179	74	5,202	117	8,226	195	13,710
32	2,249	75	5,272	118	8,296	200	14,061
33	2,319	76	5,342	119	8,366	210	14,76
34	2,390	77	5,413	120	8,436	220	15,46
35	2,460	78	5,483	121	8,507	230	16,16
36	2,530	79	5,553	122	8,577	240	16,87
37	2,601	80	5,624	123	8,647	250	17,57
38	2,671	81	5,694	124	8,718	260	18,27
39	2,741	82	5,764	125	8,788	270	18,98
40	2,812	83	5,834	126	8,858	280	19,68
41	2,882	84	5,905	127	8,929	290	20,38
42	2,952	85	5,975	128	8,999	300	21,09
43	3,022	86	6,045				

TEMPÉRATURES

1. Définition et mesure des températures. — Le degré centésimal est légalement défini :

« La variation de température qui produit le 1/100 de l'accroissement de pression que subit une masse d'hydrogène pur quand, le volume restant constant, la température passe de celle de la glace pure fondante (0°) à celle de la vapeur d'eau distillée bouillant à la pression atmosphérique normale de 760 (100°). »

Pratiquement les appareils de mesure des températures auxquels on peut accorder toute confiance sont :

- la dilatation du mercure, jusqu'à 500° ;
- la tension de vapeur (thalpotasimètres), jusqu'à 550° ;
- la résistance électrique, jusqu'à 550° ;
- le couple thermo-électrique, jusqu'à 1.210° ;
- la pyrométrie optique, de 700° à 4.000°.

La mesure des températures élevées est particulièrement difficile ; le couple thermo-électrique, délicat, variable et à monture fragile, n'a pas réussi à pénétrer couramment dans la grande industrie, où l'on continue à employer des modes de repérage plus empiriques (tels que es montres fusibles céramiques) mais faciles d'emploi.

La pyrométrie optique a fait des progrès considérables, et joint aujourd'hui l'exactitude de mesure (comparable à celle du couple) à une très grande facilité d'emploi (voir plus bas le paragraphe « Pyromètres optiques ».)

2. Échelles usuelles de température. — L'échelle thermodynamique de Thomson s'accorde pratiquement bien avec l'échelle du thermomètre à dilatation de gaz.

Les points de repère de la glace fondante et de l'ébullition de l'eau servent de base aux graduations les plus usitées : la graduation Fahrenheit et la graduation Celsius ou Centigrade.

On a :

$$t_F = 32 + \frac{9}{5} t_C \text{ et } t_C = \frac{5}{9} (t_F - 32).$$

Le tableau ci-après donne les correspondances calculées de - 40 à + 100° C.

Comparaison des échelles thermométriques C. et F.

CENTIGRADE	FAHRENHEIT	CENTIGRADE	FAHRENHEIT	CENTIGRADE	FAHRENHEIT
— 40	— 40,0	21	69,8	62	143,6
— 38	— 36,4	22	71,6	63	145,4
— 36	— 32,8	23	73,4	64	147,2
— 34	— 29,2	24	75,2	65	149,0
— 32	— 25,6	25	77,0	66	150,8
— 30	— 22,0	26	78,8	67	152,6
— 28	— 18,4	27	80,6	68	154,4
— 26	— 14,8	28	82,4	69	156,2
— 24	— 11,2	29	84,2	70	158,0
— 22	— 7,6	30	86,0	71	159,8
— 20	— 4,0	31	87,8	72	161,6
— 18	— 0,4	32	89,6	73	163,4
— 16	+ 3,2	33	91,4	74	165,2
— 14	6,8	34	93,2	75	167,0
— 12	10,4	35	95,0	76	168,8
— 10	14,0	36	96,8	77	170,6
— 8	17,6	37	98,6	78	172,4
— 6	21,2	38	100,4	79	174,2
— 4	24,8	39	102,2	80	176,0
— 2	28,4	40	104,0	81	177,8
0	32,0	41	105,8	82	179,6
+ 1	33,8	42	107,6	83	181,4
2	35,6	43	109,4	84	183,2
3	37,4	44	111,2	85	185,0
4	39,2	45	113,0	86	186,8
5	41,0	46	114,8	87	188,6
6	42,8	47	116,6	88	190,4
7	44,6	48	118,4	89	192,2
8	46,4	49	120,2	90	194,0
9	48,2	50	122,0	91	195,8
10	50,0	51	123,8	92	197,6
11	51,8	52	125,6	93	199,4
12	53,6	53	127,4	94	201,2
13	55,5	54	129,2	95	203,0
14	57,2	55	131,0	96	204,8
15	59,0	56	132,8	97	206,6
16	60,8	57	134,6	98	208,4
17	62,6	58	136,4	99	210,2
18	64,4	59	138,2	100	212,0
19	66,2	60	140,0		
20	68,0	61	141,8		

3. Repères de température pour l'étalonnage des thermomètres (Données de la *Société française de physique*, pour produits purs et mesures dans l'air sous 760°).

Fusion de la glace.....	zéro C. ;
Ébullition de l'eau.....	100 ± 0,04 degré par ± mm. mercure ;
Ébullition de la naphthaline.....	217,96 ± 0,058 degré par ± mm. mercure ;
Fusion de l'étain.....	231,9 ;
— du plomb.....	327,4 ;
Ébullition du mercure.....	357 ± 0,076 degré par ± mm. mercure ;
Fusion du zinc.....	419,4 ;
Ébullition du soufre.....	444,6 ± 0,095 degré par ± mm. mercure ;
Solidification de l'antimoine.....	630,7 ;
Fusion de l'aluminium.....	658,7 ;
Solidification de l'eutectique Ag72, Cu28.	779 (alliage de Neuville) ;
Ébullition du zinc.....	918 ± 0,12 degré par ± mm. mercure ;
Fusion de l'argent.....	960,5 ;
— de l'or.....	1.064,0 ;
— du cuivre.....	1.083,0 (à l'abri de l'air, dans atmosphère réductrice, dans l'air 1.062°) ;
— du nickel.....	1.452 ;
— du fer.....	1.530 ;
Quartz (silice pure).....	1.600 ;
Fusion du platine.....	1.753 ;
— du tungstène.....	3.100.

Les vérifications dans la vapeur de corps en ébullition sont les plus faciles à réaliser expérimentalement. Les vérifications par le point de solidification sont plus délicates et exigent un enregistrement qui seul décèle exactement par un palier dans la courbe de refroidissement le point de solidification.

4. Évaluation des températures par les radiations lumineuses.

— On se sert encore de l'échelle de Pouillet (1836) ; les données récentes indiquent que ses indications sont plutôt au-dessus de la vérité, surtout pour les températures élevées.

Étain fondant.....	230°	Rouge cerise.....	900°
Plomb fondant.....	325	Rouge cerise clair.....	1.000
Bois glissant.....	350	Jaune orange.....	1.050
Bois fumant.....	400	Jaune.....	1.100
Zinc fondant.....	480	Jaune clair.....	1.150
Bois brûlant.....	450	Jaune vif.....	1.200
Rouge sombre naissant.....	500	Blanc.....	1.300
Rouge sombre.....	650	Blanc brillant ou soudant.....	1.400
Rouge cerise naissant.....	800	Blanc éblouissant.....	1.500

Les tests de contact se font en frottant ou appuyant un bâtonnet du métal ou alliage sur la pièce à essayer; les évaluations de la coloration doivent être faites dans la pénombre.

Voici quelques correspondances plus modernes de l'échelle des radiations colorées :

	Pouillet	Howe	White et Taylor
Rouge sombre.....	700°	550°	566°
Rouge cerise.....	900	700	746
Cerise clair.....	1.000	850	843
Blanc franc.....	1.300	1.150	1.205

On voit que l'estimation varie sensiblement suivant les auteurs.

5. **Évaluation des températures élevées par les montres fusibles.** — Ces montres affectent la forme d'une pyramide triangulaire de 15 millimètres de côté à la base et 50 millimètres de haut; elles sont d'un usage encore courant en céramique malgré l'incertitude des indications.

On admet comme température de régime celle pour laquelle la pointe de la pyramide vient toucher le sol (voir figure ci-jointe), mais sans qu'il y ait affaissement complet.

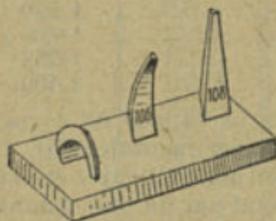


FIG. 1.

Jusqu'ici on employait les désignations de Seger; la maison Guérineau a mis au point une fabrication de montres décimales: le n° multiplié par 10 donne la température. La 104 s'affaisse à 1.040°, la 60 à 600°, etc. Cette notation est fort heureuse et se généralisera rapidement.

Les montres Guérineau marque « Étoile » sont contrôlées par la Manufacture Nationale de Sèvres; le tableau ci-après donne le tableau de correspondance entre les montres de Seger et les montres françaises.

Montres fusibles céramiques. Série décimale et série Seger.

TEMPÉ- RATURE de fusion en degrés centigrades	NUMÉROS PYROMÉTRIQUES		TEMPÉ- RATURE de fusion en degrés centigrades	NUMÉROS PYROMÉTRIQUES	
	des montres allemandes de Seger	des montres françaises décimales		des montres allemandes de Seger	des montres françaises décimales
600°	0,22	devient N° 60	1280°	9	devient N° 128
650	0,21	—	1300	10	—
670	0,20	—	1320	11	—
690	0,19	—	1350	12	—
710	0,18	—	1380	13	—
730	0,17	—	1410	14	—
750	0,16	—	1435	15	—
790	0,15 a	—	1460	16	—
815	0,14 a	—	1480	17	—
835	0,13 a	—	1500	18	—
855	0,12 a	—	1520	19	—
880	0,11 a	—	1530	20	—
900	0,10 a	—	1580	26	—
920	0,09 a	—	1610	27	—
940	0,08 a	—	1630	28	—
960	0,07 a	—	1650	29	—
980	0,06 a	—	1670	30	—
1000	0,05 a	—	1690	31	—
1020	0,04 a	—	1710	32	—
1040	0,03 a	—	1730	33	—
1060	0,02 a	—	1750	34	—
1080	0,01 a	—	1770	35	—
1100	1 a	—	1790	36	—
1120	2 a	—	1820	37	—
1140	3 a	—	1850	38	—
1160	4 a	—	1880	39	—
1180	5 a	—	1920	40	—
1200	6 a	—	1960	41	—
1230	7	—	2000	42	—
1250	8	—			

6. Évaluation des températures élevées par pyrométrie optique. — La mesure la plus exacte réalisée jusqu'ici dans le domaine des températures élevées l'était par l'emploi des couples thermo-électriques reliés à un galvanomètre, indicateur ou enregistreur.

Malheureusement le galvanomètre est très fragile, et sensible à la poussière; les manipulations de manipulation ne peut

être confiée à n'importe qui, et de plus les indications varient à la longue (changement d'état de la soudure, mauvais contacts, etc.). Or l'étalonnage de ces instruments ne peut se faire que dans un laboratoire muni de tous les moyens modernes de réalisation et de contrôle des températures élevées. On se rend compte que de la sorte le pyromètre thermo-électrique n'ait pour ainsi dire pas pénétré dans la grande industrie,

La pyrométrie optique au contraire a fait de réels progrès dans le domaine technique, et un Wanner par exemple a un degré d'exactitude au moins égal à celui d'un couple, et il reste deux énormes

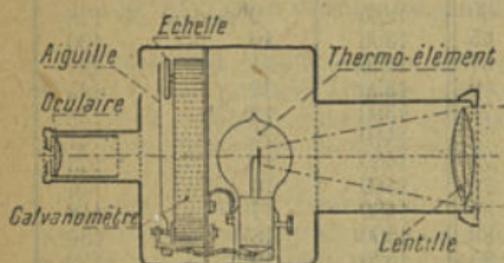


FIG. 2.

Système optique et aspect extérieur « du Pyro ».

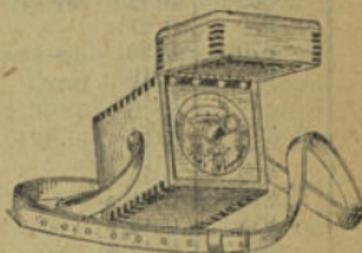


FIG. 3.

avantages pratiques à l'appareil optique : 1° sa facilité de réétalonnage, qui ne nécessite qu'un étalon lumineux, pratiquement une simple lampe à acétate d'amyle ; 2° l'instantanéité des indications.

On lira avec fruit notre travail *Comment mesurer les températures réalisées dans l'industrie* spécialement consacré aux mesures industrielles pyrométriques à l'aide des instruments Wanner et Pyro [s'adresser aux Établissements Izart à Sannois (Seine-et-Oise), pour détails et conseils].

Les pyromètres optiques sont de trois types :

- à rayonnement calorifique,
- à rayonnement lumineux,
- à disparition de filament.

Le *Pyro* est basé sur la loi de Stefan (voir plus loin à « Radiation de la chaleur ») qui mesure la quantité d'énergie radiée par le corps noir parfait ; cette énergie calorifique est concentrée sur un thermocouple sensible dont la force électromotrice fait dévier le cadre mobile d'un millivoltmètre, comme dans les appareils à couple ordinaires.

La figure 2 montre la réalisation qui rend cet instrument des plus

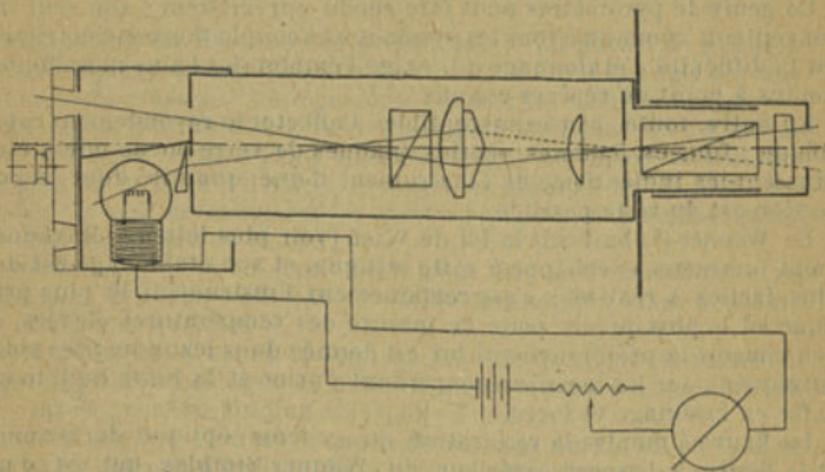


FIG. 4. — Système optique du pyromètre Wanner mono-chromatique.

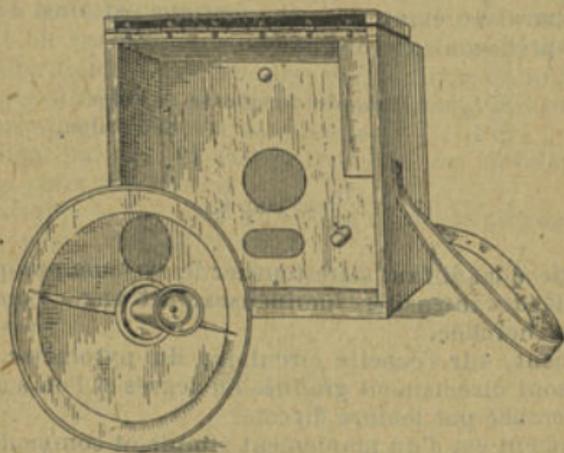


FIG. 5. — Aspect extérieur du pyromètre Wanner-Simplex.

pratiques : le galvanomètre est placé à l'intérieur même du boîtier, d'où suppression des cordons, etc. ; le Pyro peut être mis entre toutes les mains et on s'en sert aussi facilement que d'une jumelle (fig. 3).

Ce genre de pyromètres peut être rendu enregistreur ; son seul inconvénient, commun à tous les pyromètres à couple thermo-électrique, est la difficulté d'étalonnage qui exige l'emploi des bains métalliques fondus à point de repères connus.

En outre, toutes causes susceptibles d'affecter le rayonnement calorifique : fumées, flammes, scories, plaques de verre ou de mica, et cætera faussent les indications de l'instrument d'une quantité dont la correction est du reste possible.

Le Wanner (1) basé sur la loi de Wien (voir plus loin à « Rayonnement lumineux ») échappe à cette critique, et son étalonnage est des plus faciles à réaliser ; c'est certainement l'instrument le plus pratique et le plus précis pour la mesure des températures élevées, e-l'on conçoit la préférence qui lui est donnée dans les industries sidérurgiques pour les mesures concernant l'acier et la fonte liquide on le fer en laminage et forge.

La figure 4 montre la réalisation du système optique du Wanner et la figure 5 l'aspect extérieur du Wanner-Simplex qui est d'un emploi commode et peut être mis entre toutes les mains.

Le principe consiste à comparer l'éclat de la radiation rouge prise dans le rayonnement lumineux de l'objet à mesurer avec l'éclat de la radiation rouge prise dans le rayonnement lumineux d'une lampe étalon (petite lampe à incandescence).

Cette comparaison étant monochromatique est ainsi d'une sensibilité et d'une précision extraordinaires.

Si

Si I_2 est l'intensité lumineuse de l'objet
Si I_1 — — — de l'étalon,

l'on a :

$$\frac{I_2}{I_1} = \tan^2 \theta,$$

θ étant l'angle dont il faut faire tourner le système optique pour obtenir l'égalité des intensités lumineuses ; cet angle θ donne donc la température cherchée.

Pratiquement, sur l'échelle circulaire du pyromètre, ces écarts angulaires sont directement gradués en degrés et l'on a ainsi la température cherchée par lecture directe.

Cet instrument est d'un maniement simple et commode.

(1) Les établissements Izart à Sannois sont les licenciés en France des pyromètres optiques IRIS et LILLIAD - Université Lille 1

PRESSIONS

1. Définition et mesure des pressions. — La notion de pression est généralement connue : c'est la valeur de la force qui agit sur une unité de surface définie : 1 kilogr.-force par centim. carré par exemple.

Dans le cas des fluides, il faut distinguer les pressions à l'état de repos, et les pressions à l'état de mouvement; de même il y a toujours lieu de préciser s'il s'agit de pressions absolues ou de pressions relatives (la base de comparaison étant en général la pression atmosphérique au niveau de la mer).

La notion de pression d'un fluide peut être aisément définie en considérant dans une veine de ce fluide une section plane séparant deux molécules voisines.

En ce point de la veine, la pression absolue au repos est représentée par le poids de colonne de fluide reposant sur la section considérée; c'est la pression absolue au repos.

On l'exprime, ou bien en hauteur de colonne du fluide, ou bien en hauteur de colonne d'un liquide incompressible de densité connue et pratiquement invariable : eau, mercure; on dit, par exemple, une pression de 760 millimètres de mercure.

La pression du fluide en mouvement dans la même hypothèse est représentée par la force qui unit entre elles les deux molécules voisines, ou, si l'on préfère, la force qui agirait sur une cloison supposée séparer les deux molécules; c'est la pression totale : si dans la veine en mouvement on interpose un obstacle, cet obstacle subira une pression (pression totale) égale à la pression statique du milieu, augmentée d'une quantité dont la valeur dépend de la vitesse du mouvement et qu'on appelle pression dynamique.

Industriellement parlant, et sans entrer dans des développements mathématiques, nous appellerons :

ps, pression statique. — Pression qu'exerce un fluide au repos sur les parois du récipient où il est contenu.

pd, pression dynamique. — Pression due à la vitesse, dont on constate l'existence en opposant un obstacle au mouvement. Cette pression a pour valeur :

$$\int_{p_s}^{p_t} \frac{dp}{\delta} = \frac{w^2}{2g}$$

qu'on déduit du théorème de Bernouilli, en négligeant la composante de la pesanteur et les frottements. Pour intégrer, il faut connaître la loi de variation de δ (poids spécifique);

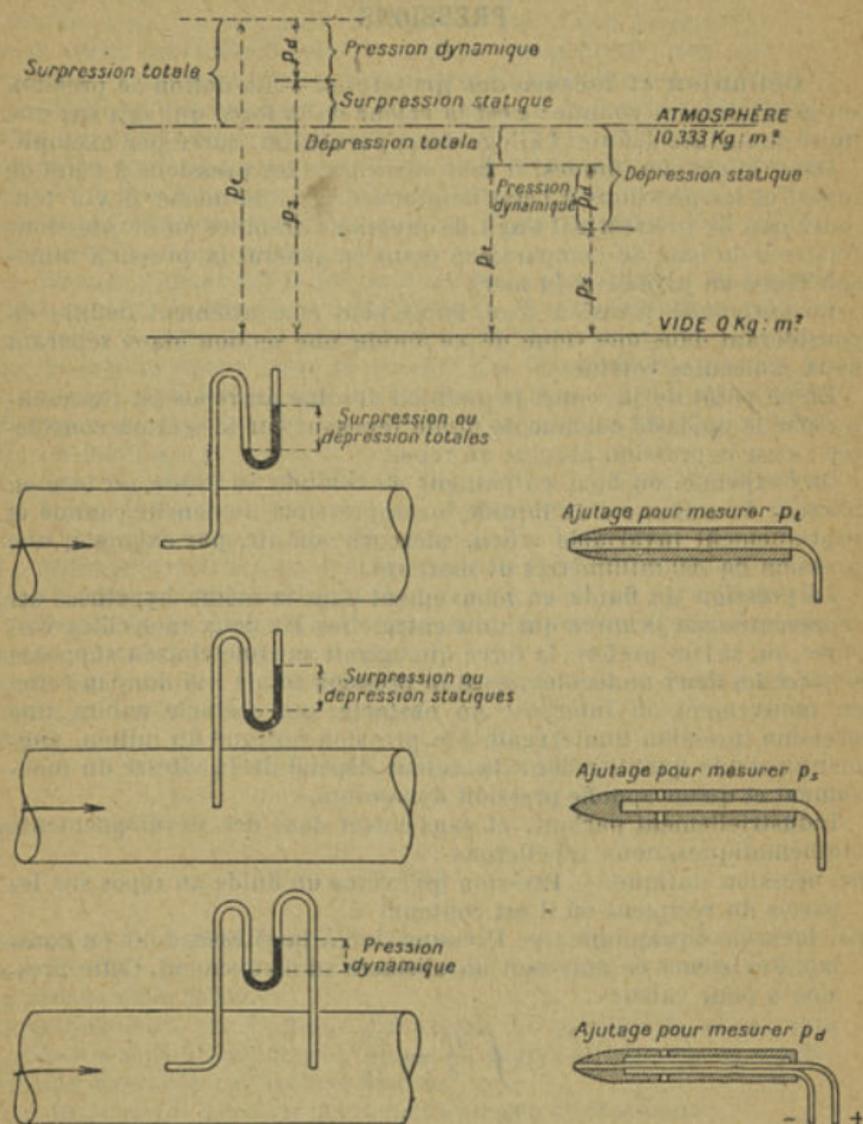


FIG. 6. — Définition et mesure des pressions.

Si l'on prend δ constant, on a :

$$pd = pt - ps = \delta \frac{w^2}{2g}$$

(cas des fluides non élastiques).

(L'erreur par rapport à des fluides élastiques suivant la loi adiabatique est inférieure à 20/0 pour des vitesses inférieures à 100 m : sec.).
 pt , pression totale. — Pression égale à la somme de la pression statique et de la pression dynamique.

Au repos on a $pd = 0$ et par suite :

$$pt = ps$$

Dans un autre ordre d'idées, nous recommandons de toujours désigner le terme générique de pression sous un qualificatif clair qui spécifie dans quel sens la pression est considérée.

Le dessin ci-joint donne sur le diagramme schématique de tête la relativité des diverses pressions par rapport au vide ou par rapport à l'atmosphère.

Il serait bon de toujours désigner les pressions absolues sous le nom de *tensions*, et les pressions relatives à l'atmosphère sous le nom de *surpression* lorsque la pression envisagée est supérieure à la pression atmosphérique, et sous le nom de *dépression* lorsqu'elle lui est inférieure.

La tendance moderne est à la suppression de l'atmosphère comme étalon, et à l'emploi de l'atmosphère métrique définie comme pression de 1 kg : m². (On sait que l'atmosphère normale vaut 1,033 kg : cm² ou 1,013 hectopièze, nouvelle unité de pression).

Le schéma (fig. 6) montre clairement la distinction à faire entre les pressions dynamiques et les surpressions ou dépressions statiques et totales.

Avec le schéma, nous donnons de façon plus concrète, sous forme de colonne de liquide, la définition de ces différentes pressions, et l'ajutage à employer pour en effectuer la mesure au sein d'un conduit où circule le fluide considéré.

Les tubes en U droits ou à branches inclinées ne sont pas des instruments utilisables dans l'industrie. En pratique on fait généralement usage d'enregistreurs à amplification directe dont les plus connues en matière de ventilation et de tirage sont les déprimomètres des Établissements IZART à Sannois (S. et O.) (fig. 7), qui se font ainsi :

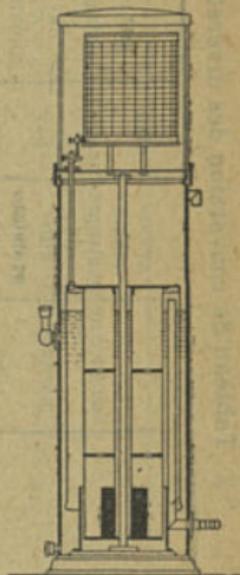


FIG. 7.

2. Tableau de conversion des diverses unités de pression.

	ATMOSPHÈRE baromé- trique	ATMOS- PHÈRE métrique ou kilo- grammes par centimètre carré	KILO- GRAMMES par mètre carré	MILLI- MÈTRES de colonne de mercure	MILLI- MÈTRES de colonne d'eau	MÈTRES de hauteur de colonne d'air pur et sec à 0 et 760	POUNDS per square inch	POUCE de colonne de mercure	PIED de colonne d'eau
Atmosphère barométrique.	1	1,033	10.333	760	10.333	7991,46	14,696	29,92	33,9
Atmosphère métrique ou kilogrammes par centi- mètre carré.....	0,9678	1	10.000	735,5	10.000	7733,93	14,226	28,96	32,8
Kilogrammes par mètre carré.....	0,0000968	0,0001	1	0,0735	1	0,7734	0,0014	0,0029	0,0033
Millimètres de mercure....	0,001316	0,0013596	13,596	1	13,596	10,514	0,0197	0,0394	0,0446
Millimètres d'eau.....	0,0000968	0,0001	1	0,0735	1	0,7734	0,0014	0,0029	0,0033
Hauteur de colonne d'air en mètres.....	0,000125	0,000129	1,293	0,0951	1,293	1	0,0018	0,0037	0,0043
Pound per square inch....	0,068	0,0703	703,03	51,714	703,03	543,8	1	2,036	2,307
Pouce de mercure.....	0,0334	0,0345	345,35	25,4	345,35	267,1	0,491	1	1,133
Pied d'eau.....	0,0295	0,0305	304,8	22,4	304,8	235,7	0,433	0,882	1

DENSITÉS

Poids et volume de l'eau entre 40 et 300° C.

TEMPÉRATURE de l'eau	VOLUME de 1.000 kg. en m ³	POIDS de 1 mètre cube en kgs
40	1,0078	992,2
45	1,0098	990,3
50	1,0121	988,1
55	1,0145	985,7
60	1,0171	983,2
65	1,0198	980,6
70	1,0227	977,8
75	1,0258	974,9
80	1,0290	971,8
85	1,0324	968,7
90	1,0359	965,3
95	1,0396	961,9
100	1,0433	958,5
110	1,0515	951,0
120	1,0601	943,4
130	1,0693	935,2
140	1,0794	926,4
150	1,0902	917,3
160	1,1019	907,5
170	1,1145	897,3
180	1,1279	886,6
190	1,1429	875,0
200	1,159	862,8
210	1,177	850,0
220	1,195	837,0
230	1,215	823,0
240	1,236	809,0
250	1,259	794,0
260	1,283	779,0
270	1,308	765,0
280	1,34	750,0
290	1,38	720,0
300	1,42	700,0
—	—	—

2. Densité des liquides industriels

(par rapport à l'eau à 4° = 1.000)

Eau distillée à 4°....	1,000	Goudron de houille brut....	1,02
Eau de mer à 15°....	1,026	Huile de houille gas oil....	0,90
Alcool trois-six à 15°.	0,810	Benzine de houille.....	0,82
Lait.....	1,03	Essence de térébenthine	
Vin.....	0,995	à 15°.....	0,873
Bière.....	1,03	Glycérine.....	1,25
Huile d'olive à 15°...	0,915	Alcool méthylique.....	0,80
Huile de navette....	0,910	Ether sulfurique.....	0,736
Huile de lin.....	0,940	Acide sulfurique à 66°....	1,842
Huile de graissage...	0,9 à 0,915	Mercure (à zéro).....	13,593
Pétrole brut (naphte).	0,8 à 0,86	Acétone.....	0,792
Pétrole lampant.....	0,8 à 0,82	Air liquide.....	0,93
Essence de pétrole...	0,69 à 0,70	Aldéhyde éthylique.....	0,79
Benzzine de pétrole...	0,65 à 0,68	Chloroforme.....	1,48
Résidu de pétrole...	1,0 à 1,03		
(mazout)			

3. Densité de quelques métaux usuels

(eau à 4° = 1.000)

Aluminium.....	2,57	Magnésium.....	1,7
Antimoine.....	6,70	Manganèse.....	7,40
Argent.....	10,5	Mercure.....	13,59
Bismuth.....	9,8	Nickel.....	8,6
Chrome.....	6,6	Or.....	19,3
Cobalt.....	8,6	Platine.....	21,5
Cuivre.....	8,9	Plomb.....	11,35
Étain.....	7,3	Potassium.....	0,87
Fer forgé.....	7,8	Sodium.....	0,98
Acier.....	7,75	Tungstène.....	19,12
Fonte.....	7,5	Zinc.....	7,16

4. Poids et volume des gaz à vapeurs. — Cette question est traitée de façon complète avec toutes les corrections à envisager, au chapitre III, *Gaz et vapeurs*.

5. Densités de l'alcool en grammes par litre à 15° C. — Le degré Gay-Lussac ou centésimal représente le volume d'alcool absolu contenu dans 100 volumes du mélange.

DEGRÉS Gay-Lussac	POIDS du litre	DIFFÉRENCES									
0°	1.000,00	0,00	26°	969,81	1,03	52°	930,41	2,00	78°	869,65	2,69
1	998,44	1,56	27	968,76	1,05	53	928,27	2,04	79	866,92	2,73
2	996,95	1,50	28	967,69	1,07	54	926,30	2,07	80	864,16	2,76
3	995,52	1,43	29	966,59	1,10	55	924,20	2,10	81	861,37	2,79
4	994,13	1,39	30	965,45	1,14	56	922,09	2,11	82	858,54	2,83
5	992,77	1,36	31	964,28	1,17	57	919,97	2,12	83	855,67	2,87
6	991,45	1,32	32	963,07	1,21	58	917,84	2,13	84	852,75	2,92
7	990,16	1,29	33	961,83	1,24	59	915,69	2,15	85	849,79	2,96
8	988,91	1,25	34	960,55	1,28	60	913,51	2,18	86	846,78	3,01
9	987,70	1,21	35	959,23	1,32	61	911,30	2,21	87	843,72	3,06
10	986,52	1,18	36	957,86	1,37	62	909,07	2,23	88	840,60	3,12
11	985,37	1,15	37	956,45	1,41	63	906,82	2,25	89	837,41	3,19
12	984,24	1,13	38	954,99	1,46	64	904,54	2,28	90	834,15	3,26
13	983,14	1,10	39	953,50	1,49	65	902,24	2,30	91	830,81	3,34
14	982,06	1,08	40	951,96	1,54	66	899,91	2,33	92	827,38	3,43
15	981,00	1,06	41	950,36	1,60	67	897,55	2,36	93	823,85	3,53
16	979,95	1,05	42	948,72	1,64	68	895,16	2,39	94	820,20	3,65
17	978,92	1,03	43	947,05	1,67	69	892,74	2,42	95	816,41	3,79
18	977,90	1,02	44	945,35	1,70	70	890,29	2,45	96	812,45	3,96
19	976,88	1,02	45	943,61	1,74	71	887,81	2,48	97	808,29	4,16
20	975,87	1,01	46	941,83	1,78	72	885,31	2,50	98	803,90	4,39
21	974,87	1,00	47	940,02	1,81	73	882,78	2,53	99	799,26	4,64
22	973,87	1,00	48	938,17	1,85	74	880,22	2,56	100	794,33	4,93
23	972,86	1,01	49	936,29	1,88	75	877,63	2,59			
24	971,85	1,01	50	934,37	1,92	76	875,00	2,63			
25	970,84	1,01	51	932,41	1,96	77	872,34	2,66			

Calcul des densités intermédiaires pour les fractions de degré. — Quand le titre de l'alcool comporte des fractions de degré, la densité se calcule facilement au moyen des chiffres portés dans la colonne intitulée : *Différences*, du tableau ci-dessus.

Ces chiffres indiquent la différence de moindre densité de l'alcool d'un degré donné au degré qui le précède immédiatement.

Il suffit donc de tenir compte de la proportion qui correspond à la fraction intermédiaire en partant du degré le plus fort et en retranchant de la densité du degré le moins élevé cette différence proportionnelle à la

EXEMPLE. — Pour connaître la densité de l'alcool à 52°6, prendre le chiffre de différence afférant au degré de 53°, soit 2,04, et le multiplier par 0,6 ou 6/10, pour avoir la différence proportionnelle à cette fraction de 6 dixièmes de degré. On obtiendra 1,224, soit 1,22 à retrancher de la densité du 52° qui est 930,41, ce qui donne 929,19 pour densité du 52°6.

7. Volumes relatifs d'eau et d'alcool dans les mélanges alcooliques à la température de 15° C.

DEGRÉS Gay-Lussac	RAPPORT de l'eau à l'alcool								
1°	99,0550	21°	3,0482	41°	1,5232	61°	0,6992	81°	0,2685
2	49,0555	22	3,6327	42	1,4642	62	0,6715	82	0,2521
3	32,3920	23	3,4354	43	1,4077	63	0,6446	83	0,2361
4	24,0605	24	3,2550	44	1,3536	64	0,6185	84	0,2204
5	19,0614	25	3,0890	45	1,3021	65	0,5932	85	0,2049
6	15,7303	26	2,9354	46	1,2526	66	0,5686	86	0,1898
7	13,3511	27	2,7936	47	1,2052	67	0,5447	87	0,1751
8	11,5679	28	2,6615	48	1,1597	68	0,5214	88	0,1605
9	10,1810	29	2,5385	49	1,1160	69	0,4989	89	0,1462
10	9,0714	30	2,4237	50	1,0740	70	0,4768	90	0,1320
11	8,1635	31	2,3160	51	1,0335	71	0,4554	91	0,1181
12	7,4079	32	2,2151	52	0,9944	72	0,4346	92	0,1045
13	6,7685	33	2,1199	53	0,9569	73	0,4143	93	0,0911
14	6,2204	34	2,0304	54	0,9208	74	0,3945	94	0,0779
15	5,7461	35	1,9458	55	0,8858	75	0,3751	95	0,0648
16	5,3304	36	1,8662	56	0,8520	76	0,3563	96	0,0518
17	4,9642	37	1,7905	57	0,8194	77	0,3379	97	0,0388
18	4,6387	38	1,7186	58	0,7878	78	0,3199	98	0,0259
19	4,3475	39	1,6503	59	0,7573	79	0,3022	99	0,0128
20	4,0854	40	1,5852	60	0,7277	80	0,2853	100	0,0000

Cette Table permet, par une méthode très simple, de calculer les mouillages ou réductions de titre.

Il suffit de prendre, dans la colonne *Rapport de l'Eau*, le nombre indiqué en face du degré désiré, d'en retrancher le nombre en face du degré de l'alcool à réduire et de multiplier la différence par le degré de cet alcool.

Le résultat donne, en litres et fractions de litre, la quantité d'eau à ajouter à un hectolitre de l'alcool à réduire.

EXEMPLE. — Soit à réduire à 28° de l'alcool à 88°. On trouve en

face du degré 28 le nombre 2,6615 ; on en retranche le nombre 0,1605 indiqué en face du degré 88 ; différence = 2,501 à multiplier par 88 ; ce qui donne 220,08.

C'est 220 lit. 08 d'eau que, l'on doit ajouter à un hectolitre d'alcool à 88° pour avoir de l'eau-de-vie à 28°.

Contraction. — On sait que par suite du phénomène de la *contraction* le volume d'un mélange d'eau et d'alcool est moindre que la somme des volumes des deux liquides pris séparément.

Si l'on veut pouvoir établir d'avance quel sera le volume total à obtenir, le calcul en est fort simple : Multiplier par 100 le degré de l'alcool à couper et diviser par le degré de l'alcool réduit.

Pour l'exemple donné ci-dessus ce serait par conséquent :

$$\frac{88 \times 100}{28} = 314 \text{ lit. } 28 \text{ (au lieu de } 320 \text{ lit. } 08).$$

CONCENTRATION, DILUTION

On emploiera de préférence l'expression *poids spécifique* qui implique sa définition : poids de l'unité de volume d'un corps : $D = \frac{P}{V}$

Pour les liquides, le poids spécifique s'exprime en kilogrammes par litre ; pour les gaz en kilogrammes par mètre cube. Les degrés Baumé ne sont plus admis pour exprimer la densité (loi du 2 avril 1919) ; les tables ci-après donnent la correspondance entre les degrés Baumé et les poids spécifiques.

1. Concentration et dilution par la densité. — Ce qui suit ne s'applique qu'aux liquides dont le mélange avec l'eau se fait sans contraction ni expansion.

Si x est le poids d'eau qu'on ajoute (dilution) ou qu'on enlève (concentration) à un liquide de poids initial P_i et de densité initiale D_i , P_f et D_f étant le poids et la densité finales; on a :

<i>Concentration.</i>	<i>Dilution.</i>
$P_f = P_i - x;$	$P_f = P_i + x;$
$V_f = V_i - x;$	$V_f = V_i + x;$
$D_f = \frac{P_i - x}{V_i - x};$	$D_f = \frac{P_i + x}{V_i + x};$
$P_i - x = \frac{P_i D_f}{D_i} - D_f x;$	$P_i + x = \frac{P_i D_f}{D_i} - D_f x;$
$x = \frac{P_i (D_f - D_i)}{D_i (D_f - 1)}.$	$x = \frac{D_i (D_i - D_f)}{D_i (D_f - 1)}.$

PREMIER EXEMPLE. — Soit 100 centimètres cubes d'un liquide à 30° B. (c'est-à-dire 126,2 gr. = P_i , la densité correspondante étant $D_i = 1,262$); quel poids d'eau faut-il ajouter pour amener le liquide final à 5° B. (soit $D_f = 1,036$) ?

On a :

$$x = \frac{126,2(1,262 - 1,036)}{1,262(1,036 - 1)} = \frac{28,5}{0,045} = 633,8 \text{ gr. d'eau.}$$

Le poids final est $P_f = P_i + x = 126,2 + 633,8 = 760$ grammes, qui à la densité 1,036 font bien un volume $\frac{760}{1,036} = 733$ centimètres cubes, soit $V_f = V_i + x = 100 + 633 = 733$.

DEUXIÈME EXEMPLE. — Soit 100 centimètres cubes d'un liquide à 5° B. ($P_i = 103,6$ gr., $D_i = 1,036$). Quel poids d'eau faut-il enlever pour amener le liquide final à 30° B. (soit $D_f = 1,262$). On a :

$$x = \frac{103,6(1,262 - 1,036)}{1,036(1,262 - 1)} = \frac{23,4}{0,224} = 104,5 \text{ gr. d'eau.}$$

Le poids final est $P_f = P_i - x = 103,6 - 86,5 = 17,1$ gr., qui, à la densité 1,262, font bien un volume $\frac{17,1}{1,262} = 13,5$ cm³, soit $V_f = V_i - x = 100 - 86,5 = 13,5$.

2. **Concentration et dilution par l'extrait sec.** — Au lieu de la densité, on prend souvent comme base dans l'industrie, l'*extrait sec*, c'est-à-dire le 0/0 de matières sèches que contient un liquide.

Si le liquide initial de poids P_i contient k_i de matières solides et que cette quantité de matières doive représenter k_f 0/0 du poids final P_f , on a évidemment :

$$P_f k_f = P_i k_i, \quad \text{et} \quad P_f = \frac{P_i k_i}{k_f}.$$

Si l'on concentre, on *enlève* une quantité d'eau $x = P_i - P_f$.

Si l'on dilue, on *ajoute* une quantité d'eau $x = P_f - P_i$.

Concentration. — La quantité d'eau à enlever est donc :

$$P_i - P_f = P_i - \frac{P_i k_i}{k_f},$$

$$x = P_i \left(1 - \frac{k_i}{k_f} \right).$$

Dilution. — La quantité d'eau à ajouter est donc :

$$P_f - P_i = \frac{P_i k_i}{k_f} - P_i,$$

$$x = P_i \left(\frac{k_i}{k_f} - 1 \right).$$

PREMIER EXEMPLE. — Un poids $P_i = 1.000$ kilogrammes de jus à $k_i = 10$ 0/0 d'extrait sec doit être concentré jusqu'à $k_f = 60$ 0/0 d'extrait sec. La quantité $P_i - P_f$ d'eau à enlever est :

$$x = 1.000 \left(1 - \frac{10}{60} \right) = 833 \text{ kilogrammes,}$$

et le poids final $P_f = P_i - x$ est $1.000 - 833 = 167$ kilogrammes, qui, à 60 0/0, contiennent bien les 100 kilogrammes de matière sèche du produit initial (1.000 kilogrammes à 10 0/0).

DEUXIÈME EXEMPLE. — Un poids $P_i = 1.000$ kilogrammes de jus à $k_i = 60$ 0/0 d'extrait sec doit être dilué jusqu'à $k_f = 10$ 0/0 d'extrait sec. La quantité $P_f - P_i$ d'eau à ajouter est :

$$x = 1.000 \left(\frac{60}{10} - 1 \right) = 5.000 \text{ kilogrammes,}$$

et le poids final $P_f = P_i + x$ est $1.000 + 5.000 = 6.000$ kilogrammes, qui, à 10 0/0, contiennent bien les 600 kilogrammes de matière sèche du produit initial (1.000 kilogrammes à 60 0/0).

CORRESPONDANCE DES DEGRÉS BAUMÉ ET DES DENSITÉS
TABLE I. — Aréomètres pour liquides plus denses que l'eau.

DEGRÉS Baumé	DENSITÉS	DEGRÉS Baumé	DENSITÉS	DEGRÉS Baumé	DENSITÉS
0 B	1,000 0	24 B	1,199 5	48 B	1,498 3
1	1,007 0	25	1,209 5	49	1,514 1
2	1,014 1	26	1,219 7	50	1,530 1
3	1,021 2	27	1,230 1	51	1,546 5
4	1,028 5	28	1,240 7	52	1,563 3
5	1,035 9	29	1,251 5	53	1,580 4
6	1,043 4	30	1,262 4	54	1,597 9
7	1,051 0	31	1,273 6	55	1,615 8
8	1,058 7	32	1,284 9	56	1,634 1
9	1,066 5	33	1,296 4	57	1,652 8
10	1,074 5	34	1,308 2	58	1,671 9
11	1,082 5	35	1,320 2	59	1,691 5
12	1,090 7	36	1,332 4	60	1,711 6
13	1,099 0	37	1,344 8	61	1,732 1
14	1,107 4	38	1,357 4	62	1,753 2
15	1,116 0	39	1,370 3	63	1,774 7
16	1,124 7	40	1,383 4	64	1,796 8
17	1,133 5	41	1,396 8	65	1,819 5
18	1,142 5	42	1,410 5	66	1,842 7
19	1,151 6	43	1,424 4	67	1,866 5
20	1,160 9	44	1,438 6	68	1,891 0
21	1,170 3	45	1,453 1	69	1,916 1
22	1,179 9	46	1,467 9	70	1,941 9
23	1,189 6	47	1,482 9		

Densités calculées, avec le module 144,32, par la formule $D = \frac{144,32}{144,32 - n}$ ou $\left\{ \begin{array}{l} D = \text{densité} \\ n = \text{degré Baumé} \end{array} \right.$

TABLE II. — Aréomètres pour liquides moins denses que l'eau.

DEGRÉS Baumé	DENSITÉS	DEGRÉS Baumé	DENSITÉS	DEGRÉS Baumé	DENSITÉS
10 B	1.000 0	37 B	0.842 4	64 B	0.727 7
11	0.983 1	38	0.837 5	65	0.724 1
12	0.986 3	39	0.832 7	66	0.720 4
13	0.979 6	40	0.827 9	67	0.716 9
14	0.973 0	41	0.823 2	68	0.713 3
15	0.966 5	42	0.818 5	69	0.709 8
16	0.960 1	43	0.813 9	70	0.706 3
17	0.953 7	44	0.809 3	71	0.702 9
18	0.947 5	45	0.804 8	72	0.699 5
19	0.941 3	46	0.800 4	73	0.696 1
20	0.935 2	47	0.795 9	74	0.692 8
21	0.929 2	48	0.791 6	75	0.689 5
22	0.923 2	49	0.787 3	76	0.686 2
23	0.917 4	50	0.783 0	77	0.682 9
24	0.911 6	51	0.778 8	78	0.679 7
25	0.905 8	52	0.774 6	79	0.676 5
26	0.900 2	53	0.770 4	80	0.673 4
27	0.894 6	54	0.766 4	81	0.670 3
28	0.889 1	55	0.762 3	82	0.667 2
29	0.883 7	56	0.758 3	83	0.664 1
30	0.878 3	57	0.754 3	84	0.661 0
31	0.873 0	58	0.750 4	85	0.658 0
32	0.867 7	59	0.746 5	86	0.655 0
33	0.862 5	60	0.742 7	87	0.652 1
34	0.857 4	61	0.738 9	88	0.649 2
35	0.852 3	62	0.735 1	89	0.646 2
36	0.847 3	63	0.731 4	90	0.643 4

Densités calculées, avec le module 144,32, par la formule $D = \frac{144,32}{144,32 + n}$ ou $\left. \begin{array}{l} D = \text{densité} \\ n = \text{degré Baumé.} \end{array} \right\}$

ÉNERGIE

1. Tableau de conversion des diverses unités d'énergie.

	JOULE	KILOWATT-HEURE	KILOGRAM- MÈTRE	CHEVAL-HEURE
Joule	1	$27,77 \times 10^{-8}$	0,102	$37,75 \times 10^{-8}$
Kilowatt-heure.....	3.600×10^3	-	366.973	1,3592
Kilogrammètre.....	9,81	$0,272 \times 10^{-5}$	1	$0,37 \times 10^{-5}$
Cheval-heure.....	2.648.700	0,736	270.000	1
Grande calorie (ou mil- lithermie)	4.179	0,001161	426	0,001578
Foot-pound.....	1.3567	$3,768 \times 10^{-7}$	0,1383	$5,121 \times 10^{-7}$
British ther. unit(1) ..	1053	$0,293 \times 10^{-3}$	107,35	$0,398 \times 10^{-3}$
1 kg. de carbone com- plètement brûlé... ..	33.988×10^3	9,441	3.464.658	12,83
1 molécule de carbone (12 gr.) compl. brûlé.	407.856	0,11329	41.576	0,15396

	GRANDE CALORIE	FOOT-POUND	B. T. U.	1 KG. DE CARBONE	12 GR. DE CARBONE
Joule	0,000239	0,737	0,000947	$0,29 \times 10^{-7}$	24×10^{-7}
Kilowatt-heure.....	861,29	2.654.417	3.410,9	0,106	8,83
Kilogrammètre.....	0,00235	7,231	0,00929	$0,28 \times 10^{-6}$	23×10^{-6}
Cheval-heure.....	633,69	1.952.855	2.509	0,077	6,41
Grande calorie (ou millithermie).....	1	3081,25	3,959	0,000123	0,0102
Foot-pound.....	0,000325	1	0,00128	$0,394 \times 10^{-7}$	$32,83 \times 10^{-7}$
British ther. unit(1) ..	0,252	776,44	1	0,000031	0,00258
1 kg. de carbone com- plètement brûlé... ..	8133	$25,058 \times 10^3$	32.075	1	8333
1 mol. de carb. (12 gr.) compl. brûlé.....	97,6	300.700	384,9	0,012	1

(1) Pour la conversion d'un pouvoir calorifique exprimé en B. T. U. il y a lieu de remarquer que le nombre de B. T. U. exprimé est rapporté à une livre anglaise.

1 B. T. U. par livre = 0,252 calories par livre, (453 gr.) = 0,557 calories par kilogramme.

2. Tableau de conversion des diverses unités de puissance

	UNITÉS DE PUISSANCE					
	Watt	Kilowatt	C. V.	H. P.	Calories par seconde	Kgmt. par seconde
Watt	1	0,001	0,00136	0,00134	0,00024	0,102
Kilowatt	1000	1	1,359	1,341	0,239	101,97
Cheval-vapeur	736	0,736	1	0,986	0,176	75
Horse-power	746	0,746	0,760	1	0,178	76
Calories : seconde ..	4170	4,17	5,67	5,59	1	426
Kgmt. : seconde ...	9,81	0,00981	0,0133	0,0131	0,00234	1

3. Mesure du travail et de la puissance. — La puissance est le quotient du travail par le temps.

Pour les translations on a

$$P = F \frac{e}{t} \text{ (force en kgs } \times \text{ vitesse en m : sec.)}$$

Pour les rotations, on a

$$P = F \frac{2\pi R n}{t} \text{ (effort tangentiel en kgs } \times \text{ vitesse tangentielle en m : sec.)}$$

c'est-à-dire si l'on observe que $FR =$ moment de l'effort tangentiel, ou couple moteur, et $\frac{2\pi n}{t} = \omega$ ou vitesse angulaire, on a

$$P = C \cdot \omega \text{ (couple moteur en m : kg. } \times \text{ vitesse angulaire en radians sec.)}$$

POIDS ATOMIQUES

Table des poids atomiques internationaux.

	0 = 16		0 = 16
Aluminium..... Al	27,0	Manganèse..... Mn	54,93
Antimoine..... Sb	120,2	Mercure..... Hg	200,6
Argent..... Ag	107,88	Molybdène..... Mo	96,0
Argon..... A	39,9	Néodymium..... Nd	144,3
Arsenic..... As	74,96	Néon..... Ne	20,2
Azote..... N	14,008	Nickel..... Ni	58,68
Baryum..... Ba	137,37	Niton..... Nt	222,4
Bismuth..... Bi	209,0	Or..... Au	197,2
Bore..... B	10,9	Osmium..... Os	190,9
Brome..... Br	79,92	Oxygène..... O	16,000
Cadmium..... Cd	112,40	Palladium..... Pd	106,7
Cæsium..... Cs	132,9	Phosphore..... P	31,0
Calcium..... Ca	40,07	Platine..... Pt	195,2
Carbone..... C	12,005	Plomb..... Pb	207,20
Celtium..... Ct	178,00	Potassium..... K	39,10
Cérium..... Ce	140,25	Praséodyme..... Pr	140,9
Césium..... Cs	132,81	Radium..... Rd	226,0
Chlore..... Cl	35,46	Rhodium..... Rh	102,9
Chrome..... Cr	52,0	Rubidium..... Rb	85,45
Cobalt..... Co	58,97	Ruthénium..... Ru	101,7
Columbium..... Cb	93,1	Samarium..... Sm	150,4
Cuivre..... Cu	63,57	Scandium..... Sc	45,1
Disprosium..... Dy	162,5	Sélénium..... Se	79,2
Erbium..... Er	167,7	Silicium..... Si	28,1
Etain..... Sn	118,7	Sodium..... Na	23,00
Europium..... Eu	152,0	Soufre..... S	32,06
Fer..... Fe	55,84	Strontium..... Sr	87,63
Fluor..... F	19,0	Tantale..... Ta	181,5
Gadolinium..... Gd	157,3	Tellure..... Te	127,5
Gallium..... Ga	70,1	Terbium..... Tb	159,2
Germanium..... Ge	72,5	Thallium..... Tl	204,0
Glucinium..... Gl	9,1	Thorium..... Th	232,15
Hélium..... He	4,00	Thulium..... Tm	169,9
Hydrogène..... H	1,008	Titane..... Ti	48,1
Indium..... In	114,8	Tungstène..... W	184,0
Iode..... I	126,92	Uranium..... U	238,2
Iridium..... Ir	193,1	Vanadium..... V	51,0
Krypton..... Kr	82,92	Xénon..... Xe	130,2
Lanthane..... La	139,0	Ytterbium..... Yb	173,5
Lithium..... Li	6,94	Yttrium..... Yt	89,33
Lutécium..... Lu	175,0	Zinc..... Zn	65,37
Magnésium..... Mg	24,32	Zirconium..... Zr	90,6

CHAPITRE II

CHALEUR, TRANSMISSION, ÉCHANGE

TEMPÉRATURES DE FUSION, D'ÉBULLITION

1. Définition et mesure des températures (voir chap. 1).

2. Points d'ébullition de quelques corps à la pression atmosphérique.

Soufre.....	444,6	Eau.....	100
Mercure.....	357	Benzine C_6H_6	80,8
Glycérine.....	290,4	Alcool pur.....	78,3
Naphtaline.....	218	Sulfure de carbone.....	46,2
Aniline.....	184	Éther sulfurique.....	35,5
Chlorure de calcium (sol. sat.).....	179,5	Acide sulfureux SO_2	— 10
Nitrate d'ammonium (sol. sat.).....	164	Chlore.....	— 33,4
Térébenthine.....	156	Ammoniaque.....	— 38,5
Chlorure d'ammonium (sol. sat.).....	114,2	Acide carbonique.....	— 78
Chlorure de sodium (sol. sat.).....	108,4	Acétylène.....	— 85
		Éthylène.....	— 103
		Oxygène.....	— 182,5
		Azote.....	— 193
		Hydrogène.....	— 252,5

3. Points de fusion des métaux et alliages.

1° MÉTAUX TENDRES ET LEURS ALLIAGES.

Etain.....	231
Bismuth.....	269
Cadmium.....	322
Plomb.....	327
Zinc.....	418

Antimoine	629
Magnésium	651
Aluminium	657
Coupe-circuits 2Pb, 1Sn	250
Caractères d'imprimerie 85Pb, 15Sb	230
Métal sans retrait 88Pb, 12Sn	225
Aluminium durci 95Al, 4Cu, 1Mn	660
Magnalium 90Al, 10Mg	608
Aluminium-zinc 70Al, 30Zn	606
Aluminium au cuivre 3 0/0 Cu	650

		Pb	Sb	Sn	Cu	
Anti- friction :	dur.....	70	20	10	—	375
	moyen.....	76	12	12	—	350
	tendre.....	80	8	12	—	325
	Babbit.....	—	7	90	3	350
	Magnolia	90	10	—	—	225
		Sn	Pb	Bi	Cd	
Alliages fusibles :	tendre.....	4	8	15	3	60
	moyen.....	3	5	8	—	100
	dur.....	36	32	8	—	160
	extra-dur.....	8	8	1	—	200

2° MÉTAUX DURS ET LEURS ALLIAGES

Cuivre	1.062	Bronze tendre 80Cu,	
Manganèse	1.207	20Sn.....	900
Nickel.....	1.452	Bronze aluminium 92Cu,	
Chrome.....	1.500	8Al.....	1.030
Fer pur.....	1.505	Laitons 67Cu, 33Zn.....	940
Acier.....	1.400-1.450	Laitons au plomb 60Cu,	
Fonte blanche.....	1.100	38Zn, 2Pb.....	880
Fonte grise.....	1.200	Maillechort 70Cu, 20Ni,	
Bronze dur 84Cu, 16Sn.	960	10Zn.....	1.150

3° SOUDURES ET BRASURES

Au bismuth 30Sn, 30Pb,		Laffitte grise.....	765
40Bi.....	125	— jaune.....	845
A l'étain 50Pb, 50Sn.....	170	Brasure tendre 50Cu, 50Zn.	870
Plombiers 70Pb, 30Sn.....	240	Demi-forte 80Cu, 20Zn.....	1.000
A l'argent 60Ag, laiton 40.	650	Forte 90Cu, 10Zn.....	1.050

4^e MÉTAUX PRÉCIEUX ET LEURS ALLIAGES

Argent	962	Rhodium	1.940
Or	1.064	Iridium	2.360
Platine	1.710	Osmium	2.700
Vanadium	1.755	Tantale	2.800
Titane	1.850	Tungstène	3.100

Argent et or.

Ag	Au		Ag	Au	
100	0	962 ^e	40	60	4.022
80	20	980	20	80	1.045
60	40	1.000	0	100	1.064

Platine et or.

Au	Pt		Au	Pt	
100	0	1.064	40	60	1.450
90	10	1.130	30	70	1.510
80	20	1.190	20	80	1.575
70	30	1.255	10	90	1.640
60	40	1.320	0	100	1.710
50	50	1.385			

NOTA. — Au delà de 1.200 le platine resseue, ce qui peut tromper sur le point de fusion de l'alliage.

TEMPÉRATURES DE COMBUSTION

Théoriquement cette température est le quotient de la quantité de chaleur libérée par la chaleur d'échauffement des gaz constituant les produits de la combustion.

La température *théorique* correspond à la combustion neutre, c'est-à-dire tout l'oxygène de l'air étant transformé dans la réaction, et le combustible et le comburant étant supposés à zéro.

Pratiquement la présence d'excès d'air, l'échauffement des cendres, les pertes de chaleur par les parois diminuent la température de combustion.

Le chauffage préalable du combustible et du comburant l'augmentent.

On peut, pour un combustible déterminé, établir un abaque donnant les valeurs de la température de combustion pour différents coefficients d'admission d'air et pour différentes températures de l'air.

L'abaque figure 8 est établi pour une houille moyenne, pouvoir calorifique 7.500 calories, pouvoir comburivore 10^h,6 d'air par kilogramme pour la combustion neutre, teneur en C 80 0/0, en H 4 0/0, en humidité 5 0/0.

La température théorique pour combustion neutre, air et charbon à zéro est 2.025° . Avec excès d'air de 25 0/0 ($n = 1.25$) qui est la meilleure combustion réalisable en pratique, on trouve que cette température tombe à 1.750° .

Avec air chaud à 100° et $n = 2$, on trouve 1.380° , etc.

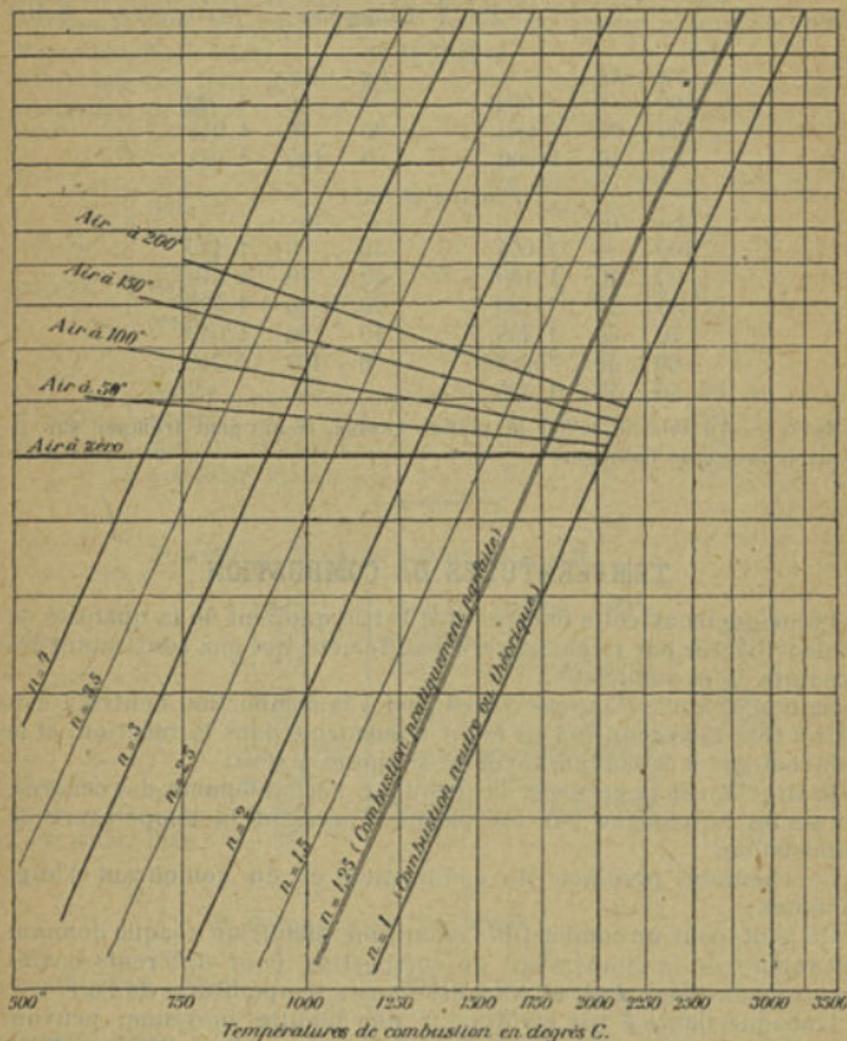


FIG. 8. — Abaque des températures de combustion pour un charbon de 7.500 cal. , $C = 80 \text{ 0/0}$, $H = 4 \text{ 0/0}$, eau = 5 0/0 pour divers excès d'air et l'air.

CHALEURS D'ÉCHAUFFEMENT DES GAZ

Lorsqu'un gaz maintenu à pression constante est porté d'une température initiale T_0 à une température supérieure T_1 , on appelle chaleur d'échauffement entre les températures T_0 et T_1 le nombre de calories qu'il faut céder à ce gaz pour réaliser cette élévation de température.

Le Congrès du chauffage industriel (1924) constatant que de nouvelles déterminations des chaleurs spécifiques des gaz ont été effectuées dans ces dernières années par divers auteurs, mais que ces déterminations, qui diffèrent de celles fixées, il y a quarante ans, par Mallard et Le Chatelier, ne concordent pas entre elles :

Estimant qu'il n'apparaît pas avec certitude, d'après les documents publiés, que ces déterminations nouvelles comportent de moindres causes d'erreur que les déterminations anciennes de Mallard et Le Chatelier :

Ne se trouvant pas, par ailleurs, en mesure de chiffrer la part d'erreur de chacune de ces déterminations, mais estimant indispensable d'éviter, dans le domaine des applications industrielles, l'incohérence qui résulterait de l'emploi *ad libitum* de l'une ou l'autre des dites déterminations ;

Émet le vœu :

Que dans les calculs thermiques, et notamment dans le calcul de la température théorique de combustion, il ne soit fait usage que des chaleurs spécifiques de Mallard et Le Chatelier, aussi longtemps, du moins, que l'on n'aura pas la certitude de pouvoir leur substituer des données plus exactes.

Chaleur d'échauffement moléculaire. — Les chiffres donnant les chaleurs d'échauffement d'une molécule de gaz à pression constante, d'après les travaux de Mallard et Le Chatelier, sont indiqués dans le tableau de la page suivante.

La notation moléculaire est commode parce que l'analyse chimique fournit les résultats en volume et non en poids ; il est du reste très commode de passer des chaleurs moléculaires aux chaleurs par kilogramme ou par mètre cube.

Chaleur d'échauffement par kilogramme. — Diviser la chaleur moléculaire par le poids moléculaire en grammes et multiplier par 1.000.

EXEMPLE. — la chaleur d'échauffement de l'azote (gaz parfait) par kilogramme, entre 0 et 200° est :

$$\frac{1,4}{28} \times 1.000 = 50 \text{ cal : kg.},$$

le poids moléculaire de Az^2 étant 28 grammes

Barème des chaleurs d'échauffement des gaz industriels usuels
de 0° à t° rapportées à une molécule.

T	50°	100°	150°	200°	250°	300°	350°	400°	450°	500°	550°	600°
GP.....	0,3	0,7	1,0	1,4	1,7	2,1	2,5	2,8	3,2	3,6	3,9	4,3
H ² O.....	0,4	0,8	1,3	1,7	2,2	2,7	3,2	3,7	4,2	4,8	5,3	5,9
CO ²	0,4	0,9	1,3	1,8	2,4	2,9	3,4	4,0	4,6	5,2	5,8	6,4
CH ⁴	0,5	1,0	1,6	2,2	2,8	3,3	4,1	4,9	5,7	6,4	7,2	8,0
T	650°	700°	750°	800°	850°	900°	950°	1000°	1050°	1100°	1150°	1200°
GP.....	4,7	5,1	5,5	5,8	6,2	6,6	7,0	7,4	7,8	8,2	8,7	9,1
H ² O.....	6,5	7,1	7,7	8,3	9,0	9,6	10,3	11,0	11,7	12,4	13,2	13,9
CO ²	7,1	7,8	8,5	9,2	9,9	10,7	11,4	12,2	13,0	13,9	15,1	15,5
CH ⁴	8,9	9,8	10,8	11,7	12,7	13,7	14,8	15,8	16,9	18,0	19,2	20,4
T	1250°	1300°	1350°	1400°	1450°	1500°	1550°	1600°	1650°	1700°	1750°	1800°
GP.....	9,5	9,9	10,3	10,7	11,2	11,6	12,0	12,5	12,9	13,3	13,8	14,2
H ² O.....	14,7	15,4	16,2	17,0	17,9	18,6	19,5	20,3	21,2	22,1	23,0	23,9
CO ²	16,4	17,3	18,2	19,2	20,1	21,1	22,1	23,1	24,1	25,2	26,2	27,3
CH ⁴	21,0	22,8	24,1	25,4	26,8	28,2	29,6	31,0	32,5	34,0	35,5	36,9
T	1850°	1900°	1950°	2000°	2050°	2100°	2150°	2200°	2250°	2300°	2350°	2400°
GP.....	44,7	45,1	45,6	46,0	46,5	47,0	47,4	47,9	48,4	48,9	49,4	49,8
H ² O.....	24,9	25,9	26,8	27,8	28,8	29,8	30,8	31,9	32,9	33,9	35,0	36,1
CO ²	28,4	29,5	30,7	31,9	33,0	34,2	35,4	36,6	37,9	39,2	40,5	41,8
CH ⁴	38,6	40,2	41,9	43,5	45,3	47,0	48,7	50,5	52,9	54,2	56,1	58,0
GP (Gaz parfaits)	Az ² = 28 grs			O ² = 32 grs			H ² = 2 grs			CO = 28 grs		
	H ² O = 18 grs			CO ² = 44 grs			CH ⁴ = 16 grs.					

Le graphique figure 9 donne les valeurs d'échauffement par kilogramme des principaux gaz.

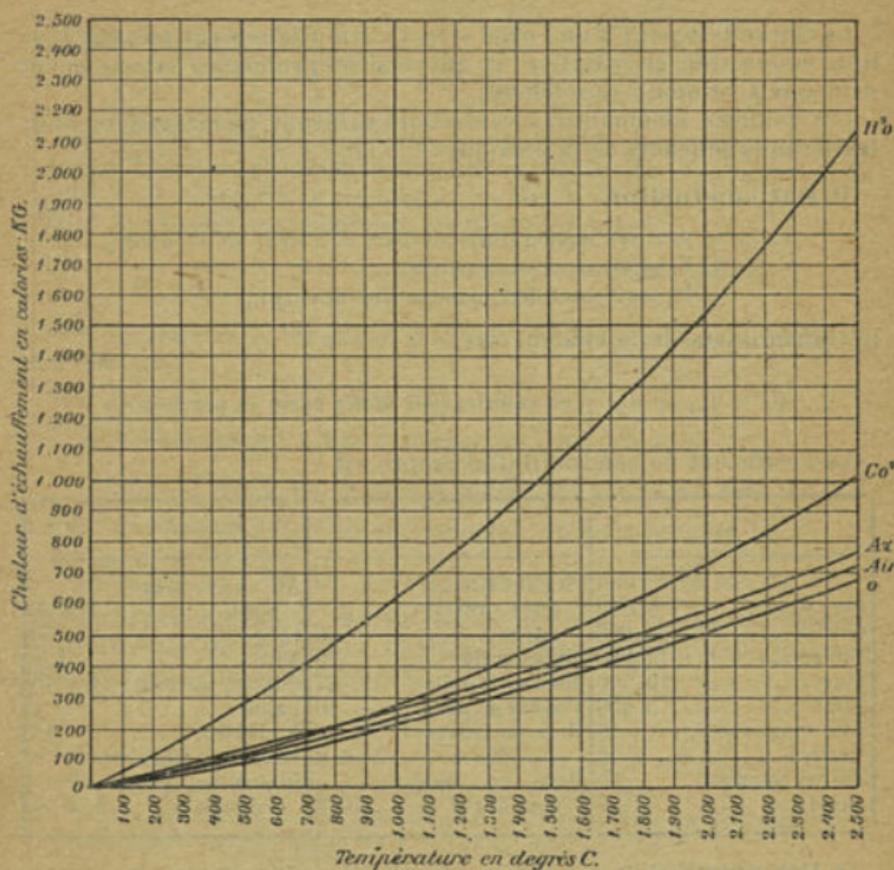


FIG. 9.

Applications. — Les chaleurs d'échauffement servent à déterminer les températures théoriques de combustion et les quantités de chaleur perdues dans les bilans thermiques.

TRANSMISSION DE LA CHALEUR

Le refroidissement d'un corps s'opère simultanément par conduction, convection et radiation, ce qui rend les problèmes extrêmement difficiles à résoudre exactement.

Les données élémentaires ci-dessous suffiront généralement pour les besoins courants de la pratique.

1° Par conduction. — Si

t_1 et t_2 sont les températures de part et d'autre de la paroi;

δ , l'épaisseur en centimètres;

λ , le coefficient de conductibilité du corps;

la transmission de la chaleur est :

$$Q_c = (t_1 - t_2) \frac{\lambda}{\delta} \text{ en calories par mètre carré et par heure.}$$

Le coefficient de conductibilité propre est :

λ	λ	λ
Fer, acier..... 6.000	Argile cuite, briques réfractaires.....	Air et gaz stagnant..... 1,9
Cuivre..... 33.000	Maçonnerie.... 60	Liège..... 26
Plomb..... 2.800	Mortier de plâtre 70	Soie..... 1,4
Zinc..... 10.500	Poudre de coke. 47	Papier, carton. 3 à 16
Étain..... 5.400	Bois en travers des fibres... 3,2	Laine..... 4
Eau stagnante. 50	Bois en long des fibres... 10,8	Amiante..... 13
Verre..... 56		Poudre de liège. 8
Tartre calcaire. 40		Diatomite, kieselguhr..... 5 à 15
Sable..... 4,7		

2° Par convection. — La conductibilité n'est pas seule à envisager, il y a aussi le coefficient de conduction du fluide interne à l'une des faces de la paroi, et celui de l'autre face de la paroi au fluide externe; ces deux coefficients dépendent des phénomènes de convection, et sont influencés par conséquent par la vitesse de passage du fluide sur la paroi (ils augmentent avec cette vitesse).

Si :

T est la température initiale;

t , la température finale;

t_1 et t_2 , les températures de chacune des faces de la paroi;

α_1 et α_2 , les coefficients de transmission à chacune de ces faces.

On a :

$$Q_c = \alpha_1 (T - t_1) + (t_1 - t_2) \frac{\lambda}{\delta} + \alpha_2 (t_2 - t),$$

qui peut s'exprimer :

$$Q = c (T - t);$$

en posant :

$$\frac{1}{c} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{1 \cdot \delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}.$$

Cette même formule s'applique à des parois composées de matières différentes en considérant chaque fois les coefficients α_3 , α_4 , etc. de passage d'une couche à l'autre.

Pour le passage entre solides, on peut prendre :

$\alpha = 4$ pour les mauvais conducteurs (maçonnerie, bois, etc.).

$\alpha = 50$ pour les bons conducteurs (métaux).

Pour le passage entre gaz et mauvais conducteur (maçonnerie), on peut prendre :

$$\alpha = 1 + 5 \sqrt{v}.$$

Pour le passage entre gaz et métal, on peut prendre :

$$\alpha = 2 + 10 \sqrt{v}, \quad v \text{ étant la vitesse des gaz en m : sec.}$$

Pour le passage entre liquide et métal, on peut prendre :

$$\alpha = 300 + 1.800 \sqrt{v}, \quad v \text{ étant la vitesse du liquide en m : sec.}$$

Pour le passage entre vapeur sèche et métal, le cas est comparable à celui d'un gaz; pour le passage entre vapeur mouillant la paroi et métal, on peut prendre :

$$\alpha = 800 + 600 \sqrt{v} \times g,$$

v étant la vitesse en m : sec. et g étant le poids spécifique du mélange de vapeur et d'eau en tonnes par mètre cube.

3° **Par radiation.** — On admet généralement que la transmission de la chaleur par radiation suit la loi de Stefan :

$$Q = a (T^4 - t^4).$$

Cette loi a été reconnue exacte, mais les physiciens ne sont pas d'accord sur les valeurs à donner au coefficient a .

De même que pour la conduction, la radiation ne peut pas se séparer de la convection, et l'on emploie de préférence la formule de Péclet :

$$Q = R + A,$$

Q étant l'émission totale de chaleur par mètre carré et par heure;

R , l'émission de chaleur par rayonnement;

A , l'émission par convection.

En appelant :

t , l'excès de température du corps chaud sur la température du milieu;

t' , la température du milieu;

K , le coefficient de radiation;

K' , le coefficient d'émission par convection (variant d'après la forme du corps).

On a :

$$R = 124,72 [K \times 1,0077t' (1,0077t' - 1)],$$

et :

$$A = 0,552K' \times t1,233.$$

Les valeurs de K sont données par :

Argent poli.....	0,13	Fonte neuve	3,17
Cuivre rouge.....	0,16	Tôle oxydée.....	3,36
Etain.....	0,215	Fonte —	3,36
Laiton poli.....	0,24	Pierre à bâtir.....	3,60
Zinc.....	0,24	Plâtre.....	3,60
Tôle polie.....	0,45	Bois.....	3,60
— plombée.....	0,65	Noir de fumée.....	4,01
— ordinaire.....	2,77	Eau.....	5,31
Verre.....	2,91	Huile.....	7,24

Les valeurs de K' sont données par :

$$\text{Corps sphérique..... } K' = 1,778 + \frac{0,13}{r},$$

$$\text{Corps cylindrique horizontal... } K' = 2,058 + \frac{0,0382}{r},$$

$$\text{Corps cylind. vertical de haut. } h \quad K' = \left(0,726 + \frac{0,0345}{\sqrt{r}}\right) \left(2,43 + \frac{0,875}{\sqrt{h}}\right)$$

$$\text{Surface plane vert. de haut. } h \quad K' = 1,754 + \frac{0,636}{\sqrt{h}}$$

r étant le rayon exprimé en mètres.

LOIS DU RAYONNEMENT

Un corps soumis à la chaleur émet un rayonnement calorifique et un rayonnement lumineux (Voir chapitre 1, *Mesures pyrométriques*).

Toute substance au-dessus du zéro absolu (-273) émet de l'énergie sous forme vibratoire; ces ondes commencent à impressionner la rétine à partir de 470° environ et l'impression lumineuse augmente rapidement d'intensité avec la température.

1. Rayonnement calorifique. — Le taux d'émission de l'énergie rayonnée par un corps chaud dépend de l'état de sa surface; on appelle « corps noir parfait » celui qui serait totalement dépourvu de pouvoir réfléchissant et qui par conséquent absorberait totalement les radiations reçues par lui.

Ce corps noir parfait n'existe pas, mais il est pratiquement réalisé par un corps mat placé à l'intérieur d'une enceinte athermane; si dans ce moufle on pratique une ouverture, l'émission calorifique par cette ouverture correspond pratiquement au corps noir parfait.

Cette émission obéit à la loi de Stefan :

$$E = K (T_1^4 - T_2^4).$$

On adopte généralement pour K la valeur $1,34 \cdot 10^{-15}$ lorsque E est exprimé en cal : cm^2 : seconde, et T_1, T_2 en températures absolues, ce qui donne pratiquement :

$$E = 4,8 \left[\left(\frac{t_1 + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_2 + 273}{100} \right)^4 \right]$$

lorsque t_1 et t_2 sont exprimés en degrés C. et E en calories rayonnées par mètre carré et par heure.

Le graphique figure 10 exprime les valeurs de E pour une température ambiante $t_2 = 27^\circ \text{C}$.

On peut, pour les températures élevées, négliger la valeur de t_2 .

EXEMPLE. — Quelle est la quantité de chaleur rayonnée par une ouverture de 10 centimètres carrés pratiquée dans la paroi d'un four où règne une température $t_1 = 927^\circ$, la température ambiante étant $t_2 = 27^\circ$.

1° En tenant compte de t_2 ;

2° En négligeant t_2 .

On a

$$E \text{ pour } 1 \text{ m}^2 = 4,8 (124 - 34) = 99144 \text{ cal : m}^2 \text{ : heure}$$

et

Pour une surface de 10 centimètres carrés, on aura donc respectivement

$E = 99,144$ calories à l'heure en tenant compte de la température ambiante
et

$E = 99,532$ cal : heure en la négligeant.

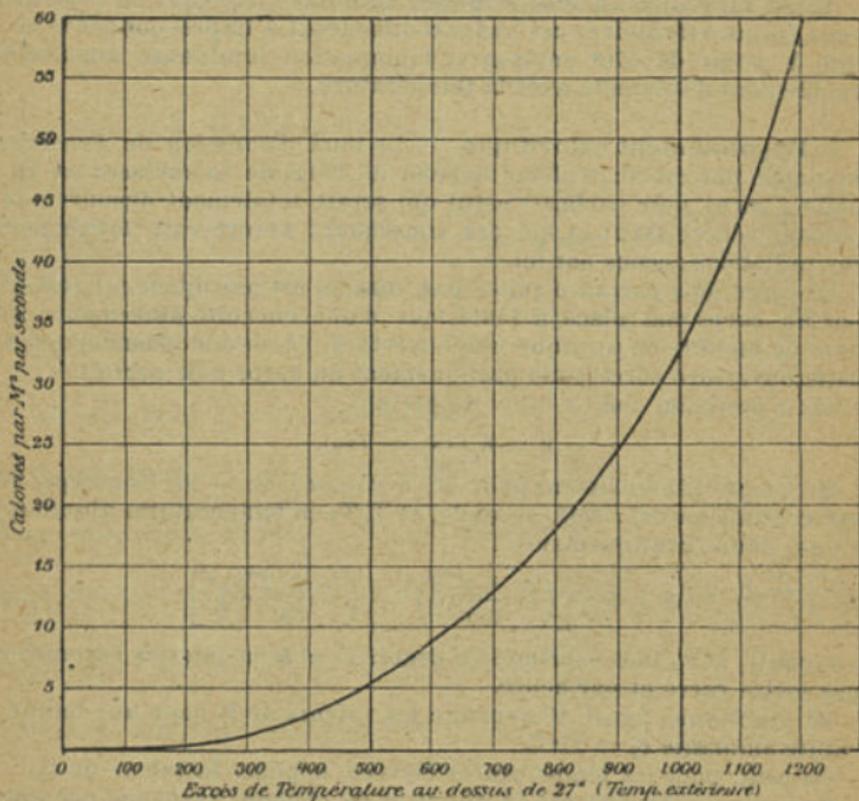


FIG. 10. — Loi de Stefan. — Radiation du corps noir parfait.

2. **Rayonnement lumineux.** — L'œil exercé commence à discerner les premières radiations rouges à partir de 470° dans la pénombre, à partir de 500° à la lumière diffuse du jour.

La formule de Rasch liant les intensités lumineuses totales à la température indique que cette intensité croît d'une quantité exponentielle considérable avec la température. La lumière émise

est extrêmement différente suivant le corps envisagé : le thorium par exemple est beaucoup plus lumineux que le fer,

Pour se servir du rayonnement lumineux comme moyen d'évaluation de la température, il est donc nécessaire de comparer une onde monochromatique de l'étalon à la même onde du corps à mesurer, et non la lumière totale émise.

La loi de Wien donne dans ce cas de façon précise la loi qui lie la température à l'énergie émise de longueur d'onde λ .

Cette loi peut s'écrire dans le cas de la comparaison de deux intensités lumineuses de même longueur d'onde λ :

$$\log \frac{E_1}{E_2} = \frac{C_2 \log e}{\lambda} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

T_1 et T_2 étant les températures absolues correspondant aux intensités E_1 et E_2 , C_2 étant une constante de valeur = 1.450.000 quand λ est exprimé en millièmes de mm.

EXEMPLE. — Pour le rouge $\lambda = 65,63 \times 10^{-6}$. Le corps à observer à la température T_1 donne une intensité lumineuse égale à deux fois celle de l'étalon, correspondant à une température $T_2 = 1.200^\circ$ absolu ; quelle est la température cherchée T_1 ?

$$\frac{E_1}{E_2} = 2 \text{ on a donc } \log 2 = \frac{1450000}{65,63} \log 2,7183 \left(\frac{1}{1200} - \frac{1}{T_1} \right)$$

$$0,3010 = \frac{1450000 \times 0,4343}{65,63} \left(\frac{1}{1200} - \frac{1}{T_1} \right)$$

d'où l'on tire pour T_1 la valeur 1.237° absolu.

3. **Données sur le chauffage de l'air.** — On désignera plus spécialement sous le nom de *régénérateurs* les dispositifs de récupération où l'air froid et les gaz chauds circulent alternativement (inversion de valve) dans les mêmes conduits, et sous le nom de *récupérateurs* ceux où l'air et les gaz chauds circulent de façon continue, et séparés par une paroi d'échange.

Au-dessous de 500° dans l'air les systèmes d'échange peuvent être faits en fonte; au-delà ils doivent être en réfractaires. Pour les hautes températures dans l'air, on observe en général une différence de température de 150 à 200° entre l'air à réchauffer et les fumées, et l'on ne refroidit pas celles-ci au-dessous de 200° , afin de permettre leur évacuation par tirage naturel. La vitesse du vent à chauffer ne doit pas excéder 2 à 3 mètres par seconde; pour avoir la plus grande surface d'échange, on emploiera des courants parallèles divisés et on réalisera le chauffage méthodique par contre-courant (le vent le plus froid au contact des fumées les moins chaudes).

RÉCHAUFFEURS D'AIR MÉTALLIQUES. — Ne pas dépasser 500° dans

l'air, les tubes de fonte même de 15 à 20 millimètres d'épaisseur se détruisant rapidement à partir de ce point.

Échange avec la flamme. — Le calcul est bien difficile à faire; les données pratiques généralement observées sont les suivantes :

Échauffement de l'air	Mètre carré de surface de chauffe métallique par m ³ d'air à chauffer par minute
de 20 à 150°	0,50 à 0,75 m ²
20 à 300°	1,25 à 1,50
20 à 400°	2 à 3
20 à 500°	4 à 5

La vitesse d'écoulement ne doit pas dépasser 4 m : sec. sur le froid ou 15 m : sec sur le chaud.

RÉCHAUFFEURS D'AIR ET RÉCUPÉRATEURS A BRIQUES. — On peut chauffer l'air à toute température : la seule limite est l'écart de 150 à 200° à observer entre la température de l'air et celle des gaz ou flammes dont on dispose.

La valeur du frottement étant plus grande avec les briques qu'avec les surfaces métalliques, on ne dépassera pas 1,5 à 2 m : sec. de vitesse pour l'air froid et 6 à 8 mètres pour l'air chaud.

Régénérateurs. — Dans les régénérateurs où l'air froid circule au contact des briques préalablement chauffées par les flammes, on admet généralement que la durée entre deux inversions est de 1 heure, et durant ce laps de temps la température des briques ne baisse pas de plus de 50°.

Connaissant la chaleur spécifique des briques et le poids d'air à échauffer, une règle de trois donne de suite le poids de brique à prévoir dans les empilages.

Récupérateurs. — Les flammes et l'air sont séparés par une cloison en briques à travers laquelle se fait l'échange de chaleur. On prendra pour vitesse des gaz chauds 6 à 8 m : sec comme dans un carneau ordinaire et pour vitesse de l'air chaud (à la sortie) 5 à 6 mètres.

Pour chauffer l'air à 800°, il faut une surface de chauffe de 18 à 20 mètres carrés par mètre cube d'air à chauffer par minute; pour 600°, il faut 8 à 10 mètres carrés par mètre cube par minute, pour 200° il faut 2 à 3 mètres carrés par mètre cube par minute.

On peut du reste, avec la table des chaleurs d'échauffement donnée plus haut, calculer exactement l'échange de chaleur par transmission; il faut bien entendu vérifier préalablement si la quantité de chaleur sensible dans les fumées est suffisante pour réchauffer la quantité d'air que l'on désire, sans amener un refroidissement inadmissible.

EXEMPLE. — Soit un récupérateur dont la température moyenne de gaz sera de 700° et avec lequel on désire échauffer 1 mètre cube d'air froid par minute à la température de 150°.

L'épaisseur de paroi est de 11 centimètres; la vitesse moyenne des gaz chauds de 9 m : sec, celle de l'air 4 m : sec.

Les coefficients à prendre pour le calcul de C (voir table 00) sont :

α_1 — transmission de gaz à mauvais conducteur = $1 + 5\sqrt{9} = 16$;

λ — transmission à travers brique = 60;

α_2 — transmission de mauvais conducteur à l'air = $1 + 5\sqrt{4} = 11$.

On a donc :

$$\frac{1}{c} = \frac{1}{16} + \frac{11}{60} + \frac{1}{11} \text{ — ce qui donne } c = 3,$$

La paroi transmet donc par mètre carré et par heure :

$$Q = 3(700 - 150) = 1650 \text{ calories.}$$

La chaleur spécifique de l'air entre 0 et 150 = 0,245 et le mètre cube ambiant pèse 1^k,2 environ; il faut donc fournir à cet air pour le porter à 150° :

$$1,2 \times 0,245 \times (150 - 20) = 38,2 \text{ cal.}$$

soit à l'heure :

$$38,2 \times 60 = 2292 \text{ cal.}$$

La paroi transmettant 1.650 calories dans les conditions énoncées, il faudra donc, pour chauffer 1 mètre cube par minute (ou 60 mètres cubes par heure) une surface de paroi de $\frac{2.292}{1.650} = 1^m2,4$ en chiffres ronds.

CHAPITRE III

GAZ ET VAPEURS SÉCHAGE, ÉVAPORATION, CONDENSATION

PROPRIÉTÉS DES GAZ ET VAPEURS

1. Relations entre pression, volume, température. — Les relations ci-après s'appliquent aux gaz parfaits; leur application aux gaz réels dans le voisinage du point critique donne lieu à erreur, de même qu'aux vapeurs; mais aux faibles pressions ambiantes ces relations peuvent être tenues pour exactes.

En appelant :

v_1 , un volume quelconque de gaz à la pression p_1 et à la température t_1
 v_2 , — — — — — p_2 — — — — — t_2 ;

$\alpha = \frac{1}{273}$, le coefficient de dilatation des gaz.

a. La loi de Gay-Lussac a pour expression :

$$(1) \quad \frac{v_1}{v_2} = \frac{1 + \alpha t_1}{1 + \alpha t_2} = \frac{\frac{1}{\alpha} + t_1}{\frac{1}{\alpha} + t_2}.$$

Or $\frac{1}{\alpha} + t_1 = T_1$, température absolue correspondant au volume v_1
et à la pression p_1 , et $\frac{1}{\alpha} + t_2 = T_2$, température absolue correspondant
au volume v_2 et à la pression p_2 , on a donc :

$$(2) \quad \frac{v_1}{v_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad \text{et} \quad \frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}.$$

EXEMPLE. — Un gaz occupe un volume de $v_1 = 1$ mètre cube à la température $t_1 = 20^\circ$ ($T_1 = 273 + 20 = 293$). Quel sera son volume v_2

à la température $t_2 = 500^\circ$ ($T_2 = 273 + 500 = 773^\circ$) ? On a :

$$v_2 = \frac{v_1 T_2}{T_1} = \frac{1 \times 773}{293} = 2,64 \text{ m}^3.$$

b. La loi de Mariotte a pour expression :

$$(3) \quad p_1 v_1 = p_2 v_2, \quad \text{soit} \quad \frac{v_1}{v_2} = \frac{p_2}{p_1},$$

ce qui permet de calculer les relations entre la pression et le volume.

EXEMPLE. — Un gaz occupe un volume $v_1 = 1$ mètre cube sous la pression $p_1 = 5$ kilogrammes; quel sera son volume v_2 sous la pression $p_2 = 7,5$ kg. ? On a :

$$v_2 = \frac{v_1 p_1}{p_2} = \frac{1 \times 5}{7,5} = 0,667 \text{ m}^3.$$

D'après les relations (1) (2) et (3), on tire :

$$(4) \quad \frac{v_1}{v_2} = \frac{p_2 T_1}{p_1 T_2} \quad \text{et} \quad \frac{p_1}{p_2} = \frac{v_2 T_1}{v_1 T_2},$$

qui permet de calculer la pression en fonction de la température et du volume.

EXEMPLES. — Un gaz occupe un volume $v_1 = 1$ mètre cube sous une pression $p_1 = 5$ kilogrammes, la température étant $t_1 = 20^\circ$; quelle sera la pression p_2 à la température $t_2 = 500^\circ$, le volume étant devenu $v_2 = 2,5$ m³ ?

On a :

$$p_2 = \frac{p_1 v_1 T_2}{v_2 T_1} = \frac{5 \times 1 \times 773}{2,5 \times 293} = 5,3 \text{ kg}.$$

Si le volume n'avait pas varié, on aurait eu :

$$v_2 = \frac{5 \times 1 \times 773}{1 \times 293} = 13,2 \text{ kg}.$$

Inversement un gaz occupant un volume $v_1 = 1$ mètre cube sous la pression $p_1 = 5$ kilogrammes et la température = 20° , que sera devenu son volume si la pression est $p_2 = 10$ kilogrammes et la température $t_2 = 500^\circ$?

On a :

$$v_2 = \frac{p_1 v_1 T_2}{p_2 T_1} = \frac{5 \times 1 \times 773}{10 \times 293} = 1,32 \text{ m}^3.$$

Si la pression n'avait pas varié, on aurait eu :

$$v_2 = \frac{5 \times 1 \times 773}{5 \times 293} = 2,64 \text{ m}^3.$$

c) La constante d'un gaz se tirera des équations (1) d'où l'on peut

poser :

$$\frac{p_1 v_1}{T_1} = \frac{p_2 v_2}{T_2} = C^* = R.$$

Cette constante a une valeur déterminée pour chaque gaz. On la désigne généralement par la lettre R, de sorte que la relation précédente peut s'énoncer sous la formule connue :

$$(5) \quad \frac{pv}{T} = R, \quad \text{soit} \quad pv = RT.$$

Si $\delta = \frac{1}{v} = 1^{\text{kg}},293$ par mètre cube est le poids spécifique de l'air à la pression atmosphérique p et à zéro centigrade ($T = 273^\circ$ absolus), la valeur de la constante R se calculera aisément :

$$R = \frac{pv}{T} = \frac{p}{\delta T} = \frac{10.333}{1,293 \times 273} = 29,2721.$$

La table 11 donne les valeurs de R et de δ pour différents gaz parfaits, pris à la pression atmosphérique et au zéro centigrade.

2. **Poids spécifique d'un gaz sec.** — Pour une température centigrade quelconque t_x , et sous une pression p le poids spécifique du gaz sec est donné par :

$$(6) \quad \delta = \frac{p}{RT} = \frac{1}{R} \cdot \frac{p}{273 + t_x},$$

si p est exprimé en $\text{kg} : \text{cm}^2$, où :

$$(6 \text{ bis}) \quad \delta = 13,596 \frac{H}{R(273 + t_x)},$$

si p est exprimé en millimètres de mercure H.

EXEMPLES. — Un mètre cube d'air à zéro et à la pression atmosphérique ($= 1,033 \text{ kg} : \text{cm}^2$) pèse $1^{\text{kg}},293$. Que pèsera un mètre cube d'air sous la pression $10 \text{ kg} : \text{cm}^2$, soit $p = 100.000$ kilogrammes par m^2 la température $t_x = 300^\circ \text{ C}.$?

On a :

$$\delta = \frac{1}{29,27} \times \frac{100.000}{573} = 5^{\text{kg}},96.$$

Si la température n'avait pas changé, le poids du mètre cube aurait été :

$$\delta = \frac{1}{29,27} \times \frac{100.000}{273} = 12^{\text{kg}},5.$$

Si, au contraire, la pression seule n'avait pas changé, on aurait eu (la pression atmosphérique étant $p = 10.333 \text{ kg} : \text{m}^2$) :

$$\delta = \frac{1}{10.333} \times \frac{10.333}{573} = 0,615 \text{ kg}$$

La table 12 donne le poids spécifique des principaux gaz chimiques, et la table 10 celle des principaux gaz industriels, qui sont les mélanges des précédents.

3. Poids spécifique d'un gaz humide. — Il suffit de prendre pour valeur de R dans la formule (6) les valeurs de la constante pour l'eau et le gaz en proportion correspondant à leur présence dans le mètre cube de mélange.

La constante de l'air est 29,27, celle de la vapeur d'eau 47,11 ; pour l'air contenant p'_1 kilogrammes d'eau par mètre cube, on prendra pour valeur de R :

$$R_1 = p'_1 \cdot 47,11 + (1 - p'_1) \cdot 29,27.$$

Et si la pression est exprimée en millimètres de mercure au lieu de kilogrammes par centimètre carré, on aura pour valeur du poids spécifique de l'air humide à la pression H et à la température t :

$$\text{poids du mètre cube humide } p' = 13,59593 \cdot \frac{H}{R_1 \cdot (273 + t)}.$$

Le poids d'air sec par mètre cube de mélange humide se déduit par différence :

$$p'_2 = p' - p'_1.$$

4. Réduction des volumes à zéro et 760. — Pour les gaz secs on a l'expression générale :

$$V_0 = V_t \frac{1}{1 + \alpha t} \cdot \frac{H}{760}.$$

La table 7 donne les valeurs de $\frac{1}{1 + \alpha t} \cdot \frac{H}{760}$ pour différentes températures et pressions atmosphériques.

EXEMPLE. — Un volume d'air ou de gaz occupe 800 l. à la température de 18° et à la pression 750 ; la table donne $\alpha = 0,926$.

Le volume à zéro et 760 est :

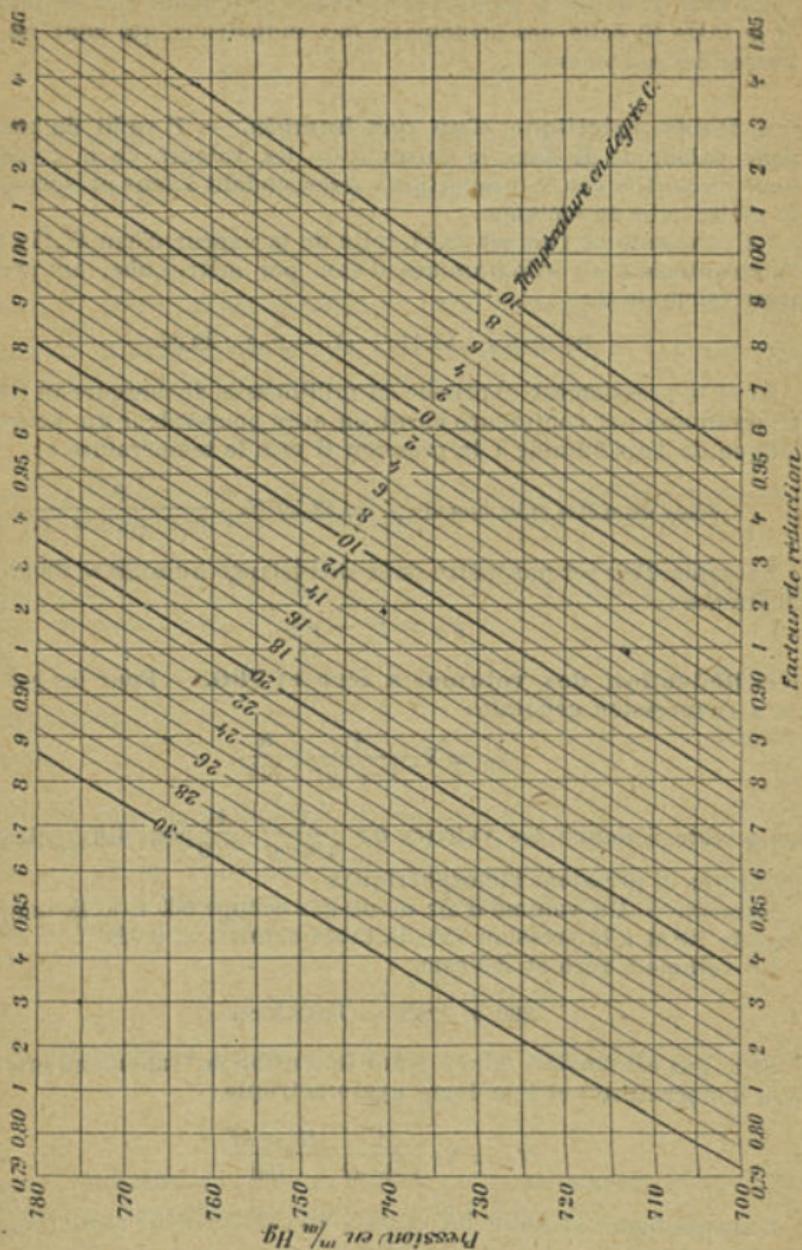
$$800 \times 0,926 = 740,8 \text{ litres.}$$

Si le gaz est *humide*, on a h étant la tension de vapeur en mm : Hg à la température t et k le degré hygrométrique :

$$V_0 = V_t \frac{1}{1 + \alpha t} \cdot \frac{H - kh}{760}.$$

L'abaque figure 11 donne les valeurs du coefficient de réduction pour les gaz saturés.

Abaque pour la réduction à zéro et 760 des gaz humides.



EXEMPLE. — Un volume de 800 litres de gaz saturé d'eau circule dans un tuyau sous la pression de 40 millimètres d'eau ; la pression ambiante est de 747 millimètres et la température 18° ; on demande le volume réduit à 0 et 760 ?

La pression totale est $747 + \frac{40}{13,6} = 750$; l'abaque donne pour 750 et 18°, le coefficient 0,907 et le volume réduit est :

$$800 \times 0,907 = 725,6 \text{ l.}$$

5. Conversion des volumes à zéro en volumes à la température t . — Par suite de la dilatation le volume augmente. On a :

$$V_t = V_0 \cdot (1 + \alpha t).$$

La table 8 donne les valeurs de $(1 + \alpha t)$ de 0 à 1.500°

EXEMPLE. — Un mètre cube de gaz à zéro occupera à 15° un volume de 1^m3,055 et à 500° un volume de 2^m3,832.

6. Conversion des poids spécifiques à zéro en poids à la température t . — Par suite de la dilatation le poids spécifique diminue ; on a :

$$\delta_t = \delta_0 \cdot \left(\frac{1}{1 + \alpha t} \right).$$

La table 8 donne les valeurs de $\left(\frac{1}{1 + \alpha t} \right)$ de 0 à 1.500°.

La table 9 donne degré par degré les valeurs de $\left(\frac{1}{1 + \alpha t} \right)$ entre zéro et 450°.

EXEMPLE. — Un volume d'air pesant 1 kilogramme à zéro ne pèse plus que 0^{kg},453 à 1.500°.

7. Table des valeurs de $\frac{1}{1 + \alpha t} \cdot \frac{H}{760}$

Hauteur barométr.	8°	9°	10°	11°	12°	13°	14°	15°	16°	17°	18°
740	0,946	0,945	0,940	0,936	0,933	0,930	0,926	0,923	0,920	0,916	0,913
741	947	944	941	937	934	931	927	924	921	917	914
742	949	945	942	938	935	932	928	925	922	918	915
743	950	946	944	940	937	934	930	927	924	920	917
744	951	948	945	941	938	935	931	928	925	921	918
745	952	949	946	942	939	936	932	929	926	922	919
746	954	950	948	944	941	938	934	931	928	924	921
747	955	952	949	945	942	939	935	932	929	925	922
748	956	953	950	946	943	940	936	933	930	926	923
749	958	954	951	947	944	941	937	934	931	927	924
750	959	955	952	948	945	942	939	936	933	929	926
751	960	957	953	949	946	943	940	937	934	930	927
752	961	958	954	950	947	944	941	938	935	931	928
753	963	959	956	952	949	946	942	939	936	932	929
754	964	960	957	953	950	947	943	940	937	933	930
755	965	962	958	954	951	948	944	941	938	934	931
756	966	963	960	956	953	950	946	943	940	936	933
757	968	964	961	957	954	951	947	944	941	937	934
758	969	966	962	958	955	952	948	945	942	938	935
759	970	967	964	960	957	954	950	947	944	940	937
760	972	968	965	961	958	955	951	948	945	941	938
761	973	969	966	962	959	956	952	949	946	942	939
762	974	971	967	963	960	957	953	950	947	943	940
763	975	972	969	965	962	959	955	952	949	945	942
764	977	973	970	966	963	960	956	953	950	946	943
765	978	974	972	968	965	962	958	955	952	948	944
766	979	976	973	969	966	963	959	956	953	949	945
767	981	977	974	970	967	964	960	957	954	950	946
768	982	978	975	971	968	965	961	958	955	951	947
769	983	980	977	972	969	966	962	959	956	952	949
770	984	981	978	973	970	967	963	960	957	953	950
771	986	982	979	975	972	968	965	962	958	955	952
772	987	983	980	976	973	970	966	963	960	956	953
773	988	985	981	978	974	971	968	964	961	957	954
774	989	986	982	979	976	972	969	965	962	958	955
775	991	987	984	980	977	973	970	966	963	960	957

pour la réduction des volumes de gaz sec à zéro et 760.

Hauteur Baromètre	19°	20°	21°	22°	23°	24°	25°	26°	27°	28°	29° C
740	0911	0908	0905	0901	0898	0895	0892	0889	0886	0883	0880
741	912	909	906	902	899	896	893	890	887	884	881
742	913	910	907	903	900	897	894	891	888	885	882
743	914	911	908	904	901	898	896	893	890	887	884
744	915	912	909	905	902	899	897	894	891	888	885
745	916	913	910	906	903	900	898	895	892	889	886
746	918	915	912	908	905	902	899	896	893	890	887
747	919	916	913	909	906	903	900	897	894	891	888
748	920	917	914	910	907	904	901	898	895	892	889
749	921	918	915	911	908	905	902	899	896	893	890
750	923	920	917	913	910	907	904	901	898	895	892
751	924	921	918	914	911	908	905	902	899	896	893
752	925	922	919	915	912	909	906	903	900	897	894
753	926	923	920	917	914	911	908	905	902	899	896
754	927	924	921	918	915	912	909	906	903	900	897
755	928	925	922	919	916	913	910	907	904	901	898
756	930	927	924	920	917	914	911	908	905	902	899
757	931	928	925	921	918	915	912	909	906	903	900
758	932	929	926	922	919	916	913	910	907	904	901
759	934	931	928	924	921	918	915	912	909	906	903
760	935	932	929	925	922	919	916	913	910	907	904
761	936	933	930	926	923	920	917	914	911	908	905
762	937	934	931	927	924	921	918	915	912	909	906
763	939	936	933	929	926	923	920	917	914	911	907
764	940	937	934	930	927	924	921	918	915	912	909
765	941	938	935	931	928	925	922	919	916	913	910
766	942	939	936	932	929	926	923	920	917	914	911
767	943	940	937	933	930	927	924	921	918	915	912
768	944	941	938	934	931	928	925	922	919	916	913
769	946	943	940	936	933	930	927	924	921	918	915
770	947	944	941	937	934	931	928	925	922	919	916
771	948	945	942	939	936	933	929	926	923	920	917
772	950	947	944	940	937	934	931	928	924	921	918
773	951	948	945	941	938	935	932	929	926	923	919
774	952	949	946	942	939	936	933	930	927	924	921
775	953	950	948	944	940	937	934	931	928	925	922

8. Table des valeurs de $\frac{1}{1+\alpha t}$ et $1+\alpha t$

Températ ^{re} t	$(1+\alpha t)$	$\left(\frac{1}{1+\alpha t}\right)$	Températ ^{re} t	$(1+\alpha t)$	$\left(\frac{1}{1+\alpha t}\right)$
0	1	1	175	1,644	0,609
5	1,018	0,982	200	1,733	0,577
10	1,037	0,965	225	1,824	0,548
15	1,055	0,948	250	1,916	0,522
20	1,073	0,932	275	2,008	0,498
25	1,092	0,916	300	2,099	0,476
30	1,110	0,901	325	2,191	0,456
35	1,128	0,880	350	2,282	0,438
40	1,147	0,872	375	2,374	0,421
45	1,165	0,858	400	2,465	0,406
50	1,183	0,845	425	2,557	0,391
55	1,202	0,832	450	2,648	0,378
60	1,220	0,820	475	2,740	0,365
65	1,239	0,808	500	2,832	0,353
70	1,257	0,796	525	2,924	0,342
75	1,275	0,784	550	3,015	0,332
100	1,366	0,732	575	3,107	0,322
125	1,458	0,686	600	3,198	0,313
150	1,549	0,645			

pour la conversion des volumes et poids de gaz secs
entre zéro et 1.500° à la pression atmosphérique.

Températ ^{re} t	$(1 + \alpha t)$	$\left(\frac{1}{1 + \alpha t}\right)$	Températ ^{re} t	$(1 + \alpha t)$	$\left(\frac{1}{1 + \alpha t}\right)$
625	3.290	0.304	1100	5.029	0.199
650	3.381	0.296	1125	5.121	0.195
675	3.473	0.288	1150	5.212	0.192
700	3.564	0.281	1175	5.304	0.189
725	3.656	0.273	1200	5.396	0.185
750	3.747	0.267	1225	5.488	0.182
775	3.839	0.261	1250	5.579	0.179
800	3.930	0.254	1275	5.671	0.176
825	4.022	0.249	1300	5.762	0.173
850	4.113	0.243	1325	5.854	0.171
875	4.205	0.238	1350	5.945	0.168
900	4.297	0.233	1375	6.037	0.166
925	4.384	0.228	1400	6.128	0.163
950	4.480	0.223	1425	6.220	0.161
975	4.572	0.219	1450	6.311	0.158
1000	4.663	0.214	1475	6.403	0.156
1025	4.755	0.210	1500	6.495	0.154
1050	4.846	0.206			
1075	4.938	0.202			

9. Table pour la conversion des poids et volumes

1 ^o	0	1	2	3	4
0	1,00000	0,99635	0,99273	0,98912	0,98555
10	0,96465	0,96126	0,95788	0,95453	0,95120
20	0,93171	0,92854	0,92538	0,92225	0,91916
30	0,90095	0,89797	0,89504	0,89211	0,88920
40	0,87215	0,86936	0,86660	0,86385	0,86113
50	0,84512	0,84252	0,83990	0,83736	0,83480
60	0,81975	0,81728	0,81484	0,81242	0,81001
70	0,79583	0,79352	0,79121	0,78893	0,78665
80	0,77327	0,77110	0,76892	0,76676	0,76461
90	0,75197	0,74990	0,74784	0,74580	0,74377
100	0,73180	0,72984	0,72788	0,72596	0,72404
110	0,71268	0,71082	0,70897	0,70715	0,70531
120	0,69438	0,69279	0,69102	0,68927	0,68754
130	0,67730	0,67563	0,67395	0,67230	0,67064
140	0,66089	0,65930	0,65772	0,65613	0,65456
150	0,64527	0,64374	0,64223	0,64072	0,63928
160	0,63036	0,62890	0,62754	0,62602	0,62458
170	0,61613	0,61474	0,61335	0,61198	0,61059
180	0,60252	0,60120	0,59986	0,59855	0,59724
190	0,58950	0,58823	0,58696	0,58571	0,58445
200	0,57703	0,57581	0,57459	0,57339	0,57219
210	0,56508	0,56391	0,56274	0,56160	0,56044
220	0,55362	0,55250	0,55138	0,55027	0,54916
230	0,54260	0,54153	0,54046	0,53939	0,53832
240	0,53202	0,53099	0,52997	0,52904	0,52791
250	0,52186	0,52086	0,51986	0,51887	0,51789
260	0,51206	0,51111	0,51014	0,50919	0,50824
270	0,50236	0,50171	0,50078	0,49986	0,49895
280	0,49354	0,49265	0,49176	0,49087	0,48999
290	0,48476	0,48390	0,48305	0,48219	0,48134
300	0,47630	0,47548	0,47465	0,47383	0,47301
310	0,46813	0,46734	0,46653	0,46574	0,46494
320	0,46024	0,45945	0,45869	0,45792	0,45714
330	0,45260	0,45185	0,45110	0,45035	0,44960
340	0,44522	0,44449	0,44376	0,44304	0,44232
350	0,43807	0,43736	0,43666	0,43596	0,43509
360	0,43114	0,43047	0,42978	0,42911	0,42844
370	0,42443	0,42378	0,42313	0,42247	0,42182
380	0,41794	0,41729	0,41666	0,41603	0,41539
390	0,41163	0,41102	0,41039	0,40978	0,40917
400	0,40552	0,40491	0,40432	0,40371	0,40312
410	0,39957	0,39900	0,39841	0,39782	0,39725
420	0,39381	0,39324	0,39267	0,39211	0,39155
430	0,38820	0,38766	0,38711	0,38655	0,38601
440	0,38276	0,38223	0,38169	0,38115	0,38063
450	0,37747	0,37695	0,37643	0,37591	0,37539

des gaz secs entre 0 et 450° à la pression atmosphérique.

5	6	7	8	9	1°
0,98200	0,97858	0,97499	0,97152	0,96808	0
0,94789	0,94460	0,94135	0,93810	0,93704	10
0,91607	0,91300	0,90996	0,90692	0,90392	20
0,88630	0,88345	0,88058	0,87775	0,87494	30
0,85842	0,85574	0,85306	0,85039	0,84775	40
0,83224	0,82972	0,82720	0,82469	0,82222	50
0,80761	0,80521	0,80286	0,80050	0,79816	60
0,78439	0,78215	0,77990	0,77768	0,77548	70
0,76247	0,76034	0,75823	0,75614	0,75405	80
0,74174	0,73972	0,73771	0,73575	0,73377	90
0,72212	0,72021	0,71831	0,71643	0,71455	100
0,70349	0,70170	0,69989	0,69809	0,69632	110
0,68581	0,68408	0,68239	0,68068	0,67898	120
0,66901	0,66736	0,66573	0,66410	0,66250	130
0,65298	0,65142	0,64988	0,64834	0,64680	140
0,63772	0,63624	0,63476	0,63314	0,63182	150
0,62316	0,62173	0,62033	0,61893	0,61752	160
0,60924	0,60787	0,60654	0,60519	0,60385	170
0,59594	0,59463	0,59335	0,59205	0,59077	180
0,58320	0,58196	0,58072	0,57948	0,57825	190
0,57099	0,56980	0,56862	0,56743	0,56625	200
0,55929	0,55815	0,55701	0,55588	0,55487	210
0,54806	0,54695	0,54586	0,54478	0,54369	220
0,53727	0,53620	0,53526	0,53411	0,53306	230
0,52689	0,52587	0,52487	0,52385	0,52285	240
0,51690	0,51593	0,51496	0,51399	0,51303	250
0,50729	0,50635	0,50542	0,50449	0,50356	260
0,59805	0,49713	0,49623	0,49532	0,49442	270
0,48911	0,48824	0,48736	0,48650	0,48562	280
0,48048	0,47966	0,47881	0,47797	0,47713	290
0,47218	0,47137	0,47056	0,46974	0,46893	300
0,46415	0,46336	0,46257	0,46180	0,46101	310
0,45638	0,45563	0,45486	0,45410	0,45335	320
0,44887	0,44814	0,44730	0,44667	0,44594	330
0,44161	0,44090	0,44019	0,43948	0,43877	340
0,43458	0,43389	0,43320	0,43252	0,43183	350
0,42777	0,42710	0,42643	0,42577	0,42510	360
0,42117	0,42052	0,41988	0,41923	0,41858	370
0,41476	0,41413	0,41350	0,41288	0,41225	380
0,40855	0,40794	0,40733	0,40672	0,40612	390
0,40252	0,40193	0,40134	0,40075	0,40016	400
0,39667	0,39600	0,39552	0,39495	0,39438	410
0,39098	0,39043	0,38987	0,38931	0,38876	420
0,38546	0,38492	0,38438	0,38384	0,38330	430
0,38009	0,37957	0,37904	0,37851	0,37799	440
0,37487	0,37436	0,37385	0,37334	0,37283	450

10. Poids du mètre cube des gaz industriels secs à zéro et 760.

	$\delta =$	kg : m ³
Air sec.....		1,2928
Gaz d'éclairage.....		0,48 à 0,57
Gaz des foyers de chaudières.....		1,3
Gaz à l'eau.....		0,55 à 0,65
Gaz Siemens au coke.....		1,277
— à la houille.....		1,205
Gaz mixte (force motrice).....		1,144
Gaz Dowson.....		1,078
Gaz Mond.....		1,05
Gaz Riché (au bois).....		0,83
Gaz de tourbe, de lignites récents.....		0,86 à 0,88
Gaz d'huile.....		0,913
Gaz de hauts fourneaux.....		1,3 à 1,35
Gaz de fours à coke.....		0,45 à 0,48

11. Densités des vapeurs par rapport à l'air. — Cette donnée est très employée dans les calculs de mélange.

Densité des vapeurs sèches à zéro et 760.

(Densité de l'air à zéro et 760 = 1).

Eau.....	0,632	Soufre.....	2,209
Alcool.....	1,813	Brome.....	5,54
Éther.....	2,586	Iode.....	8,716
Mercure.....	6,976	Phosphore.....	4,420
		Chlore.....	2,430

12. Constantes et caractéristiques des principaux gaz secs.

	Poids moléculaire		C	d	R	C _p C _v		X	T _{critique}	P _{critique}	t _{ebullition} à la pression atmosphé- que
	exact	approximé				en kg et 760 m ³ /a	Densité rapportée à l'air				
Air pur et sec	29	28,95	1,293	1	29,27	0,24	0,172	1,40	-14,0	39,0	-193,00
Vapeur d'eau..... H ² O	18	18,02	0,804	0,622	47,06	0,50	0,39	1,28	+370		+100,00
Oxygène..... O ₂	32	32	1,429	1,105	26,50	0,218	0,156	1,40	-118,8	50,8	-182,7
Azote..... AZ ₂	28	28,02	1,251	0,967	30,26	0,249	0,178	1,40	-14,6	35,0	-194,4
Hydrogène..... H ₂	2	2,016	0,090	0,0696	420,6	3,405	0,242	1,407	-234,5	20,0	-243,5
Oxyde de carbone	28	28,00	1,250	0,967	30,29	0,250	0,179	1,398	-139,5	35,5	-190,0
Acide Carbonique	44	44,00	1,964	1,518	19,27	0,210	0,165	1,28	+31	77,0	-78,2
Acide sulfureux	64	64,07	2,860	2,212	13,24	0,154	0,123	1,25	+157	78,0	-10,0
Ammoniaque AzH ³	17	17,03	0,760	0,586	49,79	0,53	0,41	1,29	+132	109,0	-33,5
Acide chlorhydrique HCl	36,5	36,47	1,628	1,259	23,25	0,191	0,136	1,400	-	-	-
Méthane..... CH ⁴	16	16,03	0,715	0,553	52,90	0,59	0,46	1,28	-81,8	54,9	-164
Ethylène..... C ² H ⁴	28	28,03	1,251	0,968	30,25	0,40	0,32	1,25	+95	47,0	-110,00
Acétylène..... C ² H ²	26	26,02	1,162	0,899	32,59	0,37	0,29	1,26	+36	66,0	-83,6

TENSIONS DE LA VAPEUR D'EAU

1. Calcul des tensions de la vapeur d'eau. — Cette tension de vapeur peut se calculer par la formule de *Regnault* :

$$\log F = a - b\alpha^x - c\beta^x.$$

F = tension de vapeur en millimètres de mercure ;

$x = t + 20$; t = température centigrade ;

$a = 6.2640348$;

$\log b = 0,1397743$; $\log \alpha = 7,9940493$;

$\log c = 0,6924351$; $\log \beta = 7,9983439$;

La formule de *Duperray*, applicable entre 97° et 230°, est plus simple :

$$f = 0,984t^4.$$

f = tension en kilogramme par centimètre carré.

t = température centigrade en centaines de degrés.

On peut s'en contenter pour des calculs industriels.

La table 4 ci-après donne les valeurs de *Regnault* en colonne de mercure.

2. Réduction des millimètres de mercure en $\text{kg} : \text{cm}^2$. — La densité du mercure est de 13,59593.

Une tension P en $\text{kg} : \text{cm}^2$ est donnée par :

$$P = \frac{H \times 13,59593}{10.000} \text{ kg} : \text{cm}^2.$$

Une tension H en millimètres de mercure est donnée par

$$H = \frac{10.000P}{13,59593} \text{ millimètres de mercure.}$$

EXEMPLE. — Une tension de 100 millimètres de mercure équivaut à une pression de 0,136 $\text{kg} : \text{cm}^2$.

3. Chaleur dans la vapeur aux basses pressions. — La table 8 ci-après donne les chiffres d'après *Mollier*. Nous donnons à l'alinéa 7 du paragraphe *Hygrométrie et séchage*, le mode de calcul d'après *Mollier*.

4. Tensions de la vapeur d'eau saturée en mm. Hg entre 0 et 110°
(chiffres de Regnault).

t	mm.	t	mm.	t	mm.	t	mm.	t	mm.
0°	4.6	22°	19.7	44°	67.8	66°	195.5	88°	486.7
1	4.9	23	20.9	45	71.4	67	204.4	89	505.8
2	5.3	24	22.2	46	75.2	68	213.6	90	525.5
3	5.7	25	23.6	47	79.1	69	223.2	91	545.8
4	6.1	26	25.0	48	83.2	70	233.1	92	566.8
5	6.5	27	26.5	49	87.5	71	243.4	93	588.4
6	7.0	28	28.1	50	92.0	72	254.1	94	610.7
7	7.5	29	29.8	51	96.7	73	265.1	95	633.8
8	8.0	30	31.5	52	101.5	74	276.6	96	657.5
9	8.6	31	33.4	53	106.6	75	288.5	97	682.0
10	9.2	32	35.4	54	111.9	76	300.8	98	707.3
11	9.8	33	37.4	55	117.5	77	313.6	99	733.3
12	10.5	34	39.6	56	123.2	78	326.8	100	760.0
13	11.2	35	41.8	57	129.3	79	340.5	101	787.7
14	11.9	36	44.2	58	135.5	80	354.6	102	816.3
15	12.7	37	46.7	59	142.0	81	369.3	103	845.7
16	13.5	38	49.3	60	148.8	82	384.4	104	876.0
17	14.4	39	52.0	61	155.8	83	400.1	105	907.1
18	15.4	40	54.9	62	163.2	84	416.3	106	939.2
19	16.3	41	57.9	63	170.8	85	433.0	107	972.3
20	17.4	42	61.1	64	178.7	86	450.3	108	1006.3
21	18.5	43	64.3	65	186.9	87	468.2	109	1041.3
								110	1077.3

PROPRIÉTÉS THERMIQUES DE LA VAPEUR D'EAU

1. **Chaleur dans la vapeur saturée.** — Nous donnons dans la table 5 d'après Zeuner les principales caractéristiques de la vapeur d'eau saturée.

Dans les pages suivantes nous donnons un fragment de notre diagramme entropique, permettant de résoudre sans calculs tous les problèmes relatifs aux transformations de la vapeur d'eau.

2. **Chaleur dans la vapeur humide.** — On dit qu'une vapeur est au titre x , lorsque 1 kilogramme de cette vapeur humide contient x kilogramme de vapeur sèche et $(1 - x)$ kilogramme d'eau vésiculaire.

Notre diagramme entropique ci-après (fig. 6) donne directement la chaleur dans la vapeur humide. Pour la calculer, on emploiera l'expression :

$$\lambda = q + rx.$$

EXEMPLE. — Quelle est la chaleur totale dans 1 kilogramme de vapeur saturée à 8 kg absolus présentant 5 0/0 d'eau entraînée mécaniquement ?

La chaleur du liquide pour 8 kilogrammes est 171,49 et la chaleur de vaporisation $r = 486,69$; la chaleur totale de la vapeur dans l'état considéré est donc :

$$\begin{aligned}\lambda &= q + rx = 171,49 + 486,69 \times 0,95, \\ \lambda &= 634,6 \text{ calories.}\end{aligned}$$

La table 6 donne d'après Mollier la chaleur totale dans la vapeur humide.

3. **Chaleur dans la vapeur surchauffée.** — Notre diagramme entropique ci-après donne directement la chaleur dans la vapeur surchauffée.

On la calcule, connaissant le degré de surchauffe et la chaleur spécifique moyenne de la vapeur, dans les conditions correspondantes de température et de pression en ajoutant la chaleur ainsi trouvée à la chaleur de la vapeur saturée.

La table 4 donne les valeurs les plus récentes de C_{pm} d'après les travaux de Knoblauch et Raisch au laboratoire de l'école supérieure de Munich (donné dans *Zeit. d. Ver. D. Ing.*, 29 avril 1922).

La table 5 donne, d'après Mollier, la chaleur totale dans la vapeur surchauffée.

4. Valeurs de la chaleur spécifique moyenne de la vapeur surchauffée.

$P_{abs} =$	0,5 kg	1	2	4	6	8	10	12	14
$t_{sat} =$	80,9° c	99,4	119,6	142,9	158,1	169,6	179,4	187,1	194,4
<i>saturée</i>	0,479	0,486	0,499	0,525	0,531	0,578	0,605	0,633	0,663
120°	0,473	0,481	—	—	—	—	—	—	—
140	0,471	0,478	0,494	—	—	—	—	—	—
160	0,469	0,476	0,490	0,517	—	—	—	—	—
180	0,468	0,474	0,487	0,512	0,588	0,569	—	—	—
200	0,467	0,473	0,485	0,507	0,530	0,556	0,584	0,615	0,653
220	0,467	0,473	0,483	0,503	0,524	0,548	0,570	0,596	0,625
240	0,467	0,472	0,482	0,500	0,519	0,539	0,559	0,581	0,605
260	0,467	0,472	0,481	0,497	0,515	0,533	0,551	0,570	0,590
280	0,468	0,472	0,480	0,496	0,512	0,527	0,544	0,562	0,579
300	0,469	0,473	0,480	0,495	0,510	0,524	0,539	0,555	0,570
320	0,470	0,473	0,480	0,494	0,508	0,521	0,535	0,548	0,563
340	0,470	0,474	0,481	0,493	0,507	0,518	0,532	0,545	0,557
360	0,471	0,474	0,481	0,494	0,506	0,516	0,529	0,540	0,552
380	0,472	0,475	0,482	0,494	0,505	0,515	0,527	0,538	0,548
400	—	—	0,483	0,494	0,505	0,514	—	—	—
450	—	—	0,485	0,495	0,505	0,513	—	—	—
500	—	—	0,487	0,497	0,505	0,513	—	—	—
550	—	—	0,490	0,499	0,506	0,513	—	—	—

$P_{abs} =$	16	18	20	22	24	26	28	30
$t_{sat} =$	200,4	206,1	211,4	216,2	220,8	225,0	229,0	232,8
<i>saturée</i>	0,604	0,726	0,759	0,794	0,829	0,865	0,902	0,940
120°	—	—	—	—	—	—	—	—
140	—	—	—	—	—	—	—	—
160	—	—	—	—	—	—	—	—
180	—	—	—	—	—	—	—	—
200	—	—	—	—	—	—	—	—
220	0,657	0,692	0,733	0,779	—	—	—	—
240	0,631	0,659	0,689	0,722	0,758	0,799	0,844	0,893
260	0,611	0,635	0,658	0,684	0,712	0,742	0,772	0,806
280	0,597	0,617	0,636	0,658	0,680	0,703	0,727	0,751
300	0,585	0,603	0,619	0,638	0,656	0,675	0,695	0,714
320	0,577	0,592	0,607	0,622	0,638	0,654	0,670	0,686
340	0,570	0,583	0,597	0,610	0,623	0,637	0,651	0,665
360	0,565	0,576	0,588	0,600	0,612	0,624	0,635	0,648
380	0,560	0,570	0,581	—	—	—	—	—
400	—	—	—	—	—	—	—	—
450	—	—	—	—	—	—	—	—
500	—	—	—	—	—	—	—	—
550	—	—	—	—	—	—	—	—

5. Valeurs de la chaleur totale dans la vapeur surchauffée (d'après Mollier).

Pression		Température de la vapeur saturée ° C.	Chaleur totale en calories : Kg.											Pression absolue Kg/cm ²
absolue Kg/cm ²	Manométrique Kg/cm ²		de la vapeur surchauffée aux températures en ° C.											
			175	200	225	250	275	300	325	350	375	400		
3	2	132.8	673.9	686.5	699.	711.4	723.8	736	748.2	760.3	772.4	784.5	3	
3.5	2.5	138.1	673.2	685.9	698.5	711	723.3	735.7	747.9	760.1	772.2	784.3	3.5	
4	3	142.8	672.5	685.3	698	710.6	723	735.4	747.6	759.9	772	784.1	4	
4.5	3.5	147.1	671.7	684.7	697.5	710.2	722.6	735	747.3	759.6	771.8	784	4.5	
5	4	151.	671.2	684.1	697	709.7	722.3	734.7	747.1	759.4	771.6	783.8	5	
6	5	157.9	669.6	682.9	696	709.9	721.6	734.1	746.6	758.9	771.2	783.4	6	
7	6	164.	668.1	681.7	695	708	720.9	733.5	746	758.5	770.8	783.1	7	
8	7	169.5	666.7	680.5	694	707.2	720.2	732.9	745.5	758	770.4	782.7	8	
9	8	174.4	664.9	679.3	693	706.3	719.4	732.3	745	757.6	770	782.4	9	
10	9	178.9	666.1	678.1	692	705.5	718.7	731.6	744.5	757.1	769.6	782	10	
11	10	183.1	667.1	676.9	691	704.6	718.	731	743.9	756.6	769.2	781.7	11	
12	11	186.9	668.1	675.7	690	703.8	717.3	730.4	743.4	756.2	768.8	781.3	12	
13	12	190.6	668.9	674.5	689	702.5	716.6	729.8	742.9	755.7	768.4	781	13	
14	13	194	669.7	673.3	688	702.1	715.8	729.2	742.3	755.3	768	781.6	14	
15	14	197.2	670.5	672.1	687	701.2	715.1	728.5	741.8	754.8	767.6	780.3	15	
16	15	200.3	671.2	686	686	700.4	714.4	727.9	741.3	754.3	767.2	779.9	16	
18	17	206.1	672.4	684	684	698.7	713.9	726.7	740.2	753.4	766.4	779.2	18	
20	19	211.3	673.4	682	682	697	711.5	725.4	739.2	752.5	765.6	778.5	20	

6. Chaleur totale de la vapeur humide (eau à zéro) (d'après Mollier).

Pression alcoolue kg. cm ²	Pression kg. cm ²	Chaleur totale en calories par kg. (eau à zéro) d'après Mollier										Pression alcoolue kg. cm ²
		de la vapeur humide au litte.										
		0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	0,94	0,93	0,92			
Alcoolue kg. cm ²	de la vapeur sativée Mollier	558,1	658,0	642,9	637,9	632,8	627,7	622,6	617,5	5		
5	de la vapeur sativée Mollier	660,2	650,2	645,2	640,2	635,2	630,2	625,2	620,2	6		
6		662,0	652,1	647,1	642,2	637,2	632,2	627,3	622,3	7		
7		663,5	653,7	648,7	643,8	638,9	634,0	629,1	624,1	8		
8		664,9	655,1	650,3	645,4	640,5	635,6	630,7	625,9	9		
9		666,1	656,4	651,5	646,7	641,8	637,0	632,1	627,3	10		
10		667,1	657,5	652,7	647,9	643,0	638,2	633,4	628,6	11		
11		668,1	658,5	653,8	649,0	644,2	639,4	634,6	629,9	12		
12		668,9	659,4	654,6	649,9	645,1	640,4	635,7	631,0	13		
13		669,7	660,2	655,5	650,8	646,1	641,4	636,7	632,0	14		
14		670,5	661,1	656,4	651,7	647,0	642,3	637,6	632,9	15		
15		671,2	661,8	657,2	652,5	647,8	643,2	638,5	633,8	16		
16		672,4	663,1	658,5	653,9	649,0	644,6	640,0	635,4	17		
17										18		

7. Table des propriétés de la vapeur saturée sèche entre 0 et 20 kgs.
(Pression, volume, entropie, température), d'après Zeuner.

PRESSION ABSOLUE ou tension	TEMPÉRATURE CENTIGRADE	CHALEUR DU LIQUIDE	CHALEUR TOTALE dans la vapeur ($\lambda = q + r$)	CHALEUR LATENTE de vaporisation $r = q + APu$			VARIAION DE VOLUME dans la vaporisation $\kappa = v - v'$	POIDS SPÉCIFIQUE de la vapeur $\gamma = \frac{1}{v}$	ENTROPIE du kilog. d'eau liquide $z = \int \frac{1}{cdt}$ Acroissement d'entropie dans la vaporisation $= \frac{T}{T'}$	ENTROPIE d'un kilog. de vapeur saturée sèche $z = \frac{T}{T'}$	T TEMPÉRATURE ABSOLUE
p kg: cm ²	°	q	λ	Totale	Interne	Externe	in ³	kg. par m ³	z	$\frac{T}{T'}$	T
0,1	45,58	45,65	620,40	574,75	539,35	35,41	15,012	0,067	0,155	1,804	318,58
0,2	59,76	59,89	624,73	564,84	528,13	36,70	7,781	0,129	0,198	1,698	332,76
0,3	68,74	68,93	627,47	558,53	521,03	37,51	5,301	0,189	0,225	1,634	341,74
0,4	75,47	75,71	629,52	553,81	515,71	38,10	4,039	0,248	0,245	1,589	348,47
0,5	80,90	81,19	631,17	549,99	511,41	38,58	3,271	0,306	0,260	1,551	353,90
0,6	85,48	85,82	632,57	546,75	507,78	38,97	2,754	0,363	0,273	1,525	358,48
0,7	89,47	89,84	633,79	543,94	504,63	39,31	2,381	0,420	0,285	1,501	362,47
0,8	93,00	93,43	634,67	541,44	501,84	39,60	2,099	0,476	0,294	1,479	366,00
0,9	96,19	96,64	635,84	539,20	499,32	39,88	1,879	0,532	0,303	1,461	369,19
1,0	99,09	99,58	636,72	537,15	497,02	40,13	1,701	0,587	0,311	1,444	372,09
1,1	101,76	102,28	637,54	535,26	494,91	40,35	1,555	0,643	0,318	1,428	374,76
1,2	104,24	104,79	638,29	533,50	492,95	40,55	1,433	0,697	0,325	1,414	377,24

1,3	106,55	107,14	639,00	531,86	491,12	40,74	1,329	0,752	0,331	1,401	379,55
1,4	108,72	109,34	639,66	530,33	489,41	40,92	1,339	0,806	0,337	1,389	381,72
1,5	110,76	111,42	640,28	528,87	487,79	41,08	1,161	0,860	0,342	1,378	383,76
1,6	112,70	113,38	640,87	527,49	486,26	41,24	1,093	0,914	0,348	1,368	385,70
1,7	114,54	115,25	641,43	526,18	484,80	41,38	1,032	0,968	0,352	1,358	387,54
1,8	116,20	117,03	641,97	524,94	483,42	41,52	0,978	1,021	0,357	1,348	389,29
1,9	117,97	118,84	642,48	523,74	482,09	41,65	0,930	1,075	0,361	1,339	390,97
2,0	119,57	120,37	642,97	522,60	480,82	41,78	0,886	1,128	0,365	1,331	392,57
2,1	121,11	121,94	643,44	521,50	479,60	41,90	0,846	1,181	0,369	1,323	394,11
2,2	122,59	123,44	643,90	520,46	478,43	42,03	0,810	1,233	0,373	1,316	395,59
2,3	124,02	124,90	644,33	519,43	477,30	42,13	0,777	1,286	0,377	1,308	397,02
2,4	125,40	126,30	644,75	518,44	476,21	42,23	0,746	1,339	0,380	1,301	398,40
2,5	126,73	127,66	645,15	517,49	475,16	42,33	0,718	1,391	0,384	1,295	399,73
2,6	128,02	128,97	645,55	516,57	474,14	42,43	0,692	1,443	0,387	1,288	401,02
2,7	129,26	130,25	645,93	515,68	473,15	42,53	0,668	1,495	0,390	1,282	402,26
2,8	130,48	131,48	646,30	514,81	472,19	42,62	0,645	1,545	0,393	1,276	403,48
2,9	131,65	132,68	646,65	513,97	471,26	42,71	0,624	1,599	0,396	1,270	404,65
3,0	132,80	133,85	647,00	513,15	470,36	42,79	0,605	1,651	0,399	1,265	405,80
3,1	133,91	134,99	647,37	512,35	469,48	42,88	0,586	1,702	0,402	1,259	406,91
3,2	135,00	136,10	647,68	511,57	468,62	42,96	0,569	1,754	0,405	1,254	408,00
3,3	136,06	137,18	648,00	510,81	467,78	43,04	0,553	1,805	0,407	1,249	409,06
3,4	137,09	138,24	648,31	510,07	466,96	43,11	0,538	1,857	0,410	1,244	410,09
3,5	138,10	139,27	648,62	509,35	466,16	43,19	0,523	1,908	0,413	1,239	411,10
3,6	139,09	140,28	648,95	508,67	465,38	43,29	0,510	1,959	0,415	1,234	412,09
3,7	140,05	141,27	649,22	507,95	464,62	43,33	0,497	2,010	0,417	1,230	413,05
3,8	141,00	142,23	649,50	507,27	463,88	43,40	0,484	2,061	0,420	1,225	413,99
3,9	141,92	143,18	649,78	506,61	463,15	43,46	0,473	2,112	0,422	1,221	414,92
4,0	142,82	144,10	650,06	505,96	462,43	43,53	0,461	2,163	0,424	1,217	415,82
4,1	143,71	145,01	650,33	505,32	461,73	43,59	0,451	2,213	0,426	1,213	416,71
4,2	144,58	145,90	650,60	504,70	461,04	43,66	0,441	2,264	0,429	1,209	417,58
4,3	145,43	146,78	650,86	504,08	460,37	43,72	0,431	2,314	0,431	1,205	418,43
4,4	146,27	147,66	651,11	503,48	459,70	43,77	0,422	2,365	0,433	1,201	419,27

Table des propriétés de la vapeur saturée sèche (suite).

PRESSION ABSOLUE kg : cm ² ou tension	TEMPÉRATURE CENTIGRADE t°	CHALEUR DU LIQUIDE q	CHALEUR LATENTE de vaporisation $r = \rho + APu$			VARIATION DE VOLUME dans la vaporisation $v = v' - v$ m ³	POIDS SPÉCIFIQUE de la vapeur $\gamma = \frac{1}{v}$ kg. par m ³	ENTROPIE d'un kilog. de vapeur saturée sèche $q = \tau + \frac{r}{T}$	TEMPÉRATURE ABSOLUE T
			Totale r	Interne ρ	Externe APu				
4,5	147,09	148,48	502,89	459,05	43,83	0,413	2,445	0,435	420,09
4,6	147,90	149,30	502,31	458,42	43,89	0,405	2,465	0,437	420,90
4,7	148,69	150,12	501,73	457,79	43,95	0,396	2,516	0,439	421,69
4,8	149,47	150,92	501,17	457,17	44,00	0,389	2,566	0,440	422,47
4,9	150,24	151,71	500,62	456,56	44,05	0,381	2,616	0,442	423,24
5,0	150,99	152,48	500,07	455,97	44,11	0,374	2,667	0,444	423,99
5,1	151,73	153,24	499,54	455,38	44,16	0,367	2,717	0,446	424,73
5,2	152,47	153,99	499,01	454,80	44,21	0,361	2,766	0,448	425,47
5,3	153,19	154,73	498,49	454,23	44,26	0,354	2,816	0,449	426,19
5,4	153,90	155,46	497,98	453,67	44,31	0,348	2,866	0,451	426,90
5,5	154,59	156,18	497,47	453,12	44,36	0,342	2,916	0,453	427,59
5,6	155,28	156,89	496,97	452,57	44,40	0,336	2,965	0,455	428,28

5,6	157,29	158,95	654,47	495,52	450,00	457,51	44,43	0,325	3,064	0,458	1,155	429,63
5,9	157,29	158,95	654,47	495,52	450,00	457,51	44,43	0,320	3,114	0,459	1,152	430,29
6,0	157,94	159,63	654,66	495,05	450,47	450,47	44,58	0,315	3,164	0,461	1,149	430,94
6,1	158,59	160,29	654,87	494,58	449,96	449,96	44,62	0,310	3,213	0,462	1,146	431,59
6,2	159,22	160,94	655,06	494,12	449,46	449,46	44,67	0,306	3,262	0,464	1,143	432,22
6,3	159,85	161,59	655,25	493,67	448,96	448,96	44,71	0,301	3,312	0,465	1,141	432,85
6,4	160,47	162,22	655,44	493,22	448,47	448,47	44,75	0,297	3,361	0,467	1,138	433,47
6,5	161,08	162,85	655,63	492,78	447,99	447,99	44,79	0,292	3,410	0,468	1,135	434,08
6,6	161,68	163,47	655,81	492,34	447,51	447,51	44,83	0,288	3,460	0,470	1,133	434,68
6,7	162,28	164,09	656,00	491,91	447,04	447,04	44,87	0,284	3,508	0,471	1,130	435,28
6,8	162,87	164,70	656,18	491,48	446,57	446,57	44,91	0,280	3,558	0,473	1,128	435,87
6,9	163,45	165,30	656,35	491,06	446,11	446,11	44,95	0,276	3,607	0,474	1,125	436,45
7,0	164,03	165,89	656,53	490,64	445,65	445,65	44,99	0,273	3,656	0,475	1,123	437,03
7,1	164,60	166,48	656,70	490,22	445,20	445,20	45,02	0,269	3,705	0,477	1,120	437,60
7,2	165,16	167,06	656,87	489,82	444,76	444,76	45,06	0,265	3,755	0,478	1,118	438,16
7,3	165,72	167,63	657,04	489,41	444,32	444,32	45,09	0,262	3,803	0,479	1,116	438,72
7,4	166,27	168,20	657,21	489,01	443,88	443,88	45,13	0,259	3,852	0,481	1,113	439,27
7,5	166,82	168,76	657,38	488,62	443,45	443,45	45,17	0,255	3,901	0,482	1,111	439,82
7,6	167,36	169,32	657,54	488,22	443,02	443,02	45,20	0,252	3,949	0,483	1,109	440,36
7,7	167,89	169,87	657,71	487,83	442,60	442,60	45,23	0,249	3,998	0,484	1,107	440,89
7,8	168,42	170,42	657,87	487,45	442,18	442,18	45,27	0,246	4,046	0,486	1,104	441,42
7,9	168,94	170,96	658,03	487,07	441,77	441,77	45,30	0,243	4,096	0,487	1,102	441,94
8,0	169,46	171,49	658,18	486,69	441,36	441,36	45,33	0,240	4,144	0,488	1,100	442,46
8,1	169,97	172,02	658,34	486,32	440,95	440,95	45,37	0,238	4,192	0,489	1,098	442,97
8,2	170,48	172,55	658,50	485,95	440,55	440,55	45,40	0,235	4,242	0,490	1,096	443,48
8,3	170,98	173,07	658,65	485,58	440,15	440,15	45,43	0,232	4,289	0,492	1,094	443,98
8,4	171,48	173,58	658,80	485,22	439,76	439,76	45,46	0,230	4,338	0,493	1,092	444,48
8,5	171,98	174,09	658,95	484,86	439,37	439,37	45,49	0,227	4,387	0,494	1,090	444,98
8,6	172,47	174,60	659,10	484,50	438,98	438,98	45,52	0,224	4,436	0,495	1,088	445,47
8,7	172,95	175,10	659,24	484,15	438,60	438,60	45,55	0,222	4,484	0,496	1,086	445,95
8,8	173,43	175,60	659,40	483,80	438,22	438,22	45,58	0,220	4,532	0,497	1,084	446,43
8,9	173,91	176,09	659,54	483,45	437,84	437,84	45,61	0,217	4,580	0,498	1,082	446,91

Table des propriétés de la vapeur saturée sèche (suite).

PRESSION ABSOLUE ou tension kg. cm ²	TEMPÉRATURE CENTIGRADE t°	CHALEUR LATENTE de vaporisation $r = q + A\mu$			VARIATION DE VOLUME dans la vaporisation $v = v' - v$ m ³	POIDS SPÉCIFIQUE de la vapeur $\gamma = \frac{1}{v}$ kg. par m ³	ENTROPIE d'un kilog. de vapeur saturée sèche $\varphi = z + \int \frac{r}{T}$	TEMPÉRATURE ABSOLUE T
		CHALEUR DE LIQUIDE q	CHALEUR TOTALE dans la vapeur ($\lambda = q + r$) λ	Totale r				
9,0	174,38	176,58	659,69	483,11	437,47	45,64	447,38	
9,1	174,85	177,06	659,83	482,77	437,10	45,67	447,85	
9,2	175,31	177,54	659,97	482,43	436,73	45,70	448,31	
9,3	175,77	178,02	660,11	482,09	436,37	45,73	448,77	
9,4	176,23	178,49	660,25	481,76	436,01	45,76	449,23	
9,5	176,68	178,97	660,39	481,43	435,65	45,78	449,68	
9,6	177,13	179,42	660,52	481,10	435,29	45,81	450,13	
9,7	177,57	179,88	660,66	480,78	434,94	45,84	450,57	
9,8	178,01	180,34	660,80	480,45	434,59	45,86	451,01	
9,9	178,45	180,79	660,93	480,14	434,25	45,89	451,45	
10,00	178,89	181,24	661,06	479,82	433,90	45,92	451,89	
10,25	179,96	182,35	661,39	479,03	433,05	45,98	452,56	
10,50	180,99	183,41	661,70	478,24	432,20	46,04	453,23	
10,75	181,99	184,43	662,00	477,45	431,35	46,10	453,90	
11,00	182,96	185,41	662,28	476,66	430,50	46,16	454,57	
11,25	183,90	186,36	662,55	475,87	429,65	46,22	455,24	
11,50	184,82	187,28	662,81	475,07	428,80	46,28	455,91	
11,75	185,71	188,17	663,06	474,27	427,95	46,34	456,58	
12,00	186,58	189,03	663,30	473,46	427,10	46,40	457,25	
12,25	187,43	189,87	663,53	472,65	426,25	46,46	457,92	
12,50	188,26	190,68	663,75	471,83	425,40	46,52	458,59	
12,75	189,07	191,47	663,96	471,01	424,55	46,58	459,26	
13,00	189,86	192,24	664,16	470,19	423,70	46,64	459,93	
13,25	190,63	192,99	664,35	469,36	422,85	46,70	460,60	
13,50	191,38	193,72	664,53	468,53	422,00	46,76	461,27	
13,75	192,11	194,43	664,70	467,69	421,15	46,82	461,94	
14,00	192,82	195,12	664,86	466,85	420,30	46,88	462,61	
14,25	193,51	195,79	665,01	466,00	419,45	46,94	463,28	
14,50	194,18	196,44	665,15	465,15	418,60	46,99	463,95	
14,75	194,83	197,07	665,28	464,30	417,75	47,05	464,62	
15,00	195,46	197,69	665,40	463,45	416,90	47,11	465,29	
15,25	196,07	198,29	665,51	462,60	416,05	47,17	465,96	
15,50	196,66	198,87	665,61	461,75	415,20	47,23	466,63	
15,75	197,23	199,44	665,70	460,90	414,35	47,29	467,30	
16,00	197,78	199,99	665,78	460,05	413,50	47,35	467,97	
16,25	198,31	200,53	665,85	459,20	412,65	47,41	468,64	
16,50	198,82	201,05	665,91	458,35	411,80	47,47	469,31	
16,75	199,31	201,56	665,96	457,50	410,95	47,53	469,98	
17,00	199,78	202,05	666,00	456,65	410,10	47,59	470,65	
17,25	200,23	202,53	666,03	455,80	409,25	47,65	471,32	
17,50	200,66	202,99	666,05	454,95	408,40	47,71	471,99	
17,75	201,07	203,44	666,06	454,10	407,55	47,77	472,66	
18,00	201,46	203,87	666,06	453,25	406,70	47,83	473,33	
18,25	201,83	204,29	666,05	452,40	405,85	47,89	474,00	
18,50	202,18	204,69	666,03	451,55	405,00	47,95	474,67	
18,75	202,51	205,07	666,00	450,70	404,15	48,01	475,34	
19,00	202,82	205,44	666,00	450,00	403,30	48,07	476,01	
19,25	203,11	205,79	666,00	449,30	402,45	48,13	476,68	
19,50	203,38	206,12	666,00	448,60	401,60	48,19	477,35	
19,75	203,63	206,44	666,00	447,90	400,75	48,25	478,02	
20,00	203,86	206,75	666,00	447,20	400,00	48,31	478,69	

10,75	182,04	184,51	682,02	477,51	431,41	46,10	0,182	5,469	0,517	1,049	455,04
11,00	183,05	185,56	602,33	476,77	430,61	46,16	0,178	5,589	0,519	1,045	456,05
11,25	184,05	186,60	602,64	476,04	429,82	46,22	0,174	5,707	0,522	1,042	457,05
11,50	185,03	187,61	602,93	475,32	429,04	46,28	0,171	5,826	0,524	1,038	458,03
11,75	185,99	188,61	603,23	474,62	428,28	46,33	0,167	5,944	0,526	1,034	458,99
12,00	186,90	189,59	603,52	473,92	427,53	46,39	0,164	6,063	0,528	1,030	459,90
12,25	187,87	190,56	603,80	473,24	426,80	46,44	0,161	6,183	0,530	1,027	460,87
12,50	188,78	191,51	604,08	472,57	426,07	46,49	0,158	6,300	0,532	1,023	461,78
12,75	189,69	192,45	604,35	471,90	425,36	46,54	0,155	6,417	0,534	1,020	462,69
13,00	190,57	193,38	604,63	471,25	424,66	46,59	0,152	6,534	0,536	1,017	463,57
13,25	191,45	194,29	604,90	470,61	423,96	46,64	0,149	6,656	0,538	1,013	464,45
13,50	192,31	195,18	605,16	469,97	423,28	46,69	0,147	6,773	0,540	1,010	465,31
13,75	193,16	196,07	605,41	469,34	422,61	46,74	0,144	6,890	0,542	1,007	466,16
14,00	194,00	196,94	605,69	468,73	421,95	46,78	0,142	7,006	0,544	1,004	467,00
14,25	194,83	197,81	605,92	468,12	421,29	46,83	0,139	7,126	0,546	1,001	467,83
14,50	195,64	198,66	606,17	467,52	420,65	46,87	0,137	7,244	0,548	0,998	468,04
14,75	196,45	199,50	606,42	466,92	420,01	46,91	0,135	7,362	0,549	0,995	469,45
15,00	197,24	200,32	606,66	466,34	419,38	46,96	0,133	7,477	0,551	0,992	470,24
16,00	200,32	203,53	607,60	464,07	416,95	47,12	0,125	7,943	0,558	0,980	473,32
17,00	203,20	206,67	608,49	461,83	414,62	47,21	0,118	8,418	0,565	0,970	476,26
18,00	206,07	209,54	609,35	459,81	412,40	47,41	0,112	8,895	0,571	0,960	479,07
19,00	208,75	212,35	670,1	457,82	410,28	47,54	0,106	9,328	0,577	0,950	481,75
20,00	211,34	215,07	670,96	455,89	408,23	47,66	0,101	9,794	0,582	0,941	484,34

8. Propriétés de la vapeur d'eau saturée sèche entre 0° et 130° (chiffres de Mollier).

Température degré	Tension		Volume spécifique m ³ /kgr.	Poids spécifique. kgr./m ³	Chaleurs				Entropie		
	kg/cm ²	m/m mercure			totale λ	du liquide q	r	de vaporisation φ	A.P.u.	τ	$\tau + \frac{T}{T}$
0	0,0083	4,60	204,97	0,00488	594,7	0	594,7	564,7	30,02	0,0000	2,1783
5	0,0089	6,53	146,93	0,00681	597,1	5,0	592,1	561,5	30,56	0,0182	2,1297
10	0,0125	9,17	106,62	0,00938	599,4	10,0	589,4	558,3	31,11	0,03600	2,0828
15	0,0173	12,70	78,23	0,01278	601,8	15,0	586,8	555,1	31,65	0,0535	2,0374
20	0,0236	17,40	58,15	0,01720	604,1	20,0	584,1	551,9	32,19	0,0707	1,9936
25	0,0320	23,6	43,667	0,02290	606,5	25,0	581,5	548,7	32,74	0,0877	1,9512
30	0,0429	31,5	33,132	0,03018	608,8	30,0	578,8	545,5	33,28	0,1044	1,9102
35	0,0569	41,8	25,393	0,03938	611,1	35,0	576,1	542,3	33,81	0,1208	1,8704
40	0,0747	54,9	19,650	0,05089	613,5	40,1	573,4	539,1	34,34	0,1369	1,8319
45	0,0971	71,4	15,346	0,06516	615,8	45,1	570,7	535,8	34,88	0,1528	1,7946
50	0,125	92,0	12,091	0,08271	618,0	50,1	567,9	532,5	35,41	0,1685	1,7583
55	0,160	117,5	9,607	0,10409	620,3	55,1	565,2	529,3	35,93	0,1839	1,7231
60	0,202	148,8	7,695	0,12995	622,6	60,1	562,4	526,0	36,45	0,1991	1,6889
65	0,254	186,9	6,211	0,16100	624,8	65,2	559,6	522,7	36,96	0,2141	1,6556

Propriétés de la vapeur d'eau saturée sèche entre 0° et 130° (chiffres de Mollier) (suite).

Température degré	Tension		Volume spécifique m ³ / kgr.	Poids spécifique kgr/m ³	Chaleurs				Entropie		
	kg/ cm ²	m/m mercure			totale λ	du liquide q	r	de vaporisation ρ	A.P.H.U.	τ	$\frac{r}{T}$
70	0,317	233,1	5,050	0,19800	627,0	70,2	556,8	519,3	37,47	0,2289	1,6233
75	0,392	288,5	4,1353	0,2418	629,2	75,3	553,9	516,0	37,97	0,2435	1,5917
80	0,482	354,6	3,4085	0,2934	631,3	80,3	551,0	512,6	38,47	0,2579	1,5610
85	0,589	433,0	2,8272	0,3537	633,5	85,3	548,1	509,3	38,96	0,2721	1,5310
90	0,714	525,4	2,3592	0,4239	635,6	90,4	545,2	505,7	39,45	0,2861	1,5018
95	0,862	633,7	1,9797	0,5051	637,6	95,5	542,2	502,2	39,92	0,2999	1,4732
100	1,033	760,0	1,6702	0,5987	639,7	100,5	539,1	498,7	40,39	0,3136	1,4453
105	1,232	906	1,4166	0,7059	641,7	105,6	536,1	495,2	40,85	0,3271	1,4181
110	1,462	1075	1,2073	0,8283	643,6	110,7	532,9	491,6	41,30	0,3404	1,3915
115	1,726	1269	1,0338	0,9673	645,5	115,8	529,8	488,0	41,74	0,3536	1,3654
120	2,027	1491	0,8894	1,1243	647,4	120,9	526,6	484,4	42,17	0,3666	1,3398
125	2,371	1744	0,7681	1,3018	649,2	126,0	523,3	480,7	42,59	0,3795	1,3148
130	2,760	2030	0,6664	1,5005	651,0	131,1	520,0	477,0	43,00	0,3922	1,2902

DIAGRAMME ENTROPIQUE

Diagramme entropique Izart pour les calculs relatifs à la vapeur saturée, humide ou surchauffée⁽¹⁾. — Nous avons étudié ce diagramme pour permettre de résoudre rapidement et sans calculs tous les problèmes relatifs à l'emploi de la vapeur. Il est calculé avec les formules que nous avons exposées dans la *Revue de mécanique* de février 1909 et diffère des diagrammes analogues publiés par Mollier, Stodola, etc., en ce qu'on a pris pour base les valeurs des chaleurs spécifiques moyennes à volume et à pression constants, données par Knoblauch et Jakob, au lieu des coefficients constants usuellement employés, qui entraînent d'assez grosses erreurs.

Exemples d'emploi pratique du diagramme. — Nous choisissons ci-après quelques exemples de questions pouvant être rapidement et exactement solutionnées par l'emploi du fragment de diagramme entropique figure 12.

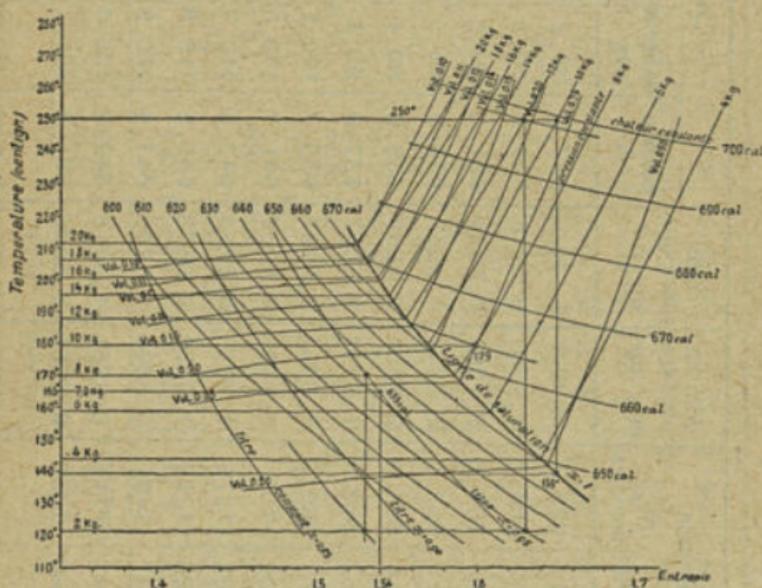


FIG. 12.

Diagramme Izart pour calculs de vapeur surchauffée ou humide.

(1) On peut se le procurer chez l'auteur, 122, rue de Paris, à Sannois (Seine-et-Oise), au prix de 15 fr. plus frais d'envoi.

Ils montreront que son usage permet de solutionner simplement, rapidement et de façon précise, des problèmes qui nécessiteraient de fort longs calculs analytiques.

Conditions de la vapeur dans un état donné. — Étant donné une vapeur saturée humide à la température 165° centigrade et au titre $x = 0,95$, trouver la pression absolue, la chaleur totale, le volume spécifique et l'entropie de cette vapeur.

Prenons sur la courbe de titre constant $x = 0,95$ le point correspondant à la température 165° . Ce point nous donne comme valeur de l'entropie $\varphi = 1,540$. Par interpolation, nous voyons que le volume spécifique du kilogramme de vapeur est égal à $0,265 \text{ m}^3$ par kilogramme ; quant à la pression, la même interpolation entre les courbes 6 et 8 kilogrammes nous montre que la pression est de $7,2 \text{ kg.}$; quant à la chaleur totale, l'interpolation entre les courbes 640 et 650 calories nous donne 633 calories.

Détente de la vapeur sans travail extérieur (laminage et surchauffe qui en résultent). — On sait que lorsque la détente se produit sans travail extérieur, l'énergie thermique est invariable. Ce fait se trouve dans l'étranglement ou laminage de la vapeur qui a lieu fréquemment dans les conduites ou machines motrices. Sur le diagramme, les lignes correspondant à ces modes particuliers de cette détente sont les courbes d'égale chaleur constante.

Trouver quel sera, après étranglement ou laminage, l'état d'une vapeur saturée à 12 kilogrammes, la pression étant abaissée par étranglement jusqu'à 8 kilogrammes.

Si nous supposons que cette vapeur était initialement sèche, prenons sur la ligne de saturation la courbe d'égale chaleur constante correspondant à la pression 12 kilogrammes et suivons-la jusqu'à son point de rencontre avec la ligne d'égale pression correspondant à 8 kilogrammes.

Nous voyons que le point de rencontre est dans la région surchauffe, la détente sans travail extérieur équivalant, comme nous venons de le dire, à une surchauffe de la vapeur. L'échelle des températures nous montre qu'à l'état final notre vapeur détendue à 8 kilogrammes possède une température de 179° , ce qui donne un degré de surchauffe d'environ 10° centigrades par rapport à la température de la vapeur saturée sous la même pression.

Si nous étions partis d'une vapeur humide de titre connu $x = 0,9$ par exemple, l'effet de la détente sans travail extérieur aurait été d'accroître ce titre. Dans les mêmes conditions de pression énoncées ci-dessus, le titre de la vapeur aurait passé de $x = 0,9$ à $x = 0,915$ environ comme on lit par interpolation.

On pourra utiliser avantageusement ces exemples pour la mesure de l'humidité de la vapeur au calorimètre de détente.

Conditions de la vapeur se détendant adiabatiquement avec travail

extérieur. — Trouver l'état final d'une vapeur à 12 kilogrammes surchauffée à 300° se détendant adiabatiquement jusqu'à 1 kilogramme absolu (pression atmosphérique sensiblement).

Prenant sur la ligne de saturation la courbe d'égale pression correspondant à $p = 12$ kilogrammes, nous la suivons dans la région surchauffée jusqu'à son point de rencontre avec l'horizontale correspondant à la température $t = 300^\circ \text{C}$.

Ce point de rencontre nous indique que la quantité de chaleur totale de la vapeur dans cet état de surchauffe est d'environ 726 calories. Prenant l'adiabatique suivant laquelle se fait la détente, cette adiabatique étant ici la verticale passant par le point que nous venons de déterminer, nous cherchons son point d'intersection avec la ligne d'égale pression correspondant à $p = 1$ kilogramme. Cette rencontre a lieu dans la région vapeur humide, sur la ligne de titre constant $x = 0,95$.

La quantité de chaleur contenue dans la vapeur en son état final est d'environ 609 calories. Quant à la température, elle est de $99^\circ,5$.

Ainsi, les propriétés de la vapeur dans son état initial étaient :

Pression = 12 kilogrammes absolus ;

Température (surchauffe) = 300°C . ;

Chaleur totale = 726 calories.

Dans l'état final, les nouvelles caractéristiques sont :

Pression = 1 kilogramme absolu ;

Température (saturée) = $99^\circ,6 \text{C}$. ;

Titre = 0,95 ;

Quantité de chaleur totale = 609 calories.

Travail extérieur accompli durant la détente adiabatique. —

D'après ce que nous avons vu, la quantité de chaleur transformée en travail durant cette détente supposée parfaite, c'est-à-dire abstraction faite de toutes causes étrangères, telles que frictions, etc., venant abaisser le travail utile récupérable, est égale à la différence des chaleurs totales de la vapeur dans son état initial et son état final, multiplié par l'équivalent mécanique de la chaleur $E = 425$ kilogrammètres.

Dans l'exemple précédent, nous avons trouvé $Q = 726$ et $Q = 609$ calories dont la différence est $Q = 117$ calories ; on trouve donc 49.725 kilogrammètres, libérés par kilogramme de vapeur consommée.

Vapeur consommée par cheval-heure dans des conditions de détente données. — Le cheval-vapeur est égal à 75 kilogrammètres par seconde, soit 270.000 kilogrammètres par heure ou, en calories, 563 calories en chiffres ronds.

Une machine fonctionnant dans les conditions de détente indiquées

dans l'exemple précédent consommera donc par cheval et par heure :

$$\frac{635}{117} = 5,43 \text{ kg. de vapeur.}$$

Recherche du point où une vapeur surchauffée devient saturée par détente. — L'on peut déterminer aisément le moment où une vapeur surchauffée dans un état donné devient saturée. Par exemple : *Trouver à quelle pression une vapeur à 10 kilogrammes surchauffée à 250° devient saturée par détente ?*

Comme tout à l'heure, le point figuratif s'obtient en prenant dans la région surchauffée l'intersection entre l'horizontale correspondant à $t = 250^\circ$ et la ligne d'égale pression correspondant à $p = 10$ kilogrammes, suivant la verticale passant par ce point jusqu'à sa rencontre avec la ligne de saturation, nous voyons qu'une telle vapeur atteindra l'état de saturation sèche, lorsque sa pression sera 3,6 kg. et sa température 139° sensiblement.

Abaissement du titre de la vapeur saturée par détente (condensation partielle). — La détente avec travail extérieur de la vapeur saturée a pour effet d'abaisser son titre; on trouvera l'humidité finale de la vapeur par le même mécanisme exactement que nous venons d'appliquer dans l'exemple précédent; ainsi, trouver le titre final d'une vapeur dont les conditions initiales sont :

Pression = 8 kilogrammes ;

Titre = 0,95,

la pression finale étant, après détente, de 1 kilogramme absolu.

Prenant sur la ligne d'égale pression correspondant à la pression 8 kilogrammes, le point d'intersection avec la courbe de titre constant $x = 0,95$, nous abaissons une verticale jusqu'à son point de rencontre avec la ligne d'égale pression correspondant à 1 kilogramme. On voit ainsi que le titre final de la vapeur est devenu $x = 0,85$.

Ces quelques exemples suffiront, croyons-nous, à édifier le lecteur sur le réel côté pratique de notre diagramme.

ÉCOULEMENT DE LA VAPEUR

Mouvement de la vapeur sous pression. — Voir pour cette détermination le chapitre v ci-après.

Calcul des conduites de vapeur. — Voir pour cette détermination le paragraphe du chapitre vi spécial aux canalisations de vapeur.

PROPRIÉTÉS DE L'AIR AUX PRESSIONS AMBIANTES

1. **Poids et volume de l'air sec.** — L'air sec à zéro et 760 a un poids spécifique de :

$$\delta_0 = 1,293 \text{ kilogramme par mètre cube,}$$

et un volume spécifique de :

$$\gamma_0 = \frac{1}{1,293} = 0,773 \text{ mètre cube par kilogramme.}$$

A *pression constante* de 760 et à la température t il y a un poids spécifique de :

$$\delta_t = 1,293 \times \frac{1}{1 + \alpha t} \text{ kilogramme par mètre cube.}$$

et un volume spécifique de :

$$\gamma_t = 0,773 \times (1 + \alpha t) \text{ mètre cube par kilogramme.}$$

Les valeurs de $\frac{1}{(1 + \alpha t)}$ et $(1 + \alpha t)$ sont données par la table ci-après pour les températures entre 0 et 1.500 degrés.

EXEMPLES. — Un mètre cube d'air à 100° et 760 pèse :

$$\delta_0 \times \left(\frac{1}{1 + \alpha t} \right) = 1,293 \times 0,732 = 0^{\text{kg}},946.$$

Un mètre cube d'air à zéro et 760 devient à 100° :

$$V_0 \times (1 + \alpha t) = 1 \times 1,366 = 1^{\text{m}},366.$$

Un kilogramme d'air à 100° et 760 a un volume :

$$\gamma_0 \times (1 + \alpha t) = 0,773 (1,366) = 1^{\text{m}},056.$$

A *pression variable* H (en millimètres de mercure) et à la température t il a un poids spécifique :

$$\delta_{nt} = 1,293 \cdot \frac{1}{1 + \alpha t} \cdot \frac{H}{760}$$

et un volume spécifique :

$$\gamma_{nt} = 0,773 (1 + \alpha t) \cdot \frac{760}{H}$$

EXEMPLES. — Un mètre cube d'air à 100° et à 700 millimètres pèse :

$$1,293 \times 0,732 \frac{700}{760} = 0^{\text{kg}},871$$

2. Table du poids de l'air sec, à 760 millimètres aux différentes températures.

<i>t</i>	P		P	<i>t</i>	P	<i>t</i>	P
degrés	kilog.	degrés	kilog.	degrés	kilog.	degrés	kilog.
- 25	1,4234	18	1,2127	61	1,0564	104	0,9356
- 24	1,4177	19	1,2085	62	1,0534	105	0,9331
- 23	1,4120	20	1,2044	63	1,0502	106	0,9307
- 22	1,4063	21	1,2003	64	1,0471	107	0,9282
- 21	1,4008	22	1,1962	65	1,0438	108	0,9258
- 20	1,3952	23	1,1922	66	1,0407	109	0,9234
- 19	1,3897	24	1,1881	67	1,0376	110	0,9209
- 18	1,3842	25	1,1842	68	1,0345	111	0,9185
- 17	1,3788	26	1,1802	69	1,0314	112	0,9162
- 16	1,3734	27	1,1762	70	1,0285	113	0,9138
- 15	1,3681	28	1,1723	71	1,0253	114	0,9114
- 14	1,3628	29	1,1684	72	1,0224	115	0,9091
- 13	1,3576	30	1,1646	73	1,0193	116	0,9067
- 12	1,3534	31	1,1607	74	1,0162	117	0,9044
- 11	1,3472	32	1,1569	75	1,0130	118	0,9021
- 10	1,3421	33	1,1531	76	1,0100	119	0,8998
- 9	1,3370	34	1,1494	77	1,0072	120	0,8975
- 8	1,3319	35	1,1456	78	1,0044	121	0,8952
- 7	1,3269	36	1,1423	79	1,0016	122	0,8929
- 6	1,3219	37	1,1382	80	0,9996	123	0,8907
- 5	1,3170	38	1,1346	81	0,9968	124	0,8884
- 4	1,3121	39	1,1308	82	0,9940	125	0,8862
- 3	1,3072	40	1,1273	83	0,9912	126	0,8840
- 2	1,3024	41	1,1237	84	0,9883	127	0,8818
- 1	1,2976	42	1,1201	85	0,9854	128	0,8796
0	1,2928	43	1,1164	86	0,9826	129	0,8774
1	1,2881	44	1,1129	87	0,9798	130	0,8752
2	1,2834	45	1,1095	88	0,9773	131	0,8730
3	1,2787	46	1,1058	89	0,9746	132	0,8709
4	1,2741	47	1,1025	90	0,9718	133	0,8687
5	1,2695	48	1,0990	91	0,9691	134	0,8666
6	1,2649	49	1,0955	92	0,9664	135	0,8644
7	1,2604	50	1,0923	93	0,9638	136	0,8623
8	1,2559	51	1,0887	94	0,9612	137	0,8602
9	1,2515	52	1,0854	95	0,9585	138	0,8581
10	1,2470	53	1,0821	96	0,9559	139	0,8560
11	1,2426	54	1,0788	97	0,9534	140	0,8540
12	1,2383	55	1,0757	98	0,9508	141	0,8519
13	1,2399	56	1,0713	99	0,9482	142	0,8498
14	1,2296	57	1,0682	100	0,9457	143	0,8478
15	1,2253	58	1,0650	101	0,9431	144	0,8458
16	1,2211	59	1,0620	102	0,9406	145	0,8437
17	1,2169	60	1,0595	103	0,9381	146	0,8417

Table du poids de l'air sec, à 760 millimètres
aux différentes températures (suite).

τ	P	t	P	t	P	t	P
degrés	kilog.	degrés	kilog.	degrés	kilog.	degrés	kilog.
147	0,8397	174	0,7889	201	0,7439	300	0,6153
148	0,8377	175	0,7872	202	0,7424	305	0,6101
149	0,8357	176	0,7854	203	0,7408	310	0,6048
150	0,8338	177	0,7837	204	0,7393	315	0,5996
151	0,8318	178	0,7819	205	0,7377	320	0,5945
152	0,8298	179	0,7802	206	0,7362	325	0,5895
153	0,8279	180	0,7785	207	0,7346	330	0,5846
154	0,8259	181	0,7768	208	0,7331	335	0,5797
155	0,8240	182	0,7750	209	0,7316	340	0,5751
156	0,8221	183	0,7733	210	0,7301	345	0,5704
157	0,8202	184	0,7716	215	0,7226	350	0,5659
158	0,8183	185	0,7700	220	0,7152	355	0,5614
159	0,8164	186	0,7683	225	0,7081	360	0,5569
160	0,8145	187	0,7666	230	0,7010	365	0,5526
161	0,8126	188	0,7649	235	0,6941	370	0,5482
162	0,8107	189	0,7633	240	0,6873	375	0,5445
163	0,8089	190	0,7616	245	0,6806	380	0,5398
164	0,8070	191	0,7600	250	0,6742	385	0,5354
165	0,8052	192	0,7584	255	0,6678	390	0,5317
166	0,8033	193	0,7567	260	0,6615	395	0,5277
167	0,8015	194	0,7551	265	0,6554	400	0,5238
168	0,7997	195	0,7535	270	0,6493	405	0,5199
169	0,7979	196	0,7519	275	0,6434	410	0,5161
170	0,7961	197	0,7503	280	0,6376	415	0,5123
171	0,7943	198	0,7487	285	0,6318	420	0,5087
172	0,7925	199	0,7471	290	0,6262	425	0,5050
173	0,7907	200	0,7455	295	0,6207		

Un mètre cube d'air à zéro et 760 devient à 100° et 700 millimètres :

$$1 \times 1,366 \times \frac{760}{700} = 1^m 3,483.$$

Un kilogramme d'air à 100° et 700 a un volume de :

$$0,773 \times 1,366 \frac{760}{700} = 1^m 3,146.$$

3. Composition physique de l'air atmosphérique. — Calculons, d'après ce qui précède, la composition de l'air en poids et en volume.

Soit par exemple de l'air atmosphérique à la tension $H = 760$ millimètres de mercure, à la température $t = 25^\circ$ et au degré hygrométrique $k = 0,35$.

Le mètre cube de mélange humide contiendra :

$$\text{eau } p'_1 = 1,293 \frac{1}{1 + \alpha t} \cdot \frac{Kh}{H} \cdot 0,622,$$

$$\text{pour } 25^\circ \frac{1}{1 + \alpha t} = 0,916, h = 23,6 \text{ mm.}, Kh = 8,26.$$

On trouve

$$p'_1 = 0,008 \text{ kg : m}^3,$$

$$\text{air } p'_2 = 1,293 \frac{1}{1 + \alpha t} \cdot \frac{H - Kh}{H}.$$

On trouve :

$$p'_2 = 1,171 \text{ kg : m}^3.$$

Poids total du mètre cube :

$$p' = p'_1 + p'_2 = 1,179 \text{ kg : m}^3.$$

Un kilogramme du mélange contiendra donc en poids :

$$\text{Eau} \dots\dots \frac{0,008}{1,179} = 0,0068 \text{ kg.}$$

$$\text{Air sec} \dots \frac{1,171}{1,179} = 0,9932 \text{ kg.}$$

$$\text{Mélange} \dots\dots\dots = 1,000 \text{ kg.}$$

et aura un volume :

$$\text{Eau} \dots\dots 0,0068 \times 1,244 (1 + \alpha t) = 0,010 \text{ m}^3$$

$$\text{Air sec} \dots 0,9932 \times 0,773 (1 + \alpha t) = 0,838 \text{ m}^3$$

$$\text{Mélange} \dots\dots\dots = 0,848 \text{ m}^3.$$

autrement dit le volume spécifique du mélange humide est 0,848.

Un mètre cube aura donc la composition en volume :

$$\text{Eau} \dots\dots\dots \frac{0,010}{0,848} = 0,0118$$

$$\text{Air sec} \dots\dots\dots \frac{0,838}{0,848} = 0,9882$$

$$\text{Mélange} \dots\dots\dots 1,0000$$

En résumant, on obtient le tableau suivant pour l'air à 25° à la pression 760 et au degré hygrométrique 0,35 :

	1 m ³ CONTIENT		1 kg. CONTIENT	
	en poids	en volume	en poids	en volume
Eau.....	0,008 kg : m ³	0,0118 m ³	0,0068 kg.	0,010 m ³ : kg.
Air sec.....	1,171 kg : m ³	0,9882 m ³	0,9932 kg.	0,838 m ³ : kg.
Mélange....	1,179 kg : m ³	1,000 m ³	1,000 kg.	0,848 m ³ : kg.

4. Humidité dans l'air atmosphérique sous les climats tempérés.

MOIS DE L'ANNÉE	GRAMMES D'EAU par mètre cube d'air à 760	HEURE de la journée où l'humidité est maximum	HEURE de la journée où l'humidité est minimum	TEMP. moyenne
Janvier.....	5,24	De 5 à 6 heures du matin.	De 6 à 8 heures du soir.	1°
Mars.....	8,17			6°
Mai.....	11,54			14°
Juillet.....	13,67			20°
Septembre.....	12,46			15°
Novembre.....	5,28			5°

5. Solubilité de l'air dans l'eau

(aux températures ambiantes et sous pression atmosphérique)

Un volume d'eau dissout à la pression de 760 millimètres et à t°.

TEMP.	VOLUME DE L'AIR	TEMP.	VOLUME DE L'AIR
0	0,02471	11	0,01916
1	0,02406	12	0,01882
2	0,02345	13	0,01851
3	0,02287	14	0,01822
4	0,02237	15	0,01795
5	0,02179	16	0,01771
6	0,02128	17	0,01750
7	0,02080	18	0,01732
8	0,02034	19	0,01717
9	0,01992	20	0,01704
10	0,01953		

6. **Composition chimique de l'air atmosphérique.** — L'air pur et sec a la composition suivante :

En poids :

Oxygène	23,15 0/0
Azote et autres gaz inertes.....	76,85 0/0
Rapport : 1 d'oxygène pour 3,32 d'azote.	

En volume :

Oxygène	20,84 0/0
Azote et autres gaz inertes.....	79,16 0/0
Rapport : 1 d'oxygène pour 3,80 d'azote.	

L'air à 25° et humidifié à 0,35 hygrométrique qu'on peut considérer comme l'air ambiant normal a donc la composition suivante :

	En poids.	En volume.
Vapeur d'eau.....	0,0068 kg.	0,0118 m ³
Oxygène.....	0,2299 kg.	0,2059 m ³
Gaz inertes.....	0,7633 kg.	0,7823 m ³
	<hr/> 1.0000 kg.	<hr/> 1.0000 m ³

MÉLANGE DES GAZ ET VAPEURS

1. **Tension des mélanges de gaz et vapeur.** — On admet qu'aux basses pressions, les vapeurs suivent la loi de Mariotte. On a donc :

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{h_2}{h_1},$$

$v_1 h_1$ étant le volume et la tension dans l'état initial,
 $v_2 h_2$ — — — — — final.

D'où en faisant intervenir la température :

$$h_2 = \frac{v_1}{v_2} \cdot \frac{1 + \alpha t_2}{1 + \alpha t_1} \cdot h_1,$$

pour une vapeur saturée.

Il en est de même pour un mélange de gaz et vapeurs.

Soit $v_1 H_1 t_1$ et $v_2 H_2 t_2$, le volume, la température et les tensions respectives totales h_1 et h_2 étant celles de la vapeur, on aura :

$$\frac{v_1 (H_1 - h_1)}{1 + \alpha t_1} = \frac{v_2 (H_2 - h_2)}{1 + \alpha t_2}, \quad \frac{v_1}{v_2} = \frac{(H_2 - h_2)}{(H_1 - h_1)} \cdot \frac{1 + \alpha t_1}{1 + \alpha t_2}$$

d'où l'on tire :

$$\begin{aligned} \text{tension de la vapeur} \dots \quad h_2 &= H_2 - \frac{v_1}{v_2} \cdot \frac{1 + \alpha t_2}{1 + \alpha t_1} (H_1 - h_1); \\ \text{— du gaz} \dots \dots \dots \quad &(H_2 - h_2); \\ \text{— totale} \dots \dots \dots \quad &H_2. \end{aligned}$$

Ces relations ne s'appliquent naturellement que si la tension de la vapeur h_2 est inférieure au maximum de tension de cette vapeur à la température considérée.

2. Température des mélanges de gaz et vapeurs. — Si P_1 kilogramme d'une substance à t_1 et de chaleur spécifique C_1 sont mélangés avec P_2 kilogramme d'une substance à t_2 et C_2 , la température t_m du mélange pesant $P_1 + P_2$ kilogrammes est :

$$t_m = \frac{c_1 P_1 t_1 + c_2 P_2 t_2}{c_1 P_1 + c_2 P_2} \text{ degrés.}$$

La quantité de substance P_2 à ajouter à P_1 pour obtenir la température t_m est :

$$P_2 = \frac{c_1}{c_2} \cdot P_1 \frac{t_m - t_1}{t_2 - t_m} \text{ kilogrammes.}$$

EXEMPLE. — Si l'on mélange 1 kilogramme d'air sec à 30° avec 1 kilogramme d'air sec à 20° , on obtient évidemment 2 kilogrammes d'air à 25° .

S'il y a de la vapeur d'eau en présence, les conditions changent. Par exemple, en mélangeant 1 kilogramme d'air sec + 0,18 de vapeur à la température de 30° avec 1 kilogramme d'air + 0,22 de vapeur, à la température de 20° , on aura :

$$\begin{aligned} 1,18 + 1,22 &= 2,40 \text{ kg. de mélange à la température de} \\ t_m &= \frac{(0,238 + 0,18 \cdot 0,485) 30 + (0,238 + 0,22 \cdot 0,485) 20}{(0,238 \cdot 1,18) + (0,485 \cdot 1,22)}, \end{aligned}$$

ce qui donne $t_m = 19$ degrés.

HYGROMÉTRIE

1. Définition et mesure de l'état hygrométrique. — C'est le rapport du poids d'eau réellement contenu dans 1 mètre cube d'air ou de gaz humide au poids correspondant à l'état de saturation complète.

On désigne en général par :

h , la tension de la vapeur d'eau ;

H , la tension ou pression barométrique.

Le degré hygrométrique est le rapport $K = \frac{h_1}{h_2}$ des tensions de la vapeur aux températures correspondant au point de rosée.

La mesure de l'état hygrométrique se fait par l'hygromètre à cheveu, et plus exactement par le *point de rosée* (psychrométrie).

On fait barboter de l'air dans un tube à essai contenant de l'éther au sein duquel plonge un thermomètre; le refroidissement provoque la formation d'une buée qui disparaît quand le barbotage cesse.

On relève les deux températures où la rosée apparaît et disparaît, et l'on prend la moyenne t_1 ; on relève de même la température extérieure t_2 .

Si h_1 est la tension de la vapeur d'eau correspondant à la température t_1 , et h_2 la tension correspondant à t_2 (données dans les tables), on a, pour valeur de l'état hygrométrique :

$$K = \frac{h_1}{h_2}.$$

EXEMPLE. — La température moyenne relevée est $h_1 = 10^\circ$, la température ambiante $h_2 = 30^\circ$.

La table 5 (chap. *Propriétés de la vapeur d'eau*) nous donne :

$$h_1 \text{ à } 10^\circ = 0,012 \text{ kg : cm}^2,$$

$$h_2 \text{ à } 30^\circ = 0,043 \text{ kg : cm}^2.$$

On a donc pour valeur de l'état hygrométrique :

$$K = \frac{0,012}{0,043} = 0,28.$$

L'air saturé à 30° contenant 0,030 kg. d'eau par m^3 , l'air dans les conditions de l'essai contient donc finalement :

$$0,030 \times 0,28 = 0,0084 \text{ kg. d'eau par } \text{m}^3.$$

2. Eau dans l'air humide. — *A saturation complète.* — Le poids d'eau dans 1 mètre cube d'air saturé à la température t qui est ainsi celle du point de rosée ou de condensation, et à la pression barométrique H est donné par :

$$p_1 = 1,293 \times \frac{1}{1 + at} \cdot \frac{h}{H} \cdot 0,632 \text{ kilogramme par mètre cube,}$$

632 étant la densité de la vapeur d'eau par rapport à l'air (supposée constante). Le poids d'air sec dans 1 mètre cube d'air saturé dans les mêmes conditions est :

$$p_2 = 1,293 \cdot \frac{1}{H \times t} \cdot \frac{H - h}{H} \text{ kilogramme par mètre cube.}$$

Et le poids total du mètre cube d'air humide saturé est :

$$p = p_1 + p_2.$$

On peut simplifier les expressions précédentes en supposant la pression barométrique constante et égale à la normale 760, ce qui est bien suffisant pour les calculs industriels.

Dans ce cas, le poids d'eau contenu dans le mètre cube d'air humide est égal au poids spécifique du mètre cube de vapeur d'eau à la tension correspondante à la température, et l'expression de p^2 simplifiée donnant le poids de l'air sec devient :

$$p_2 = 0,465 \cdot \frac{H - h}{t + 273} \text{ kilogramme par mètre cube.}$$

A saturation incomplète. — Si K est le degré hygrométrique décimal, on a :

$$\begin{aligned} p'_1 &= Kp_1 \text{ pour l'eau en grammes par mètre cube,} \\ &= 1,293 \frac{1}{1 + \alpha t} \cdot \frac{Kh}{H} \cdot 0,632. \\ p'_2 &= Kp_2 \text{ pour l'air sec en grammes par mètre cube,} \\ &= 1,293 \frac{1}{1 + \alpha t} \cdot \frac{H - Kh}{H}, \end{aligned}$$

et $p' = p'_1 + p'_2$ pour le poids total du mètre cube d'air humide à la température t et à la pression H .

EXEMPLE. — Considérons la composition de l'air saturé d'humidité à la température de 15° et à la pression barométrique de 760.

La table de la vapeur d'eau nous indique que la tension de la vapeur à 15° est égale à 12,78 millimètres de mercure ; la tension de l'air sec dans le mélange à 15° sera donc :

$$760 - 12,78 = 747,22 \text{ millimètres.}$$

Le poids d'air sec par mètre cube dans l'état considéré est donc donné par :

$$p_2 = 0,465 \times \frac{747,22}{15 + 273} = 1,2065 \text{ kilogramme par mètre cube}$$

La table de la vapeur d'eau indique que à 15° et la tension 12,78 le poids spécifique du mètre cube est de 12^{er},78, soit 0^{er},0128. On prendra $p_1 = 0,0128$.

Le poids total du mètre cube d'air saturé d'eau à 15° et 760 millimètres sera donc :

$$p = 1,2065 + 0,0128 = 1,2193 \text{ kilogramme par mètre cube.}$$

D'après les données qui précèdent, on peut établir la table 4 suivante des poids du mètre cube d'air humide, aux divers degrés de saturation et aux diverses températures. Cette table est établie pour la pression barométrique normale de 760.

3. Poids du mètre cube d'air humide aux divers degrés de saturation
(à la pression barométrique de 760).

TEMPÉRATURE	SATURATION COMPLÈTE		DEGRÉS HYGROMÉTRIQUES												
	Vapeur seule	Air seul		Saturé 100 0/0	90	80	70	60	50	40	30	20	10	Sec 0 0/0	
	Tension, en m.m., Hg	Poids en grammes	Tension en mm. Hg												Poids en grammes
-5	3,10	3,5	756,35	1,312	1,316	1,316	1,316	1,316	1,317	1,317	1,317	1,317	1,317	1,317	1,317
0	4,58	4,9	755,42	1,286	1,291	1,291	1,292	1,292	1,292	1,292	1,292	1,292	1,292	1,292	1,293
5	6,54	6,8	753,46	1,260	1,267	1,268	1,268	1,268	1,268	1,269	1,269	1,269	1,269	1,270	1,270
10	9,20	9,4	750,8	1,233	1,242	1,243	1,244	1,244	1,245	1,246	1,246	1,247	1,247	1,248	1,248
15	12,78	12,8	747,92	1,205	1,219	1,220	1,221	1,222	1,222	1,223	1,224	1,225	1,225	1,226	1,226
20	17,51	17,2	742,49	1,177	1,194	1,195	1,196	1,197	1,198	1,199	1,201	1,202	1,203	1,204	1,205
25	23,69	22,9	736,31	1,148	1,171	1,172	1,174	1,175	1,177	1,178	1,179	1,181	1,182	1,184	1,185
30	31,71	30,2	728,29	1,117	1,147	1,149	1,151	1,152	1,154	1,156	1,158	1,160	1,161	1,163	1,165
35	42,02	39,4	717,98	1,082	1,121	1,123	1,126	1,128	1,131	1,133	1,136	1,138	1,141	1,143	1,146
40	55,13	50,9	704,87	1,047	1,098	1,101	1,104	1,107	1,110	1,113	1,116	1,119	1,122	1,125	1,128
45	71,66	65,2	688,34	1,005	1,070	1,074	1,078	1,082	1,086	1,090	1,094	1,098	1,102	1,106	1,110
50	92,30	82,7	667,70	960	1,043	1,048	1,053	1,058	1,063	1,068	1,073	1,078	1,083	1,088	1,093
55	117,85	104,1	642,15	910	1,015	1,021	1,027	1,033	1,039	1,045	1,052	1,058	1,064	1,070	1,076
60	149,19	130	610,81	852	982	990	998	1,005	1,013	1,021	1,029	1,037	1,044	1,052	1,060
65	187,36	161	572,64	787	948	958	967	977	986	996	1,006	1,015	1,025	1,034	1,044
70	233,53	198	526,47	713	911	923	935	946	958	970	982	994	1,005	1,017	1,029
75	289,00	242	471,0	629	871	885	900	914	928	942	957	971	985	1,000	1,014
80	355,10	293	404,9	533	826	843	861	878	896	913	930	948	965	983	1,000
85	432,5	354	326,5	424	778	799	820	840	861	882	903	923	944	965	986
90	525,8	424	234,2	300	724	749	774	799	824	848	873	898	923	948	973
95	634	505	126	159	664	693	723	752	782	811	841	870	900	929	959
100	760	599	0	0	634	669	703	738	773	808	843	878	912	947	947

4. Volume de 1 kilogramme d'air sec dans le mélange humide.
(sous la pression 760 et aux divers degrés hygrométriques).

TEMPÉ- RATURE	SATURÉ 100 0/0	95 0/0	90 0/0	85 0/0	80 0/0	75 0/0	70 0/0	65 0/0	60 0/0	55 0/0	TEMPÉ- RATURE
— 5	0,763	0,763	0,763	0,763	0,762	0,762	0,762	0,762	0,761	0,761	— 5
0	0,778	0,778	0,778	0,778	0,777	0,777	0,777	0,777	0,776	0,776	0
5	0,795	0,794	0,794	0,794	0,793	0,793	0,793	0,793	0,792	0,791	5
10	0,810	0,810	0,811	0,810	0,810	0,809	0,809	0,808	0,808	0,807	10
15	0,830	0,830	0,829	0,828	0,828	0,827	0,826	0,825	0,825	0,824	15
20	0,850	0,850	0,849	0,848	0,846	0,845	0,844	0,843	0,842	0,841	20
25	0,872	0,870	0,869	0,867	0,866	0,865	0,863	0,862	0,860	0,859	25
30	0,896	0,894	0,892	0,890	0,888	0,886	0,885	0,883	0,881	0,879	30
35	0,924	0,921	0,918	0,916	0,913	0,910	0,908	0,905	0,903	0,900	35
40	0,957	0,953	0,949	0,946	0,942	0,938	0,935	0,931	0,928	0,924	40
45	0,995	0,990	0,985	0,980	0,975	0,970	0,965	0,960	0,955	0,951	45
50	1,032	1,034	1,027	1,021	1,014	1,007	1,000	0,994	0,987	0,981	50
55	1,101	1,091	1,081	1,071	1,062	1,052	1,043	1,034	1,025	1,017	55
60	1,174	1,160	1,146	1,133	1,120	1,107	1,094	1,082	1,070	1,058	60
65	1,271	1,251	1,231	1,212	1,193	1,175	1,158	1,142	1,124	1,108	65
70	1,404	1,373	1,344	1,316	1,290	1,264	1,239	1,215	1,192	1,170	70
75	1,592	1,544	1,500	1,458	1,418	1,380	1,344	1,310	1,278	1,247	75
80	1,877	1,799	1,726	1,659	1,597	1,539	1,487	1,436	1,390	1,346	80
85	2,363	2,215	2,085	1,970	1,867	1,773	1,689	1,613	1,543	1,479	85
90	3,339	3,002	2,727	2,498	2,304	2,139	1,995	1,870	1,759	1,661	90
95	6,921	5,076	4,185	3,585	3,135	2,786	2,507	2,283	2,088	1,927	95
100	—	21,150	10,580	7,050	5,288	4,230	3,525	3,022	2,638	2,350	100
110	—	21,709	10,855	7,236	5,427	4,342	3,618	3,101	2,714	2,412	110
120	—	22,275	11,137	7,425	5,569	4,455	3,712	3,182	2,784	2,475	120

4. Volume de 1 kilogramme d'air sec dans le mélange humide (suite).
(sous la pression 760 et aux divers degrés hygrométriques).

TEMPÉ- RATURE	50 0/0	45 0/0	40 0/0	35 0/0	30 0/0	25 0/0	20 0/0	15 0/0	10 0/0	5 0/0	SEC 0 0/0	TEMPÉ- RATURE
—	0,761	0,761	0,761	0,760	0,760	0,760	0,760	0,760	0,759	0,759	0,759	—
5	0,776	0,776	0,775	0,775	0,775	0,775	0,774	0,774	0,774	0,773	0,773	5
10	0,807	0,806	0,806	0,805	0,805	0,804	0,804	0,803	0,803	0,802	0,801	10
15	0,824	0,823	0,822	0,821	0,820	0,819	0,819	0,818	0,818	0,817	0,816	15
20	0,840	0,839	0,838	0,837	0,836	0,835	0,834	0,833	0,832	0,831	0,830	20
25	0,858	0,857	0,856	0,855	0,853	0,852	0,850	0,849	0,847	0,846	0,844	25
30	0,877	0,875	0,873	0,871	0,870	0,868	0,866	0,864	0,862	0,860	0,858	30
35	0,897	0,895	0,892	0,890	0,887	0,885	0,882	0,880	0,877	0,875	0,873	35
40	0,921	0,917	0,914	0,911	0,907	0,904	0,900	0,897	0,894	0,890	0,886	40
45	0,946	0,941	0,937	0,932	0,928	0,923	0,919	0,914	0,910	0,905	0,901	45
50	0,974	0,968	0,962	0,956	0,950	0,944	0,938	0,932	0,926	0,921	0,915	50
55	1,008	1,000	0,991	0,983	0,975	0,968	0,960	0,952	0,944	0,937	0,929	55
60	1,046	1,035	1,024	1,013	1,003	0,993	0,983	0,973	0,963	0,953	0,943	60
65	1,092	1,077	1,062	1,048	1,034	1,021	1,008	0,995	0,982	0,970	0,958	65
70	1,149	1,129	1,109	1,090	1,071	1,053	1,036	1,019	1,001	0,988	0,971	70
75	1,218	1,190	1,163	1,138	1,113	1,090	1,068	1,046	1,025	1,006	0,986	75
80	1,305	1,267	1,230	1,196	1,163	1,131	1,103	1,076	1,049	1,024	1,000	80
85	1,420	1,365	1,315	1,268	1,224	1,186	1,146	1,110	1,076	1,045	1,014	85
90	1,573	1,494	1,423	1,358	1,298	1,244	1,194	1,148	1,105	1,066	1,029	90
95	1,789	1,670	1,565	1,473	1,391	1,318	1,252	1,192	1,138	1,088	1,043	95
100	2,115	1,923	1,763	1,627	1,511	1,410	1,322	1,244	1,175	1,115	1,056	100
110	2,171	1,974	1,809	1,670	1,551	1,447	1,357	1,277	1,206	1,143	1,085	110
120	2,227	2,025	1,856	1,713	1,591	1,485	1,392	1,310	1,237	1,173	1,114	120

5. **Calcul direct du poids spécifique de l'air humide.** — Si l'on ne connaît pas le degré hygrométrique, mais que l'on connaisse le dosage d'humidité p'_1 (en kilogrammes par mètre cube), la tension H en millimètres de mercure et la température t , on peut tirer le poids du mètre cube humide de l'expression générale :

$$\text{poids spécifique} = \frac{P}{RT},$$

P étant la pression en kilogrammes par mètre carré, R étant la constante du gaz ou de la vapeur. Il suffit de prendre pour valeur de R les valeurs de la constante pour l'eau et le gaz en proportion correspondante dans le mètre cube de mélange.

La constante de l'air est 29,27, celle de la vapeur d'eau 47,11 ; pour l'air contenant p'_1 kilogrammes d'eau par mètre cube, on prendra pour valeur de R :

$$R_1 = p'_1 \cdot 47,11 + (1 - p'_1) \cdot 29,27.$$

Et si la pression est exprimée en millimètres de mercure au lieu de kilogrammes par centimètre carré, on aura pour valeur du poids spécifique de l'air humide à la pression H et à la température t :

$$\text{poids spécifique du mètre cube humide } p' = 13,59593 \cdot \frac{H}{R_1 \cdot (273 + t)}.$$

Le poids d'air sec par mètre cube se déduit par différence :

$$p'_2 = p' - p'_1.$$

6. Capacité d'absorption en eau d'un kilogramme de gaz sec.

— Dans les calculs de séchage ou d'humidification on adopte plus souvent les poids que les volumes comme base, et l'on a fréquemment à estimer la quantité d'eau que peut absorber 1 kilogramme d'air ou de gaz à la température t , à la pression H (en millimètres de mercure) et au degré hygrométrique K .

Si h est la tension de vapeur (en millimètres de mercure) correspondant à la température t , le poids d'eau maximum que peut absorber un gaz à la température t et à la pression H en millimètres de mercure est donné par :

$$\text{A saturation : } p_0 = 0,632 \frac{h}{H - h} \text{ kg. d'eau par kg. de gaz sec.}$$

$$\text{Au degré hygrométrique } K, p'_0 = 0,632 \frac{Kh}{H - Kh} \text{ kg. d'eau par kg. de gaz sec.}$$

Le mélange aura donc un poids total $1 + p_0$.

Et dans un kilogramme de ce mélange il y aura :

$$\frac{p_0}{1 + p_0} \text{ kilogramme d'eau,}$$

et

$$\left(1 - \frac{p_0}{1 + p_0}\right) \text{ kilogramme de gaz sec.}$$

La capacité d'absorption diminue avec la pression et augmente très rapidement avec la température ; ce qui veut dire qu'au point de vue de la consommation d'air on a un gros avantage à sécher dans le vide et à la température maximum que peut supporter la matière.

D'après ces données, on aboutit à la table 8 qui fournit pour 1 kilogramme d'air pur et sec dans le mélange, la quantité d'eau en grammes qu'il peut contenir suivant l'état hygrométrique.

Dans l'exemple précédent (air saturé à 15°), pour 1^{kg},2065 d'air sec il y a 12^{gr},8 d'eau. Pour 1 kilogramme d'air sec, il y aura :

$$\frac{12,8}{1,2065} = 1,06 \text{ grammes d'eau.}$$

Chiffre indiqué par la table 8.

7. Chaleur dans l'air humide. — La chaleur contenue dans le mélange air sec + vapeur d'eau à une température et saturation données est égale à la somme de la chaleur des constituants.

Aux températures ambiantes la chaleur spécifique moyenne de l'air sec est de 0,2375.

La chaleur totale par kilogramme d'air sec à la température t est donc $Ca = 0,2375 t$.

La chaleur totale par kilogramme de vapeur est d'après Mollier :

$$i = 594,7 + 0,477 t - 5p,$$

p étant la tension absolue en $\text{kg} : \text{cm}^2$ et 5 un coefficient dépendant de la température, dont les valeurs sont les suivantes :

t	5	t	5
0	8	70°	3,5
5-10°	7	80°	3,2
15-25°	6	90°	2,9
30-45°	5	100°	2,6
50	4,3	110°	2,4
60	3,9	120°	2,2

On peut d'après cela, connaissant le poids respectif d'air sec et d'humidité contenu dans 1 kilogramme de mélange, calculer la quan-

tité de chaleur totale contenue dans 1 kilogramme d'air humide à une température donnée.

EXEMPLE. — Quelle est la chaleur dans 1 kilogramme d'air humide à 70 0/0 de saturation, sous la pression atmosphérique et la température de 45°?

A 45°, la tension de 760 comprend $71,66 \times 0,7 = 50,16$ millimètres pour la vapeur et $760 - 50,16 = 709,84$ millimètres pour l'air sec.

Pour la tension de 50,16, soit :

$$0,00136 \times 50,16 = 0,068 \text{ kg} : \text{cm}^2.$$

La chaleur totale dans 1 kilogramme de vapeur est :

$$i = [594,7 \times (0,477 \times 45) - (0,068 \times 5)] \\ i = 615,82 \text{ calories.}$$

La chaleur totale dans 1 kilogramme d'air sec est :

$$0,2375 \times 45 = 10,69 \text{ calories.}$$

Dans un 1 mètre cube d'air humide considéré, il y a :

$$P = 0,465 \cdot \frac{709,84}{45 + 273} = 1038 \text{ kg} : \text{m}^3 \text{ d'air sec,}$$

et à 45° et tension 71,66 = 0,0652 kg : m³ d'eau,
à 45° et 70 0/0 (tension 50,16) = 0,0456 kg : m³ d'eau.

Le poids du mètre cube est donc :

$$1,038 + 0,0456 = 1^{\text{kr}},083.$$

Un kilogramme du mélange contient donc :

$$\frac{1,038}{1,084} = 0,958 \text{ d'air sec}$$

et :

$$\frac{0,045}{1,083} = 0,042 \text{ d'eau.}$$

La chaleur dans l'air est..... $0,958 \times 10,69 = 10,24$ calories

La chaleur dans l'eau..... $0,042 \times 615,82 = 25,86$ calories

La chaleur totale dans le kilogramme de mélange = 36,10 calories.

La table 9 ci-après donne des calculs tout faits ramenés à la base kilogramme d'air pur et sec.

Dans l'exemple ci-dessus, 0,958 d'air sec correspondent à une chaleur totale de 36,10 calories; 1 kilogramme d'air sec correspondra à

$$\frac{3,10}{0,958} = 37,7 \text{ calories, chiffre indiqué par la table.}$$

8. **Chaleur en jeu dans l'évaporation et la condensation à l'air libre.** — J'ai dit qu'il était commode, pour les calculs hygrométriques, de toujours raisonner sur 1 kilogramme d'air sec et de ramener les quantités d'eau variables à ce poids constant.

1 + p_0 kilogramme d'un mélange d'air et de vapeur à la température t , lorsqu'il devient 1 + p'_0 kilogramme à la température t' , absorbe ou prend une quantité de chaleur.

1° Par évaporation (ou condensation) du poids $p_0 - p'_0$ d'eau ;

2° Par refroidissement (ou échauffement) de l'air de t à t' degré.

Le tableau 9 donne, pour 1 kilogramme d'air sec, les quantités de chaleur en jeu durant ces phénomènes. Il permet de calculer soit le degré hygrométrique initial et final ou poids d'eau par kilogramme d'air sec pour une variation de température donnée, soit la température initiale et finale pour une variation de degré hygrométrique donnée.

Il permet, en un mot, de résoudre tous les problèmes relatifs à l'humidification ou au séchage, aux réfrigérants d'eau ou d'air, à la dissipation des buées, etc.

Des exemples d'application sont donnés aux paragraphes correspondants ; les deux graphiques 10 et 11 traduisent les valeurs du tableau 9.

9. Chaleur totale en calories (chiffre supérieur) et poids d'eau en grammes (chiffre inférieur)
par kilogramme d'air pur et sec.

TEMPÉRATURE	DEGRÉS HYGROMÉTRIQUES EN POUR CENT										TEMPÉRATURE
	Saturé à 100 0/0	95 0/0	90 0/0	85 0/0	80 0/0	75 0/0	70 0/0	65 0/0	60 0/0		
- 5	0,30 2,50	0,23 2,37	0,15 2,25	0,08 2,12	0,00 2,00	- 0,07 1,87	- 0,15 1,75	- 0,22 1,62	- 0,30 1,50	- 5	
0	2,27 3,80	2,16 3,6	2,04 3,4	1,93 3,2	1,82 3,0	1,71 2,8	1,59 2,7	1,48 2,5	1,36 2,3	0	
5	4,42 5,4	4,25 5,1	4,09 4,9	3,93 4,6	3,77 4,3	3,61 4,1	3,45 3,8	3,29 3,6	3,13 3,3	5	
10	6,95 7,6	6,71 7,3	6,48 6,9	6,25 6,5	6,02 6,1	5,79 5,7	5,56 5,3	5,33 5,0	5,10 4,6	10	
15	9,94 10,6	9,62 10,1	9,3 9,5	8,98 9,0	8,66 8,5	8,34 8,0	8,01 7,4	7,68 6,9	7,36 6,4	15	
20	13,58 14,4	13,13 13,7	12,68 13,0	12,23 12,2	11,78 11,5	11,33 10,8	10,88 10,1	10,43 9,4	9,99 8,6	20	
25	18,10 20,0	17,48 19,0	16,86 18,0	16,24 17,0	15,62 16,0	15,0 15,0	14,38 14,0	13,76 13,0	13,15 12,0	25	
30	23,60 27,1	22,73 25,6	21,88 24,2	21,03 22,9	20,19 21,5	19,35 20,1	18,51 18,7	17,67 17,3	16,84 16,0	30	
35	30,55 36,4	29,38 34,5	28,21 32,6	27,05 30,7	25,90 28,8	24,76 26,9	23,61 25,0	22,48 23,1	21,35 21,3	35	

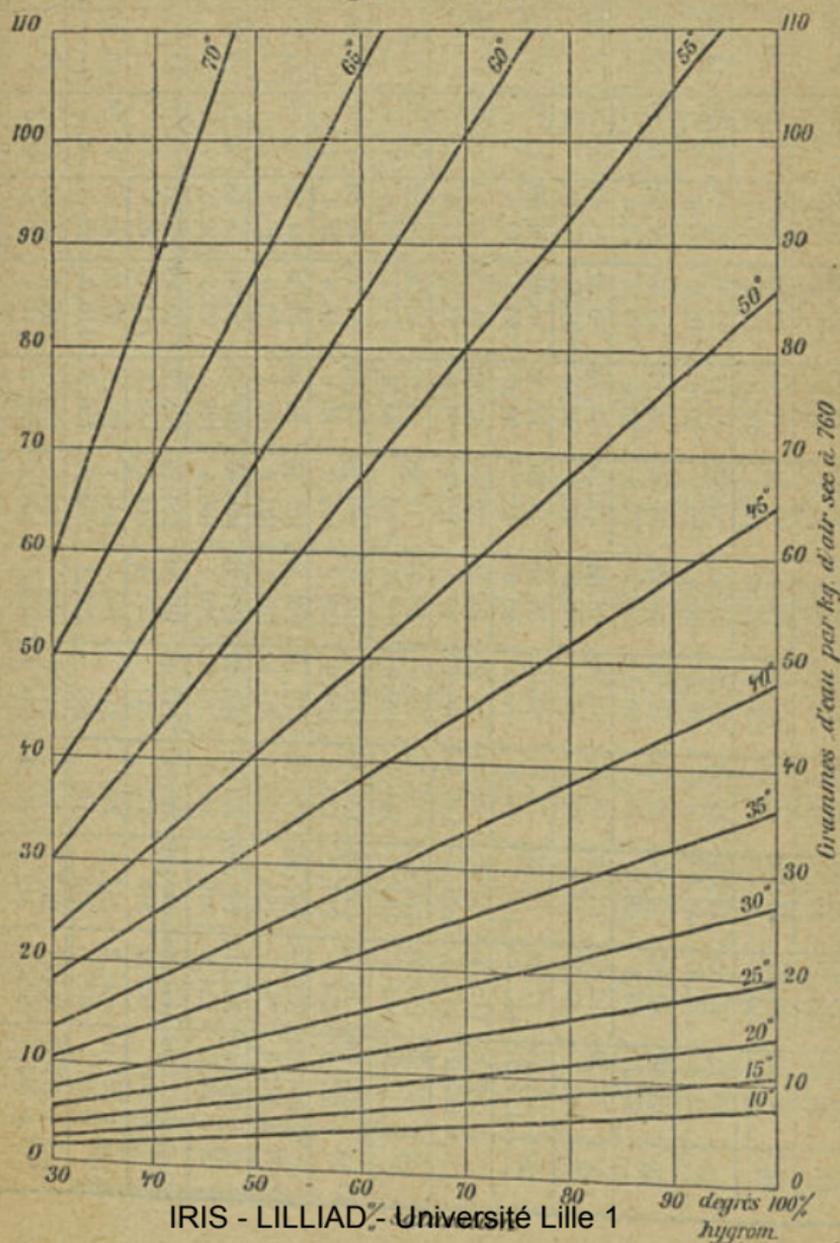
40 {	39,37 48,7	37,78 46,1	36,18 43,5	34,6 40,9	33,03 38,4	31,48 35,8	29,94 33,3	28,4 30,8	26,89 28,3	40
45 {	50,51 64,7	48,33 61,1	46,12 57,6	44,02 54,1	41,91 50,7	39,81 47,3	37,73 43,9	35,67 40,6	33,64 37,3	45
50 {	65,12 86,2	62,12 81,3	59,12 76,5	56,22 71,7	53,34 76,0	50,45 62,4	47,67 57,9	44,92 53,4	42,27 49,0	50
55 {	84,41 114,5	79,9 107,8	75,82 101,2	71,8 94,7	67,86 88,4	63,99 82,1	60,18 75,9	56,44 69,9	52,76 64,0	55
60 {	109,29 152,6	103,46 143,3	97,76 134,1	92,20 125,2	86,76 116,5	81,45 107,9	76,26 99,6	71,19 91,4	66,23 83,6	60
65 {	143,30 204,7	134,96 191,3	126,88 178,3	119,06 165,8	114,48 153,7	104,12 141,9	96,98 130,5	90,07 119,4	83,32 108,6	65
70 {	190,88 278,0	178,59 258,3	166,64 239,6	155,54 221,5	144,71 204,3	134,32 187,7	124,33 171,7	114,73 156,0	105,48 141,7	70
75 {	259,96 384,9	241,02 363,0	223,18 326,4	206,35 299,6	190,43 274,3	175,35 250,3	161,05 227,5	147,47 205,9	134,57 185,4	75
80 {	366,35 550,7	335,31 501,4	306,61 455,8	280,08 413,7	255,65 375,0	232,84 338,8	211,76 305,3	191,98 273,9	173,54 244,7	80
85 {	549,41 835,4	491,61 744,1	440,67 663,6	394,60 590,9	354,85 528,0	318,31 470,3	285,28 418,1	255,22 370,7	227,77 327,3	85
90 {	92,24 1,416	790,06 1,209	682,96 1,041	593,82 900,3	518,40 781,5	453,98 680,1	398,5 592,1	349,26 515,3	305,91 447,5	90
95 {	2,047 3,171	1,550 2,396	1,235,4 1,904	999,82 1,532	830,81 1,267	695,99 1,055	588,19 886,1	500,97 749,3	426,56 633,1	95
100 {	—	7,721 12,030	3,671 5,700	2,321 3,588	1,646 2,533	1,240 1,900	970,0 1,477	777,0 1,176	632,3 930,0	100
110 {	—	7,758 11,991	3,687 5,676	2,330 3,571	1,652 2,519	1,245 1,888	973,4 1,468	779,7 1,167	634,5 942	110
120 {	—	7,808 11,973	3,742 5,669	2,347 3,567	1,664 2,516	1,254 1,886	981,9 1,466	788 1,166	640,9 941,3	120

Chaleur totale en calories (chiffre supérieur) et poids d'eau en grammes (chiffre inférieur)
par kilogramme d'air pur et sec (suite).

TEMPÉRATURE		DEGRÉS HYGROMÉTRIQUES EN POUR CENT										TEMPÉRATURE		
		55 0/0	50 0/0	45 0/0	40 0/0	35 0/0	30 0/0	25 0/0	20 0/0	15 0/0	10 0/0	5 0/0	Sec 0 0/0	
-5	{	0,37	0,45	0,52	0,59	0,67	0,74	0,82	0,89	0,97	1,04	1,12	1,19	5
	}	1,37	1,25	1,12	1,00	0,87	0,75	0,62	0,50	0,37	0,25	0,12		
0	{	1,25	1,13	1,02	0,91	0,79	0,68	0,57	0,45	0,34	0,23	0,11	0	0
	}	2,1	1,9	1,7	1,5	1,3	1,1	1,0	0,8	0,6	0,4	0,2		
5	{	2,96	2,80	2,63	2,47	2,31	2,15	1,99	1,83	1,67	1,51	1,35	1,19	5
	}	3,0	2,7	2,4	2,2	1,9	1,6	1,4	1,1	0,8	0,5	0,3		
10	{	4,87	4,64	4,42	4,19	3,96	3,73	3,50	3,28	3,05	2,82	2,59	2,37	10
	}	4,2	3,8	3,4	3,0	2,7	2,3	1,9	1,5	1,1	0,8	0,4		
15	{	7,04	6,72	6,40	6,09	5,78	5,46	5,14	4,82	4,50	4,18	3,87	3,56	15
	}	5,8	5,3	4,8	4,2	3,7	3,2	2,6	2,1	1,6	1,1	0,5		
20	{	9,55	9,11	8,67	8,23	7,79	7,35	6,91	6,47	6,04	5,61	5,18	4,75	20
	}	7,9	7,2	6,5	5,8	5,0	4,3	3,6	2,9	2,2	1,4	0,7		
25	{	12,54	11,93	11,32	10,72	10,12	9,52	8,92	8,32	7,72	7,12	6,53	5,94	25
	}	11,0	9,9	8,9	7,9	6,9	5,9	4,9	3,9	2,9	1,9	1,0		
30	{	16,01	15,18	14,36	13,54	12,73	11,92	11,11	10,31	9,51	8,71	7,91	7,12	30
	}	14,6	13,2	11,9	10,5	9,2	7,9	6,5	5,2	3,9	2,6	1,3		
35	{	20,23	19,12	18,01	16,91	15,81	14,72	13,64	12,56	11,49	10,42	9,36	8,31	35
	}	19,5	17,7	15,9	14,1	12,3	10,5	8,7	7,0	5,2	3,5	1,7		

40	{ 25,38 25,9	23,88 23,4	22,39 21,0	20,92 18,6	19,46 16,2	18,06 13,8	16,56 11,5	15,12 9,2	13,70 6,9	12,29 4,6	10,89 2,3	9,5 —	40
45	{ 31,62 34,0	29,62 30,7	27,65 27,5	25,69 24,4	23,75 21,2	21,83 18,1	19,93 15,0	18,05 11,9	16,18 8,9	14,33 5,9	12,50 2,9	10,69 —	45
50	{ 39,59 44,6	36,87 40,3	34,14 36,0	31,56 31,8	28,95 27,7	26,44 23,6	23,95 19,5	21,44 15,5	19,02 11,6	16,63 7,7	14,20 3,8	11,87 —	50
55	{ 49,15 58,2	45,59 52,4	42,09 46,8	38,66 41,6	35,28 35,8	31,95 30,4	28,67 25,1	25,45 20,0	22,28 14,8	19,16 9,8	16,09 4,9	13,06 —	55
60	{ 61,48 75,7	56,63 68,1	51,98 60,6	47,43 53,2	42,98 46,1	38,62 39,1	34,35 32,3	30,17 25,5	26,07 19,0	22,03 12,5	18,11 6,2	14,25 —	60
65	{ 76,78 98,1	70,44 87,9	64,26 78,0	58,24 68,4	52,38 59,1	46,68 50,0	41,14 41,1	35,74 32,4	30,47 24,0	25,33 15,8	20,32 7,8	15,44 —	65
70	{ 96,58 127,0	87,99 113,8	79,72 100,5	71,73 87,8	64,02 75,5	56,56 63,6	49,35 52,2	42,38 41,0	35,63 30,3	29,09 19,9	22,76 9,8	16,62 —	70
75	{ 122,27 165,9	110,56 147,3	99,37 129,5	88,69 112,5	78,48 96,33	68,71 80,7	59,33 65,9	50,35 51,6	41,72 37,9	33,4 24,8	25,42 12,1	17,81 —	75
80	{ 156,23 217,3	139,98 191,5	124,67 167,2	110,25 144,4	96,6 122,8	83,74 102,4	71,38 83	59,95 64,8	48,94 47,4	38,48 30,8	28,51 15,0	19,0 —	80
85	{ 202,58 287,6	179,42 251	158,01 217,2	138,19 186,0	119,77 156,9	102,62 129,9	86,76 104,9	71,62 89,0	57,57 58,8	44,36 38,1	31,92 18,5	20,19 —	85
90	{ 267,92 387,4	233,66 333,5	202,88 285,1	175,05 241,3	149,70 201,5	126,54 165,1	105,40 131,9	85,89 101,2	67,91 73,0	51,23 40,8	35,78 22,6	21,37 —	90
95	{ 364,41 535,2	314,16 451,8	264,99 379,4	224,61 316,2	188,59 259,8	157,28 210,7	128,93 166,4	103,41 126,4	80,31 90,3	58,48 56,2	40,14 27,5	22,56 —	95
100	{ 519,74 774	429,66 633,0	355,92 518	294,47 422	242,46 341	197,86 271,4	159,23 211,1	125,36 158,3	95,49 111,7	68,91 70,4	45,15 33	23,75 —	100
110	{ 521,6 767	431,3 627	357,5 513	296 418	244 337	199,4 268,1	161,1 208,9	127,1 156,2	97,89 110,2	70,97 69,3	47,36 32,8	26,12 —	110
120	{ 527,3 766,5	436,4 626,8	362,1 512,5	300,2 417,3	247,9 336,9	203 268	164,5 208,8	130,2 156,1	100,3 110,1	73,67 69,3	49,89 32,8	28,5 —	120

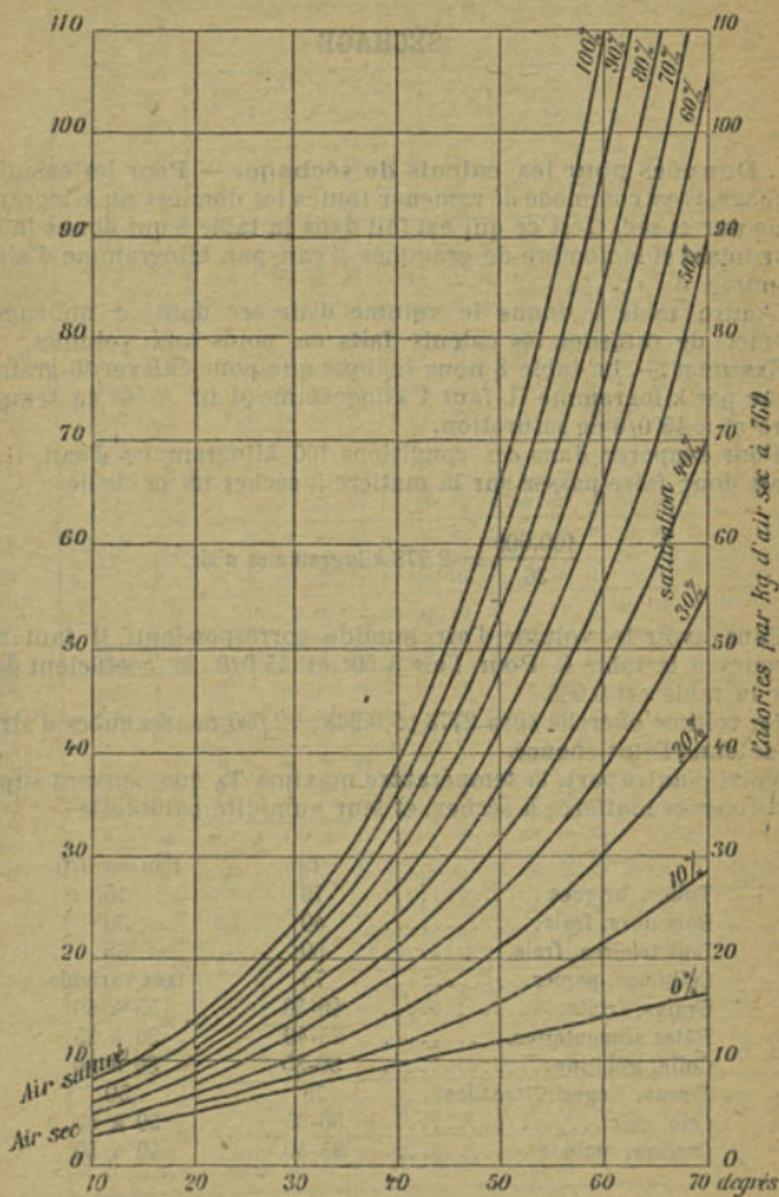
10. Caractéristiques hydriques de l'air humide rapportées au kilogramme d'air sec.



IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

FIG. 13.

11. Caractéristiques thermiques de l'air humide rapportées au kilogramme d'air sec.



IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

SÉCHAGE

1. **Données pour les calculs de séchage.** — Pour les calculs de séchage, il est commode de ramener toutes les données au kilogramme d'air pur et sec. C'est ce qui est fait dans la table 8 qui donne la chaleur totale et le nombre de grammes d'eau par kilogramme d'air sec et pur.

L'autre table 4 donne le volume d'air sec dans le mélange et permet de ramener les calculs faits en poids aux volumes.

EXEMPLE. — La table 8 nous indique que pour enlever 36 grammes d'eau par kilogramme il faut 1 kilogramme d'air à 50° de température et à 45 0/0 de saturation.

Pour évaporer dans ces conditions 100 kilogrammes d'eau, il faudrait donc faire passer sur la matière à sécher un poids de :

$$\frac{100.000}{36} = 2.778 \text{ kilogrammes d'air.}$$

Pour avoir le volume d'air humide correspondant, il faut avoir recours à la table 4. Pour l'air à 50° et 45 0/0, le coefficient donné par la table est 0,968.

Le volume cherché sera $2778 \times 0.968 = 2.690$ mètres cubes d'air humide dans l'état énoncé.

Voici d'autre part, la température maxima T_0 que peuvent supporter diverses matières à sécher, et leur humidité habituelle :

	T_0	Eau en 0/0.
Tuiles, briques	70	16
Bois durs, frais	40	30
Bois tendres, frais.....	50	35
Cellulose, papier.....	75	très variable
Grains, fruits.....	40-50	55 à 60
Pâtes alimentaires.....	25-40	30 à 35
Colle, gélatine.....	30-35	80 à 90
Tissus, lingerie, textiles.....	75	50
Crin, cuir	30-35	50 à 55
Caséine, amidon	35-40	40 à 50

2. Poids d'eau à enlever par cent kilogrammes pour ramener l'humidité initiale a 0/0 :
à l'humidité finale b 0/0 : $x = 100 \left(\frac{a-b}{1-b} \right)$.

Teneur initiale Extrait %	Extrait 100		Extrait 98%		Extrait 96%		Extrait 94%		Extrait 92%		Extrait 90%		Extrait 80%		Extrait 70%	
	Eau enlevé	Reste	Eau enlevée	Reste												
95	5	95	3,05	96,95	1,04	98,97	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
90	10	90	8,16	91,84	6,3	93,7	4,26	95,74	2,17	97,83	-	-	-	-	-	-
85	15	85	13,3	86,7	11,4	88,6	9,6	90,4	7,60	92,4	5,60	94,4	-	-	-	-
80	20	80	18,4	81,6	16,7	83,3	14,9	85,1	13,1	86,9	11,1	88,9	-	-	-	-
75	25	75	23,5	76,5	21,9	78,1	20,2	79,8	18,5	81,5	16,7	83,3	6,25	93,75	-	-
70	30	70	28,6	71,4	27,1	72,9	25,5	74,5	23,9	76,1	22,2	77,8	12,5	87,5	-	-
65	35	65	33,7	66,3	32,3	67,7	30,8	69,2	29,4	70,6	27,8	72,2	18,7	81,3	7,10	92,9
60	40	60	38,8	61,2	37,5	62,5	36,2	63,8	34,8	65,2	33,3	66,7	25,0	75,0	14,3	85,7
55	45	55	43,9	56,1	42,7	57,3	41,5	58,5	40,2	59,8	38,9	61,1	31,2	68,8	21,4	78,6
50	50	50	49,1	50,9	47,9	52,1	46,8	53,2	45,6	54,4	44,4	55,6	37,5	62,5	28,6	71,4
45	55	45	54,3	45,7	53,2	46,8	52,2	47,8	51,1	48,9	50,0	50,0	43,7	56,3	35,7	64,3
40	60	40	59,2	40,8	58,4	41,6	57,5	42,5	56,6	43,4	55,6	44,4	50,0	50,0	42,9	57,1
35	65	35	64,3	35,7	63,6	36,4	62,8	37,2	61,9	38,1	61,2	38,8	56,3	43,7	50,0	50,0
30	70	30	69,4	30,6	68,7	31,3	68,0	32,0	67,4	32,6	66,7	33,3	62,6	37,5	57,2	42,8
25	75	25	74,5	25,5	73,9	26,1	73,4	26,6	72,8	27,2	72,3	27,7	68,8	31,2	64,4	35,6
20	80	20	79,6	20,4	79,2	20,8	78,8	21,2	78,4	21,6	77,8	22,2	75,0	25,0	71,4	28,6
15	85	15	84,7	15,3	84,3	15,7	84,0	16,0	83,7	16,3	83,5	16,5	81,2	18,8	78,6	21,4
10	90	10	89,8	10,2	89,6	10,4	89,4	10,6	89,2	10,8	89,0	11,0	87,5	12,5	85,6	14,4

3. **Exemple de séchage.** — Pour étudier le fonctionnement le plus économique du séchage, il faut connaître :

1° La température la plus élevée que peut supporter la matière à sécher, ce qui détermine la température de l'air à l'entrée ;

2° La température la plus basse que peut supporter l'air humide à la sortie, sans que l'humidité se condense, ce qui détermine la température de l'air à la sortie.

Ces deux données permettent d'évaluer le poids de l'air (ou volume) qui doit traverser le séchoir pour enlever la quantité d'eau à évaporer à l'heure et la quantité de chaleur nécessaire pour cette évaporation.

Il suffira pour connaître la consommation réelle de chaleur d'y ajouter la chaleur consommée pour élever la température de la matière (qui est introduite froide et évacuée chaude) et la chaleur perdue (qui se divise en perte par l'air évacué et perte par rayonnement du séchoir).

EXEMPLE. — Considérons par exemple un produit qui ne peut supporter plus de 90°, l'air sera réchauffé jusqu'à cette température.

Supposons l'air extérieur à la température de 20° et au degré hygrométrique 50 0/0; sa chaleur totale dans cet état est de 9,11 calories par kilogramme d'air sec, et sa proportion d'eau est de 7^{es},2.

Les 9,11 calories comprennent :

$$0,2375 \times 20 = 4,75 \text{ calories pour l'air.}$$

et :

$$[594,7 + (0,477 \times 20) - (0,024 \times 6)] 0,0072 = \underline{4,36 \text{ calories}} \text{ pour l'eau.}$$

$$\text{Au total.....} \quad 9,11 \text{ calories.}$$

Pour atteindre la température de 90°, il aura fallu ajouter :

$$0,2375 (90 - 20) = 16,62 \text{ calories pour l'air,}$$

et :

$$[0,477 (90 - 20)] 0,0072 = \underline{0,24 \text{ calories}} \text{ pour l'eau}$$

$$\text{Au total...} \quad 16,86 \text{ calories.}$$

La chaleur totale par 1 kilogramme d'air sec à 90° sera donc de :

$$16,86 + 9,11 = 25,97 \text{ calories,}$$

cet air contenant toujours 7^{es},2 d'eau.

Cet air va se refroidir en se chargeant d'eau évaporée de la matière, jusqu'à une température limite qui est celle de la saturation, car au delà il y aurait dépôt de rosée.

Les tables indiquent que, pour une chaleur totale de 26 calories, le point de rosée est à 32° pour l'air saturé; pour pouvoir évacuer l'eau évaporée, l'air du séchoir devra donc être rejeté à une température minimum de 32°.

Pour être certain d'éviter les condensations, supposons que l'air est évacué à 90 0/0 de saturation, soit à la température de 33°,5.

Les tables des quantités d'eau nous montrent que le kilogramme d'air à cette température et au degré hygrométrique de 90 0/0 renferme 29^{er},5 d'eau, résultat qu'on aurait pu calculer directement en considérant que la chaleur dans l'air sec à 33°,5 est :

$$0,2375 \times 33,5 = 7,96 \text{ calories.}$$

D'où il reste pour la vapeur d'eau $25,97 - 7,96 = 18,01$ calories.

La chaleur dans la vapeur d'eau à la température 33°,5 et la tension correspondante de 35^{mm},2 ou $0,00136 \times 35,2 = 0,038$ kg : cm² est de :

$$5947 + (0,477 \times 33,5) - (0,038 \times 5),$$

soit 610,48 calories.

Le poids d'eau cherché est donc :

$$\frac{18,01}{610,48} = 29,5 \text{ grammes.}$$

L'air dans ses trois états présente les caractéristiques suivantes :

	EAU	CHALEUR		
		dans l'air	dans l'eau	totale
Air initial.....	7,2	4,75	4,36	9,11
Air chauffé.....	7,2	21,37	4,60	25,97
Air final.....	29,5	7,96	18,01	25,97

En résumé, dans les conditions envisagées, chaque kilogramme d'air introduit évapore $29,5 - 7,2 = 22^{\text{er}},3$ d'eau et consomme pour cette évaporation $18,01 - 4,60 = 13,41$ calories; pour réchauffer l'air, il faut une quantité de chaleur de $25,97 - 9,11 = 16,86$ calories, et la chaleur perdue rejetée par la cheminée du séchoir est $7,96 - 4,75$, perte sur l'air, augmentée de $4,60 - 4,36$ perte sur l'eau, soit 3,45, chiffre égal à la différence $16,86 - 13,41$.

Le rendement théorique du séchage est ainsi :

$$\frac{13,41}{16,86} = 0,79.$$

En réalité, le rendement sera sensiblement inférieur par suite de la consommation de chaleur pour échauffer la matière, et des pertes par rayonnement, etc.

Si maintenant nous supposons que le rapport de la matière fraîche à son état sec est de 5, c'est-à-dire que, pour obtenir 10 kilogrammes de produit sec, il faut introduire 50 kilogrammes de produit frais, et cela en une heure, il en résulte que le poids de l'eau à évaporer à l'heure est de 40 kilogrammes, soit 40.000 grammes.

Le poids d'air nécessaire dans les conditions du problème est donc de $\frac{40.000}{22,3} = 1.793$ kilogrammes à l'heure et la quantité de chaleur de : $1.793 \times 16,86 = 30.250$ calories à l'heure.

S'il s'agit de matières organiques dont la chaleur spécifique est assez élevée (0,5 pour le bois), la perte pour l'échauffement de la matière représentera néanmoins un faible chiffre :

$$0,5 (33,5 - 20) \times 10 = 67,5 \text{ calories.}$$

Les pertes par rayonnement peuvent atteindre un millier de calories.

Le total de ces chiffres représente la consommation proprement dite du séchage; le séchoir absorbera davantage, car il faudra faire intervenir le rendement de l'échangeur (calorifère ou aérocondenseur) nécessaire pour le réchauffage de l'air.

Le poids d'un mètre cube d'air à 35°,5 et 90 0/0 de saturation est de 1.133 grammes environ (table 4) renfermant 1.102 grammes d'air sec.

Le volume d'air humide à évacuer à l'heure par la cheminée est donc de $\frac{1.793}{1.102} = 1.627$ mètres cubes d'air à 33°,5 pesant 1.133 grammes par mètre cube.

On aurait obtenu le même résultat, directement avec les chiffres de la table 10, qui donnent le rapport du volume d'air sec dans le mélange ramené au poids d'air sec.

Pour 33°,5 et 90 0/0, le coefficient peut être pris égal à 0,907, et l'on a :

$$1.793 \times 0,907 = 1.627 \text{ mètres cubes à l'heure.}$$

ÉVAPORATION

1. **Points d'ébullition sous vide.** — Le graphique ci-après donne le point d'ébullition à la pression atmosphérique et sous vide pour divers liquides industriels courants.

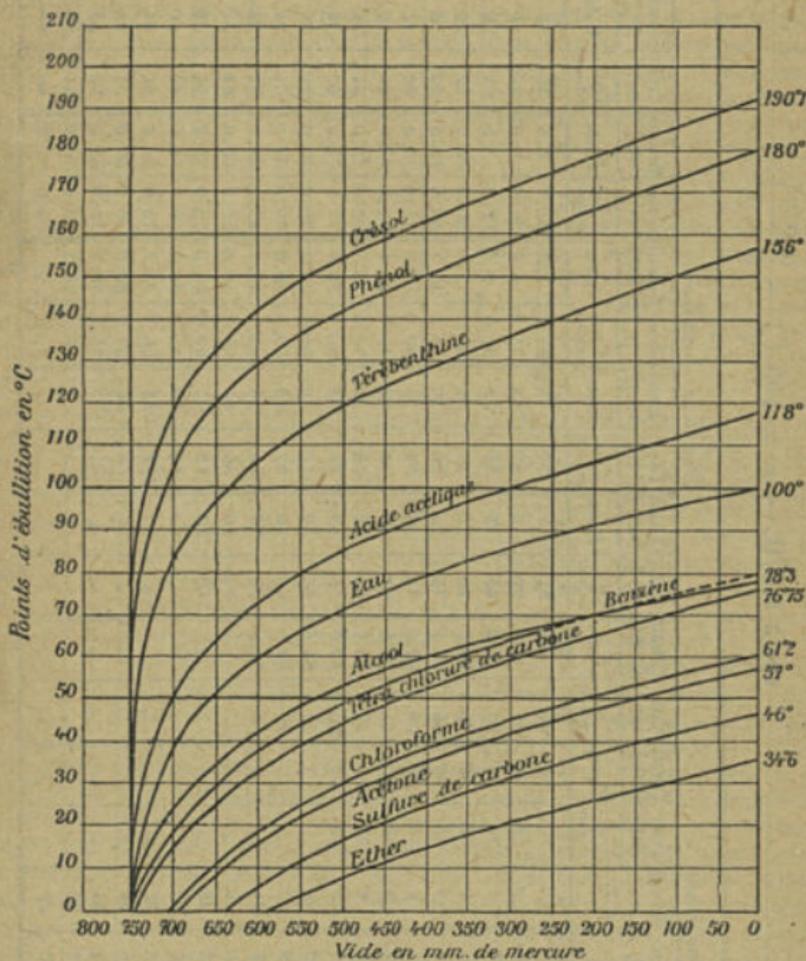


FIG. 15.

2. Poids d'eau à évaporer par 100 kg. pour concentrer un liquide de a O/O d'extrait sec à b O/O. — $x = 100 \left(1 - \frac{a}{b} \right)$.

Concentration		Concentrés finales																				
Eau %	Eau sec a %	Eau 80 %		Eau 85 %		Eau 90 %		Eau 95 %		Eau 97 1/2 %		Eau 70 %		Eau 60 %		Eau 50 %		Eau 40 %		Eau 30 %		
		Reste enlevez	Reste	Reste enlevez	Reste	Reste enlevez	Reste	Reste enlevez	Reste	Reste enlevez	Reste	Reste enlevez	Reste	Reste enlevez	Reste	Reste enlevez	Reste	Reste enlevez	Reste	Reste enlevez	Reste	Reste enlevez
99	1	3	10	4	10	3	5	5	6	6	7	10	6	9	10	11	12	13	14	15	16	17
98	2	30	20	20	13,5	90	92	88	85	82	80	76	72	68	64	60	56	52	48	44	40	36
97	3	70	30	80	20,0	85	15	88	12	90	4	92	8	94	6	96	4	98	2	100	2	2
96	4	60	40	75,4	26,6	80	20	84	16	86,7	13,3	90,0	10,0	92	8	94	6	96	4	98	2	2
95	5	50	50	66,7	33,3	75	25	80	20	83,3	16,7	87,5	12,5	90	10	91,6	8,2	93,3	6,7	95,0	5,0	5,0
94	6	40	60	60,0	40,0	70	30	76	24	80,0	20,0	85,0	15,0	88	12	90,0	10,0	92,0	8,0	94,0	6,0	6,0
93	7	30	70	53,4	46,6	65	35	72	28	76,7	23,3	82,5	17,5	86	14	89,0	11,0	91,0	9,0	93,0	7,0	7,0
92	8	20	80	46,6	53,4	60	40	68	32	73,3	26,7	80,0	20,0	84	16	87,3	12,7	90,0	10,0	92,0	8,0	8,0
91	9	10	90	40,0	60,0	55	45	64	36	70,0	30,0	77,5	22,5	82	18	85,0	15,0	88,0	12,0	91,0	9,0	9,0
90	10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
88	12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
86	14	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
84	16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
82	18	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
80	20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
78	22	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
76	24	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
74	26	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
72	28	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
70	30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Exemple — et, en partant de jus finis à 5 % d'extrait sec, on veut concentrer jusqu'à obtenir 20 % d'extrait sec, il faudra évaporer 75 kg. d'eau par 100 kg. de jus initial, on obtiendra 25 kg. de jus concentré à 20 % d'extrait sec et 80 % d'eau.

3. Volume à évaporer en 0/0 du volume initial pour concentrer les jus sucrés et densités correspondantes.

Densité initiale	Densité finale		1,014		1,029		1,044		1,059		1,075		1,091		1,108		1,125		1,143		1,161		1,180		1,200	
	Sucre %	°B ^m	3,59		7,19		10,8		14,4		18,0		21,7		25,4		29,0		32,7		36,4		40,2		43,9	
			1°	2°	4°	6°	8°	10°	12°	14°	16°	18°	20°	22°	24°											
1,007	1,80	1	50,25	75,00	53,35	88,44	80,67	91,35	97,50	30,46	36,27	30,75	26,19	26,28												
1,014	3,59	2	—	60,79	61,71	76,17	81,25	89,65	87,03	88,88	90,28	91,63	92,35	93,15												
1,021	5,39	3	—	25,38	51,17	63,97	71,04	76,76	80,12	83,18	85,31	87,03	88,65	89,61												
1,029	7,19	4	—	—	36,39	51,58	61,90	68,77	75,69	77,29	80,25	82,57	84,46	86,04												
1,036	9,00	5	—	—	47,27	58,34	61,95	66,62	66,82	71,49	70,11	78,02	80,39	82,39												
1,044	10,8	6	—	—	—	26,51	41,22	52,40	59,90	65,34	69,91	73,65	76,30	78,71												
1,051	12,6	7	—	—	—	13,20	31,69	44,01	52,85	59,46	64,61	68,74	72,12	74,95												
1,059	14,4	8	—	—	—	—	21,30	35,5	45,68	55,25	59,25	63,99	67,88	71,14												
1,067	16,2	9	—	—	—	—	10,16	26,85	38,38	47,04	55,77	59,17	63,58	67,28												
1,075	18,0	10	—	—	—	—	—	10,04	30,95	40,65	48,75	54,74	59,18	63,28												
1,091	21,7	12	—	—	—	—	—	—	15,76	27,50	36,78	44,16	50,10	56,20												
1,108	25,4	14	—	—	—	—	—	—	—	14,00	24,96	33,72	40,81	46,87												
1,125	29,2	16	—	—	—	—	—	—	—	—	12,69	22,88	31,25	38,18												
1,143	32,7	18	—	—	—	—	—	—	—	—	—	11,67	21,20	29,19												
1,161	36,4	20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	10,29	19,83												
1,180	40,2	22	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	10,13												

Densité initiale	Densité finale		1,220		1,241		1,263		1,286		1,309		1,333		1,359		1,385		1,412		1,440		1,469		1,500		1,532	
	Sucre %	°B ^m	47,7		51,6		55,5		59,3		63,2		67,2		71,2		75,3		79,4		83,6		87,8		92,1		96,5	
			26°	28°	30°	32°	34°	36°	38°	40°	42°	44°	46°	48°	50°													
1,007	1,80	1	96,91	97,19	97,44	97,65	97,84	98,01	98,16	98,29	98,42	98,54	98,64	98,74	98,83													
1,014	3,59	2	93,79	94,30	94,85	95,28	95,68	96,00	96,30	96,56	96,83	97,06	97,26	97,46	97,64													
1,021	5,39	3	90,60	91,16	92,21	92,80	93,63	94,40	94,82	95,20	95,55	95,87	96,16	96,43														
1,029	7,19	4	87,37	88,62	89,53	90,39	91,17	91,86	92,48	93,04	93,53	94,02	94,44	94,84	95,20													
1,036	9,00	5	84,07	85,52	86,80	87,88	88,86	89,75	90,51	91,22	91,86	92,45	92,99	93,48	93,94													
1,044	10,8	6	80,70	82,43	84,04	85,59	86,93	87,98	88,83	89,58	90,16	90,87	91,52	92,12	92,68													
1,051	12,6	7	77,30	79,40	81,22	82,76	84,15	85,30	86,50	87,51	88,42	89,28	90,02	90,75	91,38													
1,059	14,4	8	73,80	76,27	78,56	80,43	81,74	83,16	84,44	85,60	86,65	87,61	88,50	89,34	90,07													
1,067	16,2	9	70,40	73,09	75,47	77,48	79,29	80,91	82,26	83,48	84,57	85,56	86,26	86,88	87,51													
1,075	18,0	10	66,85	69,84	72,60	74,73	76,78	78,60	80,22	81,71	83,03	84,25	85,36	86,44	87,51													
1,091	21,7	12	59,22	63,20	66,44	69,19	71,67	73,88	75,86	77,66	79,29	80,78	82,15	83,41	84,68													
1,108	25,4	14	51,34	56,20	60,15	63,41	66,26	68,98	71,34	73,49	75,41	77,17	78,80	80,21	81,68													
1,125	29,2	16	44,08	48,15	52,63	56,62	60,85	63,90	66,64	69,12	71,39	73,42	75,31	77,05	78,67													
1,143	32,7	18	36,99	41,78	46,86	51,22	55,14	58,66	61,77	64,61	67,19	69,54	71,71	73,70	75,55													
1,161	36,4	20	27,48	33,85	39,85	44,78	49,20	53,15	56,70	59,91	62,85	65,49	67,94	70,20	72,29													
1,180	40,2	22	18,70	26,66	32,66	38,07	43,04	47,30	51,45	55,05	58,21	61,29	64,04	66,57	68,91													
1,200	43,0	24	9,65	17,72	24,91	31,07	36,60	41,53	45,90	49,95	53,59	56,92	59,96	62,77	65,37													
1,220	47,7	26	—	9,05	17,03	23,80	29,91	35,30	40,23	44,06	48,07	52,35	56,31	59,81	61,68													
1,241	51,6	28	—	—	8,78	16,21	22,22	28,30	34,27	39,13	43,24	47,50	51,27	54,68	57,84													
1,263	55,5	30	—	—	—	8,14	15,40	21,04	27,01	32,25	38,07	42,47	46,85	50,26	53,72													
1,286	59,3	32	—	—	—	—	8,00	15,12	21,81	27,90	32,39	37,35	41,76	46,83	49,55													
1,309	63,2	34	—	—	—	—	—	15,12	21,81	27,90	32,39	37,35	41,76	46,83	49,55													
1,333	67,2	36	—	—	—	—	—	—	15,12	21,81	27,90	32,39	37,35	41,76	46,83	49,55												

3. **Classement des appareils d'évaporation.** — On peut distinguer :

1° *Les appareils à simple effet, par ébullition*, à surface de chauffe plus ou moins grande et évaporant à l'air libre (bassines et corps tubulaires ouverts) ou sous vide (boules et caisses tubulaires).

La transmission thermique en fonction du temps (autrement dit la rapidité d'évaporation) dépend de la surface, de l'écart de température et de la circulation (d'autant moins bonne que le liquide est plus épais).

La consommation de vapeur vive dépend de l'écart adopté, du réchauffage et du vide; par exemple 1 kilogramme de vapeur à 120° (2 kilogrammes absolus) libère 526,6 calories et fournit 1 kilogramme d'eau à 120° tenant 120,6 calories; à la pression atmosphérique la chaleur de vaporisation de l'eau étant 539,1 calories et sous une tension de 55 mmHg (correspondant à un vide de 72 mmHg environ), cette chaleur étant de 573,4, on voit que théoriquement 1 kilogramme de vapeur saturée à 120° évaporerait dans un simple effet, si le liquide est préalablement réchauffé jusqu'à température d'ébullition :

$$\frac{526,6}{539,1} = 0,97 \text{ kg. à air libre.}$$

$$\frac{526,6}{573,4} = 0,91 \text{ kg. sous vide.}$$

Avec de la vapeur à 105° on aurait évaporé dans les mêmes conditions :

$$\frac{536,1}{539,1} = 0,99 \text{ kg. à air libre.}$$

$$\frac{536,1}{573,4} = 0,93 \text{ kg. sous vide.}$$

et on aurait recueilli 1 kilogramme d'eau à 105° tenant 105,6 calories.

Pratiquement, en négligeant la chaleur de réchauffage et les pertes, on peut dire que 1 kilogramme de vapeur vive évapore 1 kilogramme d'eau; on recueille 1 kilogramme d'eau condensée à la température de la vapeur vive et 1 kilogramme de vapeur d'évaporation à la température d'ébullition; le concentré est obtenu à cette dernière température.

Les appareils du type 1 sont en principe de simples échangeurs, n'exigeant pas l'emploi du vide, ni l'emploi de vapeur vive à haute pression (possibilité d'emploi des vapeurs d'échappement).

On peut les concevoir fonctionnant en vase clos, ce qui rend possible le réchauffage au-dessus du point d'ébullition à la pression atmosphérique.

2° *Les appareils à simple effet par écoulement.* Le jus est réchauffé

dans un calorisateur sous pression et détendu dans une chambre à vide; ce dispositif convient pour les produits très épais qui peuvent être ainsi évaporés rapidement, l'ébullition étant remplacée par une sorte d'explosion.

La vapeur vive porte le jus, par échange, à une température et pression voisines de la sienne, et en se détendant dans la chambre à vide la quantité d'eau évaporée spontanément dépend de l'écart entre la température initiale et la température finale.

Si le réchauffage est porté à 120° et si la température d'ébullition dans le vide est de 60°, il y a libération de 60 calories et auto-évaporation de

$$\frac{60}{562,4} = 10 \text{ 0/0 de l'eau,}$$

la chaleur de vaporisation à la température 60 étant 562,4.

Comme pour les appareils simple effet ordinaire, on peut dire que 1 kilogramme de vapeur évapore 1 kilogramme d'eau, mais de la vapeur à haute pression est nécessaire; l'eau de condensation est donc libérée à haute température, et susceptible de revaporisation pour d'autres utilisations.

Pour les appareils du type 1, l'utilisation de l'énergie dynamique doit se faire avant l'évaporateur (turbine à contre-pression); pour ceux du type 2, l'utilisation doit se faire après l'évaporateur (turbine à basse pression sur vapeur d'échappement).

3° *Les appareils à multiple effet à température et pression décroissantes.* — La vapeur d'ébullition du premier corps, au lieu d'être condensée directement ou rejetée à l'atmosphère (simple effet), est envoyée dans une seconde caisse analogue à la première, mais où la pression est un peu plus faible de façon à réaliser l'écart de température nécessaire à la transmission de chaleur d'où résulte l'ébullition.

Cette seconde caisse, comme les suivantes, fonctionne sensiblement dans les mêmes conditions déjà vues, c'est-à-dire que 1 kilogramme de vapeur vaporise 1 kilogramme d'eau; on peut donc par cet artifice, avec 1 kilogramme de vapeur vive en premier corps, vaporiser autant de kilogrammes d'eau qu'il y a d'effets.

Il n'y a pas de limite théorique au nombre des effets puisque, si l'on est limité à l'échappement, on est toujours libre du côté de la pression à l'admission.

Si l'on travaille en surpression (échappement à l'air libre) avec un écart de température de 10° à chaque corps et de la vapeur vive à 10 kilogrammes absolus (soit température 180°) à l'admission, la chute totale est de 180 — 100 = 80° et le nombre d'effets $80/10 = 8$; 1 kilogramme de vapeur vive évaporera ainsi 8 kilogrammes d'eau; si, dans les mêmes conditions, on continuait le travail sous vide jusqu'à 40° par exemple, l'écart total serait de 180 — 40 = 140°, le nombre d'effets

de 14 et le poids d'eau évaporé, par kilogramme de vapeur vive de 14 kilogrammes.

Pratiquement, pour des raisons constructives, on limite le nombre des effets à six, et les plus répandus sont les triple effet qui vaporisent théoriquement 3 kilogrammes d'eau pour 1 kilogramme de vapeur.

Rien ne s'oppose à faire fonctionner à multiple effet et en surpression par rapport à l'atmosphère soit les évaporateurs à ébullition (type 1), soit les évaporateurs à détente (type 2); mais en général, pour ne pas altérer les produits en concentration, ou uniquement pour simplifier la construction et ne pas se trouver en présence de pressions trop fortes, on établit les « multiple effet », en dépression, c'est-à-dire travaillant entre la pression atmosphérique et la pression au condenseur.

Dans ce cas, on doit utiliser l'énergie dynamique de la vapeur vive avant l'évaporateur; dans la marche en surpression, au contraire, il faudrait intercaler la turbine basse pression entre l'échappement de l'évaporation et le condenseur.

En résumé, pour fixer les idées au cas du double effet (qui peut être réalisé par l'accouplement de deux appareils à principe différent), on peut dire que, en négligeant la chaleur de réchauffage et les pertes, 1 kilogramme de vapeur vive évapore 2 kilogrammes d'eau; on recueille 1 kilogramme d'eau condensée à la température de la vapeur vive, 1 kilogramme d'eau d'évaporation condensée dans le second corps à la température d'ébullition du premier corps, et 1 kilogramme de vapeur d'évaporation à la température du deuxième corps (généralement perdue par envoi au condenseur à mélange); le concentré est obtenu à la température d'ébullition du second corps.

4° *Les appareils à multiple effet à température et pression constantes:* — Au lieu de concevoir l'écart de température nécessaire à l'ébullition obtenu par détente, on peut le concevoir obtenu par compression; c'est-à-dire la vapeur d'ébullition venant du premier corps est portée à nouveau à la même température et pression que la vapeur vive, ce qui, théoriquement, exige fort peu de calories; un condenseur n'est donc plus nécessaire, et 1 kilogramme de vapeur vive évaporera autant de kilogrammes d'eau que l'on pratiquera d'effets, avec recompression intermédiaire.

Le problème revient à établir le bilan entre le rendement énergétique d'un condenseur de vapeur et celui d'un compresseur de vapeur; la condensation exigeant en général l'élévation et la circulation d'une quantité importante d'eau est en principe inférieure comme solution à la compression, mais par contre le problème de la compression de vapeur est encore à ses débuts et moins connu que celui de la condensation; il n'y a pourtant pas de doute que les progrès dans l'évaporation se feront dans cette voie.

On remarquera que l'évaporation libre des quantités importantes d'eau condensée à une température qu'on est libre de régler en adoptant la marche en surpression ou en dépression par rapport à l'atmosphère; l'utilisation des calories de cette eau n'est pas toujours très aisée et la solution rationnelle devrait consister à employer une partie de ces calories à la recompression, le reste étant retourné à la chaudière.

La compression de la vapeur peut se faire :

- soit par appareils à piston,
- soit par appareils centrifuges,
- soit par appareils à jet.

Dans chaque cas une étude spéciale sera à faire, en tenant compte du rendement utile de la calorie en énergie dynamique ou inversement, en parlant du kilogramme de vapeur produit à la chaudière et en tenant compte du retour à celle-ci des eaux condensées.

Pression (atm)	Température (°C)	Densité (g/l)	Volume (l)	Pression (atm)	Température (°C)	Densité (g/l)	Volume (l)
1.015	100.0	0.96	1000	1.015	100.0	0.96	1000
1.035	100.0	0.96	1000	1.035	100.0	0.96	1000
1.055	100.0	0.96	1000	1.055	100.0	0.96	1000
1.075	100.0	0.96	1000	1.075	100.0	0.96	1000
1.095	100.0	0.96	1000	1.095	100.0	0.96	1000
1.115	100.0	0.96	1000	1.115	100.0	0.96	1000
1.135	100.0	0.96	1000	1.135	100.0	0.96	1000
1.155	100.0	0.96	1000	1.155	100.0	0.96	1000
1.175	100.0	0.96	1000	1.175	100.0	0.96	1000
1.195	100.0	0.96	1000	1.195	100.0	0.96	1000
1.215	100.0	0.96	1000	1.215	100.0	0.96	1000
1.235	100.0	0.96	1000	1.235	100.0	0.96	1000
1.255	100.0	0.96	1000	1.255	100.0	0.96	1000
1.275	100.0	0.96	1000	1.275	100.0	0.96	1000
1.295	100.0	0.96	1000	1.295	100.0	0.96	1000
1.315	100.0	0.96	1000	1.315	100.0	0.96	1000
1.335	100.0	0.96	1000	1.335	100.0	0.96	1000
1.355	100.0	0.96	1000	1.355	100.0	0.96	1000
1.375	100.0	0.96	1000	1.375	100.0	0.96	1000
1.395	100.0	0.96	1000	1.395	100.0	0.96	1000
1.415	100.0	0.96	1000	1.415	100.0	0.96	1000
1.435	100.0	0.96	1000	1.435	100.0	0.96	1000
1.455	100.0	0.96	1000	1.455	100.0	0.96	1000
1.475	100.0	0.96	1000	1.475	100.0	0.96	1000
1.495	100.0	0.96	1000	1.495	100.0	0.96	1000
1.515	100.0	0.96	1000	1.515	100.0	0.96	1000
1.535	100.0	0.96	1000	1.535	100.0	0.96	1000
1.555	100.0	0.96	1000	1.555	100.0	0.96	1000
1.575	100.0	0.96	1000	1.575	100.0	0.96	1000
1.595	100.0	0.96	1000	1.595	100.0	0.96	1000
1.615	100.0	0.96	1000	1.615	100.0	0.96	1000
1.635	100.0	0.96	1000	1.635	100.0	0.96	1000
1.655	100.0	0.96	1000	1.655	100.0	0.96	1000
1.675	100.0	0.96	1000	1.675	100.0	0.96	1000
1.695	100.0	0.96	1000	1.695	100.0	0.96	1000
1.715	100.0	0.96	1000	1.715	100.0	0.96	1000
1.735	100.0	0.96	1000	1.735	100.0	0.96	1000
1.755	100.0	0.96	1000	1.755	100.0	0.96	1000
1.775	100.0	0.96	1000	1.775	100.0	0.96	1000
1.795	100.0	0.96	1000	1.795	100.0	0.96	1000
1.815	100.0	0.96	1000	1.815	100.0	0.96	1000
1.835	100.0	0.96	1000	1.835	100.0	0.96	1000
1.855	100.0	0.96	1000	1.855	100.0	0.96	1000
1.875	100.0	0.96	1000	1.875	100.0	0.96	1000
1.895	100.0	0.96	1000	1.895	100.0	0.96	1000
1.915	100.0	0.96	1000	1.915	100.0	0.96	1000
1.935	100.0	0.96	1000	1.935	100.0	0.96	1000
1.955	100.0	0.96	1000	1.955	100.0	0.96	1000
1.975	100.0	0.96	1000	1.975	100.0	0.96	1000
1.995	100.0	0.96	1000	1.995	100.0	0.96	1000

CONDENSATION

1. **Définition.** — Un condenseur est essentiellement un espace clos maintenu à une température plus froide que celle de la vapeur qui y pénètre. Ce refroidissement a pour effet de condenser la vapeur à l'état liquide.

La variation considérable de volume qui en résulte crée un vide, c'est-à-dire l'abaissement de la pression jusqu'à celle de la tension de vapeur du liquide condensé.

Le *vide parfait* ou théorique est donc égal à la différence entre la pression atmosphérique (soit 760 millimètres de mercure) et la tension de vapeur à la température de l'eau dans le condenseur; il est exprimé dans la table-ci après :

Tableau des tensions de vapeur h et vides théoriques $H - h$ pour différentes températures du condenseur.

TEMPÉ- RATURE	h		$H - h$ (pour $H = 760$)	TEMPÉ- RATURE	h		$H - h$ (pour $H = 760$)
	en mm Hg	en kg : cm ²			en mm Hg	en kg : cm ²	
			mm.				mm
15°	12,7	0,0172	747,3	38°	49,3	0,067	710,7
16	13,5	0,0183	746,5	39	52	0,0707	708
17	14,4	0,0196	745,6	40	54,9	0,0747	705,1
18	15,3	0,0208	744,7	41	57,9	0,0788	702,1
19	16,3	0,0221	743,7	42	61	0,0828	699
20	17,4	0,0237	742,6	43	64,3	0,0875	695,7
21	18,5	0,0252	741,5	44	67,8	0,0922	692,2
22	19,7	0,0268	740,3	45	71,4	0,0970	688,6
23	20,9	0,0284	739,1	46	75,2	0,102	684,8
24	22,2	0,0302	737,8	47	79,1	0,1074	680,9
25	23,6	0,0321	736,4	48	83,2	0,1130	676,8
26	25	0,034	735	49	87,5	0,119	672,5
27	26,5	0,036	733,5	50	91,9	0,125	668,1
28	28,1	0,0382	731,9	51	96,6	0,131	663,4
29	29,7	0,0404	730,3	52	101,5	0,138	658,5
30	31,5	0,0428	728,5	53	106,6	0,145	653,4
31	33,3	0,0452	726,7	54	111,9	0,152	648,1
32	35,3	0,048	724,7	55	117,4	0,159	642,6
33	37,4	0,0518	722,6	56	123,1	0,167	636,9
34	39,5	0,0537	720,5	57	129,1	0,176	630,9
35	41,8	0,0568	718,2	58	135,4	0,184	624,6
36	44,2	0,060	715,8	59	141,9	0,193	618,1
37	46,7	0,0636	713,3	60	148,6	0,202	611,4

2. **Mesure du vide.** — Dans la pratique, on n'atteint jamais le vide théorique par suite de la présence d'air provenant soit de fuite, soit d'entraînement d'air depuis la chaudière (minime), soit dans les condenseurs à injection de l'air dissous dans l'eau à la pression atmosphérique et se dégageant dans le vide (important).

La tension existant dans le condenseur p est donc égale à la somme de la tension de la vapeur h et de celle de l'air f :

$$p = h + f.$$

On exprime généralement le *vide effectif* obtenu en 0/0 du vide théorique; si H est la pression atmosphérique on a pour valeur du vide en centièmes :

$$(1) \quad k = \frac{H - p}{H - h}.$$

Cette valeur K est la mesure de l'efficacité du condenseur.

On voit donc qu'un essai de condenseur exige les appareils de mesure suivants :

- 1 baromètre à mercure pour mesurer H ;
- 1 indicateur de vide qui donne directement $H - p$;
- 1 thermomètre pour mesurer la température de l'eau condensée et en déduire par suite h .

Le degré de vide est d'autant plus près de 1,00 que f est plus petit; on voit d'après cela que le progrès des appareils de condensation est lié à l'efficacité d'extraction de l'air, mais de l'air saturé seul, sans entraînement de vapeur.

Signalons à ce sujet un point que l'on néglige trop souvent dans les essais de consommation de groupes à condensation; si la température s'élève ou si le condenseur est trop faible, l'air évacué entraîne une quantité importante de vapeur vésiculaire, et comme on se contente de mesurer la quantité d'eau condensée évacuée, il en résulte que la consommation ainsi obtenue est plus faible que la réalité.

2 bis. **Correction barométrique.** — On exprime toujours les vide ramenés à 760, de sorte que pratiquement l'expression (1) ci-dessus se réduit, pour connaître le vide effectif ramené à 760, à une totalisation algébrique.

On ajoute au vide donné par l'indicateur de vide le chiffre 760 et l'on retranche la hauteur donnée par le baromètre; on obtient ainsi le *vide effectif*, dans les conditions de l'expérience, ramené à 760.

Ce vide, divisé par le vide théorique ramené à 760, pour la tempé-

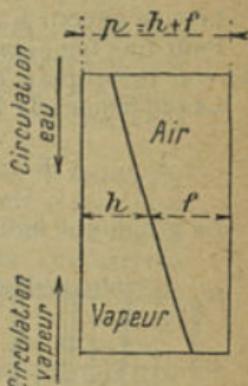


FIG. 16.

rature régnant dans le condenseur, donne le coefficient K , c'est-à-dire le rendement en 0/0 du vide théorique, réalisé par l'installation.

EXEMPLE. — Il règne au condenseur une température de 35° ; l'indicateur de vide indique 705 millimètres et le baromètre indique une pression atmosphérique de 755.

Le vide effectif à 760 est : $(705 + 760) - 755 = 710$.

Pour une température de 35° , la tension de vapeur est de $41^{\text{mm}},8$ et le vide théorique à 760 est : $760 - 41,8 = 718,2$.

Le rendement de l'installation est donc :

$$K = \frac{710}{718,2} = 98,8 \text{ 0/0 du vide théorique.}$$

Le graphique figure 17 donne les valeurs cherchées directement.

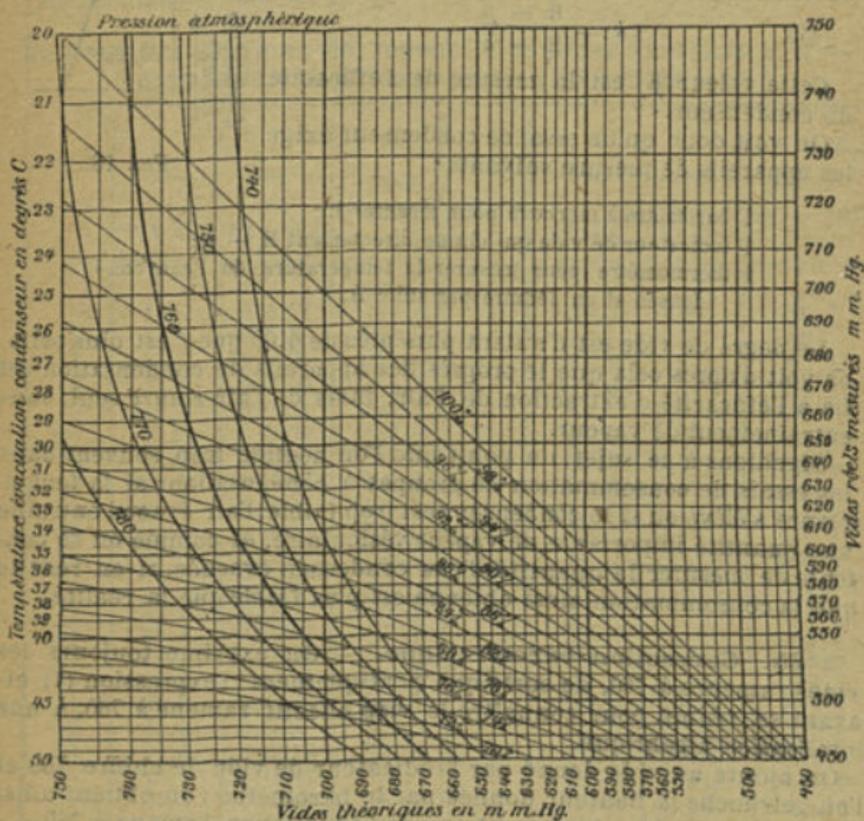


FIG. 17.

3. **Progrès des méthodes de condensation.** — Nous avons dit que la principale difficulté à vaincre était l'extraction de l'air. Un premier progrès a été la séparation naturelle de l'eau condensée des fluides non condensables, qui a entraîné l'extraction par pompe spéciale de l'eau et de l'air séparément.

Ce perfectionnement a été réalisé par Weir, dès 1888, dans son appareil à « contre-courant ». La pression dans un condenseur est sensiblement uniforme, mais la température ne l'est point; le point le plus froid est du côté de l'arrivée d'eau (interne ou externe) et le point le plus chaud du côté de l'arrivée de vapeur.

En faisant circuler en sens inverse (à contre-courant) le fluide réfrigérant et la vapeur à condenser, la tension de vapeur h sera plus élevée au point le plus chaud, et comme la pression totale $p = h + f$, l'air aura sa tension la plus élevée dans le voisinage de l'arrivée d'eau: c'est donc en ce point où l'air se réfugie naturellement qu'il sera le plus facile de l'évacuer (fig. 16).

L'ancienne pompe à air humide, aspirant à la fois l'air et l'eau, a été remplacée par deux pompes: pompe à eau ou pompe d'extraction et pompe à air sec (expression parfaitement impropre du reste). Pour les condenseurs à surface, une troisième pompe dite pompe de circulation est alors nécessaire pour le mouvement de l'eau de refroidissement.

Devant les inconvénients des pompes à vide à piston (1) pour le vide élevé on est alors revenu pour l'extraction de l'air à l'emploi d'éjecteurs ou trompes, qui ne présentent pas d'espace nuisible et qui aspirent au contraire un volume de fluide d'autant plus grand que la pression est plus basse.

Rateau en France (2), Koerting en Allemagne ont été les premiers à proposer et appliquer les condenseurs à jet ou éjecto-condenseurs. Ces appareils sont d'une simplicité extrême et d'un fonctionnement sûr avec l'injection d'eau (condenseur à mélange), surtout si, au lieu d'une seule ouïe d'entraînement, on en dispose un grand nombre le long du jet (Koerting). Avec le dispositif dit à siphon ou « barométrique », un condenseur de ce genre peut fonctionner sans aucune pompe, étant capable d'aspirer son eau d'injection jusqu'à 4 ou 5 mètres; l'avantage réside dans la simplicité, l'entretien nul et le vide obtenu est suffisant pour une machine à piston.

(1) Voir notamment, pour la discussion des influences nuisibles dans les pompes à vide à piston, l'étude de M. Leblanc, *Bulletin de l'Assoc. technique maritime*, 1908, et *Bulletin des Ingénieurs civils*, 1911, où la question de condensation est traitée à fond.

(2) Voir Rateau, *Théorie des éjecto-condenseurs. Bulletin Ind. minérale*, 4^e série, t. I, p. 545, et du même, *Théorie des trompes. Revue de Mécanique*, septembre 1900.

Dans les condenseurs à surface et vide élevé, l'éjecteur est seulement employé à l'extraction de l'air. On a d'abord employé des éjecteurs à vapeur : le « vacuum augmentor » (intensifieur du vide) des turbines Parsons est un éjecteur à vapeur qui refoule les fluides non condensables dans un condenseur auxiliaire énergiquement refroidi d'où l'air mieux débarrassé d'eau vésiculaire peut plus facilement être extrait par une pompe alternative.

Puis Kœrting d'une part, la « Kinetic air pump C° » de l'autre, emploierent un second éjecteur, à eau, au lieu de la pompe à piston ; le système « Kinetic », d'abord appliqué à la station d'Hammersmith à Londres est des plus perfectionnés et très répandu en Angleterre (1). Le premier éjecteur emploie la vapeur d'échappement des pompes à eau (généralement mues par une petite turbine à vapeur) et le mélange est envoyé dans un condenseur auxiliaire à siphon.

On met en série un éjecteur à vapeur et un éjecteur à eau, la chaleur de la vapeur employée à l'extraction de l'eau et de l'air étant récupérée dans l'eau condensée, moins naturellement l'équivalent thermique dépensé dans le travail accompli.

En France, avec la trompe de Leblanc, l'éjecteur à eau a eu jusqu'ici la préférence ; dans la pompe Leblanc, une haute pression est communiquée mécaniquement à l'eau par une turbine dont le distributeur crée des lames successives qui emprisonnent littéralement dans le divergent le mélange d'eau et de vapeur ; le rendement est meilleur, la stabilité plus grande mais encore fragile.

Récemment M. Delaporte, dans le dispositif dit « Ejectair Breguet », a remis en honneur l'éjecteur à vapeur ; le système (2) est analogue à celui des deux éjecteurs en série de la Kinetic air pump C°, à ceci près que tous deux sont à vapeur vive. Depuis, l'emploi des éjecteurs d'air s'est généralisé et la plupart des constructeurs établissent ce type d'extracteur avec un ou plusieurs étages de compression, et récupération partielle ou totale des calories dans la vapeur d'entraînement.

4. Consommation d'eau de refroidissement. — Si l'on appelle :

p , poids de vapeur à condenser ;

P , poids d'eau de réfrigération ;

t_1 et t_2 , température de l'eau à l'entrée et à la sortie ;

λ_0 , la chaleur totale dans la vapeur à condenser ;

(1) Voir les notes de D. B. Morison, sur les « Vacuum augmentors » dans *Institution of mechanical Engineers*, juillet 1909 et de Fothergill en mars 1910.

(2) Voir sur l'Ejecteur Delaporte, *Bulletin Assoc. technique maritime*, 1913 et *Bulletin des Ingénieurs civils*, 1913, p. 689. M. Aimé Witz a donné dans la *Technique Moderne*, 1^{er} juillet 1914, les résultats d'essais exécutés par lui sur un éjecteur à vapeur, mais à l'instar du dispositif de M. Breguet.

la quantité d'eau nécessaire est :

$$P = \frac{p(\lambda_0 - t_2)}{t_2 - t_1}.$$

Les résultats de cette formule sont donnés dans le tableau 5.

En pratique, t_1 , température de l'eau à l'entrée, est voisine de la température ambiante ; dans un réfrigérant bien établi, l'eau refroidie peut descendre de quelques degrés au-dessous de l'ambiance (l'écart est d'autant plus grand que l'air est plus sec), mais souvent elle est de quelques degrés au-dessus. On peut pratiquement la prendre égale.

t_2 , température de l'eau à la sortie, est sensiblement égale dans les condenseurs à mélange à la température moyenne du condenseur ; dans les condenseurs à surface, l'eau est à une température un peu plus faible que la température interne à cause de l'échange par les parois. L'écart $t_2 - t_1$ est plus petit et par suite la quantité d'eau de refroidissement est plus grande avec un condenseur à surface qu'avec un condenseur à injection.

Par exemple, l'ambiance vaut 25° , la chaleur de la vapeur à condenser étant 537 calories sensiblement, il faudra dans un appareil à mélange, si l'on ne veut pas dépasser 35° pour température de l'eau à la sortie :

$$\frac{P}{p} = \frac{\lambda}{35 - 25} = 53^{\text{kg}},7 \text{ d'eau par kilogramme de vapeur à condenser.}$$

Si dans un condenseur à surface l'écart entre la température interne et l'eau à l'extérieur atteint 5° seulement, c'est-à-dire $t_2 = 30^\circ$, la quantité d'eau nécessaire sera doublée :

$$\frac{P}{p} = \frac{537}{30 - 25} = 107^{\text{kg}},4 \text{ d'eau par kilogramme de vapeur à condenser.}$$

On voit toute l'importance de la température de l'eau sur la puissance nécessaire à la circulation.

Lorsque l'eau est rare ou chère, on la fait resservir en refroidissant dans des réfrigérants à cheminée ou à pulvérisation.

4 bis. Consommation de puissance pour la condensation. — La puissance consommée pour la condensation comprend trois termes ; le principal, exigé pour la circulation de l'eau, est éminemment variable dépendant du débit et de la résistance du circuit de la circulation ; le second plus faible est celui de la pompe à extraire les gaz incondensables ; le troisième encore plus faible est celui nécessaire pour le retour de l'eau à la bache d'alimentation.

On compte de IRIS • LILLIAD • Université Lille 1^{ère} aux machines.

5. Poids d'eau nécessaire à condenser 1 kilogramme de vapeur d'eau.

Température de l'eau de réfrigération	Température de l'eau évacuée du condenseur ⁽¹⁾					
	30	35	40	45	50	55
15	39,6	29,5	23,4	19,7	16,4	14,3
16	42,5	31,1	24,1	20,0	16,9	14,6
17	45,6	33,0	25,4	20,7	17,4	15,0
18	49,6	34,5	26,6	21,5	18,0	15,4
19	54,1	36,5	27,8	22,3	18,5	16,0
20	59,5	39,5	29,3	23,2	19,1	16,3
21	65,0	42,1	30,8	24,1	19,8	17,0
22	74,4	45,4	32,4	25,1	20,8	17,3
23	84,4	49,5	34,4	26,4	21,3	17,8
24	99,2	53,6	36,5	27,6	22,1	18,4
25	119,0	59,0	38,5	29,3	23,0	19,0
26	149,0	65,6	42,0	30,5	23,9	19,6
27	—	74,3	45,0	32,2	25,0	20,5
28	—	84,3	49,0	34,1	26,1	20,7
29	—	98,3	53,2	36,2	27,4	21,5
30	—	147,0	58,5	38,6	28,7	22,4
31	—	197,0	65,0	41,4	30,4	23,3
32	—	—	73,0	44,6	32,0	24,1
33	—	—	97,5	48,3	33,8	25,4
34	—	—	117,0	53,0	35,9	26,7
35	—	—	149,0	58,0	38,3	28,0

6. Poids et volume de l'air à extraire. — Ce facteur essentiel à connaître pour fixer le choix de la pompe à vide est malheureusement peu connu et très variable.

L'air présent au condenseur peut être amené : 1° par la vapeur à condenser ; les turbines présentent des rentrées d'air 4 à 5 fois plus faibles que les machines alternatives, et celles-ci beaucoup moins que certains liquides industriels à évaporer, qui contiennent soit de l'air émulsionné s'ils sont épais, soit des gaz incondensables, ammoniacque, acide carbonique, etc. ; 2° par l'eau de réfrigération ; on admet couramment que l'eau froide dissout $\frac{1}{40}$ de son volume ; naturelle-

(1) Pour les IRIS de l'Université Lille 1, la température de l'eau condensée et non celle de l'eau de circulation.

7. Volume de l'air sec raréfié aux diverses températures en m³: kg, d'après $V_2 = \frac{L_1 v_1 T_2}{T_1} \frac{1}{274,6}$ et $p_1 v_1 = RT_1$ avec pour l'air $R = 29,27$; et $T_1 = \frac{1}{\alpha} + t_1$ avec pour l'air très raréfié $\alpha = \frac{1}{274,6}$.

Tension de l'air en mm.: Hg.

	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160
30	30,58	20,39	15,29	12,23	10,19	8,74	7,64	6,79	6,12	5,56	5,09	4,70	4,37	4,08	3,82
35	31,11	20,77	15,55	12,43	10,37	8,89	7,78	6,91	6,22	5,66	5,18	4,78	4,44	4,15	3,89
40	31,66	21,1	15,82	12,65	10,56	9,04	7,91	7,03	6,33	5,75	5,27	4,87	4,52	4,22	3,95
45	32,20	21,45	15,08	12,85	10,73	9,20	8,04	7,15	6,44	5,85	5,36	4,95	4,60	4,29	4,02
50	32,73	21,81	16,36	13,08	10,10	9,35	8,18	7,27	6,55	5,95	5,45	5,03	4,68	4,36	4,09
55	33,27	22,16	16,62	13,28	11,08	9,50	8,31	7,39	6,66	6,05	5,54	5,11	4,75	4,44	4,15
60	33,80	22,53	16,89	13,51	11,23	9,66	8,44	7,51	6,76	6,15	5,63	5,20	4,83	4,51	4,22
65	34,34	22,88	17,15	13,71	11,44	9,81	8,58	7,63	6,87	6,24	5,72	5,28	4,90	4,58	4,29
70	34,88	23,25	17,43	13,94	11,63	9,97	8,71	7,75	6,98	6,34	5,80	5,36	4,98	4,65	4,36
75	35,42	23,60	17,69	14,04	11,79	10,12	8,84	7,87	7,08	6,44	5,89	5,44	5,06	4,72	4,42
80	35,92	23,96	17,97	14,37	11,98	10,27	8,98	7,99	7,19	6,53	5,98	5,53	5,14	4,79	4,49

ment un condenseur à mélange présente un volume d'air à extraire bien plus grand qu'un condenseur à surface; 3° par les joints des conduites et appareils; ces rentrées d'air sont évidemment proportionnées au nombre des joints et au soin apporté à leur confection.

Il est commode de toutes façons de ramener le poids d'air à extraire au poids d'eau de réfrigération. On pourra prendre les chiffres suivants :

- 20 grammes par mètre cube d'eau de réfrigération pour installation très soignée de turbine et condenseur à surface ;
- 50 grammes par mètre cube pour force motrice avec machine-piston et condenseur à surface ;
- 100 grammes par mètre cube pour force motrice avec condenseur à mélange ;
- 125 grammes par mètre cube pour applications industrielles (évaporateurs) à surface ;
- 200 grammes par mètre cube pour applications industrielles à mélange.

On passera des poids aux volumes, de l'air aux pressions et température existant dans le condenseur à l'aide du tableau annexe.

8. Dimension des pompes à vide. — La pompe alternative humide a disparu totalement des installations de force motrice et disparaît même de l'industrie devant les gros avantages des éjecteurs, peu encombrants et sans organes en mouvement, chez certains.

La pompe humide à piston aspirant l'eau et l'air est remplacée dans les installations modernes par une pompe centrifuge d'extraction de l'eau et un éjecteur d'extraction de l'air.

Il faut donc connaître séparément pour choisir les différents appareils d'extraction le *volume* des éléments suivants :

- poids de vapeur à condenser ;
- d'eau de refroidissement ;
- d'air et de gaz incondensables à extraire.

Dans une pompe humide, l'appareil doit aspirer la totalité de ces trois éléments, dont l'air est généralement celui qui occupe le plus grand volume; vis-à-vis de cet air la pompe agit comme un véritable compresseur aspirant l'air raréfié pour le comprimer à la pression atmosphérique; il en résulte que le rendement volumétrique baisse très rapidement à mesure que le vide augmente: de 75 0/0 pour des vides de 65 à 70 cm : Hg, il descend à 50 0/0 pour des vides de 65 à 70 et tombe à tout près de zéro au delà de 75 centimètres de vide.

EXEMPLE. — Soit à déterminer la pompe humide d'un condenseur à mélange devant l'IRIS - ILLIAD Université Lille 1 l'heure; on dis-

pose d'eau d'injection à 25° et on ne veut pas dépasser 40° pour l'eau évacuée; le vide à maintenir sera de 68 cm : Hg.

La quantité d'eau de réfrigération entrant à 25 et sortant à 40 doit être de 38,5 kg. par kilogramme de vapeur (voir table 5), soit au total 23 mètres cubes à l'heure.

Il s'agit de concentration d'un liquide industriel et nous supposons que les rentrées d'air correspondent à un poids de 200 grammes par mètre cube, soit à extraire $0,2 \times (23 + 0,6) = 4,72$ kg. par heure.

A 40°, température du condenseur, la tension de la vapeur est de 54,9 mm. de mercure; le vide de 68 correspond à une tension totale de $760 - 680 = 80$ millimètres si la pression atmosphérique est de 76 centimètres. La tension propre de l'air est donc $80 - 55 = 25$ mm : Hg.

Par interpolation le tableau 7 indique que le volume spécifique de l'air sous cette tension est de 28 m³ : kg. à la température de 40°; le volume d'air à extraire est donc $28 \times 4,7 = 131,6$ m³ d'air par heure.

En résumé la pompe humide devra aspirer :

Eau condensée.....	0,6 m ³
— réfrigération.....	23,0 —
Air.....	131,6 —
Au total.....	155,2 m ³ par heure.

Avec un rendement volumétrique de 50 0/0, la pompe devra présenter un volume engendré de 310 mètres cubes à l'heure. Soit une pompe à double effet de 220 d'alésage, 330 de course, 12,5 litres de cylindrée et par conséquent 25 litres de volume engendré par tour; pour remplir les conditions énoncées, elle devra donc tourner à :

$$\frac{310}{0,025 \times 60} = 206 \text{ tours par minute.}$$

On ne doit pas faire tourner les pompes humide à piston à plus de 100 tours, car les dimensions des clapets deviendraient exorbitantes; il vaudrait mieux adopter une pompe de cylindrée double, tournant deux fois moins vite.

9. Éjecteurs à air. — Ce sont des appareils d'extraction fonctionnant par entraînement, sur le principe des injecteurs; le fluide entraîne l'air qu'on doit puiser dans le condenseur au point où il est le plus dense, par conséquent le plus froid et le fluide moteur est suivant les constructeurs, l'eau ou la vapeur; la faveur paraît s'attacher aux éjecteurs fonctionnant à la vapeur qui ne nécessitent pas de pompe spéciale d'eau, ni de consommation d'eau, ce qui est important quand celle-ci est rare ou chaude.

Ces éjecteurs sont établis par Leblanc, Delaporte, Delas, Lemâle; le point délicat est de désamorçants assez

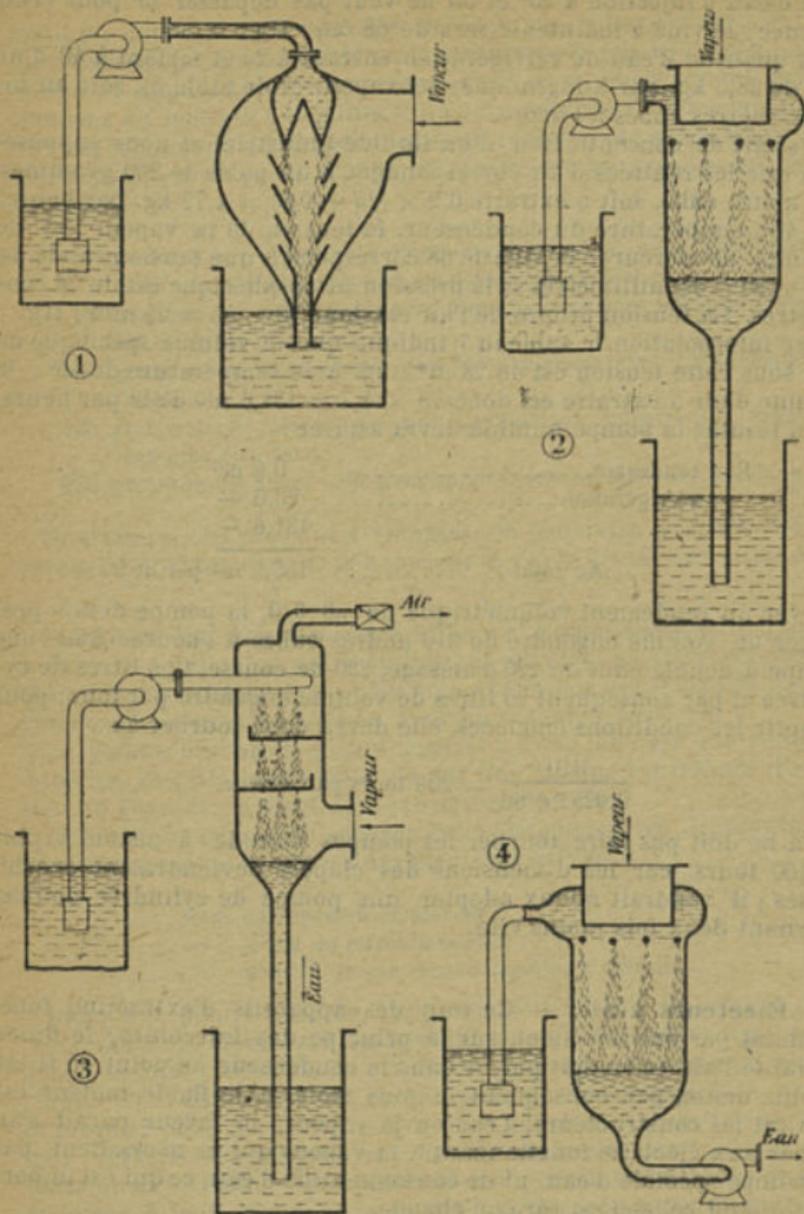


Fig. 18. Type de condensation par injection.

facilement; suivant le type on obtient la stabilité par divers artifices. On peut dire que les appareils actuellement sur le marché sont sûrs et pratiques et très supérieurs aux pompes à vide à piston; ils permettent de réaliser des vides élevés qu'il était impossible d'atteindre avec les pompes à piston, même par les moyens auxiliaires les plus perfectionnés de refroidissement des pompes et de noyage des espaces morts.

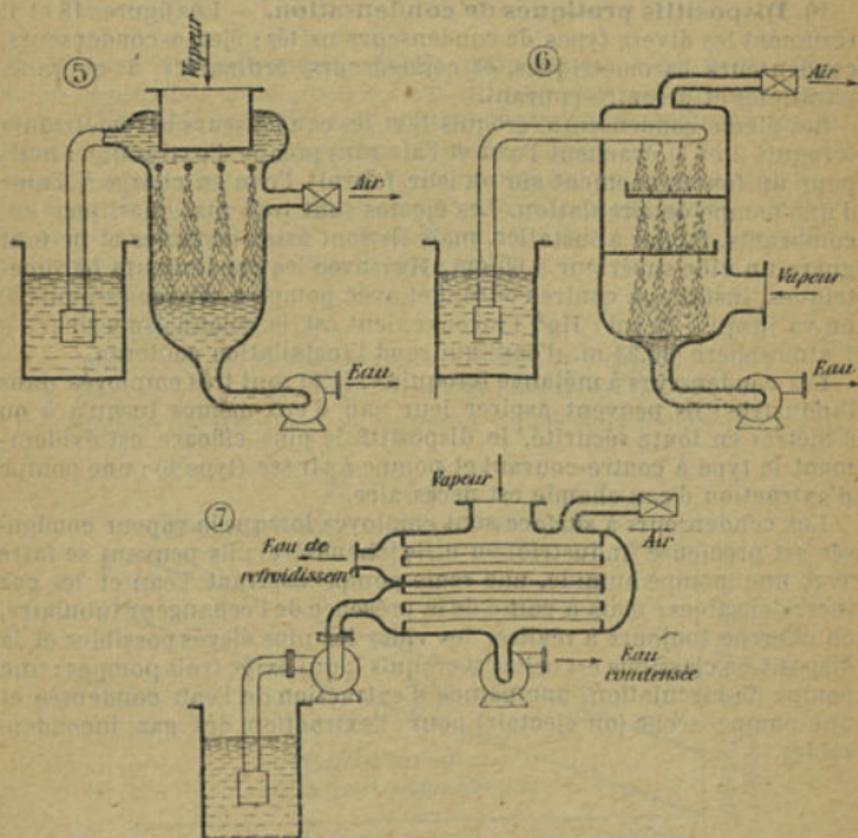


FIG. 19. — Type de condensation par surface.

Les données sur le rendement volumétrique des éjecteurs d'air sont encore peu connues, et il faut s'en remettre au constructeur pour déterminer les dimensions de ces appareils.

La maison IRIS LILLIAD p Université Lille 1er les grands avan-

tages pratiques de ces appareils auxquels elle a donné le nom d'*éjectairs*.

Dans les éjectairs Delaporte-Bréguet on extrait de 100 à 200 grammes d'air par kilogramme de vapeur consommée suivant le vide et la pression de la vapeur employée) dans les appareils à condenseur intermédiaire, et de 25 à 50 grammes d'air par kilogramme de vapeur consommée dans les appareils sans condenseur intermédiaire.

10. Dispositifs pratiques de condensation. — Les figures 18 et 19 résument les divers types de condenseurs usités; éjecto-condenseurs, condenseurs barométriques, et condenseurs ordinaires à courants parallèles et à contre-courant.

Les éjecto-condenseurs (croquis 1) et les condenseurs barométriques (croquis 2 et 3) évacuent l'eau et l'air sans pompe d'extraction; mais pour un fonctionnement sûr on leur fournit l'eau en charge à l'aide d'une pompe de circulation. Les éjectos sont très rustiques, peu encombrants, faciles à installer, mais ils sont assez instables et ne font guère un vide supérieur à 60 cm : Hg; avec les condenseurs barométriques, installés à contre-courant et avec pompe à air sec (croquis 3) on va jusqu'à 70 cm : Hg; l'inconvénient est la colonne supérieure à 1 atmosphère (10,33 m. d'eau) qui rend l'installation coûteuse.

Les condenseurs à mélange (croquis 4, 5, 6) sont très employés dans l'industrie; ils peuvent aspirer leur eau d'eux-mêmes jusqu'à 5 ou 6 mètres en toute sécurité, le dispositif le plus efficace est évidemment le type à contre-courant et pompe à air sec (type 6); une pompe d'extraction d'eau chaude est nécessaire.

Les condenseurs à surface sont employés lorsque la vapeur condensée est précieuse (industrie) ou utile (chaudière); ils peuvent se faire avec une pompe humide, une seule pompe aspirant l'eau et les gaz incondensables; mais à cause de la présence de l'échangeur tubulaire, on cherche toujours à réaliser les vides les plus élevés possibles et la disposition classique est celle du croquis 7, qui exige trois pompes: une pompe de circulation, une pompe d'extraction de l'eau condensée et une pompe sèche (ou éjectair) pour l'extraction des gaz incondensables.

CHAPITRE IV

MOUVEMENT DES LIQUIDES, POMPES

MOUVEMENT DE L'EAU

1. **Vitesse d'écoulement, débit, puissance.** — Si nous appelons p_t la pression totale, celle-ci est utilisée pour vaincre les résistances à l'écoulement (pertes de charge) et pour donner au liquide sa vitesse d'écoulement (charge capable de la vitesse).

Ces pressions devraient toujours être comptées en *tension*, c'est-à-dire à partir du vide parfait (Voir chapitre I le paragraphe « Définition et mesure des pressions », la distinction à faire entre dépressions et surpressions par rapport à l'atmosphère).

Si l'on appelle :

- p_t , la pression totale,
- p_c , — perdue (somme des pertes de charge),
- p_d , — dynamique ou charge provoquant la vitesse ;

le théorème de Bernoulli nous apprend qu'en tous points du circuit on a :

$$p_t = p_c + p_d,$$

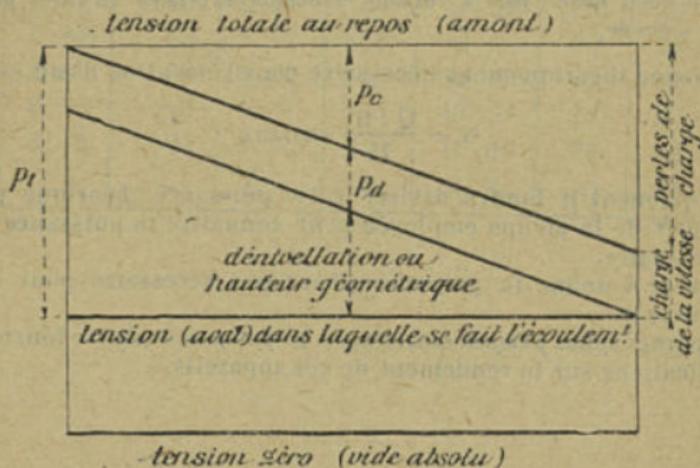


FIG. 20.

ce qui est traduit par le schéma figure 20, représentant l'écoulement d'un liquide incompressible au-dessous de la vitesse critique (régime de Poiseuille).

Si les pertes de charge étaient nulles, toute la tension serait utilisée en vitesse et la valeur théorique de celle-ci serait :

$$v = \sqrt{2gp_t}$$

En réalité il y a toujours une perte de charge (frottements, coudes, etc.) de valeur p_c et la vitesse réelle est :

$$v = \sqrt{2gp_t - p_c} = \sqrt{2gp_d}$$

On désigne usuellement par H_1 la charge totale (géométrique, plus pertes de charge) et par H_2 la somme des pertes de charge, de sorte que la vitesse d'écoulement s'évalue en pratique par :

$$v = \sqrt{2g(H_1 - H_2)}$$

et le débit par :

$$Q = S \cdot v,$$

S étant la section. La table 2 ci-après donne les valeurs de la vitesse pour différentes charges capables $p_d = H_1 - H_2$ exprimées en mètres d'eau.

Si :

H_1 est la charge totale que doit vaincre une machine élévatrice quelconque (hauteur géométrique plus les pertes de charge) en mètres d'eau ;

Q , le débit défini par la formule ci-dessus exprimée en litres par seconde,

la puissance théoriquement nécessaire pour l'élévation d'eau est :

$$N = \frac{Q \cdot H_1}{75} \text{ chevaux.}$$

Pratiquement il faudra diviser cette puissance théorique par le rendement de la pompe employée pour connaître la puissance effective nécessaire.

La table 4 donne la puissance théorique nécessaire pour divers débits usuels.

Les paragraphes *pompes centrifuges et pompes à piston* fournissent des indications sur le rendement de ces appareils.

2. Table des vitesses d'écoulement de l'eau en m : sec pour une charge capable de la vitesse pd en m. de colonne d'eau

$$V = 4,43 \sqrt{pd.}$$

pd m.	V m.sec.	pd m	V m. sec	pd m	V m. sec.	pd m.	V m. sec
0.01	0.44	0.55	3.28	1.9	6.10	12	15.32
0.02	0.62	0.60	3.43	2	6.26	13	15.94
0.03	0.77	0.65	3.57	2.5	7.00	14	16.56
0.04	0.88	0.70	3.70	3	7.67	15	17.15
0.05	0.99	0.75	3.83	3.5	8.28	16	17.72
0.06	1.08	0.80	3.96	4	8.85	17	18.25
0.07	1.17	0.85	4.08	4.5	9.39	18	18.78
0.08	1.25	0.90	4.20	5	9.90	19	19.27
0.09	1.33	0.95	4.31	5.5	10.36	20	19.80
0.10	1.40	1.00	4.42	6	10.84	21	20.28
0.15	1.71	1.10	4.64	6.5	11.29	22	20.77
0.20	1.98	1.20	4.85	7	11.71	23	21.22
0.25	2.21	1.30	5.05	7.5	12.13	24	21.66
0.30	2.42	1.40	5.24	8	12.52	25	22.15
0.35	2.62	1.50	5.42	8.5	12.88	26	22.54
0.40	2.80	1.60	5.60	9	13.28	27	23.00
0.45	2.97	1.70	5.77	9.5	13.64	28	23.43
0.50	3.13	1.80	5.94	10	14.00	29	23.84
				11	14.66	30	24.23

3. Table donnant la transformation des litres par seconde en litres par minute; en mètres cubes par heure; en mètres cubes par jour, et réciproquement.

MÈTRES CUBES par heure	MÈTRES CUBES par jour	LITRES par SECONDE	LITRES par MINUTE	MÈTRES CUBES par jour	LITRES par SECONDE	LITRES par MINUTE	MÈTRES CUBES par heure
1	24	0,277	16,66	1	0,0115	0,6944	0,0416
2	48	0,555	33,33	2	0,0231	1,3888	0,0833
3	72	0,893	50,00	3	0,0347	2,0833	0,1250
4	96	1,111	66,66	4	0,0462	2,7777	0,1666
5	120	1,388	83,33	5	0,0578	3,4722	0,2083
6	144	1,666	100,00	6	0,0694	4,1666	0,2500
7	168	1,944	116,66	7	0,0810	4,8611	0,2916
8	192	2,222	133,33	8	0,0925	5,5555	0,3333
9	216	2,500	150,00	9	0,1041	6,2500	0,3750
10	240	2,777	166,66	10	0,1157	6,9444	0,4166
12	288	3,333	200,00	12	0,1388	8,3333	0,5000
14	336	3,888	233,33	14	0,1620	9,7222	0,5833
16	384	4,444	266,66	16	0,1851	11,1111	0,6666
18	432	5,000	300,00	18	0,2083	12,5000	0,7500
20	480	5,555	333,33	20	0,2314	13,8888	0,8333
25	600	6,944	416,66	25	0,2893	17,3611	1,0416
30	720	8,333	500,00	30	0,3472	20,8333	1,2500
35	840	9,722	583,33	35	0,4051	24,3055	1,4583
40	960	11,111	666,66	40	0,4629	27,7777	1,6666
45	1.080	12,500	750,00	45	0,5208	31,2500	1,8750
50	1.200	13,888	833,33	50	0,5787	34,7222	2,0833
55	1.320	15,277	916,66	55	0,6365	38,1944	2,2916
60	1.440	16,666	1000,00	60	0,6944	41,6666	2,5000
65	1.560	18,055	1083,33	65	0,7523	45,1388	2,7083
70	1.680	19,444	1166,66	70	0,8101	48,6111	2,9166
75	1.800	20,833	1250,00	75	0,8680	52,0833	3,1250
80	1.920	22,222	1333,33	80	0,9259	55,5555	3,3333
85	2.040	23,611	1416,66	85	0,9838	59,0277	3,5416
90	2.160	25,000	1500,00	90	1,0416	62,5000	3,7500
95	2.280	26,388	1583,33	95	1,0995	65,9722	3,9583
100	2.400	27,777	1666,66	100	1,1574	69,4444	4,1666
110	2.640	30,555	1833,33	110	1,2731	76,3888	4,5833
120	2.880	33,333	2000,00	120	1,3888	83,3333	5,0000
130	3.120	36,111	2166,66	130	1,5046	90,2777	5,4166
140	3.360	38,888	2333,33	140	1,6203	97,2222	5,8333
150	3.600	41,666	2500,00	150	1,7361	104,1666	6,2500
160	3.840	44,444	2666,66	160	1,8518	111,1111	6,6666
170	4.080	47,222	2833,33	170	1,9675	118,0555	7,0833
180	4.320	50,000	3000,00	180	2,0833	125,0000	7,5000
190	4.560	52,777	3166,66	190	2,1990	131,9444	7,9166
200	4.800	55,555	3333,33	200	2,3148	138,8888	8,3333
300	7.200	83,333	5000,00	300	3,4722	208,3333	12,5000
400	9.600	111,111	6666,66	400	4,6296	277,7777	16,6666
500	12.000	138,888	8333,33	500	5,7870	347,2222	20,8333
600	14.400	166,666	10000,00	600	6,9444	416,6666	25,0000
700	16.800	194,444	11666,66	700	8,1018	486,1111	29,1666
800	19.200	222,222	13333,33	800	9,2592	555,5555	33,3333
900	21.600	250,000	15000,00	900	10,4166	625,0000	37,5000
1.000	24.000	277,777	16666,66	1.000	11,5740	694,4444	41,6666

Table donnant la transformation des litres par seconde en litres par minute; en mètres cubes par heure; en mètres cubes par jour, et réciproquement (suite).

LITRES par SECONDE	LITRES par MINUTE	MÈTRES CUBES par heure	MÈTRES CUBES par jour	LITRES par MINUTE	MÈTRES CUBES par heure	MÈTRES CUBES par jour	LITRES par SECONDE
1	60	3,6	86,4	1	0,060	1,440	0,0166
2	120	7,2	172,8	2	0,120	2,880	0,0333
3	180	10,8	259,2	3	0,180	4,320	0,0500
4	240	14,4	345,6	4	0,240	5,760	0,0666
5	300	18,0	432,0	5	0,300	7,200	0,0833
6	360	21,6	518,4	6	0,360	8,640	0,1000
7	420	25,2	604,8	7	0,420	10,080	0,1166
8	480	28,8	691,2	8	0,480	11,520	0,1333
9	540	32,4	777,6	9	0,540	12,960	0,1500
10	600	36,0	864,0	10	0,600	14,400	0,1666
12	720	43,2	1.036,8	12	0,720	17,280	0,2000
14	840	50,4	1.209,6	14	0,840	20,160	0,2333
16	960	57,6	1.382,4	16	0,960	23,040	0,2666
18	1.630	64,8	1.555,2	18	1,080	25,920	0,3000
20	1.200	72,0	1.728,0	20	1,200	28,800	0,3333
25	1.500	90,0	2.160,0	25	1,500	36,000	0,4166
30	1.800	108,0	2.592,0	30	1,800	43,200	0,5000
35	2.100	126,0	3.024,0	35	2,100	50,400	0,5833
40	2.400	144,0	3.456,0	40	2,400	57,600	0,6666
45	2.700	162,0	3.888,0	45	2,700	64,800	0,7500
50	3.000	180,0	4.320,0	50	3,000	72,000	0,8333
55	3.300	198,0	4.752,0	55	3,300	79,200	0,9166
60	3.600	216,0	5.184,0	60	3,600	86,400	1,0000
65	3.900	234,0	5.616,0	65	3,900	93,600	1,0833
70	4.200	252,0	6.048,0	70	4,200	100,800	1,1666
75	4.500	270,0	6.480,0	75	4,500	108,000	1,2500
80	4.800	288,0	6.912,0	80	4,800	115,200	1,3333
85	5.100	306,0	7.344,0	85	5,100	122,400	1,4166
90	5.400	324,0	7.776,0	90	5,400	129,600	1,5000
95	5.700	342,0	8.208,0	95	5,700	136,800	1,5833
100	6.000	360,0	8.640,0	100	6,000	144,000	1,6666
110	6.600	396,0	9.504,0	110	6,600	158,400	1,8333
120	7.200	432,0	10.368,0	120	7,200	172,800	2,0000
130	7.800	468,0	11.232,0	130	7,800	187,200	2,1666
140	8.400	504,0	12.096,0	140	8,400	201,600	2,3333
150	9.000	540,0	12.960,0	150	9,000	216,000	2,5000
160	9.600	576,0	13.824,0	160	9,600	230,400	2,6666
170	10.200	612,0	14.688,0	170	10,200	244,800	2,8333
180	10.800	648,0	15.552,0	180	10,800	259,200	3,0000
190	11.400	684,0	16.416,0	190	11,400	273,600	3,1666
200	12.000	720,0	17.280,0	200	12,000	288,000	3,3333
300	18.000	1.080,0	25.920,0	300	18,000	432,000	5,0000
400	24.000	1.440,0	34.560,0	400	24,000	576,000	6,6666
500	30.000	1.800,0	43.200,0	500	30,000	720,000	8,3333
600	36.000	2.160,0	51.840,0	600	36,000	864,000	10,0000
700	42.000	2.520,0	60.480,0	700	42,000	1008,000	11,6666
800	48.000	2.880,0	69.120,0	800	48,000	1152,000	13,3333
900	54.000	3.240,0	77.760,0	900	54,000	1296,000	15,0000
1.000	60.000	3.600,0	86.400,0	1.000	60,000	1440,000	16,6666

4. Table de la puissance théorique en chevaux pour l'élevation de l'eau.

Débit en m ³ heure	Hauteur totale en m (R géométrique + Pertes de charge)													
	5	10	15	20	25	30	35	40	50	60	70	80	90	100
1	0.03	0.06	0.10	0.12	0.14	0.16	0.19	0.25	0.3	0.32	0.36	0.43	0.5	0.55
2	0.05	0.11	0.20	0.24	0.28	0.32	0.38	0.45	0.55	0.65	0.75	0.85	1	1.1
3	0.08	0.16	0.24	0.32	0.4	0.48	0.6	0.65	0.8	1	1.1	1.3	1.45	1.6
4	0.11	0.22	0.32	0.43	0.55	0.65	0.75	0.85	1.1	1.3	1.5	1.7	2	2.15
5	0.13	0.27	0.40	0.54	0.7	0.8	1	1.1	1.35	1.6	1.9	2.15	2.4	2.65
6	0.16	0.32	0.50	0.64	0.8	1	1.15	1.3	1.6	2	2.25	2.6	2.9	3.2
7	0.19	0.37	0.60	0.75	1.0	1.12	1.3	1.5	1.85	2.25	2.6	3	3.35	3.75
8	0.21	0.43	0.65	0.85	1.1	1.3	1.5	1.7	2.15	2.6	3.4	3.4	3.85	4.25
9	0.24	0.48	0.72	1	1.2	1.45	1.7	2	2.4	2.9	3.7	3.85	4.3	4.8
10	0.27	0.53	0.8	1.1	1.35	1.6	1.85	2.15	2.7	3.2	3.5	4.25	4.8	5.3
12	0.32	0.54	1.1	1.3	1.6	1.95	2.25	2.55	3.2	3.85	4.6	5.1	5.75	6.4
15	0.4	0.8	1.2	1.6	2	2.4	2.3	3.2	4	4.8	5.4	6.4	7.2	8
20	0.53	1.1	1.6	2.2	2.65	3.2	3.7	4.25	5.3	6.4	7.35	8.5	9.6	10.6
25	0.67	1.33	2	2.7	3.35	4	4.7	5.3	6.7	8	9.1	10.6	12	13.25
30	0.8	1.6	2.4	3.2	4	4.8	5.6	6.4	8	9.6	11.85	12.75	14.4	16
40	1.1	2.12	3.2	4.25	5.3	6.4	7.5	8.5	10.6	12.75	14.7	17	19.1	21.2
50	1.34	2.7	4	5.3	6.7	8	9.4	10.6	13.3	16	18.7	21.2	24.95	26.5
60	1.6	3.2	4.8	6.4	8	9.6	11.2	12.75	16	19.1	22.3	25.5	28.85	31.8
70	1.9	3.8	5.6	7.5	9.25	11.10	13	14.85	18.5	22.25	26	29.70	33.3	37.1
80	2.12	4.25	6.4	8.5	10.6	12.75	14.85	17	21.25	25.5	29.70	34	38.2	42.4
90	2.4	4.8	7.2	9.55	12.25	14.3	16.7	19.10	23.85	28.6	33.35	38.2	42.85	47.7
100	2.65	5.3	8	10.6	13.25	15.85	18.5	21.20	26.40	31.7	37	42.4	47.9	53
125	3.31	6.65	10	13.25	16.55	19.85	23.2	26.50	33.10	49.7	46.3	52.85	59.85	66.1
150	4	8	12	16	20	23.85	27.85	31.75	39.75	47.7	55.6	63.6	71.85	79.4
200	5.3	10.6	16	21.25	26.5	31.85	37.10	42.40	53	63.7	74.3	84.9	95.4	106

CANAUX ET COURS D'EAU

1. **Écoulement dans les cours d'eau.** — Les formules de Prony, Bazin, etc., sont bien désuètes; nous donnerons celles de M. Marchand-Bey (*Bulletin des Arts et Métiers*, décembre 1894) très pratiques, concernant les rigoles, canaux ou conduites à air libre.

L'écoulement dans une section (supposée indéformable) est caractérisé par la formule générale :

$$a = \text{tang } \alpha = \frac{C}{S} \times \frac{v^2}{2g} \times f,$$

S, surface d'eau de la section;

C, périmètre mouillé (non compris la ligne d'eau);

v, vitesse moyenne d'écoulement;

$h_0 = \frac{v^2}{2g}$, charge capable de v;

f, coefficient de frottement ou de rugosité des parois (ci-après);

ang α , la pente du courant (à la surface);

a, perte de charge par mètre de longueur de courant;

Q = S \times v, le débit du cours d'eau.

Valeurs de f :

$f = 0,00203$	pour parois lisses ou très unies (bois raboté);
$f = 0,00404$	— pierre de taille, briques cimentées;
$f = 0,00609$	— en maçonnerie de moellons;
$f = 0,013562$	— en terre.

REMARQUE. — En pratique, on connaît toujours assez de données concernant un cours d'eau, pour appliquer la formule générale qui donnera les autres inconnues.

2. **Vitesse (v_1) à la surface, vitesse moyenne (v), vitesse au fond (v'') d'un courant à l'air libre, par temps absolument calme. Profondeur (h) de la vitesse moyenne.** — La vitesse maximum v_1 dans la section S d'un cours d'eau, par temps absolument calme, existe à la surface (cela s'entend pour des sections plus larges que deux fois la profondeur). On détermine v_1 par expérience (flotteurs, moulinet, etc...).

La vitesse moyenne v est tirée de la formule générale; elle est :

$$v = \sqrt{2g \times \frac{S}{C} \times \frac{\text{tang } \alpha}{f}}.$$

La vitesse v^* au fond est obtenue par l'expression :

$$(v^{*3} \times v_1) - v^{*4} = v^3 \times v_1 - v^4,$$

que l'on applique par tâtonnements.

La profondeur (h) de la vitesse moyenne du courant, en dessous de la surface, est donnée par :

$$h = H \sqrt{\frac{v^{*3}}{v^3}}$$

(H est la profondeur de la section S).

Similitude de l'écoulement dans les cours d'eau. — Deux canaux de même pente ($\text{tang } \alpha$), de même débit Q , ayant tous deux une section rectangulaire très large, quels sont les rapports de leurs largeurs m , m' et de leurs profondeurs H , H' ?

Des raisonnements admis jusqu'ici ont conduit à la formule :

$$H' = H \sqrt[3]{\frac{m^2}{m'^2}},$$

mais nous avons trouvé qu'elle est erronée et qu'il faut la remplacer par :

$$H'^3 - H' \times \frac{2m^3H^3}{m'^3m + 2m'^3H} = H^3 \times \frac{m^3m'}{m'^3m + 2m'^3H}.$$

3. Jaugeage pratique d'un cours d'eau : rigole, canal, rivière, fleuve, sans barrage ou déversoir. — La formule précédente

$a = \text{tang } \alpha = \frac{C}{S} \times \frac{v^2}{2g} \times f$ permet de résoudre facilement cette question.

En effet, en pratique, on connaît toujours *à priori* S , C , la profondeur H par un relevé du profil de la section considérée, que l'on choisit dans un endroit assez long, et aussi assez régulier, pour admettre que l'écoulement s'y fait uniformément.

On obtient $\text{tang } \alpha$ par un nivellement, soit spécial, soit réalisé au moyen d'échelles fixes placées : l'une en amont de S , l'autre en aval, mais suffisamment éloignées, d'une distance L par exemple. Si d est la différence de niveau, la pente du courant sera : $\text{tang } \alpha = \frac{d}{L}$.

On aura ainsi :

$$v = \sqrt{2g \times \frac{S}{C} \times \frac{\text{tang } \alpha}{f}} \quad (\text{vitesse moyenne})$$

(f , coefficient convenable, selon § 1).

Conséquemment :

$$Q = S \times v.$$

REMARQUE. — On employait souvent jusqu'ici la formule empirique :

$$Q = K \sqrt{H^3} \times \tan \alpha,$$

K, coefficient numérique constant obtenu par tâtonnements;

H, profondeur d'eau comptée au-dessus du fond du lit moyen tracé au sentiment, $\tan \alpha$, Pente du courant.

Il est préférable d'user des formules ci-avant.

4. **Écoulement par déversoirs.** — Le débit d'un déversoir de largeur l , dont le seuil est à une hauteur h au-dessous du niveau de l'eau pris à une certaine distance à l'amont, est exprimé, suivant le général Morin, par la formule :

$$0,443lh \sqrt{2gh}.$$

Débits donnés par un déversoir de hauteur h et de 1 mètre de large pour lequel il n'y a point contraction sur le seuil.

HAUTEUR h de l'eau sur le seuil (centim.)	DÉBIT en litres à la seconde	HAUTEUR h de l'eau sur le seuil (centim.)	DÉBIT en litres à la seconde	HAUTEUR h de l'eau sur le seuil (centim.)	DÉBIT en litres à la seconde
5	20	24	202	43	481
6	26	25	212	44	497
7	32	26	226	45	514
8	40	27	239	46	531
9	47	28	253	47	549
10	56	29	266	48	567
11	64	30	280	49	584
12	72	31	293	50	603
13	82	32	309	52	639
14	92	33	323	54	676
15	101	34	338	56	713
16	111	35	353	58	753
17	121	36	368	60	791
18	132	37	382	62	831
19	143	38	399	64	871
20	154	39	415	66	912
21	166	40	431	68	954
22	176	41	447	70	998
23	188	42	463		

Lorsque le déversoir est suivi d'un coursier, le coefficient de dépense se réduit à 0,35.

5. **Écoulement par vannes.** — 1° *Débit d'une vanne levée.* — Si l'on appelle a la hauteur de l'orifice d'écoulement, l sa largeur, h la charge sur le centre de l'orifice, le débit est égal à :

$$0,6al \sqrt{2gh}.$$

2° *Débit des vannes de fond.* — Si A est la section de l'orifice ouvert sous la vanne, h la charge sur le centre de l'orifice, la contraction étant supprimée sur le fond et les côtés, le débit est de :

$$0,7A \sqrt{2gh},$$

lorsque la vanne est verticale, et le coefficient de dépense s'élève à 0,80 lorsque la vanne est inclinée à 45°.

Table des débits d'une vanne de fond pour 1 mètre de largeur.

HAUTEUR d'eau sur le centre	DÉBIT EN LITRES PAR SECONDE POUR DES HAUTEURS DE VANNE DE											
	0 ^m ,05	0,07	0,09	0,10	0,12	0,15	0,18	0,20	0,25	0,30	0,40	0,50
0,10	44	61	78	86	102	126	150	167	»	»	»	»
0,15	54	73	94	105	125	155	188	203	254	307	»	»
0,20	62	86	109	122	145	179	213	235	294	353	424	»
0,25	70	96	124	136	162	201	239	264	329	395	527	661
0,30	76	106	135	149	178	220	262	291	363	434	577	719
0,35	82	114	146	162	192	238	284	314	393	471	626	773
0,40	88	122	156	173	206	255	304	337	420	504	671	836
0,45	93	130	165	183	219	271	324	362	446	536	712	898
0,50	98	136	174	193	230	285	340	377	471	564	753	940
0,60	107	148	191	212	251	312	370	414	516	624	819	1.023
0,70	116	161	208	228	272	338	403	447	559	670	894	1.115
0,80	124	172	220	246	291	361	432	485	598	718	957	1.194
0,90	131	183	236	259	309	384	459	509	636	762	1.017	1.271
1,00	138	192	246	272	326	405	484	536	670	804	1.079	1.339
1,20	151	210	267	298	356	443	529	586	733	880	1.174	1.468
1,50	168	233	300	332	397	493	589	654	818	981	1.308	1.635
1,80	182	255	326	362	434	532	644	715	895	1.073	1.431	1.789
2,00	191	267	343	380	455	566	677	753	941	1.129	1.506	1.882
2,50	214	299	382	424	507	631	757	841	1.052	1.262	1.683	2.104
3,00	235	327	420	466	557	693	830	922	1.152	1.383	1.844	2.305

ORIFICES ET TUYAUTERIES

1. **Écoulement par orifices et ajutages.** — En mince paroi, il faut, pour avoir le débit, affecter le produit de la vitesse par la section d'un coefficient 0,62 dû à la contraction de la veine :

$$0,62s \sqrt{2gh}.$$

Dans l'*ajutage convergent évasé à 30°*, le débit est égal au débit théorique (pas de contraction) :

$$s \sqrt{2gh};$$

Dans l'*ajutage cylindrique*, le coefficient de contraction est de 0,815

$$0,815s \sqrt{2gh}.$$

Enfin, dans l'*ajutage rentrant de Borda*, on a :

$$0,5s \sqrt{2gh}.$$

La table 3 ci-après donne les valeurs de la dépense pour des orifices de 16 à 150 mm.

2. **Jaugeage par tuyère.** — On peut se servir de l'*ajutage convergent* pour évaluer le débit avec une précision de ± 1 0/0 si l'on établit une forme de tuyère épousant exactement la forme que prend naturellement la veine liquide sortant d'un orifice en mince paroi.

Pour que la contraction soit supprimée et que le coefficient de dépense soit égal à 1, il faut que :

$$\text{section CD} = 0,62 \text{ section AB}$$

et

$$\text{longueur } l = 1/2 \text{ diamètre AB.}$$

On termine l'évasement CD par une partie bien cylindrique sur quelques millimètres.

On peut dire que dans ce cas on a exactement :

$$Q = S \sqrt{2gh}.$$

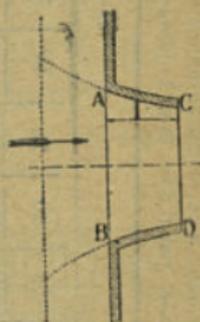


FIG. 21.

3. Table des débits en litres par seconde d'un ajutage convergent à 30°.

Pour obtenir le débit d'un orifice en mince paroi, multiplier les chiffres ci-dessous par 0,62. Pour les ajutages cylindriques, multiplier par 0,815. Pour l'ajutage rentrant, multiplier par 0,5.

PRESSION en mètres d'eau	DIAMÈTRE DES AJUTAGES EN MILLIMÈTRES														
	16	18	20	25	30	32	35	40	50	60	70	80	90	100	150
1	0,89	1,12	1,39	2,17	3,13	3,56	4,27	5,58	8,70	12,52	17	22,3	28,2	34,8	78
2	1,26	1,59	2,40	3,07	4,42	5,03	6,00	7,85	12,30	14,70	24,1	31,5	39,8	49,2	110
3	1,54	1,94	2,40	3,76	5,41	6,16	7,36	9,62	15,10	21,70	29,5	38,5	48,8	60	135
4	1,78	2,25	2,78	4,35	6,26	7,13	8,54	11,16	17,40	25,04	34,1	44,6	56,4	69,6	156
5	1,99	2,52	3,10	4,86	6,99	7,98	9,52	12,45	19,50	28,10	39,2	49,9	62,9	76,6	174
6	2,18	2,76	3,40	5,32	7,66	8,75	10,45	13,65	21,35	30,70	41,8	54,6	69	85,2	191
7	2,35	2,97	3,67	5,74	8,25	9,42	11,28	14,70	23,00	33,20	45,1	58,9	74,3	91,9	206
8	2,52	3,18	3,93	6,13	8,82	10,05	12,04	15,70	24,60	35,50	48,2	62,8	79,5	98,2	220
9	2,67	3,37	4,17	6,50	9,39	10,69	12,81	16,70	26,10	37,50	51,1	66,9	84,2	104	234
10	2,81	3,55	4,39	6,86	9,90	11,25	13,50	17,55	27,55	39,50	54	70,5	89	110	246
15	3,45	4,35	5,37	8,40	12,10	13,80	16,50	21,55	33,55	48,50	66	86,5	109	135	301
20	3,98	5,03	6,20	9,70	14,00	15,90	19,40	24,85	38,95	56,00	76	100	126	155	349
30	4,87	6,15	7,60	11,87	17,12	19,50	23,35	34,00	47,50	68,50	93	122	154	190	426
40	5,62	7,11	8,78	13,72	19,80	22,50	27,00	35,10	55,10	79	108	141	178	220	493
50	6,28	7,92	9,80	15,32	22,05	25,30	30,00	39,10	61,50	88	120	157	199	245	550
60	6,90	8,71	10,75	16,80	24,20	27,60	33,00	43,10	67,10	97	132	173	216	270	603
70	7,42	9,40	11,60	17,80	26,15	29,80	35,60	46,50	72,60	104	142	186	235	290	652
80	7,97	10,05	12,40	19,40	28,00	31,80	38,10	49,70	77,90	112	152	200	252	311	698
90	8,45	10,65	13,15	20,60	29,60	33,75	40,40	52,80	82,30	118	161	211	266	333	740
100	8,93	11,20	13,90	21,70	31,30	35,70	42,70	55,60	86,90	125	170	227	281	348	778
110	9,33	11,80	14,55	22,75	32,80	37,40	44,70	58,10	91,00	132	178	233	295	364	818
120	9,75	12,30	15,20	23,74	34,25	39,00	46,70	60,80	95,00	137	186	244	308	380	852
130	10,18	12,80	15,80	24,70	35,60	40,50	48,50	63,20	99,00	142	194	254	321	396	890
140	10,52	13,28	16,40	25,70	37,00	42,20	50,50	65,60	102,00	148	202	264	333	411	921
150	10,91	13,75	17,00	26,60	38,25	43,70	52,30	68,00	106,00	153	209	273	345	426	955
200	12,57	15,88	19,60	30,60	44,10	50,50	60,90	78,20	123,00	176	241	315	398	491	1.100

4. Débit et portée des jets de lance d'arrosage.

Pression à la bouche en m. d'eau	10	20	30	40	50	
Orifice 3/4" 19 ^m / _m	Débit en l : min	280	380	475	560	600
	Plus grande distan ^{ce} horizontale en mét.	7.4	11.0	14.0	16.6	18
7/8" 22 ^m / _m	Débit en l : min	370	510	640	730	820
	Portée horiz ^{le} en m.	7.6	12.0	15.3	17.6	20.4
1" 25 ^m / _m	Débit en l : min	440	640	800	900	1010
	Portée horiz ^{le} en m.	7.4	12.5	16.3	18.9	21.4
1 1/8" 29 ^m / _m	Débit en l : min	540	765	940	1100	1230
	Portée horiz ^{le} en m.	7.0	12.1	16.0	19.5	21.7
1 1/4" 32 ^m / _m	Débit en l : min	640	900	1080	1250	1430
	Portée horiz ^{le} en m.	6.7	12.5	15.7	18.9	21.4

La hauteur maximum du jet est obtenue en inclinant la lance à 50° ;
la distance horizontale maximum en inclinant la lance à 32°.

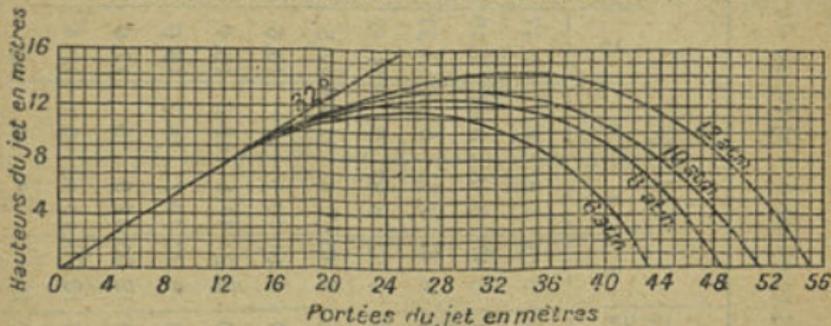


FIG. 22.

5. Hauteur verticale des jets d'eau en mètres

$$H \text{ pression à l'ajutage de lance en m. d'eau; } \varphi = \frac{0,00025}{d+100d^3}; \text{ hauteur du jet} = \frac{H}{1+\varphi H}$$

		d : øjutage en mm.															
PRESSION H		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	20	25	30
5	3.53	3.82	4	4.17	4.27	4.37	4.43	4.5	4.54	4.6	4.62	4.65	4.68	4.8	4.85	4.9	
10	5.47	6.18	6.67	7.15	7.47	7.77	8	8.15	8.34	8.46	8.6	8.7	8.8	9.2	9.44	9.6	
15	6.70	7.76	8.58	9.37	9.94	10.45	10.8	11.15	11.5	11.7	12.06	12.26	12.5	13.2	13.74	14.1	
20	7.52	8.92	10	11.12	11.9	12.65	13.2	13.7	14.2	14.7	15.1	15.4	15.7	16.9	17.8	18.4	
25	8.15	9.8	11.12	12.5	13.5	14.5	15.2	15.9	16.6	17.2	17.75	18.2	18.6	20.4	21.7	22.5	
30	8.61	10.5	12	13.6	14.8	16.08	16.9	17.8	18.6	19.3	20.15	20.7	21.3	23.7	25.3	26.5	
40	9.27	11.5	13.3	15.4	16.9	18.53	19.7	21	22.1	23.1	24.2	25	26	29.4	32.2	34	
50	9.72	12.2	14.3	16.6	18.5	20.55	22	23.3	24.9	26.1	27.5	28.6	29.7	34.5	38.3	41	
60	10.05	12.8	15	17.6	19.7	21.9	23.6	25.4	27	28.5	30.2	31.6	33	39	44	47.5	
70	10.26	13.10	15.6	18.4	20.7	23.1	25	27	29	30.7	32.5	34.1	35.9	43	49	53.5	
80	10.47	13.45	16	19	21.5	24.1	26.2	28.3	30.6	32.5	34.6	36.3	38.3	45.5	53.8	59.3	

6. **Débit d'une conduite d'eau.** — Soit H_1 la pression hydrostatique totale qu'on peut toujours assimiler à un réservoir placé à une hauteur suffisante au-dessus de l'orifice d'écoulement.

En marche, cette pression décroît par suite des pertes de charge en cours de route (frottement et pièces intercalaires) et la tension piézométrique est égale à $H_1 - H_2$; à l'orifice, la valeur de la tension piézométrique est égale à la charge capable de la vitesse $h = \frac{v^2}{2g}$ (fig. 23).

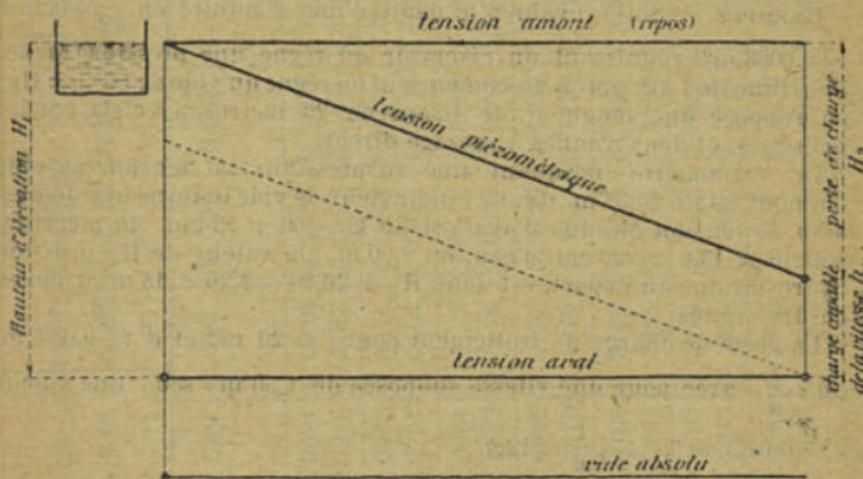


FIG. 23.

Le problème consiste à évaluer la valeur de H_2 et h en fonction de H_1 qui est la donnée du problème. Si nous appelons : $\zeta_1, \zeta_2, \zeta_3$, etc., les coefficients de perte de charge, tous proportionnels à $\frac{v^2}{2g}$, on peut écrire :

$$H_2 = \Sigma \zeta_1 \frac{v^2}{2g} + \zeta_2 \frac{v^2}{2g} + \dots,$$

et

$$H_1 = H_2 + \frac{v^2}{2g} = \zeta_1 \frac{v^2}{2g} + \zeta_2 \frac{v^2}{2g} + \dots + \frac{v^2}{2g},$$

puis

$$H_1 = \frac{v^2}{2g} (1 + \zeta_1 + \zeta_2 + \dots),$$

d'où en tirant v , on a :

$$= \frac{\sqrt{2gH_1}}{\sqrt{1 + \zeta_1 + \zeta_2 + \dots}}.$$

Cependant la valeur absolue de ζ_1, ζ_2 , etc., étant elle-même proportionnelle à la vitesse, la solution exacte ne peut se trouver que par tâtonnement. Toutefois, considérant qu'en pratique la vitesse ne doit pas excéder une valeur de 1 à 2 m : sec en moyenne, on peut se fixer arbitrairement la vitesse et par suite prendre les valeurs correspondantes dans les tables. La table 5 ci-après donne les calculs tous faits des débits pour diverses vitesses usuelles de pertes de charge correspondantes.

EXEMPLE. — Soit à évaluer le débit d'une conduite en $\frac{33}{42}$ (section = 0,0008 m²) réunissant un réservoir où règne une pression manométrique de 1 kg : cm² à un condenseur où règne un vide de 60 cm : Hg ; on suppose une longueur de tuyau de 20 mètres avec six coudes brusques, et deux vannes à passage direct.

Le manomètre indiquant une surpression, la tension absolue d'amont est de 20,33 m. d'eau ; l'indicateur de vide indique une dépression, la tension absolue d'aval est de 76 — 60 = 16 cm. de mercure, soit 16 × 13,6 = 220 cm. d'eau, ou 2,20 m. ; la valeur de H_1 pression hydrostatique au départ, est donc $H_1 = 20,30 - 2,20 = 18$ m. d'eau en chiffres ronds.

La perte de charge de frottement pour $l = 20$ m. et $d = 0,033$ m. est $\varphi \frac{l}{d}$, avec pour une vitesse supposée de 1,50 m : sec., une valeur $\varphi = 0,0221$ et $\zeta_1 = \varphi \frac{l}{d} = 13,4$.

Le changement brusque de section pour le passage-réservoir à tuyau peut être assimilé à un orifice en mince paroi de même diamètre que la conduite, soit (Voir table au paragraphe *Pertes de charge*) $\zeta_2 = 0,5$.

Un coude brusque à 90° est $\zeta = 1$, soit pour 6 coudes $\zeta_3 = 6$. La résistance d'une vanne à passage directe ouverte des 7/8, c'est-à-dire abaissée de 1/8 de la course, est = 0,07 ; soit pour 2 vannes $\zeta_4 = 0,14$.

Enfin le débouché du tuyau dans le condenseur donne lieu à un accroissement brusque de section ; la section F_2 du condenseur étant très grande par rapport à la section F_1 du tuyau, la valeur $\left(1 - \frac{F_1}{F_2}\right)^2$ est très proche de l'unité, soit $\zeta_5 = 1$.

La valeur cherchée de la vitesse à l'orifice débitant est donc :

$$v = \frac{\sqrt{g \cdot 18}}{\sqrt{1 + 13,4 + 0,5 + 6 + 0,14 + 1}} = 4 \text{ m : sec, environ.}$$

La section de l'orifice étant pour un tuyau $\frac{33}{42}$ de 0,0008, le débit cherché est de $0,0008 \times 4 = 0,0032$, soit 3,2 l. par seconde ou 11,5 m³ à l'heure.

7. Table des débits Q en m^3 par minute et des pertes de charge par frottement $hf = \rho \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}$ en m. d'eau pour $l = 100$ m. de longueur avec ρ coefficient de frottement d'après Weisbach, pour des diamètres d de 15 à 450 mm.

Vit. sec en m. sec	$d =$		0.015		0.020		0.025		0.030		0.040		0.050		0.060		0.070		0.080	
	ρ																			
0.05	0.0005		0.0009		0.0015		0.0021		0.0038		0.0059		0.0085		0.0115		0.0151		Q	
	0.048		0.0362		0.0289		0.0240		0.0182		0.0145		0.0121		0.0103		0.0090		hf	
0.10	0.0010		0.0019		0.0029		0.0042		0.0075		0.0118		0.0170		0.0231		0.0302		Q	
	0.1508		0.1131		0.0995		0.0754		0.0566		0.0452		0.0377		0.0323		0.0283		hf	
0.15	0.0016		0.0028		0.0044		0.0064		0.0113		0.0177		0.0254		0.0346		0.0452		Q	
	0.2974		0.2230		0.1783		0.1437		0.1115		0.0892		0.0743		0.0637		0.0557		hf	
0.20	0.0021		0.0038		0.0059		0.0085		0.0151		0.0236		0.0339		0.0462		0.0603		Q	
	0.4836		0.3629		0.2902		0.2418		0.1813		0.1451		0.1209		0.1036		0.0906		hf	
0.25	0.0027		0.0047		0.0074		0.0106		0.0189		0.0294		0.0424		0.0577		0.0754		Q	
	0.7082		0.5311		0.4249		0.3541		0.2655		0.2125		0.1770		0.1517		0.1328		hf	
0.30	0.0032		0.0056		0.0088		0.0127		0.0226		0.0353		0.0509		0.0693		0.0905		Q	
	0.9694		0.7271		0.5817		0.4847		0.3635		0.2908		0.2424		0.2077		0.1818		hf	
0.40	0.0042		0.0075		0.0118		0.0169		0.0302		0.0471		0.0678		0.0924		0.1206		Q	
	1.5974		0.1980		0.9584		0.7987		0.5990		0.4792		0.3993		0.3423		0.2995		hf	
0.50	0.0053		0.0094		0.0147		0.0212		0.0377		0.0589		0.0848		0.1155		0.1508		Q*	
	2.3610		1.7707		1.4166		1.1805		0.8854		0.7083		0.5903		0.5059		0.4427		hf	

Suite de la table.

0.60	0.0266	0.0064	0.0113	0.0177	0.0254	0.0452	0.0707	0.1018	0.1386	0.1810	Q hf
0.70	0.0257	0.0074	0.0132	0.0206	0.0297	0.0528	0.0825	0.1167	0.1616	0.2111	Q hf
0.80	0.0250	0.0085	0.0151	0.0236	0.0339	0.0603	0.0942	0.1357	0.1847	0.2413	Q hf
0.90	0.0244	0.0095	0.0170	0.0265	0.0382	0.0679	0.1060	0.1527	0.2078	0.2714	Q hf
1.00	0.0239	0.0106	0.0189	0.0295	0.0424	0.0754	0.1178	0.1697	0.2309	0.3016	Q hf
1.10	0.0234	0.0117	0.0207	0.0324	0.0467	0.0829	0.1295	0.186	0.254	0.3317	Q hf
1.25	0.0229	0.0133	0.0235	0.0368	0.053	0.0942	0.1473	0.2121	0.2886	0.337	Q hf
1.50	0.0221	0.0159	0.0282	0.0442	0.0636	0.1131	0.1767	0.2545	0.3463	0.4524	Q hf
1.75	0.0215	0.0186	0.033	0.0515	0.0742	0.1319	0.2062	0.2969	0.4041	0.5278	Q hf
2.00	0.0211	0.0212	0.0377	0.0509	0.0848	0.1508	0.2356	0.3393	0.4618	0.6032	Q hf
2.50	0.0204	0.0265	0.0471	0.0736	0.1060	0.1885	0.2945	0.4241	0.5773	0.6812	Q hf
		43.302	32.476	25.981	21.651	16.238	12.991	10.825	9.279	7.696	

Suite de la table.

Vitesse en m. sec.	d		0.100	0.125	0.150	0.200	0.250	0.300	0.350	0.400	Q hf
	ρ										
0.05	0.0567		0.0236 0.0072	0.0368 0.0058	0.053 0.0048	0.0942 0.0036	0.1473 0.0029	0.2121 0.0024	0.2877 0.002	0.377 0.0018	Q hf
0.10	0.0443		0.0471 0.0226	0.0736 0.0181	0.106 0.0151	0.1885 0.0113	0.2945 0.009	0.4241 0.0075	0.5773 0.0065	0.754 0.0054	Q hf
0.15	0.0388		0.0707 0.0446	0.1104 0.0357	0.159 0.0297	0.2827 0.0223	0.4418 0.0178	0.6362 0.0149	0.8659 0.0127	1.131 0.0111	Q hf
0.20	0.0356		0.0942 0.0725	0.147 0.058	0.2121 0.0484	0.377 0.0363	0.589 0.029	0.8482 0.0242	1.1545 0.0207	1.5084 0.0181	Q hf
0.25	0.3333		0.1178 0.1062	0.1841 0.085	0.2651 0.0708	0.4712 0.0531	0.7363 0.0425	1.0603 0.0354	1.4431 0.0303	1.8850 0.0266	Q hf
0.30	0.0317		0.1414 0.1454	0.2209 0.1163	0.3181 0.0969	0.5655 0.0727	0.8896 0.0582	1.2723 0.0485	1.7318 0.0415	2.2619 0.0364	Q hf
0.35	0.0294		0.1885 0.2396	0.2945 0.1917	0.4241 0.1597	0.754 0.1198	1.1781 0.0958	1.6955 0.0799	2.3091 0.0695	3.0159 0.0599	Q hf
0.50	0.0278		0.2356 0.3542	0.3681 0.2833	0.5301 0.2361	0.9425 0.1771	1.4726 0.1417	2.1206 0.1181	2.8863 0.1012	3.7699 0.0885	Q hf

Suite de la table.

0.60	0.0266	0.2827 0.4886	0.4418 0.391	0.6362 0.3257	1.131 0.2443	1.7671 0.1954	2.5447 0.1629	3.4636 0.1396	4.5239 0.1222	Q hf
0.70	0.0257	0.3299 0.6432	0.5154 0.5138	0.7422 0.4282	1.3195 0.3212	2.0617 0.2569	2.9688 0.2141	4.0409 0.1835	5.2799 0.1606	Q hf
0.80	0.025	0.3770 0.8152	0.5890 0.6521	0.8482 0.5434	1.508 0.4075	2.3562 0.3261	3.3929 0.2717	4.6182 0.2326	6.0319 0.2038	Q hf
0.90	0.0244	0.4241 1.0065	0.6627 0.8052	0.9543 0.671	1.6965 0.5033	2.6567 0.4026	3.817 0.335	5.1954 0.2876	6.7854 0.2516	Q hf
1.00	0.0239	0.4712 1.2166	0.7363 0.9733	1.0603 0.8111	1.885 0.6083	2.9452 0.4866	4.2412 0.4055	5.7727 0.3476	7.5398 0.3042	Q hf
1.10	0.0234	0.5184 1.444	0.8099 1.1535	1.1663 0.9629	2.0733 0.7222	3.2398 0.5778	4.6653 0.4815	6.350 0.4127	8.2938 0.3614	Q hf
1.25	0.0229	0.5891 1.8213	0.9204 1.457	1.3254 1.2142	2.3562 0.9107	3.6816 0.7285	5.3015 0.6071	7.2159 0.5204	9.4248 0.4553	Q hf
1.50	0.0221	0.7069 2.5378	1.1045 2.0302	1.5904 1.6919	2.8274 1.2689	4.4179 1.0151	6.3617 0.8459	8.659 0.7251	11.31 0.6345	Q hf
1.75	0.0215	0.8247 3.3653	1.2885 2.6922	1.8555 0.2435	3.2987 1.6825	5.1542 1.3461	7.422 1.1218	10.102 0.9615	13.195 0.8412	Q hf
2.00	0.0211	0.9425 4.2997	1.4726 3.4398	2.1206 2.8665	3.7699 2.1499	5.8905 1.7199	8.4823 1.4333	11.545 1.2271	15.08 1.0749	Q hf
2.50	0.0204	1.1781 6.4953	1.8407 5.1162	2.6507 4.3302	4.7124 3.2476	7.3631 2.5984	10.603 2.1653	14.432 1.8558	18.850 1.6238	Q hf

8. **Calcul du diamètre des conduites d'eau.** — L'on est dans la plus grande incertitude en ce qui concerne le débit d'une canalisation d'eau; aussi existe-t-il un grand nombre de formules et d'abaques pour donner les dimensions d'une conduite.

Les anciennes formules de Darcy sont reconnues inexactes; parmi les formules plus récentes de Lévy et de Flamant, nous reproduirons l'abaque de M. Dariès basé sur la formule de Flamant.

Cette formule, pour le calcul des diamètres des tuyaux incrustés, est :

$$DJ = 0,00092 \sqrt[4]{\frac{U^7}{D}}$$

où :

D est le diamètre en mètres ;

J, la perte de charge par mètre ;

U, la vitesse en m : sec.

Si l'on élimine la vitesse U d'après la relation $Q = r \frac{D^2}{4} U$, on obtient la formule pratique :

$$D = 0,251 \sqrt[19]{\frac{Q^7}{J^4}}$$

Q, débits en mètres cubes par seconde, qui peut aussi s'écrire :

$$D = 0,251 Q^{19} J^{-\frac{4}{19}}$$

L'abaque à points cotés reproduisant cette formule est donné figure 24.

EXEMPLE NUMÉRIQUE. — Quel sera le diamètre d'une conduite devant fournir un débit de 27^m,5 par seconde, la vitesse de 0^m,24 par seconde étant adoptée ? La droite qui réunit $Q = 27,5$ et $V = 0,24$ rencontre l'échelle des diamètres au point $D = 0^m,38$; la perte de charge par mètre correspondant à ce débit est 2,6 dix-millièmes, soit 0^m,00026 par mètre.

L'emploi de cet abaque est très commode.

CALCUL APPROCHÉ

On peut également, de façon plus simple mais plus approximative, choisir le diamètre d'une conduite d'après le graphique 25, qui donne, d'après les anciennes formules de Darcy suffisantes en pratique courante, les pertes de charge correspondant à des conduites en service depuis un certain temps; pour des conduites neuves, la valeur de perte de charge peut être réduite de moitié.

EXEMPLE NUMÉRIQUE. — Pour un débit de 50 litres par seconde on pourra prendre une conduite de 200 si l'on consent une perte en route

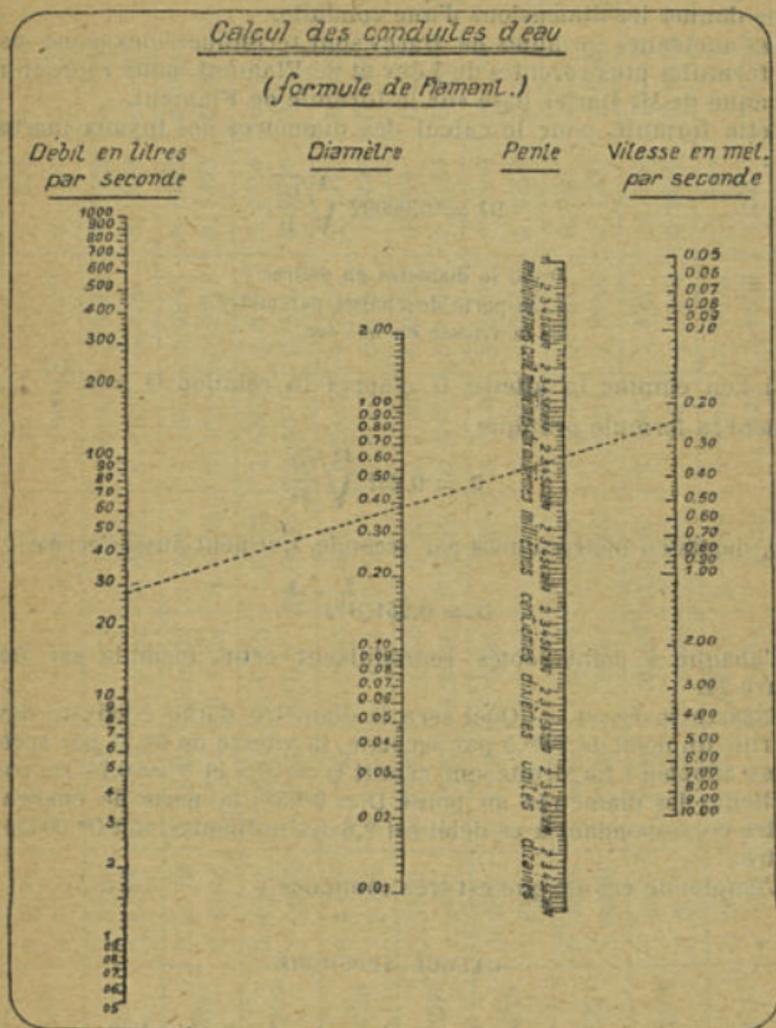


FIG. 24.

aussi élevée que 35 millimètres par mètre, ou une conduite de 250 si l'on veut une perte de 10 millimètres par mètre seulement.

φ. D'amètre des conduites d'eau (d'après Darcy).

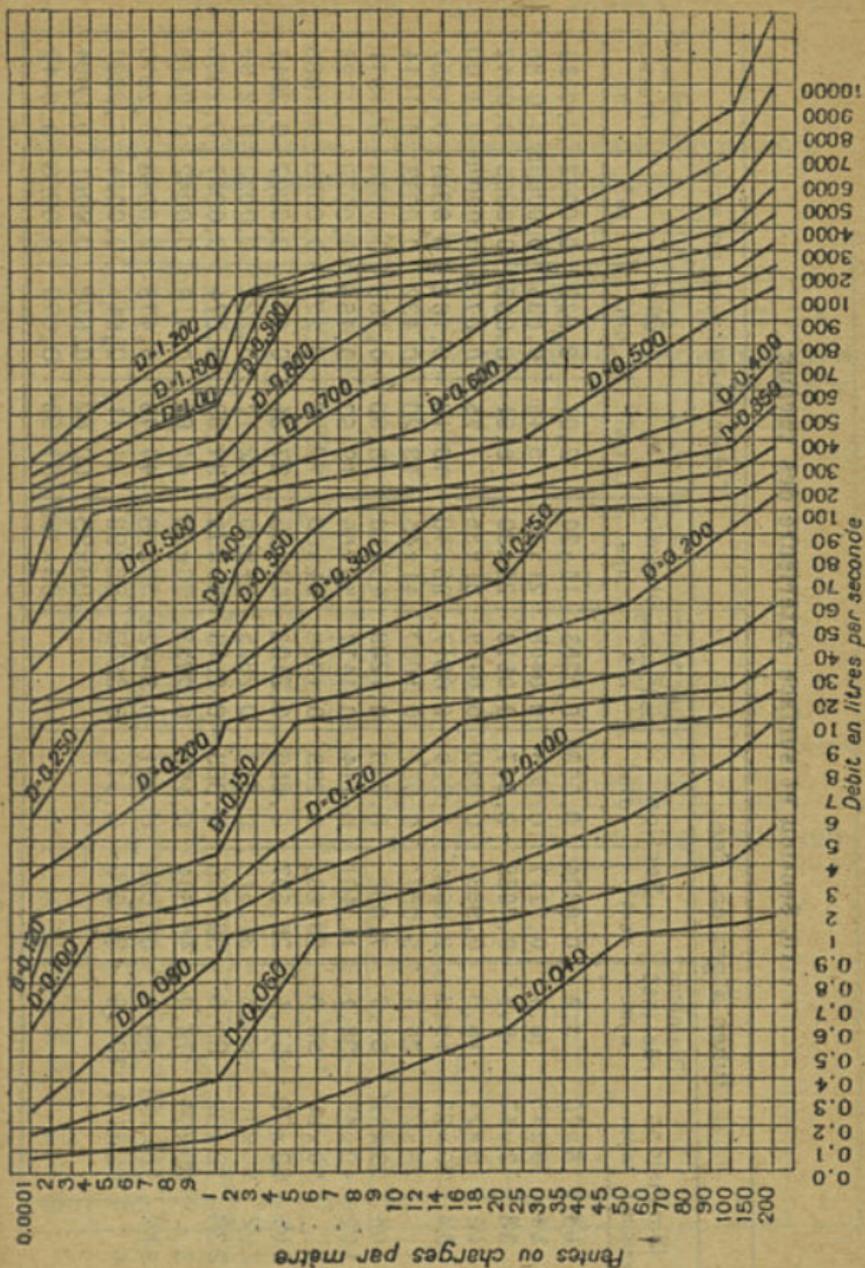


FIG. 25.

10. Section et surface extérieure des tuyaux.

Tubes à gaz en fer				Tubes métriques en acier				
Dimensions pouces	Dimensions m/m.	Diamètre réel int. m/m.	Section		Dimension m/m.	Section		Surf. ^o ext. ^o de 1 ^m de long m ² .
			cm ²	dm ²		cm ²	dm ²	
1/8	6 x 10	3.2	0.0804	0.0088	16 x 20	2.01	0.020	0.0628
1/4	8 x 13	6.4	0.3217	0.003	21 x 25	3.46	0.035	0.0785
3/8	12 x 17	9.5	0.7088	0.007	26 x 30	5.31	0.053	0.0942
1/2	15 x 21	15.9	0.986	0.020	31 x 35	7.55	0.0755	0.1100
3/4	20 x 27	19.7	2.865	0.029	36 x 40	10.18	0.102	0.1257
1	26 x 34	25.4	5.067	0.051	41 x 45	13.20	0.132	0.1414
1 1/4	33 x 42	31.7	7.892	0.079	45 x 50	15.90	0.159	0.1571
1 1/2	40 x 49	38.1	11.401	0.114	50 x 55	19.63	0.196	0.1728
2	50 x 60	50.8	20.268	0.203	54 x 60	22.90	0.229	0.1885
2 1/4	60 x 70	57.1	25.607	0.256	59 x 65	27.34	0.273	0.2047
2 1/2	66 x 76	63.5	31.67	0.317	64 x 70	32.17	0.322	0.2199
2 3/4	72 x 82	69.6	38.265	0.383	69 x 75	37.39	0.374	0.2356
3	80 x 90	76.2	45.604	0.456	73 x 80	41.85	0.418	0.2513
3 1/2	90 x 100	88.9	62.072	0.621	78 x 85	47.78	0.478	0.2670
4	102 x 114	101.6	81.075	0.811	83 x 90	54.11	0.541	0.2827
					88 x 95	60.82	0.608	0.2984
					93 x 100	67.93	0.679	0.3142

11. Équation des tubes et branchements dans l'hypothèse
 d'une même perte de charge linéaire.

Tubes à gaz aux dimensions anglaises												
D =		1/8	1/4	3/8	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	3	4
		5/10	8/13	12/17	15/21	20/27	26/34	33/42	40/49	50/60	80/90	102/114
1/4	8/13	5.7	1									
3/8	12/17	16	2.7	1								
1/2	15/21	32	5.7	2.1	1							
3/4	20/27	88	16	5.7	2.7	1						
1	26/34	180	32	11.5	5.7	2.1	1					
1 1/4	33/42	313	56	20	9.9	3.6	1.7	1				
1 1/2	40/49	493	88	32	16	5.7	2.7	1.5	1			
2	50/60		180	68	32	11.5	5.7	3.1	2.1	1		
3	80/90		493	180	88	32	16	8.9	5.7	2.8	1	
4	102/114			390	180	68	32	18.2	11.5	5.7	2.1	1

Tubes aux dimensions métriques											
D intér.	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100
20	2.1	1									
25	3.6	1.7	1								
30	5.7	2.8	1.6	1							
40	11	5.7	3.2	2.1	1						
50	20	10	5.7	3.6	1.7	1					
60	32	16	8.9	5.7	2.8	1.6	1				
70	48	23	13	8.3	4.1	2.3	1.5	1			
80	62	32	18	12	5.7	3.2	2.1	1.4	1		
90	88	43	25	16	7.6	4.3	2.7	1.9	1.4	1	
100	109	56	32	20	9.9	5.7	4.7	2.1	2.8	1.3	1

PERTES DE CHARGE

1. **Frottement dans les conduites.**— D'après Weisbach, le coefficient de frottement de l'eau dans une conduite propre de rugosité moyenne, est de la forme :

$$\varphi = 0,0144 + \frac{0,00947}{\sqrt{v}}$$

Ces valeurs sont données pour diverses vitesses d'écoulement dans le tableau ci-dessous.

v m : sec.	φ	v m : sec.	φ	v m : sec.	φ
0,05	0,0567	0,70	0,0257	3,0	0,0198
0,10	0,0443	0,80	0,0250	4,0	0,0191
0,15	0,0388	0,90	0,0244	5,0	0,0187
0,20	0,0356	1,00	0,0239	6,0	0,0183
0,25	0,0333	1,25	0,0229	7,0	0,0180
0,30	0,0317	1,50	0,0221	8,0	0,0177
0,40	0,0294	1,75	0,0215	10,0	0,0174
0,50	0,0278	2,00	0,0211	12,0	0,0171
0,80	0,0266	2,50	0,0204	15,0	0,0168

La perte de charge totale d'une conduite de longueur l en mètres et d'un diamètre interne d en mètres est :

$$h_f = \varphi \frac{lv^2}{d^2g}$$

La table 6 ci-avant donne les débits et pertes de charge des tuyaux entre 15 et 450 millimètres de diamètre, par 100 mètres de longueur droite.

Dans les parties cônes, en conservant les mêmes valeurs de φ , on a avec les notations indiquées sur les figures 26 et 27, pour valeur de la perte de charge en mètres d'eau :

1° Avec un cône convergent d'angle au sommet 2α :

$$h_c = 2\varphi \frac{v^2}{2g} \cdot \frac{r^4}{r'^4} \cdot \frac{1}{4 \sin \alpha}$$

2° Avec un cône divergent d'angle au sommet 2β :

$$h_{cd} = \varphi \frac{v^2}{2g} \cdot \frac{r^4}{r'^4} \cdot \frac{1}{4 \sin \beta}$$

Les valeurs du coefficient de frottement ρ sont celles données plus haut, en prenant pour la vitesse v la valeur à la plus petite section du cône dans les deux cas.

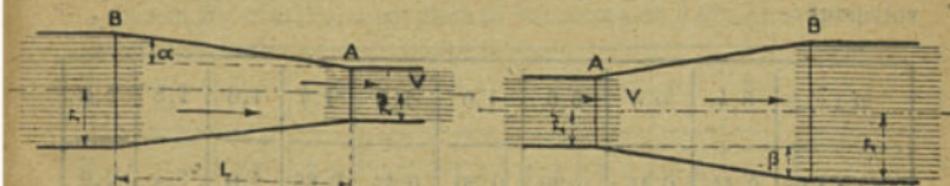


FIG. 26 et 27.

2. Pertes de charge accessoires. — Les pièces intercalaires, vannes, coudes, changements de section, etc., occasionnent tous une perte de pression auxiliaire h_a qu'il faut exprimer en mètres d'eau.

Si l'on désigne par $\zeta_1, \zeta_2, \zeta_3$, etc., les coefficients de résistance de chacune de ces pertes auxiliaires, on a :

$$h_a = \frac{v^2}{2g} (\zeta_1 + \zeta_2 + \zeta_3 \dots).$$

Les valeurs de ζ sont données ci-après d'après Weisbach.

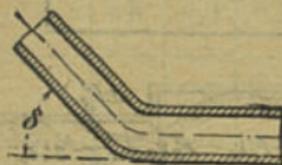


FIG. 28.

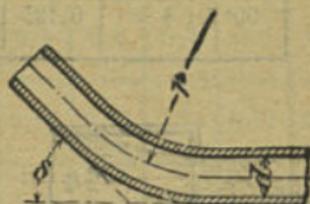


FIG. 29.

3. Résistance des coudes. — 1° Pour un coudé brusque (fig. 28), la valeur est donnée par :

$$\zeta = \sin^2 \frac{\delta}{2} + 2 \sin^4 \frac{\delta}{2},$$

soit pour :

$\delta =$	20°	40°	60°	80°	90°	100°	120°	140°	160°	180°
$\zeta =$	0,03	0,14	0,37	0,75	1,00	1,27	1,87	2,43	2,85	3,00

2° Pour un coude arqué (fig. 29) de section circulaire, on a :

$$\zeta = \frac{\delta}{90^\circ} \left[0,13 + 0,16 \left(\frac{d}{r} \right)^{3,5} \right],$$

soit pour :

$d : r =$	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
$90^\circ \zeta : \delta =$	0,14	0,16	0,20	0,30	0,44	0,66	1,0	1,4	2,0

3° Pour un coude arqué de section carrée (côté = d), on a :

$$\zeta = \frac{\delta}{90^\circ} \left[0,124 + 3,104 \left(\frac{d}{2r} \right)^{3,5} \right],$$

soit pour :

$d : 2r =$	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
$90^\circ \zeta : \delta =$	0,135	0,18	0,25	0,40	0,64

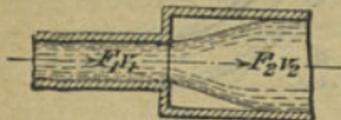


FIG. 30.

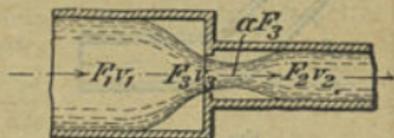


FIG. 31.

Changements brusques de section.

4. **Changements de section.** — D'après Weisbach, l'augmentation de la section (fig. 30) donne pour valeur de ζ :

$$\zeta = \left(1 - \frac{F_2}{F_1} \right)^2,$$

dans laquelle F_1 et F_2 sont les sections (en mètres carrés) respectives des conduites

Le rétrécissement de section (fig. 31) donne :

$$\zeta = \left(\frac{1}{\alpha} - \frac{F_3}{F_2} \right)^2,$$

dans laquelle α est le coefficient de contraction de la veine.

Quand $F_3 < 0,1F_1$, α est dans le voisinage de 0,62. Alors pour :

$F_3 : F_2 =$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$\zeta =$	2,3	2,0	1,7	1,4	1,2	1,0	0,8	0,7	0,6	0,5

Quand $F_3 \geq 0,1F_1$, on tire les valeurs de ζ de la formule précédente en y portant les valeurs de α données par :

$F_3 : F_1 =$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$\alpha =$	0,62	0,63	0,64	0,66	0,68	0,71	0,75	0,81	0,90	1,00

Quand $F_1 = F_2$, alors pour :

$F_3 : F_2 =$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$\alpha =$	0,62	0,63	0,64	0,66	0,68	0,71	0,75	0,81	0,90	1,00
$\zeta =$	2,26	1,91	1,60	1,24	0,94	0,65	0,39	0,19	0,05	0,00

5. **Vannes et robinets.** — Un tiroir ou coulisse s'abaissant dans un conduit carré de section F , F_1 étant la section laissée libre au passage, donne pour valeur de ζ :

$\frac{F_1}{F} =$	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
$\zeta =$	0,09	0,39	0,95	2,08	4,02	8,12	17,3	44,5	193,0

Quand le conduit est de section circulaire (fig. 32), on a pour valeur de ζ suivant l'abaissement de la vanne $\frac{x}{d}$, ou le rapport des surfaces $\frac{F_1}{F}$:

$\frac{x}{d} =$	$\frac{1}{8}$	$\frac{2}{8}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{4}{8}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{6}{8}$	$\frac{7}{8}$
$\frac{F_1}{F} =$	0,948	0,856	0,740	0,609	0,466	0,315	0,159
$\zeta =$	0,07	0,26	0,81	2,06	5,52	17,0	97,8

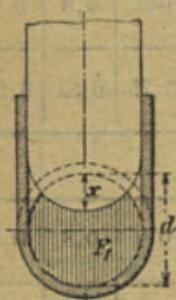


FIG. 32. — Vanne.

La résistance apportée par la fermeture d'un robinet (fig. 33), δ étant l'angle de fermeture, a pour valeur du coefficient ζ :

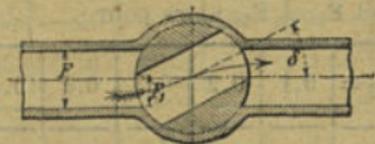


FIG. 33. — Robinet.

Angle de fermeture.....	$\delta = 10^\circ$	20°	30°	40°	50°	60°	65°
Tuyau à section carrée.....	$\left. \begin{array}{l} \frac{F_1}{F} = 0,849 \\ \zeta = 0,31 \end{array} \right\}$	0,687	0,520	0,352	0,188	—	—
Tuyau à section circulaire.....	$\left. \begin{array}{l} \frac{F_1}{F} = 0,850 \\ \zeta = 0,29 \end{array} \right\}$	0,692	0,535	0,385	0,250	0,137	0,091
		1,56	5,47	17,3	52,6	206	486

La résistance apportée par la *fermeture d'un papillon* (fig. 34) a pour valeur du coefficient ζ d'après Weisbach :

$\delta =$	10°	20°	30°	40°	50°	60°
$\zeta =$	0,52	1,54	3,91	10,8	32,6	118

La résistance de passage par un *clapet à charnière* (fig. 35), a pour valeur du coefficient ζ :

$$\zeta = \left(x \frac{F}{F_1} - 1 \right)^2,$$

$\frac{F}{F_1}$ étant le rapport de la section de la conduite à la section de passage du liquide au siège du clapet. Pour des inclinaisons ou ouvertures angulaires β du clapet, les valeurs de x sont données ci-dessous et pour $\frac{F_1}{F} = 0,535$, on a pour ζ :

$\beta =$	15°	20°	25°	30°	40°	50°	60°	70°
$x =$	5,61	4,75	4,0	3,47	2,54	1,91	1,49	1,23
$\zeta =$	90	62	42	30	14	6,6	3,2	1,7

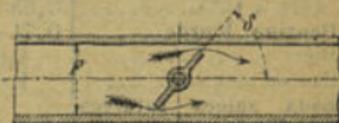


FIG. 34. — Papillon.

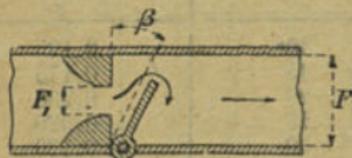


FIG. 35.

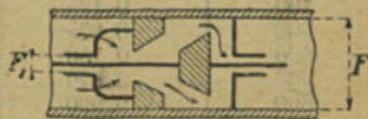


FIG. 35 bis.

Dans une soupape à clapet cône (fig. 35 bis), on a :

$$\zeta = \left(1,537 \cdot \frac{F}{F_1} - 1 \right)^2,$$

F étant la section de la conduite et F_1 la section du siège conique à l'étranglement.

POMPES

1. Poids spécifique des principaux liquides industriels
relativement à l'eau à 4° C. = 1.

Alcool à 15° C.....	0,80	Huile de goudron.....	0,86
Benzine de pétrole légère à 15° C.....	0,65-0,71	Huile de navette, 15° C.	0,91
Benzine, lourde.....	0,71-0,78	Pétrole brut (huile minérale).....	0,78-0,86
Bière.....	1,03	Pétrole raffiné (d'éclairage) à 15° C.....	0,81
Eau de mer à 15° C....	1,03	Pétrole de seconde qualité.....	0,86-0,92
Eaux salées saturées à 17° C.....	1,21	Résidu de pétrole 25 à 80° C.....	0,92-0,95
Goudron de houille....	1,20	Térébenthine à 16° C...	0,87
Benzine de gaz.....	0,86-0,92	Vin.....	0,995
Huile de lin, bouillie, 15° C.....	0,94		

2. Limites d'aspiration. — La limite *théorique* est l'atmosphère, c'est-à-dire 10,33 m. de profondeur, en eau froide de (4°) et au niveau de la mer. Toute diminution de la pression atmosphérique (altitude, ou tension de vapeur du liquide lorsqu'il est chaud) diminue la hauteur limite d'aspiration (voir la table ci-dessous et le graphique fig. 36)

La limite *pratique* dépend de la perte de charge dans le tuyau d'aspiration (crépine, clapet de pied, coudes, vitesse, etc.).

En fait il est rare qu'on puisse aspirer à plus de 8 ou 9 mètres.

ALTITUDE	HAUTEUR PERDUE en mètres	TEMPÉRATURE de l'eau	HAUTEUR PERDUE en mètres
100	0,125	10°	0,125
500	0,625	15	0,173
600	0,750	20	0,236
700	0,870	25	0,320
800	0,990	30	0,430
900	1,110	35	0,570
1.000	1,220	40	0,745
1.200	1,440	45	0,970
1.400	1,660	50	1,250
1.600	1,880	60	2,040
1.800	2,090	70	3,160
2.000	2,290	80	4,800
2.500	2,805	90	7,150
3.000	3,230	100	10,330

L'eau bouillante ne peut donc être pompée qu'en charge.

Pour diminuer cette perte de charge, on adopte toujours dans les conduits d'aspiration une vitesse inférieure à 1 m : sec.

Lorsque l'aspiration est profonde et la longueur grande, il faut toujours vérifier si l'aspiration est possible, c'est-à-dire que la hauteur d'aspiration manométrique (hauteur géométrique plus les hauteurs perdues par perte de charge ou altitude ou température) est nettement inférieure à la pression atmosphérique exprimée en mètres d'eau.

Les crépines obturées par les feuilles ou les boues, un clapet de retenue fonctionnant mal sont des causes fréquentes de troubles à l'aspiration.

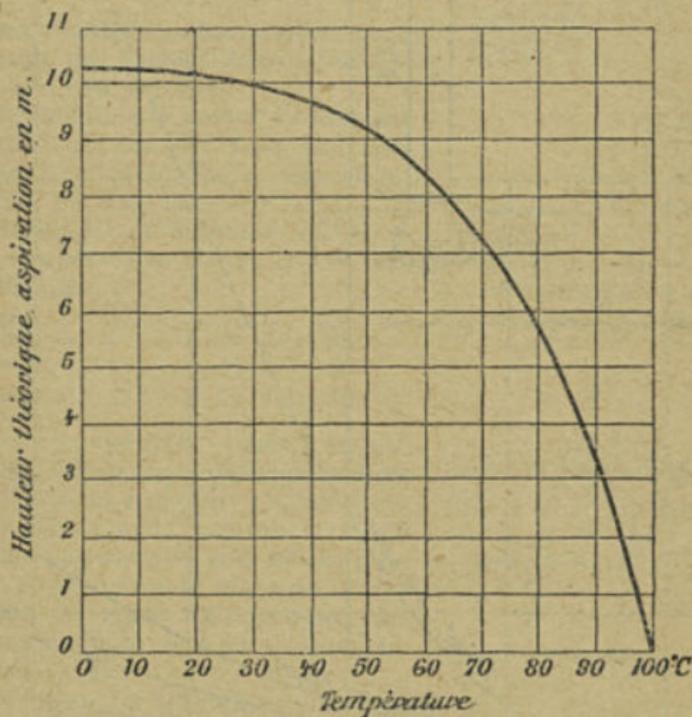


FIG. 36.

Le graphique (fig. 37) dû à M. Lebeau de Liège, auteur d'un système de clapet très peu résistant, fournit d'utiles indications sur la perte de charge au clapet de pied, pour diverses vitesses.

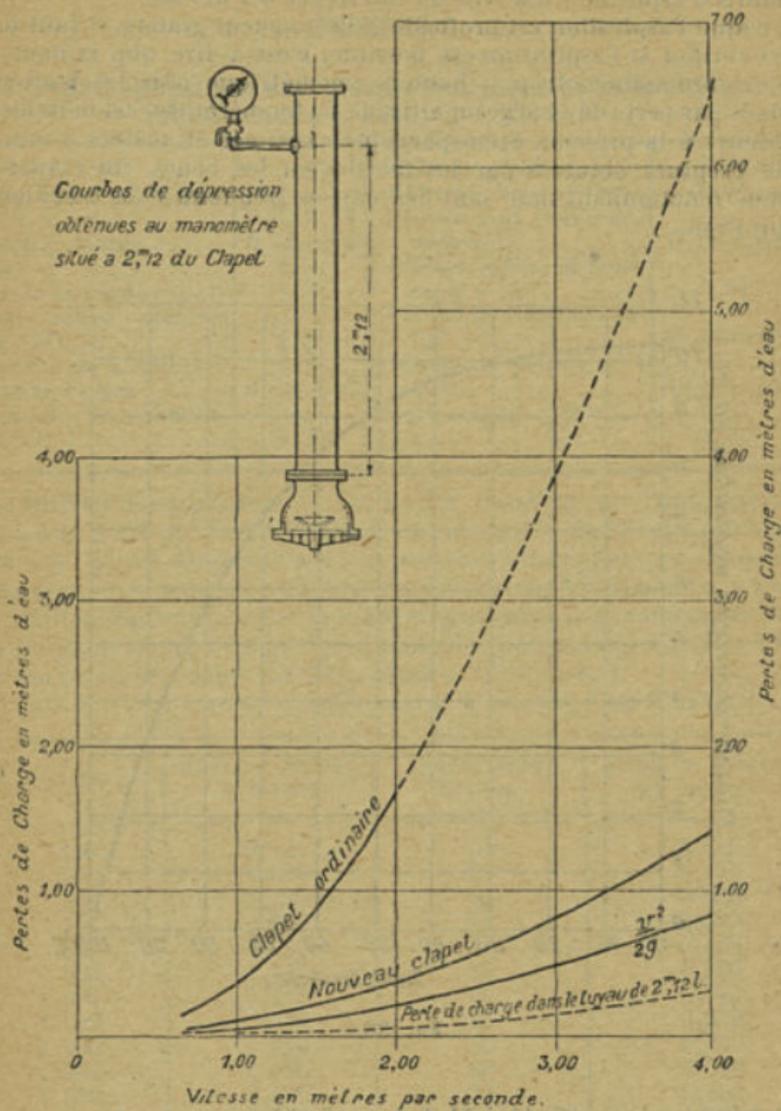


FIG. 37. — Résistance des clapets de pied

3. **Installation des pompes.** — Pour le choix d'une pompe, il faut se fixer :

1° Le débit désiré ;

2° La hauteur totale manométrique d'élévation, laquelle est la somme de la hauteur géométrique H_1 et des pertes de charges diverses H_2 résultant du frottement, des coudes, des vannes ou clapets tant à l'aspiration qu'au refoulement, enfin de la charge capable de la vitesse à l'orifice de sortie de l'eau du tuyau ;

3° Les conditions d'aspiration (voir plus haut), qui doivent être telles que l'aspiration soit possible.

Pratiquement, une pompe est toujours installée dans une des trois positions du croquis ci-joint. On a respectivement dans les trois cas pour la hauteur géométrique H_1 (à laquelle s'ajoute la somme des pertes de charge H_2) les valeurs suivantes :

1^{er} cas..... $H_1 = H_a + H_r$

2^e cas..... $H_1 = H_r - H_a$

3^e cas..... $H_1 = H_a - H_r$

EXEMPLE NUMÉRIQUE. — Soit à établir un projet de pompe centrifuge d'un débit maximum de 50 m³ : heure (soit 14 litres par seconde) aspirant de l'eau à 35° dans une cuve de 4,50 m. de profondeur et la refoulant dans un réservoir d'air où règne une pression de 4 kilogrammes, qui sera la pression de distribution.

Aspiration. — La différence de niveau entre l'axe de la pompe et le niveau d'eau le plus bas est de 5 mètres par exemple ; c'est la hauteur géométrique.

Avec un tuyau de 100 extérieur (section 0,68 dm²) la vitesse pour le débit maximum sera de $\frac{14}{0,68} = 20$ dm : sec, soit 2 mètres par seconde ; la perte de charge à la crépine et au clapet sera d'environ 1,25 m. ; pour 10 mètres de conduit d'aspiration la perte de charge linéaire sera pour cette vitesse d'environ 0,45 m. ; deux coudes à 90° ayant une perte

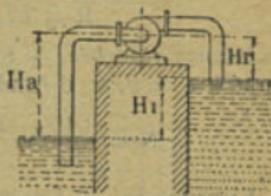
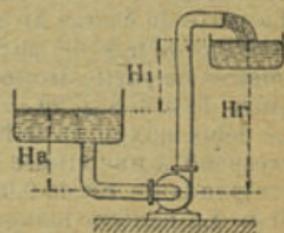
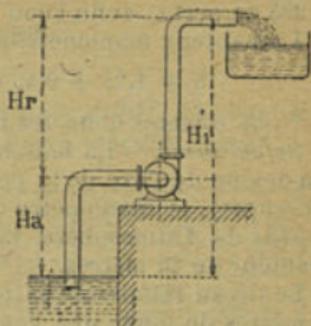


FIG. 38.

équivalant à 10 mètres de partie droite font encore 0,45 m. ; une vanne à passage direct équivalant à 5 mètres de partie droite fait environ 0,225 de perte; enfin l'eau étant à 30°, la hauteur perdue est de 0,425.

La hauteur manométrique d'aspiration est donc :

$$5 + 1,25 + 0,45 + 0,45 + 0,225 + 0,425 = 7,80 \text{ m.}$$

Nous sommes dans des limites pratiquement admissibles.

Refoulement. — La hauteur géométrique de refoulement est comptée au-dessus de l'axe de la pompe, qui est le point zéro (pression atmosphérique); le manomètre du réservoir exprimant des pressions au-dessus de l'atmosphère, la pression de 4 kg : cm² correspond à une hauteur de 40 mètres.

Le tuyau réunissant la pompe au réservoir a un diamètre de 80 et 3 mètres de long; une vanne à passage direct est intercalée sur le refoulement, et le tuyau possède un coude d'équerre très brusque.

La perte de charge au refoulement en évaluant la résistance de la vanne à 5 mètres de partie droite, celle du coude très brusque à 20 mètres de partie droite, la perte de charge est à calculer sur une traînée de 3 + 5 + 20 = 28, soit 30 mètres.

Le débit maximum de 14 l : sec dans une section de 80, soit 0,48 dm², correspond à une vitesse de 3 m : sec; et la perte de charge linéaire correspondante est de 0,09, soit pour 30 mètres une perte totale de 2,70 m. La hauteur manométrique de refoulement est donc :

$$40 + 2,70 = 42,70 \text{ m.}$$

La hauteur totale manométrique d'élévation est donc :

$$H = 42,70 + 7,80 = 50,5 \text{ m. d'eau.}$$

Puissance absorbée. — Si l'on prend le rendement mécanique de la pompe à $\eta = 0,60$, il faudra donc disposer sur l'arbre de :

$$N = \frac{QH}{75\eta} = \frac{14 \times 50,5}{75 \times 0,6} = 15,7 \text{ chevaux-vapeur.}$$

4. **Amorçage.** — Les clapets de pied ni les conduites d'aspiration n'étant pas toujours très étanches on aura toujours avantage à prévoir un dispositif de remplissage rapide de la pompe et son aspiration, autre que le simple petit entonnoir généralement prévu à cet effet.

5. **Contrôle de la hauteur totale.** — On a un gros intérêt pratique à connaître constamment si la pompe fonctionne normalement; il suffit pour cela de placer à l'aspiration un manomètre à vide, au refoulement un manomètre à pression, tous deux gradués en mètres de hauteur d'eau, la somme des indications de ces deux manomètres donnant la hauteur totale d'élévation fournie par la pompe.

POMPES CENTRIFUGES

1. Caractéristiques des pompes centrifuges; débit, charge en colonne d'eau; puissance. — La pompe étant calculée pour conditions de débit et d'élévation déterminées auxquelles correspond un rendement maximum, il s'ensuit que, si l'on veut conserver ce même rendement, il faut faire varier à la fois le débit, la vitesse et la hauteur ou charge d'eau.

A rendement constant, la hauteur varie comme le carré de la vitesse, et la puissance comme le cube. Le graphique (fig. 39) traduit cette relation entre les caractéristiques de la pompe; on y voit que si l'on veut doubler le débit, il faut doubler la vitesse, ce qui correspond à une hauteur d'élévation quatre fois plus grande et à une puissance absorbée huit fois plus élevée.

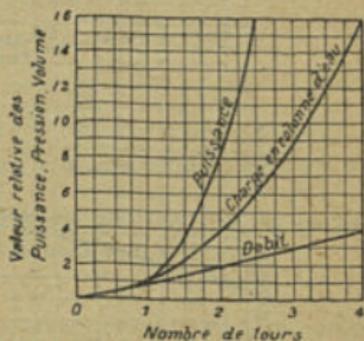


FIG. 39.

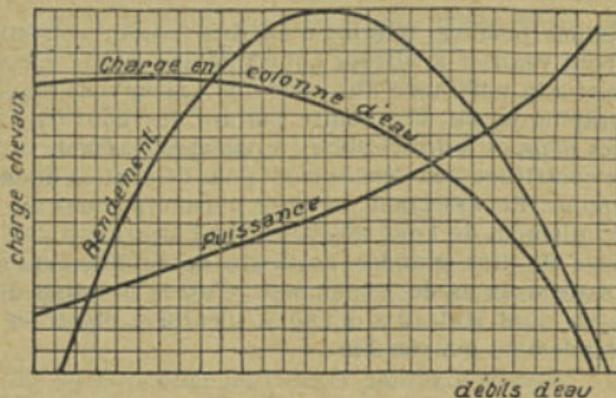


FIG. 30.

A vitesse constante, on obtiendra des débits variables, en introduisant sur le refoulement une vanne d'étranglement, mais le rendement variera dans de grandes proportions.

Le second graphique (fig. 40) montre l'allure générale des courbes caractéristiques d'une pompe à vitesse constante lorsqu'on fait varier la section de l'orifice de refoulement. Comme l'on voit, à mesure que le débit augmente la hauteur d'élévation diminue et la puissance absorbée croît rapidement.

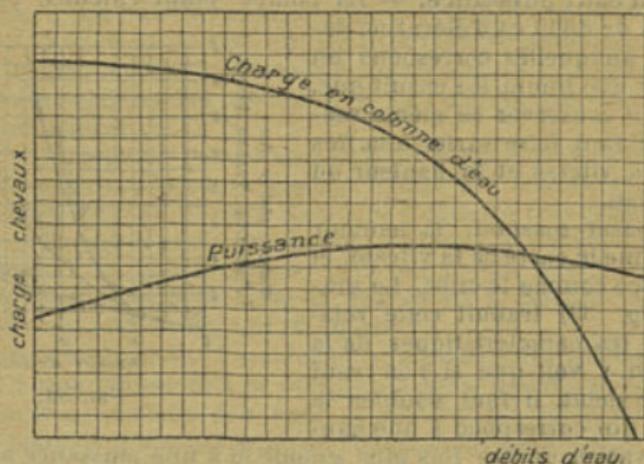


FIG. 41.

Dans certaines pompes, munies d'un distributeur convenablement étudié, on peut réaliser à vitesse constante des débits variables tout en conservant à la puissance absorbée une valeur sensiblement constante. Le graphique (fig. 30) montre l'allure des courbes caractéristiques de ces pompes à distributeurs ou *pompes-turbines*.

La pompe centrifuge convient surtout pour l'élévation de gros débits à faible hauteur. En associant en série plusieurs roues sur le même arbre, le refoulement de l'une aboutissant à l'aspiration de l'autre, on peut atteindre de très grandes hauteurs de refoulement dans des conditions satisfaisantes de rendement. C'est le principe des *pompes multicellulaires* dont Rateau a donné la théorie et établi les premiers modèles à rendement convenable.

2. Rendement des pompes centrifuges. — Nous venons de voir que sa valeur est très variable suivant les conditions de débit.

En général, pour les petites pompes centrifuges, on pourra prendre $\eta_m = 0,50$ et pour les grosses pompes bien établies $\eta_m = 0,75$.

POMPES A PISTON

1. Puissance et rendement. — Soit, d'après Masse :

- Q , le débit en mètres cubes par seconde ;
 Ω , la section du piston en mètres carrés ;
 c_m , la vitesse moyenne de piston en mètres par seconde ;
 s , la course de piston en mètres ;
 λ , le rendement volumétrique ;
 n , le nombre de tours par minute.

On a :

$$Q = \lambda \Omega i \frac{s n}{60} = \lambda \Omega i \frac{c_m}{2},$$

i étant égal à 1 pour les corps de pompe à simple effet et égal à 2 pour les corps à double effet.

De cette expression on peut déduire les proportions du corps de pompe ; nous savons que c_m ne peut dépasser la valeur :

$$\sqrt{2g(10,33 - h)},$$

h étant la hauteur d'aspiration ; on la prend entre 20 et 45 m : min.

Le rendement volumétrique peut être pris aux valeurs suivantes :

- $\lambda = 0,90$ à $0,95$ pour les moyennes pompes bien établies ;
 $\lambda = 0,85$ à $0,90$ pour les petites pompes bien établies.

Soit

- h et h' , la hauteur d'aspiration et de refoulement ;
 h_1 et h_2 , la perte de charge (en hauteur de colonne d'eau) dans les résistances et conduites d'aspiration et de refoulement ;
 $H = h + h'$, la hauteur totale d'élévation de l'eau ;
 τ , le rendement total de la pompe.

La puissance en chevaux N , pour fournir un débit Q m³ : sec. est donnée par :

$$N = \frac{QH}{75\tau} \text{ chevaux.}$$

Le rendement total τ est le produit du rendement volumétrique λ par les rendements hydrauliques et mécaniques, τ_h et τ_m .

On a :

$$\tau = \lambda \cdot \tau_h \cdot \tau_m.$$

Nous venons de donner les valeurs admissibles de λ .

Les autres rendements ont pour valeur :

$$\tau_h = \frac{H}{H + h_1 + h_2}, \quad \text{et} \quad \tau_m = \frac{Q(H + h_1 + h_2)}{75N}.$$

Pratiquement, pour de bonnes pompes à piston, le rendement total τ est compris entre 0,80 et 0,86.

CHAPITRE V

MOUVEMENT DES GAZ SOUS FAIBLE PRESSION VENTILATEURS.

Dans ce qui suit on a admis l'hypothèse que l'air agissait comme fluide non élastique. Pratiquement ceci est admissible, étant donné les faibles pressions en jeu.

1. **Pression.** — La pression à laquelle est soumis un fluide en mouvement, désignée par *pression totale*, est égale à la somme de la *pression statique*, ou pression qu'exerce le fluide sur les parois du récipient qui le contient et de la *pression dynamique* ou charge capable de la vitesse (voir au chapitre I le paragraphe « Définition et mesure des pressions »).

Pour éviter toute confusion, on devrait toujours exprimer les pressions en valeur absolue, c'est-à-dire en tensions comptées à partir du vide ; pratiquement, dans les calculs de ventilation, les pressions sont presque toujours exprimées à partir de l'atmosphère, et dans ce cas on devrait toujours employer les termes *dépression* ou *surpression* pour ne pas laisser place à l'équivoque.

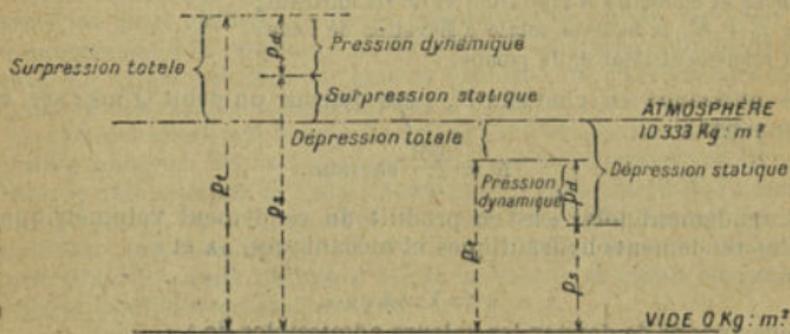


Fig. 42.

Le croquis ci-dessus montre bien clairement les distinctions (par rapport à l'atmosphère) de la pression totale, la pression statique et la pression dynamique.

Les pressions IRIS - LILLIAD - Université Lille 1 leur de colonne du

fluide considéré H , sont exprimées en mm. de hauteur de colonne d'eau h .

Pour passer de la pression H à la pression h , on applique la relation :

$$h = \delta \cdot H,$$

δ étant le poids spécifique en $\text{kg} : \text{m}^3$, du fluide considéré. Inversement on a :

$$(1) \quad H = \frac{h}{\delta}$$

EXEMPLE. — Trouver la hauteur en colonne d'air correspondant à une pression, mesurée au manomètre à eau, de 24 mm., l'air étant à la température ordinaire (soit $\delta = 1,2 \text{ kg} : \text{m}^3$).

On a :

$$H = \frac{24}{1,2} = 20 \text{ m. d'air.}$$

2. **Vitesses d'écoulement.** — La valeur de la pression dynamique ou charge capable de la vitesse, exprimée en colonne d'eau, est :

$$(2) \quad h = \delta \frac{V^2}{2g}.$$

C'est la pression vive que l'on mesure au manomètre à eau différentiel et qui permet de calculer la vitesse et le débit. On en tire en effet :

$$(3) \quad v = \sqrt{\frac{2hg}{\delta}},$$

V , vitesse en $\text{m} : \text{sec}$; δ , poids spécifique du fluide en $\text{kg} : \text{m}^3$; h , pression en $\text{kg} : \text{m}^2$, c'est-à-dire en millimètres d'eau.

Pour l'air à la température ambiante de 15° , $\delta = 1,226 \text{ kg} : \text{m}^3$, de sorte que l'expression (3) devient :

$$(4) \quad v = \sqrt{16h}.$$

La table ci-dessous est calculée sur cette base.



3. Vitesse d'écoulement de l'air à 15°.

h m/m	V m : sec.								
1	4,00	22	18,76	55	29,67	160	50,60	325	72,11
2	5,65	24	19,60	60	30,98	170	52,15	350	74,83
3	6,93	26	20,40	65	32,30	180	53,68	375	77,46
4	8,00	28	21,17	70	33,50	190	55,15	400	80,00
5	8,94	30	21,91	75	34,70	200	56,56	425	82,46
6	9,78	32	22,69	80	35,80	210	57,96	450	84,85
7	10,58	34	23,32	85	36,90	220	59,33	475	87,18
8	11,31	36	24,00	90	38,00	230	60,64	500	89,44
9	12,00	38	24,66	95	39,00	240	61,92	525	91,65
10	12,65	40	25,30	100	40,00	250	63,30	550	93,81
12	13,86	42	25,92	110	41,99	260	64,60	575	95,92
14	14,97	44	26,53	120	43,80	270	65,75	600	97,98
16	16,00	46	27,13	130	45,80	280	66,90	625	100,00
18	16,97	48	27,71	140	47,45	290	68,20	650	101,98
20	17,89	50	28,28	150	49,00	300	69,28	675	103,92

4. Débit. — Si :

S est la section en m^2 ;

V est la vitesse d'écoulement en m. : sec. :

le débit en m^3 : sec est :

$$Q = SV.$$

5. Mesure du débit; jaugeages gazeux; volumètres enregistreurs. — Dans beaucoup d'applications pratiques, il est intéressant d'enregistrer les débits ou vitesses des gaz s'écoulant dans une conduite ou une section donnée.

Cette mesure s'effectue par le tube de Pitot-Darcy qui donne la pression vive h correspondant à la vitesse; celle-ci s'obtient alors par l'application de la formule (3).

EXEMPLE. — Soit à jauger le débit d'un carneau de fumée où les gaz s'écoulent à la température de 350°; la pression absolue dans le carneau étant de 750 millimètres de mercure.

Le poids spécifique du gaz de la combustion est sensiblement le même que celui de l'air, soit 1,3 à zéro et 760 mm. A 350° et 750 millimètres, ce poids est 0,56 kg : m^3 .

Supposons que le manomètre du tube de Pitot fonctionne à l'alcool (Densité = 0,785) et indique une dénivellation de 5 millimètres.

Alors :

$$h = 5 \times 0,785 = 4 \text{ mm. d'eau.}$$

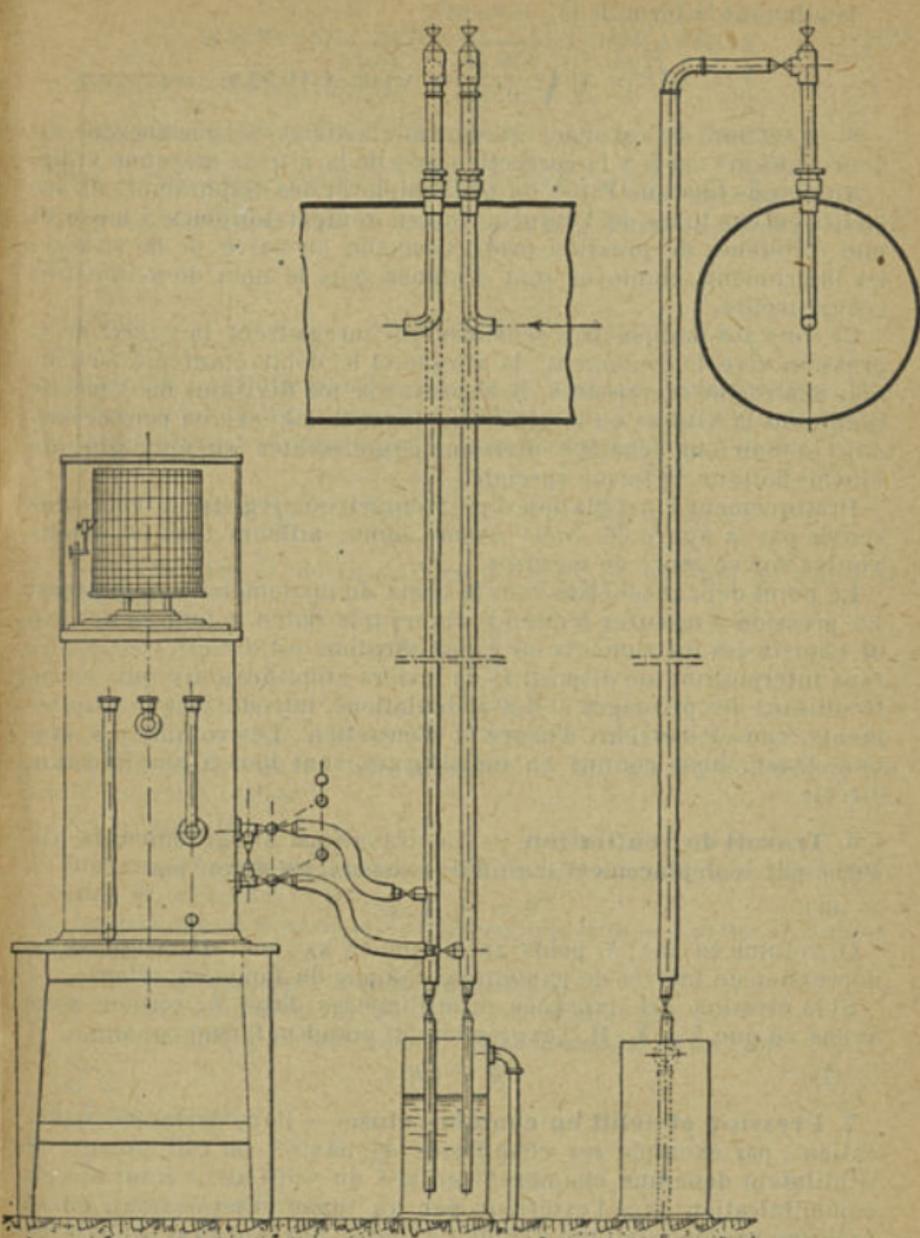


FIG. 43. — Montage d'un volumètre enregistreur, système Izart.

Appliquant la formule (3), il vient :

$$v = \sqrt{\frac{2gh}{\delta}} = \sqrt{\frac{78,48}{0,56}} = \sqrt{140} = 11,83 \text{ m : sec.}$$

Si la section du carneau est de 1 m^2 , le débit de gaz cherché est donc $11,83 \text{ m}^3 \text{ : sec.}$ à la correction près de la vitesse moyenne vraie.

Au lieu de tubes de Pitot, on peut employer des diaphragmes étrangleurs ou des tubes de Venturi; l'on en revient toujours à mesurer une différence de pression proportionnelle au carré de la vitesse; les instruments employés sont désignés sous le nom de volumètres enregistreurs.

Ce sont des manomètres sensibles qui enregistrent la valeur de h , pression vive d'écoulement; la vitesse et le débit étant proportionnels à la racine carrée de h , il s'ensuit que les divisions de l'échelle indiquant la vitesse ou le débit sont logarithmiques; on peut cependant obtenir une échelle à divisions équidistantes en adoptant une cloche-flotteur de forme spéciale.

Pratiquement l'installation d'un volumètre enregistreur est représentée par la figure 36. Nous avons donné ailleurs tous les détails voulus sur ce genre de mesures.

Le point délicat consiste dans le choix du manomètre enregistreur. La pression à mesurer h étant toujours très faible, il faut avoir soin de choisir des instruments où l'amplification est *directe*, c'est-à-dire sans interposition de dispositifs de leviers amplificateurs qui, en introduisant des pivotages et des articulations, introduisent des frottements, causes d'erreur, d'usure et d'entretien. Les volumètres, système Izart, bien connus en métallurgie, sont tous à amplification directe.

6. Travail de ventilation. — Le travail en kilogrammètres, absorbé par le déplacement d'un fluide gazeux, est donné par

$$(6) \quad \mathcal{E} = Q \cdot \delta \cdot H.$$

Q , volume en m^3 ; δ , poids spécifique en $\text{kg} : \text{m}^3$; H , pression ou dépression en mètres de hauteur de colonne du fluide considéré.

Si la pression est exprimée en millimètres d'eau h , comme nous avons vu que $h = \delta \cdot H$, l'expression (6) prend la forme connue :

$$(7) \quad \mathcal{E} = Qh.$$

7. Pression et débit en chambre close. — Dans certaines applications, par exemple les chaufferies de navire, on fait tourner le ventilateur dans une chambre (l'œillard du ventilateur étant mis en communication avec l'extérieur par un tuyau d'aspiration), où se crée une pression statique. Le débit a lieu en ouvrant dans la chambre une ouverture appropriée, par exemple les cendriers.

Pression. — Si l'on appelle :

h_s , la pression statique dans la chambre,

V_t , la vitesse tangentielle de la turbine de diamètre D ($V_t = \frac{\pi D n}{60}$),

δ le poids du m^3 d'air dans les conditions de température et pressions locales,

on a :

$$(8) \quad V_t = \sqrt{2g \frac{h_s}{\delta}}$$

EXEMPLE. — Pour obtenir dans une chambre une pression statique $h_s = 100$ millimètres d'eau, l'air pesant $\delta = 1,3 \text{ kg} : m^3$, il faudra faire tourner le ventilateur à une vitesse tangentielle de :

$$V_t = \sqrt{2 \times 9,81 \frac{100}{1,3}} = 39 \text{ m} : \text{sec. environ.}$$

Si le diamètre D de la turbine est fixé, le nombre de tours se tirera de :

$$V_t = \frac{\pi D n}{60},$$

$$n = \frac{60 V_t}{\pi D}.$$

Débit. — Si l'on ouvre une section $S m^2$, il y aura débit de $Q m^3$ d'air par cette section.

Si l'on appelle :

ω , la section d'écoulement des aubes (égale pratiquement à la surface extérieure de la turbine) en m^2 ;

h_u , la pression utile déterminant l'écoulement ($h_u = h_s -$ pertes de charges en mm. d'eau) ;

k , coefficient des pertes de charges du ventilateur ;

V , la vitesse d'écoulement de l'air par la section ω , en $m : \text{sec}$;

δ , le poids spécifique de l'air dans les conditions locales en $kg : m^3$.

On a :

1° Pression utile :

$$h_u = \frac{h_s \cdot \omega^2}{\omega^2 + kS},$$

2° Vitesse d'écoulement :

$$V = \sqrt{2g \frac{h_u}{\delta}},$$

3° Débit :

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

$$Q = V \cdot S.$$

PERTES DE CHARGE

1. **Frottement dans les conduites.** — La résistance linéaire à l'écoulement dépend de la vitesse et de la rugosité des parois. Appelons :

h la pression ou dépression pour vaincre la résistance égale à la somme des pertes de charge, en mm. d'eau ;

L la longueur de la conduite en mètres ;

S la section en m^2 ;

k le coefficient de résistance (coudes, frottements, etc.) dont les valeurs sont données ci-après ;

P le périmètre de la section en m ;

δ = poids spécifique du fluide gazeux en $kg : m^3$.

On a :

$$h = \frac{hLPV^2}{S} \delta.$$

ou bien, si l'on remplace la vitesse V par le débit ($V^2 = \frac{Q^2}{S^2}$), il vient l'expression

$$h = \frac{kLPQ^2}{S^3} \delta.$$

Les tables ci-après donnent les valeurs de k à prendre dans divers cas pratiques.

a) *Conduites et canalisations circulaires :*

Tuyaux circulaires métalliques (petits diamètres, tôle neuve, surface lisse).....	$k = 0,00040$
Tuyaux circulaires métalliques (diamètre : 30 à 40 cm, surface lisse).....	$k = 0,00030$
Tuyaux circulaires métalliques (diamètre : 30 à 40 cm, surface sale).....	$k = 0,00033$
Tuyaux circulaires métalliques (diamètre : 60 à 100 cm, surface lisse).....	$k = 0,00020$
Tuyaux circulaires métalliques (diamètre : 60 à 100 cm, surface sale).....	$k = 0,00022$

b) *Conduites rectangulaires en bois (Petit) :*

Dimensions 1,5 × 0,75 m.....	$k = 0,0002436$
— 1,0 × 0,75 m.....	$k = 0,0002624$
— 0,57 × 0,45 m.....	$k = 0,0002558$

c) *Galeries et carneaux (Murgue) :*

Galeries et carneaux en maçonnerie	{ tracé sinueux... $k = 0,00051$
	{ tracé rectiligne. $k = 0,00033$
— de IRIS - LILLIAD - Université Lille 1...	$k = 0,00094$
— à cadres ou à section irrégulière.....	$k = 0,00156$

Ces chiffres correspondent à des galeries de section égale à 2 ou 3 m².

Pour des sections plus petites le coefficient s'accroît.

d) Puits et cheminées :

Puits de mines, avec guidonnages, échelles, etc.....	$k = 0,00130$
Puits murillés à parois rugueuses.....	$k = 0,00120$
Cheminées et puits maçonnés, parois lisses.....	$k = 0,00050$

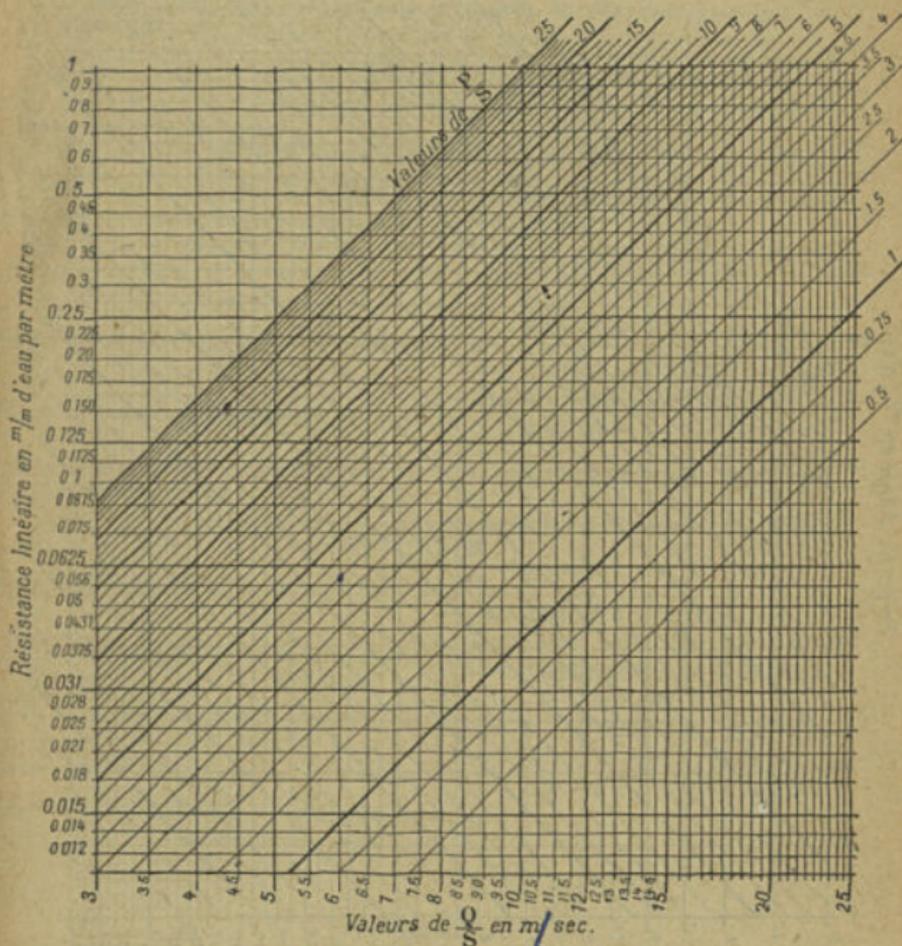


FIG. 44. — Graphique de la résistance à l'écoulement (Izart)

Nous avons traduit dans le graphique ci-dessus les valeurs de la
 IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

perte de charge linéaire par mètre de longueur de conduit, pour de l'air à la température ambiante ($\delta = 1,2$) et un coefficient de rugosité moyen $K = 0,00033$.

Comme nous le verrons, ce graphique est d'un usage commode pour la détermination du diamètre des canalisations de vent.

2. **Pertes de charge accessoires.** — Leur détermination a donné lieu à un grand nombre de travaux et d'études parfois très complexes.

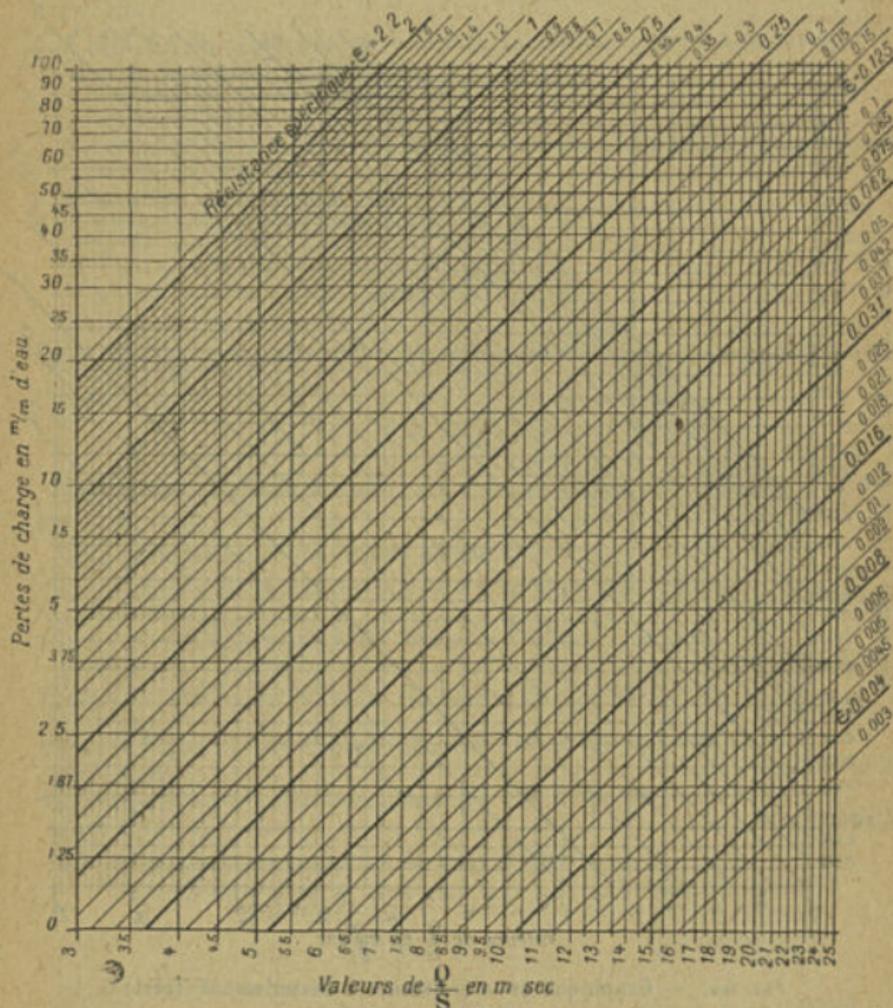


FIG. 45. — Pertes de charges dues aux coudes, etc. (Izart).

Pour les besoins de la pratique courante, on pourra se contenter des valeurs ci-après et condensées dans le graphique annexe (fig. 45). L'expression générale de pertes de charge accessoires est :

$$h = \delta_1 V^2,$$

δ_1 , poids spécifique du fluide ;

ϵ , résistances spécifiques des accidents envisagés, coudes, étranglements, etc., dont les valeurs numériques usuelles en sont données ci-après :

Nous avons établi le graphique ci-joint, qui donne directement la valeur de la perte de charge h (en millimètres d'eau), en fonction de la vitesse $V = \frac{Q}{S}$ d'écoulement et de la perte de charge spécifique ϵ .

Ce graphique est d'un emploi particulièrement commode pour les calculs de carneaux, conduites de vent, etc.

On prendra, suivant les cas, les valeurs ci-après de la résistance spécifique ϵ :

Registre à guillotine, rapport de section	$\left\{ \begin{array}{l} \frac{S}{s} = 1,25 \quad 1,5 \quad 2 \quad 4 \quad 8 \\ \epsilon = 0,015 \quad 0,032 \quad 0,082 \quad 0,2 \quad 0,4 \end{array} \right.$
Registre papillon inclinaison	$\left\{ \begin{array}{l} \alpha = 30^\circ \quad 40^\circ \quad 50^\circ \quad 60^\circ \quad 70^\circ \\ \epsilon = 0,02 \quad 0,05 \quad 0,2 \quad 0,7 \quad 2,2 \end{array} \right.$
Accroissement brusque	$\left\{ \begin{array}{l} \frac{S}{s} = 1,1 \quad 1,25 \quad 1,5 \quad 1,75 \quad 2 \\ \epsilon = 0,001 \quad 0,004 \quad 0,015 \quad 0,035 \quad 0,062 \end{array} \right.$
Rétrécissement brusque	$\left\{ \begin{array}{l} \frac{S}{s} = 0,25 \quad 0,5 \quad 0,75 \quad 0,9 \quad 1 \\ \epsilon = 0,04 \quad 0,2 \quad 0,01 \quad 0,005 \quad 0 \end{array} \right.$
Convergent (angle au sommet)	$\left\{ \begin{array}{l} \alpha = 10^\circ \quad 20^\circ \quad 30^\circ \quad 40^\circ \quad 45^\circ \\ \epsilon = 0,002 \quad 0,008 \quad 0,01 \quad 0,015 \quad 0,02 \end{array} \right.$
Divergent (angle au sommet)	$\left\{ \begin{array}{l} \alpha = 7^\circ \quad 15^\circ \quad 30^\circ \quad 40^\circ \quad 45^\circ \\ \epsilon = 0 \quad 0,0001 \quad 0,001 \quad 0,01 \quad 0,015 \end{array} \right.$
Coude simple	$\left\{ \begin{array}{l} \alpha = 30^\circ \quad 45^\circ \quad 60^\circ \quad 90^\circ \quad 120^\circ \\ \epsilon = 0,008 \quad 0,012 \quad 0,023 \quad 0,062 \quad 0,115 \end{array} \right.$
Coude double 2 coudes sens opposé $\epsilon = 0,07$	
— 2 coudes même sens $\epsilon = 0,12$	

DIAMÈTRE DES CONDUITES DE VENT

La détermination des dimensions d'un ensemble de canalisations devant porter un débit d'air déterminé en différents points d'un système circulatoire, est toujours très complexe et ne peut se faire que par tâtonnements suivant des calculs successifs.

Il faut tout d'abord :

Ou se fixer une valeur du travail de ventilation déterminée ce qui donne la valeur de la pression totale et par suite les diverses pertes de charge, c'est-à-dire des dimensions des conduits ;

Ou se fixer une valeur approximative des dimensions des conduites, pour ne pas dépasser un chiffre de dépense d'installation, et aboutir ainsi à une valeur déterminée de la pression totale et du travail de ventilation.

Dans les deux cas le choix du ventilateur le plus approprié découlera des caractéristiques de l'appareil lui-même et de l'orifice moyen sur lequel il devra débiter ; on choisira le ventilateur qui présentera le meilleur rendement pour l'orifice moyen du système.

De toutes façons, la réduction de la résistance à l'écoulement à celle d'un orifice en mince paroi équivalent simplifie beaucoup les calculs pratiques, en permettant d'établir des graphiques où diverses variables complexes sont remplacées par une seule, celle de l'orifice équivalent.

1. Résistance totale et orifice équivalent. — La résistance totale qu'offre un circuit extérieur à l'écoulement d'un fluide gazeux qui est égale à la somme de la résistance linéaire et des diverses pertes de charge, est définie par l'expression :

$$(15) \quad R = \frac{qH}{Q^2}$$

Il est toutefois beaucoup plus commode d'exprimer la résistance non pas sous cette forme qui exige l'intervention d'une unité arbitraire peu courante — l'unité de résistance — mais sous celle d'un orifice en mince paroi dont la résistance serait la même que celle dont il est question.

La notion de l'orifice équivalent est due à Murgue, qui en a donné l'expression

$$(16) \quad Q = \frac{Q}{\sqrt{\frac{8}{\rho g}}}$$

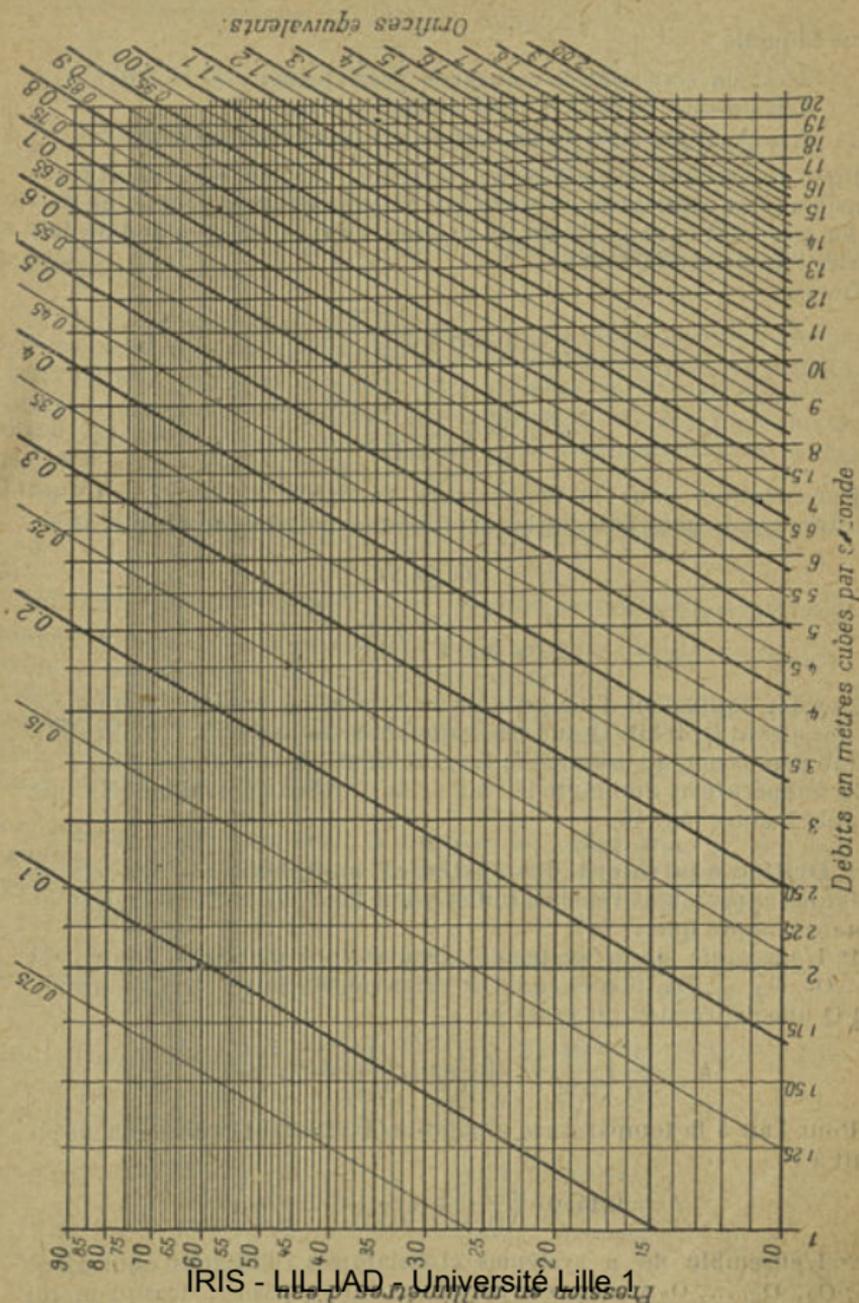


FIG. 46. — Graphique des orifices équivalents pour le choix des ventilateurs (Izart).

dans laquelle

K est un coefficient de contraction généralement pris $= 0,65$;
 h , la pression ou dépression en millimètres d'eau ;
 δ , le poids spécifique en $\text{kg} : \text{m}^3$ du gaz dans l'état considéré.

Pour un système circulaire déterminé, l'orifice équivalent reste sensiblement invariable, de sorte que sa connaissance permet de calculer aisément et rapidement les valeurs de Q ou de h quand on fait varier l'un de ces facteurs.

On a :

$$Q = 0,65 \text{ O } \sqrt{2g \frac{h}{\delta}}$$

et

$$h = \frac{\delta}{2g} \left(\frac{Q}{0,65 \text{ O}} \right)^2.$$

Par exemple, pour la température ambiante de 20° , $\delta = 1,2$ en chiffres ronds pour l'air, et les expressions ci-dessus se réduisent à :

$$Q = 2,63 \text{ O } \sqrt{h},$$

et

$$h = 0,145 \left(\frac{Q}{\text{O}} \right)^2.$$

L'orifice équivalent d'un système se détermine expérimentalement en mesurant le débit Q que provoque dans le système l'application d'une dépression ou pression h . Le graphique ci-joint donne pour l'air à la température ambiante la valeur de l'orifice équivalent par une simple lecture (fig. 46).

2. Orifice équivalent des systèmes complexes. — On peut le calculer approximativement, connaissant les orifices élémentaires, en tenant compte que :

1° L'ensemble de n systèmes circulatoires d'orifices équivalent $\text{O}_1, \text{O}_2, \text{O}_3, \dots, \text{O}_n$, placés *en série*, exige pour y faire circuler un débit Q une dépression ou pression :

$$h = \frac{\delta}{2g} \left(\frac{Q}{0,65} \right)^2 \cdot \left(\frac{1}{\text{O}_1^2} + \frac{1}{\text{O}_2^2} + \dots + \frac{1}{\text{O}_n^2} \right).$$

Pour l'air à la température ambiante ($\delta = 1,2$), l'expression se réduit à :

$$h = 0,145 Q^2 \left(\frac{1}{\text{O}_1^2} + \frac{1}{\text{O}_2^2} + \dots + \frac{1}{\text{O}_n^2} \right).$$

2° L'ensemble de n systèmes circulatoires d'orifices équivalent $\text{O}_1, \text{O}_2, \text{O}_3, \dots$, **IRIS - ELLIAD - Université Lille 1**, lorsqu'on lui

applique une dépression ou pression h , un débit

$$Q = 0,65 \sqrt{2g \frac{h}{\delta}} (O_1 + O_2 + \dots + O_n).$$

Pour l'air à la température ambiante ($\delta = 1,2$), l'expression se réduit à :

$$Q = 2,63 \sqrt{h} (O_1 + O_2 + \dots + O_n).$$

Nous allons voir comment ces notions s'appliquent au calcul des conduites de vent.

3. Calcul d'une conduite simple. — Si H_t est la pression (ou dépression) totale *utile* (déduction de la résistance interne du ventilateur) fournie par le ventilateur, cette pression devra être égale à la somme des pertes de charge de la canalisation et ses incidents de route (registres, coudes, contractions, etc.) augmentée de la charge capable de la vitesse à l'orifice de sortie.

$$H_t = h \text{ (pertes de charge)} + \frac{\delta v^2}{2g} \text{ (charge de la vitesse de sortie).}$$

La table 3 donne la valeur de $\frac{\delta v^2}{2g}$ pour les diverses vitesses d'écoulement de l'air et les graphiques du paragraphe « perte de charge » donnent les valeurs de h pour les diverses vitesses.

On pourra donc à volonté ou calculer les pertes de charge pour une dimension fixée de conduite, ou calculer les dimensions de conduite pour une valeur fixée des pertes de charge correspondant à une vitesse d'écoulement donnée,

4. Calcul d'un ensemble complexe de conduites. — Passons maintenant au cas plus général de la pratique, où plusieurs branchements intermédiaires s'insèrent sur une canalisation principale.

On peut baser le calcul :

Ou bien sur une perte de charge constante du tronçon principal et calculer ensuite les branchements donnant les débits partiels désirés ;

Ou bien sur une vitesse constante dans le tronçon principal et calculer de même les branchements partiels.

Soit, par exemple, un système représenté par le croquis (fig. 47) d'après lequel on désire distribuer :

en 4.....	0,5 m ³ : seconde,
en 5.....	0,2 m ³ : seconde,
en 6.....	0,3 m ³ : seconde,

Au total au ventilateur 1 m³ : seconde.

Les longueurs correspondantes seront par exemple :

de 1 à 2.....	10 mètres,
2 à 3.....	5 —
3 à 4.....	10 —
2 à 5.....	20 —
3 à 6.....	8 —

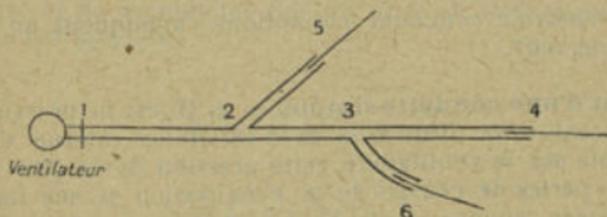


FIG. 47.

Nous nous imposons de ne pas dépasser une puissance de ventilation de 1 cheval: avec un rendement du ventilateur de 0,5, la pression utile totale que devra fournir celui-ci sera d'après

$$N = \frac{Q \cdot H_t}{75 \eta}, \quad H_t = \frac{1 \times 75 \times 05}{1} = 37,5 \text{ mm. d'eau.}$$

En adoptant une vitesse de sortie de 10 m : sec, la charge capable correspondant à cette vitesse est (pour de l'air à 15°) 7 millimètres d'eau.

Il reste donc à répartir une perte de charge de 37 — 7 = 30 millimètres sur la longueur 1-4 qui a 25 mètres soit, en supposant 5 millimètres de perte pour les incidents de route (coudes, vannes, etc.), une perte de charge linéaire par mètre de $\frac{30 - 5}{25} = 1$ millimètre par mètre.

Sur le premier tronçon 1-2 le débit $Q = 1 \text{ m}^3 \text{ : sec.}$

Sur le second — 2-3 — $Q = 1 - 0,2 = 0,8 \text{ m}^3 \text{ : sec.}$

Sur le troisième — 3-4 — $Q = 0,8 - 0,3 = 0,5 \text{ m}^3 \text{ : sec.}$

Si on conserve la vitesse de 10 m : sec, les sections respectives seront ainsi :

$$\text{pour 1-2 } S = 0,1 \text{ mq } D = 360 \text{ mm. } \frac{P}{S} = 11,5$$

$$2-3 \text{ } S = 0,08 \text{ mq } D = 320 \text{ mm. } \text{ » } 12,5$$

$$3-4 \text{ } S = 0,05 \text{ mq } D = 255 \text{ mm. } \text{ » } 16$$

En réalité le graphique (fig. 44) montre que pour $\frac{Q}{S} = 10$ et les va-

leurs ci-dessus de $\frac{P}{S}$ la perte de charge linéaire sera très sensiblement inférieure au mm. de perte par mètre que nous avons consenti ; on réduira donc par tâtonnement la valeur de S pour que chacun des tronçons $\frac{P}{S}$ et $\frac{Q}{S}$ soient tels que l'on se rapproche de 1 millimètre, et les vitesses dans chacun des tronçons de la branche principale seront donc différentes.

Reste maintenant à déterminer les dimensions des deux dérivi-
ations.

Nous disposons :

$$\text{en 2 (1}^{\text{re}} \text{ dérivation) de } 37 - \underbrace{(1 \times 10 \text{ m.})}_{\text{linéaire}} - \underbrace{3}_{\text{incidents}} = 24 \text{ mm.}$$

et

$$\text{en 3 (2}^{\text{e}} \text{ dérivation) de } 37 - \underbrace{(1 \times 15)}_{\text{linéaire}} - \underbrace{(3 + 1)}_{\text{incidents}} = 18 \text{ mm.}$$

et nous devons débiter :

$$\text{en 2-5 un } q = 0,2 \text{ m}^3 \text{ : seconde, la longueur étant 20 mètres.}$$

$$\text{en 3-6 un } q = 0,3 \text{ m}^3 \text{ : seconde, la longueur étant 8 mètres.}$$

la charge capable d'une vitesse de sortie de 10 m : sec étant de 7 mm., on aura donc comme valeur des pertes de charge :

$$\text{tronçon 2-5 : } h = 24 - 7 = 11 \text{ mm.}$$

$$\text{tronçon 3-6 : } h = 18 - 7 = 11 \text{ mm.}$$

En déduisant les incidents de route, par exemple 3 millimètres et mm. respectivement, la perte de charge linéaire sera donc :

$$\text{pour le tronçon 2-5 : } 11 - 3 = 8 \text{ mm. et la perte linéaire } \frac{8}{20} = 0,4 \text{ mm.}$$

$$\text{— } 3-6 : 11 - 2 = 9 \text{ mm. — } \frac{9}{7} = 1,3 \text{ mm.}$$

Connaissant ces valeurs et celles de Q dans chaque tronçon, on déterminera comme tout à l'heure les valeurs de S (et par suite du diamètre, s'il s'agit de conduites circulaires) donnant satisfaction sur le graphique à $\frac{Q}{S}$ et $\frac{P}{S}$ à la perte de charge linéaire déterminée.

5. Vérification des débits pressions et vitesses. — On peut se demander, dans un système établi, comment contrôler les débits lorsqu'il se produit soit un changement de la résistance de l'ensemble occasionné par exemple par la fermeture d'une vanne ou orifice, soit un changement de la vitesse du ventilateur.

Il est très simple, pour opérer ce contrôle, d'établir un graphique

des constantes de l'installation connaissant les caractéristiques du ventilateur (hauteur manométrique et débit) pour différentes vitesses et différents orifices équivalents.

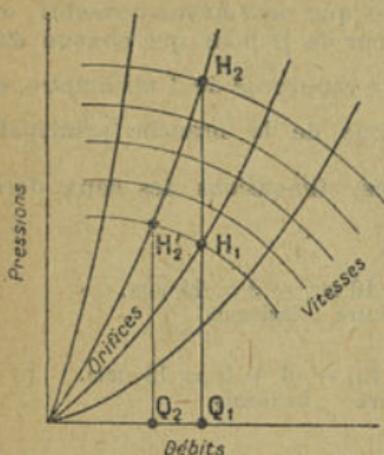


FIG. 48.

Pour cela, connaissant les variations du débit et de la pression manométrique en fonction des orifices équivalents, on constate que pour un orifice donné et une vitesse donnée, il existe une valeur donnée de la pression et du débit.

On peut donc établir pour un ventilateur donné un réseau de courbes à la façon indiquée par le graphique ci-joint (fig. 48).

Si nous modifions pour un même débit Q_1 l'orifice équivalent de l'ensemble, la pression devra monter de H_1 à H_2 pour conserver ce même débit; on saura donc dans quelles proportions faire varier la vitesse.

Inversement, si la vitesse reste constante, et que l'orifice équivalent ait changé de la même manière que précédemment, la pression manométrique est passée de H_1 à H_2 et le débit aura diminué de Q_1 à Q_2 .

Cette représentation est très commode pour la régulation des débits ou pressions d'un ensemble complexe alimenté par un même ventilateur.

INSTALLATION DES VENTILATEURS

1. **Pressions utilisées dans l'industrie.** — Voici les valeurs usuelles dans l'industrie de la pression manométrique totale (voir « définition et mesure des pressions »), c'est-à-dire la valeur de la pression *statique*, somme des dépressions et surpressions par rapport à l'atmosphère, augmentée de la somme des pertes de charge, plus la valeur de la pression dynamique à l'orifice de sortie (charge capable de la vitesse).

Forges 150 à 200 millimètres d'eau.

Fours à réchauffer : 80 à 150 millimètres d'eau.

Fours à matricer : 150 à 350 millimètres d'eau.

Gazogènes : 50 à 80 millimètres.

Foyers de chaudières : 30 à 60 millimètres.

Cubilot de fonderie 2° fusion : 350 à

450 millimètres

Cubilot de fonderie, fonte aciérée :

450 à 700 millimètres.

Fours à gaz : 200 à 400 millimètres d'eau.

Chalumeau à gaz à braser : 250 à 500 millimètres d'eau.

Brûleurs à huile basse pression : 500 à 700 millimètres d'eau.

Brûleurs à huile haute pression : 1.500 à 2.000 millimètres d'eau.

On emploie généralement 1 mètre cube à 1,20 m³ d'air par kilogramme fonte et 8 à 10 kilogrammes coke par 100 kilogrammes fonte.

2. **Travail et rendement des ventilateurs.** — Le travail de ventilation fourni par un ventilateur est en kilogrammètres par seconde :

$$\tau = Q \cdot h,$$

Q étant le débit en mètres cubes par seconde et h la pression ou dépression totales en kg : m² (c'est-à-dire égale à la hauteur en millimètres d'eau).

Si η est le rendement du ventilateur, la puissance en chevaux absorbée par le ventilateur sera :

$$N = \frac{Q \cdot h}{75 \eta}$$

Pour les gros ventilateurs, η varie de 0,4 à 0,7 et pour les petits de 0,2 à 0,5.

EXEMPLE. — Un ventilateur débitant 1,5 m³ : sec à la pression 100 millimètres, exigera avec un rendement de 50 0/0 une puissance de :

$$N = \frac{1,5 \times 100}{75 \times 0,5} = 4 \text{ chevaux}$$

Ce travail dépend uniquement du volume, de sorte que, pour débiter un poids égal d'un gaz, il faut plus de puissance quand ce gaz est chaud que quand il est froid.

3. **Pression ou dépression utile ; orifice de passage.** — Le ventilateur en tournant crée une dépression totale H qui se divise en dépression utile h et en dépression absorbée par le ventilateur h' .

On a :

$$H = h + h'.$$

Si

O est l'orifice équivalent du système circulaire.

O_0 — à la résistance du ventilateur.

On a un même débit Q traversant évidemment le ventilateur et le système circulaire :

$$hO = h'O_0 \quad \text{soit :} \quad \frac{h'}{h} = \frac{O^2}{O_0^2},$$

qu'on déduit des deux égalités :

$$Q = 0,65 O_0 \sqrt{2g \frac{h}{\delta}},$$

et

$$Q = 0,65 O \sqrt{2g \frac{h}{\delta}},$$

donnant l'expression du débit, respectivement dans le système circulaire et dans le ventilateur.

L'orifice équivalent O_0 correspondant à l'obstruction du circuit par le ventilateur est généralement désigné sous le nom d'*orifice de passage*.

Il se détermine expérimentalement; le ventilateur étant arrêté, on mesure le débit q_0 qui la traverse et la pression ou dépression h_0 correspondant à ce débit. L'orifice de passage est alors donné par l'expression connue :

$$O_0 = \frac{q_0}{0,65 \sqrt{2g \frac{h_0}{\delta}}}.$$

L'orifice de passage peut être considéré comme invariable pour les débits normaux ou supérieurs; pour les faibles débits, il diminue sensiblement.

4. **Courbes caractéristiques.** — Pour juger des qualités d'un ventilateur, il est nécessaire de considérer différentes caractéristiques. Ce sont essentiellement : le rendement mécanique, le rendement manométrique et le rendement volumétrique.

1° *Le rendement mécanique :*

$$\eta = \frac{C_u}{C_m},$$

est le rapport du travail utile de ventilation Qh fourni par le ventilateur au travail mécanique effectif absorbé par l'appareil, mesuré au frein dynamométrique.

2° *Le rendement manométrique* est le rapport de la pression ou dépression utile h fournie par le ventilateur à une dépression type, correspondant à la même vitesse périphérique u , l'air étant rejeté dans l'atmosphère avec une vitesse réduite à zéro. Cette dépression a pour valeur :

$$\frac{\delta u^2}{g},$$

le rendement manométrique μ a donc pour expression :

$$\mu = \frac{gh}{\delta u^2} \quad \text{d'où} \quad h = \mu \frac{\delta u^2}{g}.$$

Il se détermine expérimentalement.

Le rendement manométrique, encore dit rapport ou pouvoir manométrique, peut être plus grand que l'unité dans certains appareils étudiés dans ce but.

Le *pouvoir déprimant* est le rapport de la dépression totale H fournie par le ventilateur à la dépression type définie plus haut.

En général, on doit rechercher de préférence les appareils présentant un rendement manométrique et un pouvoir déprimant élevés car leur vitesse périphérique est plus faible, et l'on a toujours avantage à choisir un ventilateur tournant à la plus faible vitesse possible.

3° *Le pouvoir débitant* est lié au rendement manométrique par l'expression simple :

$$O \sqrt{\mu}.$$

O étant l'orifice équivalent du système circulatoire, il est lié au débit Q et à la vitesse périphérique u par l'expression :

$$Q = 0,92u.O \sqrt{\mu}.$$

Ces trois caractéristiques, établies sous forme de graphique en fonction des orifices équivalents (voir fig. 50), permettent de déterminer aisément la puissance effective absorbée, la dépression créée et le débit du ventilateur pour différents orifices équivalents, et pour une vitesse déterminée du ventilateur.

5. **Variations de la pression, du débit et de la puissance avec la vitesse.** — Connaissant pour un orifice équivalent donné, sur lequel travaille le ventilateur, le rendement manométrique et la puissance

déterminées d'après la courbe des caractéristiques (fig. 50), il suffit,

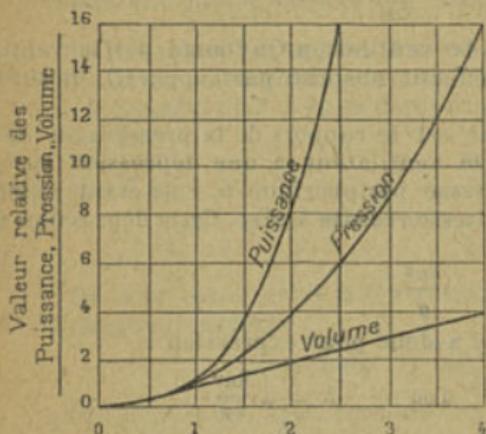


Fig. 49. — Nombre de tours relatifs.

pour connaître les valeurs quand la vitesse change, de considérer que le débit augmente comme le simple rapport, la pression comme le carré et la puissance comme le cube du rapport des vitesses.

Le graphique (fig. 49) exprime cette loi.

6. Choix des ventilateurs. — Les ventilateurs sont des appareils dont le rendement est considérablement affecté selon les conditions de fonctionnement.

Le choix rationnel doit s'inspirer, d'abord des caractéristiques propres de l'appareil, ensuite de l'ouverture ou orifice équivalent sur lequel il doit travailler.

Les données qu'il faut se poser sont : le volume Q à faire circuler et la pression H_t nécessaire à l'écoulement.

On s'efforcera de connaître entre quelles limites variera Q pratiquement, et l'on adoptera un type de ventilateur donnant le maximum de rendement mécanique et de rendement manométrique dans le voisinage de ces variations.

Connaissant la pression H_t nécessaire pour faire circuler le débit Q à travers le système d'orifice équivalent O et connaissant le rendement manométrique α , du type de ventilateur adopté, on tire la vitesse périphérique de :

$$\alpha = \frac{QH_t}{\delta u^3}$$

soit :

$$u = \sqrt{\frac{QH_t}{\delta \alpha}}$$

Connaissant la vitesse périphérique, on choisira à son idée le diamètre de turbine et par suite le nombre de tours.

Pratiquement tous les constructeurs possèdent des séries établies dont chaque type possède un orifice équivalent pour lequel le rendement mécanique et les conditions de fonctionnement sont généralement les meilleurs. On lira le titre de ce chapitre dont cet orifice plus favorable est voisin de l'orifice auquel conduit le calcul.

Il suffit à cet effet de tracer sur le diagramme des orifices équivalents que nous avons donnés § 1 ci-avant, les lignes de l'orifice équivalent correspondant pour chaque type au meilleur rendement du ventilateur.

7. Essai des ventilateurs. — L'essai des ventilateurs et l'estimation de leur rendement nécessite des mesures délicates.

Les trois quantités intéressant le client : débit, pression et rendement aux différentes vitesses exigent pour être représentées un graphique à 3 dimensions. Il est très suffisant pour la pratique, et très clair, de dresser un graphique des variations de ces trois quantités en fonction des ouvertures ou orifices équivalents pour la vitesse normale. Les courbes obtenues présentent l'allure générale de la figure 43.

L'essai se complète par un relevé des courbes caractéristiques aux différentes vitesses du ventilateur.

Nous avons vu ci-avant l'expression de l'orifice équivalent.

Pour calculer les orifices correspondant à des résistances différentes obtenues en fermant plus ou moins une vanne, il faut donc mesurer le débit ou la pression (ou dépression) en millimètres d'eau. Aussi, pour diminuer les chances d'erreur, les mesures doivent être faites à l'aide d'appareils enregistreurs convenablement étalonnés, ce qui permet d'opérer sur des moyennes.

L'essai consistera à relever les valeurs de Q et H_z pour les différentes ouvertures correspondant aux différentes hauteurs de vanne et simultanément le travail effectif mesuré sur l'arbre du ventilateur par un frein dynamométrique, le tout à vitesse constante.

Le travail théorique étant QH_z , on a donc tous les éléments pour établir le graphique des caractéristiques (fig. 50).

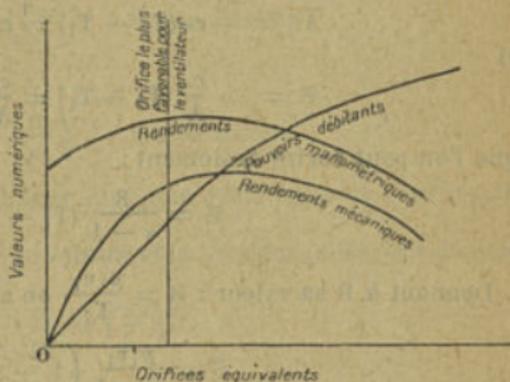


FIG. 50.

CHAPITRE VI

MOUVEMENT DES GAZ ET VAPEURS SOUS PRESSION AIR COMPRIMÉ. — FROID

TRAVAIL DES GAZ PARFAITS

1. **Travail et chaleur dans la détente ou compression adiabatique.** — Si la transformation a lieu sans acquisition ni perte de calorique, elle est dite adiabatique. On a :

$$A\bar{\epsilon} = -c_v (T_2 - T_1) = c_v (T_1 - T_2),$$

et

$$\bar{\epsilon} = -\frac{c_v}{A} (T_2 - T_1) = \frac{c_v}{A} (T_1 - T_2),$$

que l'on peut écrire également :

$$\bar{\epsilon} = \frac{R}{\alpha - 1} (T_1 - T_2).$$

Donnant à R sa valeur : $R = \frac{p_1 v_1}{T_1}$, on a :

$$\bar{\epsilon} = \frac{p_1 v_1}{\alpha - 1} \left(1 - \frac{T_2}{T_1} \right).$$

Pour la transformation adiabatique, la loi de Mariotte est exponentielle, et la relation devient ici :

$$p_1 v_1^\alpha = p_2 v_2^\alpha = C^{\text{te}},$$

α étant le rapport des chaleurs spécifiques, d'où :

$$\frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^\alpha.$$

Comme d'après les équations connues, on a :

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{p_2 v_2}{p_1 v_1} = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^\alpha \frac{v_2}{v_1} = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{\alpha-1} = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\alpha-1}{\alpha}},$$

il vient

$$\bar{e} = \frac{p_1 v_1}{x-1} \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{x-1}{x}} \right] \text{ kilogrammètres,}$$

ou

$$\bar{e} = \frac{p_1 v_1}{x-1} \left[1 - \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{x-1} \right] \text{ kilogrammètres,}$$

qui expriment le travail absorbé ou développé durant une transformation adiabatique.

2. **Température, volume et pression pendant la compression ou détente adiabatique.** — Nous venons de voir que :

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{x-1} = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{x-1}{x}}.$$

Il est donc facile d'en tirer :

$$T_2 = T_1 \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{x-1} \text{ degrés absolus,}$$

ou

$$T_2 = T_1 \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{x-1}{x}} \text{ degrés absolus.}$$

Les valeurs de x sont données dans une table ci-après pour les différents gaz.

Quant aux relations entre le volume et la pression, elles sont données par l'expression :

$$\frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^x.$$

3. **Cycle de Carnot.** — On entend généralement par cycle réversible une série de transformations de pression et de volume d'un gaz à la fin desquelles le gaz revient à son état initial. Ces transformations peuvent s'accomplir suivant des processus quelconques ; dans le cycle de Carnot, elles s'accomplissent suivant deux isothermes et deux adiabatiques.

C'est là le cycle le plus parfait parce que, dans une limite donnée de température, il nous rend possible l'utilisation maximum de chaleur.

Considérons un piston travaillant sur un fluide à l'intérieur d'un cylindre. Si un gaz dont l'état initial est caractérisé par le volume v_1 m³, la pression absolue p_1 kg : m² et la température T_1 degrés absolus, se dilate *isothermiquement* de la position initiale 1 (voir fig. 51) à la position 2, il faudra, pour que la température ne varie pas, lui fournir une certaine quantité de chaleur. Or la pression a baissé de

p_1 à p_2 kg : m², et le travail interne $\bar{\epsilon}'$ durant cette détente est représenté sur le croquis par la surface 1 2 II I.

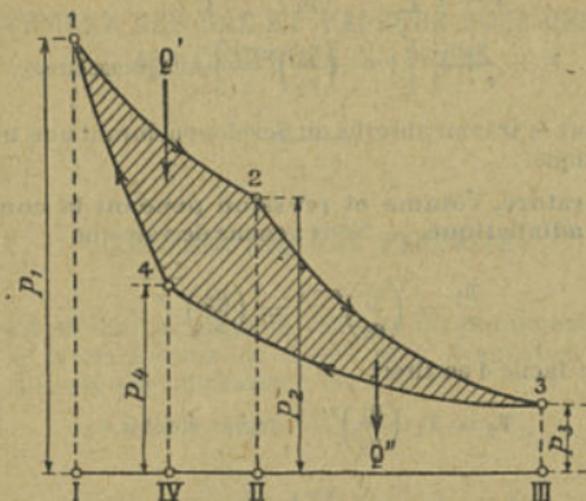


FIG. 51.

La quantité de chaleur à fournir est donc :

$$Q' = A\bar{\epsilon}' \text{ calories,}$$

A étant l'équivalent thermique du travail, $A = \frac{1}{425}$.

Si de la position 2 à la position 3 la détente a lieu adiabatiquement, la pression tombe de p_2 à p_3 , et le travail extérieur libéré $\bar{\epsilon}_1$, est représenté sur le croquis par la surface 2 3 III II et a nécessité une quantité de chaleur

$$U_1 = A\bar{\epsilon}_1 \text{ calories.}$$

Durant une course de piston, la quantité de calories Q' mise en jeu entre les positions 1 et 2 a donc fourni un travail total $\bar{\epsilon}' + \bar{\epsilon}_1$ égal à la surface 1 2 3 III I.

Supposons que, durant le retour du piston, le gaz soit d'abord comprimé isothermiquement de la position 3 à la position 4. La température restant constante et la pression augmentant, il faut donc enlever une quantité de chaleur

$$Q'' = A\bar{\epsilon}''$$

dont l'équivalent est représenté sur le croquis par la surface 3 III IV 4.

Si l'on opère adiabatiquement la quatrième transformation du cycle en choisissant convenablement le volume, l'on retournera au point initial 1 en ayant produit un travail égal à :

$$U_2 = A\bar{e}_2,$$

soit en surface :

$$4 \text{ IV I 1.}$$

Finalement on aura recueilli durant le cycle une quantité de travail externe égale à la somme algébrique des travaux élémentaires.

$$\bar{e} = \bar{e}' + \bar{e}_1 - \bar{e}'' - \bar{e}_2 \text{ kilogrammètres,}$$

qui se trouve être précisément égale à la surface hachée 1 2 3 4 du cycle, et correspond à la différence entre la quantité de chaleur fournie Q' et la quantité forcément rejetée Q'' , cette utilisation incomplète étant connue sous le nom de « dégradation de la chaleur » ;

$$\bar{e} = \frac{Q' - Q''}{A} = \frac{Q}{A}.$$

L'expression générale du principe de Carnot

$$\frac{Q_0}{T_0} + \frac{Q_1}{T_1} = 0,$$

peut alors s'écrire dans notre cas particulier :

$$\frac{Q'}{T_1} = \frac{Q''}{T_0} = \frac{Q' - Q''}{T_1 - T_0}.$$

Le rendement ou coefficient économique du cycle est donc :

$$\epsilon = \frac{Q' - Q''}{Q'} = \frac{Q}{Q'} = \frac{T_1 - T_0}{T_1} = 1 - \frac{T_0}{T_1},$$

ce qui peut s'énoncer en langage ordinaire de la façon suivante : le travail recueilli dans un cycle parfait dépend, en outre de la quantité de chaleur en jeu, du rapport $\frac{T_0}{T_1}$ des températures limites. Plus ce rapport est petit, c'est-à-dire plus T_0 est petit par rapport à T_1 , plus grande est l'utilisation du cycle; on doit donc s'efforcer d'introduire le fluide moteur à la plus haute température possible et de le rejeter à la plus basse température possible.

ÉCOULEMENT DE LA VAPEUR

La formule générale du débit en poids d'un fluide quelconque est

$$(1) \quad Q = k \cdot S V \gamma.$$

S, étant la section, V, la vitesse d'écoulement dans cette section ;

γ , le poids spécifique du fluide dans cette même section ;

K, un coefficient correspondant à la forme d'ajutage employé.

Avec les fluides élastiques, tels que la vapeur, le poids spécifique, γ est particulièrement difficile à déterminer, car il varie suivant le mode de transformation d'état (adiabatique ou isotherme, ou une variante intermédiaire) pendant l'écoulement, c'est-à-dire pratiquement suivant le rapport des pressions, température ou siccité en amont et en aval du point considéré.

En effet avec les fluides incompressibles (liquides ou gaz sous très faible pression, ventilation, etc.), le poids spécifique γ est constant et

la vitesse $V = \frac{Q}{S}$; la vitesse est en raison inverse de la section à débit constant, quelle que soit la pression.

Avec les fluides élastiques, au contraire, le poids spécifique dépend de la pression et le produit γV , au lieu de croître uniformément avec V, passe par un maximum puis diminue, d'où la nécessité de tenir compte dans la détermination de la vitesse du rapport $\frac{p}{P}$ des pressions amont et aval.

Pour approximer le débit en poids d'une vapeur, il importe donc de considérer le mode thermodynamique d'écoulement. S'il s'agit d'une transformation sans travail extérieur, ce qui est le cas par exemple de l'écoulement à travers un étranglement, il suffit de faire intervenir ce rapport $\frac{p}{P}$ dans la formule cinétique connue,

$V = \sqrt{\frac{2gh}{\gamma}}$; h est ici égal à $P - p$ et la formule devient :

$$(2) \quad v = \sqrt{2g \frac{(P - p)}{\gamma} \cdot \frac{p}{P}}.$$

C'est la formule généralement appliquée dans les compteurs de vapeur.

EXEMPLE. — Quel est le débit en poids de vapeur à l'heure, traversant une conduite, où la présence d'un étranglement provoque

l'abaissement de la pression absolue amont $P = 8,0$ kg, à la pression aval $p = 7,75$, soit $P - p = 0,25$ kg : cm^2 ou 250 kg : m^2 ?

La formule ci-dessus nous donne comme expression de la vitesse d'écoulement :

$$v = \sqrt{19,62 \frac{2.500}{4,0} 0,97} = \sqrt{11.894} = 109 \text{ m : sec.}$$

Le débit en poids théorique, en kilogrammes par seconde, sera alors par unité de section (mètre carré) :

$$Q = 109 \times 4,00 = 436 \text{ kilogrammes par seconde et par mètre carré,}$$

d'où l'on passera aux débits réels en connaissant le coefficient k correspondant au type d'ajutage.

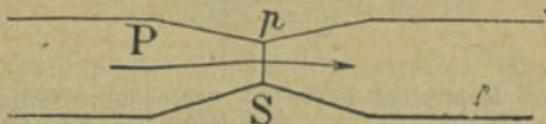


FIG. 52.

2. Débit dans le cas de forte chute de pression. — La formule (2) est très approximative et peut conduire à des erreurs grossières; elle fournit des résultats admissibles tant que le rapport $\frac{p}{P}$ est très voisin de l'unité, mais ne saurait être employée lorsque les pressions sont éloignées, notamment lorsqu'il s'agit de détente avec travail externe, comme par exemple dans les turbines à vapeur.

La connaissance exacte de la loi d'écoulement de la vapeur exige la notion d'entropie qui évite de pénibles calculs analytiques.

Dans l'ajutage, l'énergie thermique de la vapeur se transforme en énergie cinétique. On peut écrire :

$$\mathfrak{E} \text{ en kgmt} = \frac{mV^2}{2}.$$

En substituant le poids à la masse, on obtient :

$$V^2 = 2g\mathfrak{E}.$$

Ce travail \mathfrak{E} est égal au produit du travail en calories C par l'équivalent mécanique de la calorie $E = 425$. On peut donc écrire :

$$V = \sqrt{2g \cdot E \cdot C} = \sqrt{19,62 \times 425 \cdot C}.$$

soit :

$$(3) \quad v = 91,3 \sqrt{C}.$$

Cette formule donne rigoureusement la vitesse d'écoulement quand on peut déterminer rigoureusement le nombre de calories mis en jeu dans la transformation envisagée, ce qui est particulièrement aisé avec le diagramme entropique (Voir paragraphe spécial du chapitre III).

La détermination exacte de l'autre facteur important du débit en poids, le poids spécifique γ , est également fournie par le diagramme entropique qui donne en outre le titre x si, dans son état final, la vapeur est humide.

La proportion d'eau $(1 - x)$ entraînée par la vapeur a pour effet d'augmenter le débit en poids et la formule (1) générale du débit devient dans ce cas :

$$Q = k \frac{SV\gamma}{x}.$$

EXEMPLE. — Reprenons l'exemple précédent et supposons de la vapeur initialement saturée sèche se détendant adiabatiquement dans un diaphragme de 8 kilogrammes à 7,75 absolus.

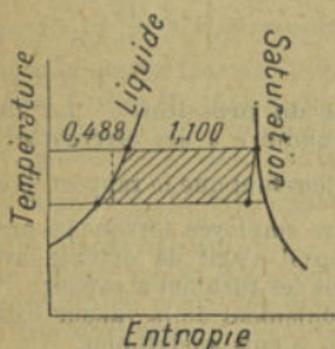


Fig. 53.

La quantité de chaleur transformée en énergie cinétique est, venons-nous de voir, dans l'hypothèse d'une détente adiabatique parfaite, le produit de la variation de température par la variation d'entropie, c'est-à-dire la valeur de la surface hachée.

Le croquis nous montre que l'on peut prendre comme largeur moyenne du rectangle de surface équivalente au trapèze, la demi-variation d'entropie du liquide qu'on ajoute à l'en-

tropie de vaporisation (demeurant invariable dans l'hypothèse adiabatique).

Les tables nous donnent :

	Pression	Température	Entropie du liquide	Entropie de vaporisation
État initial...	8,00	169,46	0,488	1,100
État final...	7,75	168,16	0,485	1,104

La variation de température est 1,3 degré; c'est la hauteur de notre trapèze. A l'entropie de vaporisation 1,100 restée invariable

nous ajoutons la demi-variation d'entropie du liquide $\frac{0,003}{2} = 0,001$, soit 1,101 : c'est la largeur moyenne du trapèze. La surface qui donne le travail en calories est donc : $1,3 \times 1,101 = 1,43$ calorie.

La vitesse d'écoulement dans l'étranglement est donc :

$$V = 91,3 \sqrt{1,43} = 109 \text{ m : sec.}$$

Nous sommes partis d'une vapeur initiale saturée sèche; la vapeur dans l'état final est portée au titre x et a un poids spécifique γ que donnent également les tables ou le diagramme d'entropie.

Dans notre cas $\gamma = 4,00 \text{ kg : m}^3$ et $x = 0,998$.

Le débit en poids théorique par unité de section est alors :

$$Q = \frac{4,00 \times 109}{0,998} = 437 \text{ kg : sec.}$$

Le débit pour une section déterminée (exprimée en mètres carrés) s'en déduit immédiatement; les débits réels en pratique supposent l'intercalation d'un coefficient k à déterminer expérimentalement et qui dépend de la forme de l'orifice ou étranglement provoquant des contractions diverses de la veine.

Notre diagramme entropique simplifié considérablement les calculs, car il donne directement, quels que soient l'état initial de la vapeur et le mode de détente envisagé, la quantité de chaleur mise en jeu par la transformation, et l'état final correspondant (titre et poids spécifique).

Quelques exemples pratiques éclaireront le mode d'application du diagramme entropique aux calculs des débits de vapeur.

EXEMPLE. — *Quelle est la quantité de vapeur débitée à l'heure par un tuyau de 1 centimètre carré de section échappant à l'air libre, la vapeur en amont de l'orifice étant surchauffée, à la pression 7 kilogrammes à la température 200° ?*

Nous supposons que la détente se fait adiabatiquement, c'est-à-dire suivant une verticale du diagramme entropique :

Dans l'état initial ($p = 8$ kilogrammes absolus, $t = 200^\circ$)	
la chaleur dans la vapeur est.....	674 calories
Dans l'état final ($p = 1$ kilogramme, $t = 100$), nous	
trouvons $x = 0,91$ et la chaleur est.....	590 —
La chaleur utilisée durant la détente est donc .	84 calories

Soit une vitesse d'écoulement $V = 91,3 \times \sqrt{84} = 837$ mètres par seconde. Le poids spécifique γ de la vapeur dans l'état final (titre, 0,91; volume spécifique, 1=3,56) étant $\frac{2}{1,56} = 0^s,641$ par mètre cube,

en prenant pour IRIS - LILLIAD - Université Lille 1 la valeur 0,8,

le débit en poids est :

$$q = 0,8 \times 0,641 \times 837 = 430 \text{ kilogrammes par sec. et par mètre carré.}$$

La valeur cherchée du débit à l'heure pour 1 centimètre carré est donc :

$$\frac{430 \times 3.600}{10.000} = 155 \text{ kilogrammes en chiffres ronds.}$$

Pour l'écoulement des tuyères spéciales, convergentes, divergentes, etc., le coefficient K prend les valeurs particulières qui affectent très sensiblement le débit; nous nous en tiendrons à cet exemple simple.

ÉCOULEMENT DES GAZ SOUS PRESSION

1. **Vitesse d'écoulement des gaz.** — Dans le cas où un gaz s'écoule en passant d'un point où la pression est p_0 à un autre où la pression est p_1 , on peut prendre pour la vitesse d'écoulement, en supposant les pressions p_1 et p_0 peu différentes et en négligeant l'influence du frottement et du poids du gaz, la formule :

$$v = \sqrt{2g \frac{p_0 - p_1}{\gamma} \cdot \frac{p_1}{p_0}};$$

p_1 et p_0 représentent les pressions en kilogrammes par mètre carré, et γ est le poids d'un mètre cube de gaz en kilogrammes.

Le coefficient de contraction de la veine gazeuse est en moyenne : 0,61 pour un orifice en mince paroi; 0,84 à la sortie d'un ajutage cylindrique, et 0,96 à la sortie d'un ajutage légèrement conique.

2. **Mouvement des gaz dans les tuyaux.** — Considérons un gaz s'écoulant dans une conduite horizontale d'un diamètre égal à D et d'une longueur égale à L; la perte de charge H, mesurée en hauteur, d'eau, qui correspond à cette longueur, a pour expression, lorsque la vitesse est assez considérable :

$$H = \frac{4L}{D} \frac{1,293 \times \delta}{1.000 (1 + \alpha t)} b_1 U^2,$$

δ étant la densité du gaz considéré par rapport à celle de l'air.

Les expériences de M. Arson ont donné les valeurs suivantes de b_1 dans le cas de tuyaux en fonte :

Diamètres	b_1'	Diamètres	b_1'
0,05	0,000593	0,300	0,000332
0,081	0,000489	0,325	0,000336
0,108	0,000460	0,350	0,000310
0,135	0,000442	0,400	0,000280
0,162	0,000420	0,500	0,000246
0,189	0,000495	0,600	0,000220
0,216	0,000382	0,700	0,000200
0,250	0,000360		

Dans le cas de conduites en tôle étamée ou plombée, les valeurs de b_1 devront être multipliées par $\frac{2}{3}$.

On aura, comme pour les conduites d'eau,

$$Q = \pi \frac{D^2 U}{4}$$

Dans le cas où la perte de charge correspondant à la longueur L serait donnée ainsi que le débit, l'inconnue D serait une racine cinquième (Voir la table ci-après des cinquièmes puissances).

3. Formules employées pour calculer les conduites de gaz ou d'air comprimé. — Pour étudier l'écoulement du gaz dans les conduites, on a donné un certain nombre de formules. Les plus connues sont les deux suivantes (Monnier et Unwin).

Notations employées :

Q , débit horaire de la conduite en m^3 à 15° et 76 centimètres de Hg.

p_1 , pression absolue au départ en millimètres d'eau ;

p_2 , — — — à l'arrivée — — —

d , diamètre de la conduite en mètres ;

L , longueur — — —

Z , coefficient de frottement ;

δ , densité du gaz par rapport à l'air ;

m , = poids spécifique du gaz = $1,293 \times \delta$.

A) *Formule de Monnier.*

C'est l'une des plus connues et des plus employées :

$$Q = 12.300 \sqrt{\frac{H d^5}{\delta Z L}} \quad H = p_1 - p_2 \quad Z = 0,03,$$

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

mais elle ne convient qu'aux basses pressions. C'est le cas des distributions urbaines en général.

B) *Formule de Unwin.*

$$Q = 39,1 \sqrt{(p_1^2 - p_2^2) \frac{d^5}{8ZL}},$$

$$Z = 0,0044 \left(1 + \frac{0,0254}{md} \right).$$

La formule de Monnier est généralement employée par les gaziers ; elle s'applique surtout au gaz surpressé pour distribution à grande distance. Il y a lieu de tenir compte de la différence de niveau entre le départ et l'arrivée.

La formule d'Unwin est applicable pour toutes pressions ; elle a été reconnue exacte pour l'air comprimé.

Ci-dessous table des cinquièmes puissances pour faciliter le calcul.

Tableau des cinquièmes puissances pour faciliter le calcul.

N	N ⁵						
10	1.00000	33	391.35393	56	5507.31776	79	30770.56399
11	1.61051	34	454.35424	57	6016.92057	80	32768.00000
12	2.48832	35	525.21875	58	6563.56768	81	34667.84401
13	3.71293	36	604.66176	59	7149.24299	82	37073.98439
14	5.37824	37	693.43957	60	7776.00000	83	39390.40643
15	7.59375	38	792.35168	61	8445.96301	84	41821.19424
16	10.48576	39	902.24199	62	9161.32832	85	44370.53125
17	14.19857	40	1024.00000	63	9924.36543	86	47042.70176
18	18.89568	41	1158.56201	64	10737.41824	87	49842.09201
19	24.76099	42	1306.91232	65	11602.90625	88	52773.19168
20	32.00000	43	1470.08443	66	12523.32576	89	55840.59449
21	40.84101	44	1649.16224	67	13501.25107	90	59049.00000
22	51.53632	45	1845.28125	68	14539.33568	91	62403.21451
23	64.36343	46	2059.62976	69	15640.31349	92	65908.15232
24	79.62624	47	2293.45007	70	16807.00000	93	69568.83693
25	97.65625	48	2548.03968	71	18042.29351	94	73390.40224
26	118.81376	49	2824.75249	72	16349.17632	95	77378.09375
27	143.48907	50	3125.00000	73	23730.71593	96	81537.26976
28	172.10368	51	3450.25821	74	22190.06624	97	85873.48257
29	205.11149	52	3802.04032	75	23730.46875	98	90392.07968
30	243.00000	53	4181.95493	76	25355.25376	99	95099.00499
31	286.29151	54	4591.65024	77	27067.84157		
32	325.54432	55	5032.84375	78	28871.74368		

AIR COMPRIMÉ

1. **Température de compression.** — Si l'on a :

p_1, p_2 , pression initiale et pression finale,

T_1, T_2 , températures initiale et finale (absolues),

κ , rapport des chaleurs spécifiques = 1,41 pour l'air,

la température finale dans le cas de la compression adiabatique se tire de :

$$T_2 = T_1 \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\kappa - 1}{\kappa}} \text{ degrés absolus.}$$

EXEMPLE. — Soit de l'air pris à la pression atmosphérique $p_1 = 1$ kilogramme et à la température $T_1 = 20^\circ$; on le comprime à 4 kilogrammes manométriques, soit $p_2 = 5$ kilogrammes et un rapport de compression $\frac{p_2}{p_1} = 5$. On a :

$$T_2 = (293 \times 5)^{0,29} = 468^\circ \text{ absolus soit } 195^\circ \text{ C.}$$

Dans la compression bi-étagée, on prend en général le rapport de compression dans chaque étage égal à $\sqrt{\text{rapport de compression total}}$. La température finale est donc ici bien moindre, puisqu'elle correspond seulement au rapport de compression du dernier étage.

Par exemple, si l'on comprime de l'air ambiant à 20° à 9 kilogrammes absolus, soit un rapport de 9, la température finale sera celle d'un rapport de compression de $\sqrt{9} = 3$; dans le premier cas (adiabate), on aurait eu 280° C. ; dans la compression bi-étagée, on n'a plus que 130° .

La table donnée au paragraphe 4 *compression bi-étagée* fournit les températures dues à la compression de l'air pour divers rapports de compression.

2. **Travail de compression adiabatique.** — Si l'on connaît la température finale due à la compression (calculée comme il vient d'être dit), le travail de compression par kilogramme d'air comprimé est, pour une compression parfaitement adiabatique :

$$\mathfrak{C} = \frac{\kappa}{\kappa - 1} R(T_2 - T_1) \text{ kilogrammètres par kilogramme,}$$

R , constante des gaz = 29,27 pour l'air pur et sec,

T_1, T_2 températures initiale et finale en degrés absolus,

κ , rapport des chaleurs spécifiques = 1,41 pour l'air.

EXEMPLE. — On calcule que, pour comprimer de 1 à 8 kilogrammes absolus, la température finale est (adiabate) 263 à partir d'air ambiant à 20°; on a donc $T_1 = 293$ et $T_2 = 536$.

Le travail par kilogramme d'air comprimé est ainsi :

$$\bar{e} = \frac{1,41}{0,41} \times 29,27 \times 243 = 24.470 \text{ kilogrammètres.}$$

Si l'on désire rapporter ce travail au mètre cube d'air libre aspiré par minute, et estimer la puissance correspondante, il faut considérer que l'air à 20° pèse 1,205 kilogramme par mètre cube.

On aura donc :

$$N = \frac{24.470}{60 \times 75} \times 1.205 = 6,4 \text{ chevaux par mètre cube libre.}$$

Si l'on ne calcule pas la température finale, le travail de compression est donné par :

$$\bar{e} = \frac{x}{x-1} p_1 v_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{x-1}{x}} - 1 \right].$$

En y faisant $V_1 = 1$, on a le travail de compression par mètre cube d'air libre aspiré.

EXEMPLE. — Dans le même exemple que ci-dessus, $p_1 = 10.330$ (pression atmosphérique), et il vient :

$$\bar{e} = \frac{1,41}{0,41} \times 10.330 [80,291 - 1] = 28.800 \text{ kgmt. en chiffres ronds,}$$

soit :

$$N = \frac{28.800}{60 \times 75} = 6,4 \text{ chevaux par mètre cube libre.}$$

3. Influence du refroidissement. — Si le cylindre est refroidi durant la compression, la température finale s'abaisse et le travail de compression se trouve réduit. L'exposant de l'équation adiabatique :

$$pv^x = C^*$$

s'abaisse et tend d'autant plus vers 1 (isotherme) que la compression est plus refroidie.

La valeur du nouvel exposant n serait, d'après Zeuner, en appelant K le rapport de compression $\frac{p_2}{p_1}$ et T'_2 la température finale (plus petite que T_2 adiabate) :

$$n = \frac{\log K}{\log K \times \frac{T_1}{T'_2}}$$

EXEMPLE. — L'air est à l'ambiance de 20° ; à la fin de la compression refroidie, la température est de $110 + 273 = T'_2$, au lieu de la température adiabate $195 + 273 = T_2$ correspondant au rapport de compression

$$\frac{p_2}{p_1} = 5.$$

On a alors :

$$n = \frac{\log 5}{\log 5 \times \frac{293}{383}} = 1,30 \text{ environ.}$$

Sur le diagramme, la courbe de compression correspondant à $n = 1,3$ est intermédiaire entre l'isotherme $n = 1$ et l'adiabate $x = 1,41$; la partie non hachée représente le gain de travail dû au refroidissement.

Un moyen plus précis de trouver la valeur de l'exposant n consiste à la relever sur le diagramme d'indicateur en se servant de la construction graphique indiquée par Proell.

On mène la tangente à la courbe en un point P , et du point C on rabat par un arc de cercle de façon à avoir $CD = CE$.

L'angle α obtenu en joignant OE donne la valeur de l'exposant n d'après

$$n = \operatorname{cotang} \alpha.$$

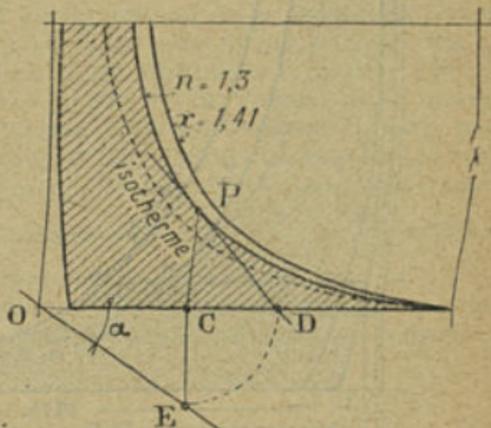


FIG. 54.

4. Compression bi-étagée. — Nous venons de voir que le refroidissement a une grande influence sur le travail de compression.

Un excellent moyen consiste à couper la compression en deux phases, l'air chaud de la première compression étant refroidi à la température ambiante avant de subir la compression finale.

Le diagramme ci-joint fait ressortir l'intérêt de la compression bi-étagée au double point de vue du rendement volumétrique et du travail de compression.

Le diagramme théorique $abcdf$ correspond à la compression adiabate en une seule phase d'air ambiant à 20° .

L'espace nu $bcde$ est le gain de travail obtenu par la compression bi-étagée ; le rendement

volumétrique, de 89,9 0/0; la surface du diagramme mesure 2.550 millimètres carrés.

En général, dans la compression à deux étages, on exige que les travaux développés dans les cylindres à basse et à haute pression soient égaux entre eux et que les températures finales soient, de même, égales et aussi basses que possible. Pour satisfaire à cette condition, il est nécessaire que les rapports de compression dans les deux cylindres soient égaux, c'est-à-dire que chacun d'eux soit égal $\sqrt{\text{pression finale absolue}}$.

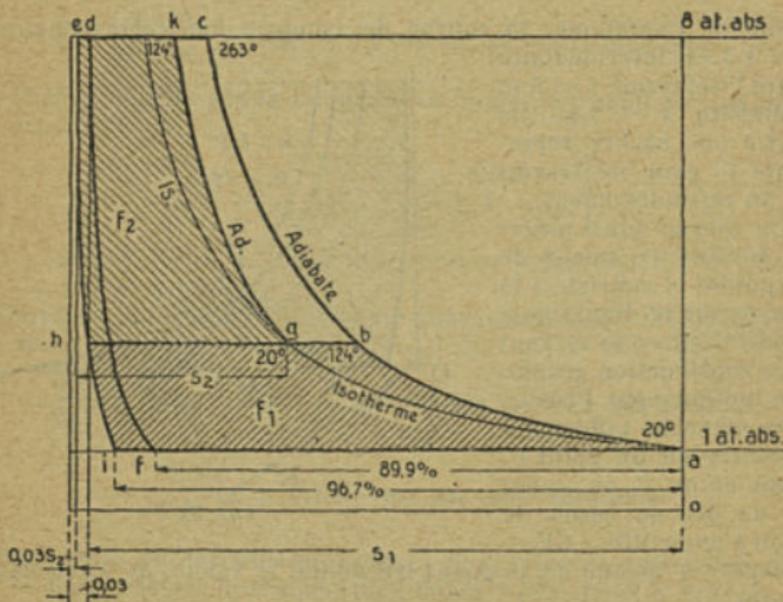


FIG. 55.

Ces rapports sont, en réalité, un peu influencés par les légères résistances provenant du refroidisseur intermédiaire ainsi que par le fait que, parfois, on ne dispose pas d'eau suffisamment froide pour pouvoir ramener, dans le refroidisseur intermédiaire, l'air à la température initiale. Faisons abstraction de ces influences qui jouent un rôle dans certains cas et supposons que, pour la compression à deux étages à 8₂ atmosphères absolues, le rapport de compression dans les deux cylindres soit $= \sqrt{8} = 2,83$. Dans le cylindre à basse pression, on com-

ce qui l'échauffera à 124° C. Le diagramme montre la surface *abhi*. Le rendement volumétrique, qui était, précédemment, de 89,9 0/0 pour la compression à un seul étage, devient 96,7 0/0. La ligne *bh* représente le volume d'air refoulé par le piston à basse pression à 124° C. Cet air traverse le refroidisseur intermédiaire et y est ramené à la température initiale. Le volume d'air refroidi est indiqué par la ligne *gh*. Ce volume pénètre dans le cylindre à haute pression, où il est comprimé à 8 atmosphères, de pression absolue, le rapport de compression étant encore $8 : 2,83 = 2,83$. L'échauffement de l'air est le même que précédemment dans le cylindre à basse pression. La courbe *gkeh* représente le diagramme de haute pression.

Le travail total absorbé par la compression à deux étages à 8 atmosphères absolues pour 96,7 0/0 du volume de la course est représenté par la somme des deux surfaces *abhi* et *gkeh*. L'aire de ces deux surfaces mesure environ 2.340 millimètres carrés. Pour la compression en une seule phase de 89,9 0/0 du volume de la course, l'aire du diagramme est d'environ 2.550 millimètres carrés; pour 96,7 0/0, elle atteint donc environ 2.740 millimètres carrés. Les surfaces des diagrammes représentent directement les qualités de travail, la compression en une seule phase dépense donc $\frac{(2740 - 2340)}{2340} = 17 \text{ 0/0}$ de plus de travail que la compression à deux étages.

Voici du reste un tableau donnant les températures finales et le rapport du travail nécessaire pour différents rapports de compression.

Températures et travail de compression pour la compression en une phase et en deux phases d'air ambiant à 20°.

RAPPORT $\frac{P_2}{P_1}$	TEMPÉRATURE théorique avec compression mono-étagée	TEMPÉRATURE centigrade finale avec compression bi-étagée	RAPPORT des travaux $\frac{\bar{\epsilon}_{bi}}{\bar{\epsilon}_{mono}}$
2	85,2	49,3	0,95
3	129,9	69,8	0,92
4	164,9	81,4	0,90
5	194,2	96,1	0,88
6	219,6	107,9	0,87
7	242,1	113,7	0,86
8	262,4	122,5	0,85
9	281,1	128,5	0,84
10	298,3	135,5	0,83
11	314,2	140,1	0,83
12	329,2	145,9	0,82
13	343,4	151,8	0,81
14	356,8	156,2	0,81
15	369,5	160,6	0,80

On voit que pour porter à 8 kilogrammes absolus (7 kilogrammes manométriques) l'air à la pression ambiante 1 kilogramme, il faut 15 0/0 moins de force avec la compression bi-étagée qu'avec la compression en une phase.

La différence est un peu moins grande en réalité, car l'air n'est pas refroidi tout à fait à la température ambiante à la fin de la première phase.

CHOIX ET ESSAI DES COMPRESSEURS D'AIR

La méthode par injection d'eau est à peu près abandonnée dans les compresseurs modernes; on emploie presque exclusivement la compression sèche avec refroidissement par chemise d'eau.

Les points à examiner lors du choix d'un compresseur sont :

1° La distribution doit avoir le moins d'espace nuisible possible et ne doit présenter qu'une résistance très faible au passage de l'air, surtout à l'aspiration.

Les tiroirs ou soupapes commandés sont préférables à cet égard aux clapets automatiques élastiques ou à ressort;

2° Les fonds et les organes de distribution doivent être particulièrement refroidis, le rendement volumétrique de l'appareil diminuant si l'air s'échauffe trop avant son entrée au cylindre;

3° Le graissage doit être assuré par un moyen automatique;

4° La vitesse de piston ne doit pas dépasser 2,50 m. sec.

L'essai et la comparaison des compresseurs est chose très délicate; il y a lieu en effet de distinguer nettement le rendement volumétrique du rendement efficace en air emmagasiné sous pression.

Le rendement volumétrique est le rapport du volume d'air refoulé dans le cylindre indiqué par le diagramme d'indicateur au volume déplacé par le piston, c'est-à-dire au volume de la cylindrée; le diagramme fournit en outre le travail *indiqué* dépensé à cette occasion.

Le rendement efficace est le rapport du volume d'air effectivement emmagasiné dans un réservoir (et ramené à la température et pression ambiantes) au volume déplacé par le piston.

Le premier ne tient compte que de l'influence des espaces nuisibles; le second tient compte en outre du réchauffage de l'air extérieur pendant son introduction au cylindre, réchauffage qui, diminuant le poids spécifique de l'air aspiré, diminue le volume d'air réellement emmagasiné.

La méthode d'essai pour connaître le rendement efficace consiste à faire débiter le compresseur dans un réservoir de capacité connue v_1 , à noter la pression p_1 et la température t_1 avant l'essai, à noter p_2 et t_2 après l'essai, enfin à noter la température de l'air ambiant à l'aspiration t_0 et la durée pour passer de la pression p_1 à la pression p_2 qui doivent être choisies pour que la moyenne soit égale à p , pression normale de régime.

Le volume emmagasiné peut être considéré comme celui contenu dans le réservoir V_1 à la pression $p = \frac{p_1 + p_2}{2}$ et à la température

$t = \frac{t_1 + t_0}{2}$; la loi de Mariotte qu'on peut prendre comme exacte quand il ne s'agit pas de très fortes pressions donnera le volume V_2 réduit à la température ambiante t_0 et à la pression ambiante p_0 (qu'on peut prendre égale à 760 pour simplifier) :

$$V_2 = \frac{pV_1T_0}{p_0T}$$

EXEMPLE. — La pression moyenne observée $p = 7$ kilogrammes absolus, la température moyenne $T = 150 + 273 = 423^\circ$ absolus; la pression ambiante $p_0 = 1,033$ kilogramme, la température ambiante $T_0 = 20 + 273 = 293$.

Le volume du réservoir $V_1 = 1$ mètre cube; le volume réduit cherché est :

$$V_2 = 4,7 \text{ mètres cubes.}$$

On trouvera par cette méthode des rendements inférieurs de 5 à 6 0/0 à ceux fournis par le diagramme d'indicateur.

La prise des diagrammes est néanmoins indispensable pour se rendre compte du réglage de la distribution et du fonctionnement.

DONNÉES PRATIQUES SUR LES INSTALLATIONS D'AIR COMPRIMÉ

On raisonne toujours sur les quantités d'air évaluées en air libre à l'aspiration; la pression généralement adoptée est de 7 kilogrammes au compresseur, soit 6 kilogrammes aux outils.

On choisit le volume du compresseur d'après la consommation totalisée des outils à actionner affectée d'un coefficient tenant compte, dans la mesure propre à chaque installation, de la durée de travail des outils.

On prend en général un coefficient égal à 0,5 pour les grandes installations, et à 0,75 pour les petites. Il est prudent en général de prévoir une extension future et d'adopter un compresseur correspondant à la totalité (coefficient = 1) des premiers outils installés.

1. Consommation des outils à air comprimé. — Voici les consommations usuelles d'air libre des outils les plus courants :

Marteaux et burins.....	0,25	mètre cube par minute.
Riveuses et gros marteaux.....	0,50	—
Fouloirs, pilettes, cribles, etc.....	0,30	—
Soufflettes, pulvérisateurs, vibrateurs, dé- tarteurs, petites perceuses.....	0,20	—
Palans et analogues.....	0,05 à 0,1	mètre cube par course.
Perceuses, foreuses.....	1,00	mètre cube par minute.
Brûleur à combustible liquide.....	0,50	—
(de 15 à 20 litres d'huile par heure).		
Jets de sable moyens.....	1,50	—

2. Commande des compresseurs. — Pour les installations ne dépassant pas 15 mètres cubes aspirés à l'heure (soit environ 100 HP), la commande la plus avantageuse est par courroie avec enrouleur. Au delà l'accouplement direct est préférable; à signaler toutefois que la commande directe électrique est en général coûteuse (vu la faible vitesse de rotation) et exige certaines précautions pour la régulation.

Au delà de 4 kilogrammes la compression à deux étages s'impose, car elle fournit une économie de 12 à 15 0/0 en force motrice par rap-

port à la compression en un seul étage. Pour les petits compresseurs jusqu'à 10 mètres cubes air libre par minute, cette compression en deux étages se fait en un seul cylindre par piston à deux diamètres dit *bi-étagé*.

Voici du reste la puissance absorbée sur l'arbre du compresseur pour comprimer 6 kilogrammes manométriques, chiffre généralement adopté; à 5 kilogrammes on peut compter 10 0/0 de moins et à 7 kilogrammes 10 0/0 de plus.

Puissance pour la commande des compresseurs d'air.

VOLUME AIR LIBRE en mètres cubes par minute	COMPRESSION à 6 kg. manom. mono-étagée	COMPRESSION à 6 kg. manom. bi-étagée
	HP.	HP.
1	7,5	6,75
2	15,0	13,5
3	22,5	20,0
4	29,0	26,5
5	36,5	33,0
6	44,0	39,0
7	51,0	45,5
8	58,0	52,0
9	65,5	59,0
10	72,5	65,5
15	108	97,0
20	145	129,0
25	178	160,0
30	214	192,0
35	246	220,0
40	283	253,0

Il faut avoir soin d'employer des huiles spéciales pour le graissage, et d'intercaler un séparateur d'huile et d'eau sur le refoulement.

La température de compression, à partir d'air à 20°, atteint :

	pour une pression man. de		
	5 kg.	6 kg.	7 kg.
Compression mono-étagée.....	220°	242°	262°
Compression bi-étagée.....	108°	114°	123°

Ces dernières températures sont effectivement réalisées à la sortie avec une consommation d'eau d'environ 200 litres par heure et par mètre cube d'air libre aspiré par minute.

On aura avantage à filtrer l'air aspiré et de prévoir une chambre d'aspiration en un endroit frais et sec.

De même le réservoir d'air sous pression devra être si possible en un endroit frais pour faciliter la condensation et la séparation de l'huile et de l'eau.

3. Réservoirs à air comprimé. — Se calculent au point de vue résistance et épaisseur de tôles, comme les corps de chaudières à fonds bombés.

On leur donne en général une contenance égale à :

$$\frac{\sqrt{10} \times \text{vol air libre par minute}}{\text{pression}}$$

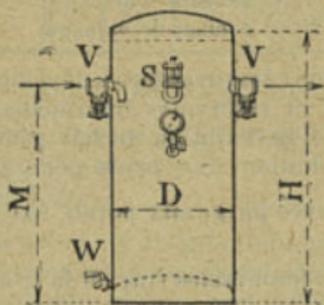


Fig. 56.

Par exemple, pour de l'air à 7 kilogrammes, et un compresseur de 4 mètres cubes air libre par minute, la capacité du réservoir sera :

$$\frac{\sqrt{40}}{7} = 0,9, \text{ soit } 1 \text{ m}^3 \text{ de capacité.}$$

Ci-dessus un croquis de réservoirs verticaux (les moins encombrants) avec dimensions principales et poids approximatifs dans la table ci-après.

CONTE- NANCE	H	D	M	POIDS
m ³	mm.	mm.	mm.	kgs
1	2000	800	1800	520
2	2600	1000	2000	795
3	2600	1200	2000	1230
4	3000	1300	2000	1480
5	3250	1400	2200	1850
6	3400	1500	2200	2230
7	3500	1600	2200	2545
8	3500	1700	2400	2975
10	3500	1900	2400	3725

S = soupape de sûreté,
 V = soupape d'arrêt,
 W = robinet de vidange.

4. Tuyauteries. — Pour les tuyauteries développées, on aura intérêt à prévoir des ballons et réservoirs intermédiaires pour éviter les brusques dépressions; l'installation se fait généralement en tube à gaz. On aura soin de donner une pente générale (dans le sens du courant) de $\frac{1}{200}$ à $\frac{1}{400}$ avec purge aux points bas pour l'évacuation de l'eau.

Les tronçons seront démontables (raccords trois pièces à joint cône rodé) avec des tés intermédiaires pour l'adjonction ultérieure de nouvelles prises. Les prises se feront toujours par un té vertical de façon à ce que l'eau ou l'huile ne puisse monter dans le nouveau branchement.

Prendre des précautions spéciales contre la gelée.

Pour les petites installations, le calcul des dimensions à adopter est purement empirique; la conduite principale de refoulement est celle du compresseur (en général 8 centimètres carrés par mètre cube d'air libre, pour l'air à 7 kilogrammes); les conduites intermédiaires ne se font pas au-dessous de $\frac{40}{49}$ et les raccords pour les outils usuels,

burins, etc., se font en tés de $\frac{26}{34}$.

Pour les branchements, on se servira de la table d'équation des tuyaux ci-après :

**Equation des tuyaux à gaz
dans l'hypothèse d'une même perte de pression.**

(Dimensions en pouces.)

15/21	1/2	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3	3 1/2	4	125
21/27	3/4	2,7	1									
26/34	1	5,7	2,1	1								
33/42	1 1/4	9,9	3,6	1,7	1							
40/49	1 1/2	15,6	5,7	2,7	1,5	1						
50/60	2	32	11,5	5,7	3,1	2,1	1					
66/76	2 1/2	56	26,2	9,9	5,7	3,6	1,7	1				
80/90	3	88	32	15,6	8,9	5,7	2,8	1,5	1			
90/102	3 1/2		47	23	14,2	8,3	4,1	2,3	1,45	1		
102/114	4			32	18,2	11,5	5,7	3,1	2,1	1,4	1	
	125		.	56	32	20,2	9,9	5,7	3,6	2,4	1,7	1

Ainsi un tuyau de 5 pouces (ou 125 millimètres de diamètre intérieur) permet le branchement de 56 prises de 1 pouce ($\frac{26}{34}$) ou de dix prises de 2 pouces ($\frac{50}{60}$), etc.

Pour le calcul plus précis de distributions plus étendues, il faudra procéder au calcul comme pour une installation de ventilation, en se fixant les pertes de pression admises aux divers points.

Ces pertes de pression sont de deux genres :

a) Frottement sur les parois :

b) Pertes de charges dues aux coudes et pièces intercalaires.

La première est de la forme (expériences Ledoux, à Anzin) :

$$h = k\delta \frac{Lv^2}{D}$$

k , coefficient dépendant de l'état de la paroi ;

D et L , diamètre et longueur du tuyau ;

v , vitesse d'écoulement ;

δ , poids spécifique de l'air sous pression.

La seconde est de la forme :

$$h = \alpha\delta \frac{v^2}{2g}$$

α , coefficient de résistance de la pièce envisagée ;

δ et v^2 , poids spécifique et vitesse d'écoulement.

Valeurs de ξ pour les cas usuels.

Soupapes d'arrêt....	$\xi = 4$ à 10	Tés de branchement.	$\xi = 3$ à 5
Robinets	$\xi = 0,5$ à 1	Réductions.....	$\xi = 1$ à 5
Raccords mobiles...	$\xi = 2$ à 3	Coudés.....	$\xi = 0,5$ à 2

Si l'on ne veut pas faire le calcul précis, on peut compter pratiquement une perte de charge de 0,01 à 0,02 kilogramme par pièce intercalaire suivant la vitesse.

L'abaque 57 donne les valeurs calculées pour de l'air comprimé à 6 kilogrammes effectifs et résout les problèmes rencontrés dans la pratique courante.

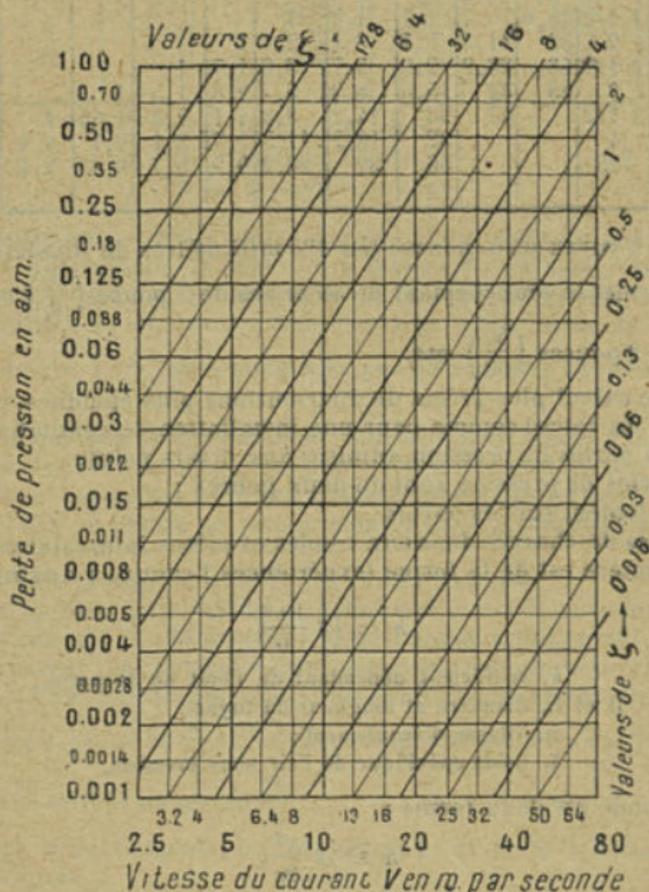


Fig. 57. — Abaque pour le calcul des pertes de charge

Diamètre des conduites pour air comprimé à 6 kilogrammes

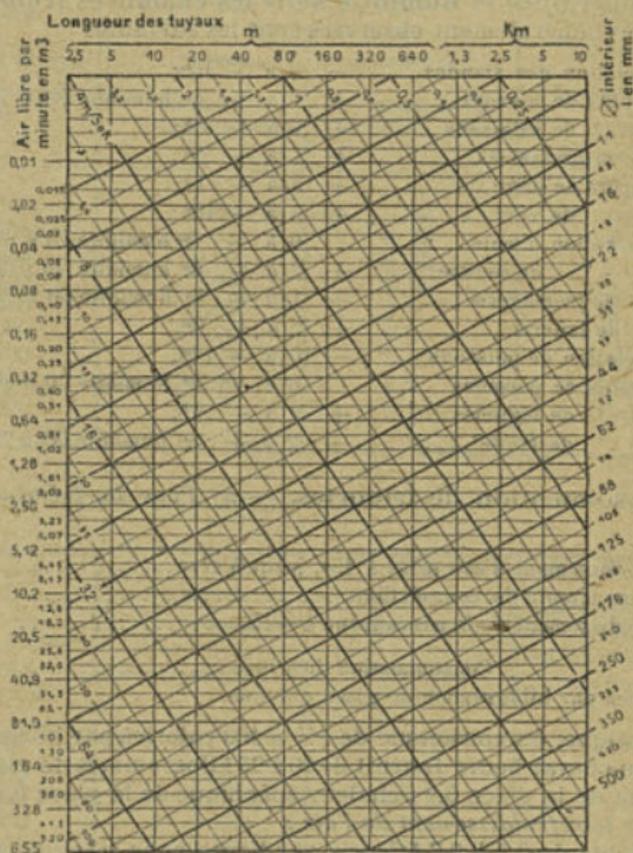
 (pour une perte de pression linéaire de $\frac{1}{10}$ atmosphère).


FIG. 58. — Abaque pour le calcul du diamètre des conduites.

EXEMPLE. — Pour transporter 10 mètres cubes d'air : minute (lire à 80 mètres avec une chute de 0,1 kilogramme), il faudra une conduite de 57 millimètres intérieurs environ. Avec une chute de 0,05 (lire sous $80 \times 2 = 160$ mètres), il faudrait 65 environ et avec une chute de 0,2 (lire sous $80 : 2 = 40$ mètres), il faudrait 50 millimètres. Les vitesses seraient de 0,7 et 0,5 sec.

FROID

1. **Température et humidité dans les chambres froides.** — Les constantes généralement observées sont les suivantes :

Congélation des viandes...	—	6 à —	10°;
Entrepôts de viandes.....	+	2 à +	4° humidité 70 à 75 0/0;
— de salaisons.....	+	6 à +	8°;
Caves de brasserie.....	+	1 à +	2°;
Entrepôts de bière.....	+	3 à +	6°;
— de vins.....	+	8 à +	10°;
Conservation d'œufs.....		0 à +	1° humidité 75 à 80 0/0;
— du beurre....	+	2 à +	4° humidité 75 0/0;
Caves de fromagerie.....	+	1 à +	5° humidité 60 à 75 0/0;
— de laiterie.....	+	2 à +	6°;
Congélation de poissons...	—	10 à —	12°;
Entrepôts de poissons.....		0 à +	2° humidité 70 à 80 0/0;
— de légumes.....	+	2 à +	4°;
— de fruits.....	+	2 à +	8° humidité 70 à 75 0/0.

2. **Consommation de frigories.** — a) *Pour la fabrication de la glace :*

Refroidissement d'eau prise à 15°, jusqu'à zéro.....	15
Chaleur latente de congélation.....	80
Refroidissement de la glace jusqu'à — 5.....	<u>2,5</u>
Consommation théorique.....	97,5

calories par kilogramme de glace obtenue.

En pratique, on consomme de 115 à 160 calories par kilogramme de glace ; un cheval-heure fournit de 20 à 25 kilogrammes de glace ; poids spécifique de la glace 0,9 ; chaleur spécifique de la glace 0,5 ;

b) *Pour le refroidissement de l'air :*

On compte de 0,3 à 0,7 frigorie par heure pour refroidir de 1° C. la température de 1 mètre cube d'air.

c) *Pour l'entretien des chambres froides :*

On compte pour une cave bien isolée, de hauteur libre 2,50 m, les consommations suivantes par heure et par mètre carré de surface, y compris en plus des pertes par les parois, les calories absorbées par le renouvellement de l'air et celui des matières conservées :

Chambres de congélation.....	120 à 250 frigories.
— froides à + 2 + 5.....	80 à 150 —
Entrepôts à + 5 + 10.....	40 à 50 —

3. Consommation de puissance des compresseurs. — a) Machines à anhydride sulfureux (SO_2) :

CAPACITÉ en frigories à l'heure (saumure à — 2/— 5)	PUISSANCE CONSOMMÉE en chevaux-vapeur		QUANTITÉ D'EAU nécessaire en mètres cubes heure
	pour la compression	pour la circulation d'eau	
3.000	2,00	0,50	0,45
5.000	2,75	0,75	0,70
10.000	5,80	0,80	1,50
15.000	7,00	1,25	2,00
20.000	9,00	1,5	2,75
40.000	15,00	2,5	5,50
50.000	20,00	3,0	7,50
80.000	30,00	4,5	10,00
100.000	40,00	5,5	15,00

b) Machines à ammoniacque (AzH_3) :

CAPACITÉ en frigories à l'heure (saumure à — 2/— 5)	PUISSANCE EN CHEVAUX		QUANTITÉ D'EAU nécessaire en mètres cubes à l'heure
	compression	circulation de l'eau	
3.000	1,75	0,25	0,45
5.000	2,5	0,4	0,70
10.000	4,00	0,85	1,50
15.000	5,00	1,3	2,00
20.000	6,00	1,5	2,75
40.000	12,00	2,5	5,50
50.000	15,00	3,0	7,50
80.000	22,00	5,00	10,0
100.000	32,00	5,5	15,0

4. **Pression dans les appareils.** — La table suivante compare les pressions auxquelles sont soumis les appareils et conduites suivant la température de l'eau de refroidissement :

TEMPÉRATURE de sortie de l'eau	MACHINE A		
	Acide sulfureux	Ammoniaque	Acide carbonique
+ 15	2,30 kg.	7,79 kg.	57,10 kg.
+ 17	2,5	8,4	60,00
+ 19	2,75	9,0	62,90
+ 21	3,05	9,65	65,94
+ 23	3,3	10,33	69,02
+ 25	3,65	11,0	72,10
+ 27	3,9	11,77	74,3
+ 29	4,2	12,53	(pression critique à 30°)
+ 31	4,6	13,33	
+ 33	5,0	14,17	
+ 35	5,4	15,0	

5. **Constantes physiques des gaz employés dans les compresseurs**

TEMPÉRATURE en degrés C.	CHALEUR LATENTE DE VAPORISATION en cal : kg			TENSION DE VAPEUR ABSOLUE en kg : cm ²		
	SO ₂	AzH ₃	CO ₂	SO ₂	AzH ₃	CO ₂
- 30	103,08	317,6	70,40	0,39	1,19	15,0
- 20	99,41	313,3	65,35	0,65	1,90	20,3
- 10	95,68	308,7	61,47	1,03	2,92	27,1
zéro	91,87	304,0	55,45	1,58	4,35	35,4
+ 10	88,00	299,9	47,74	2,34	6,27	45,7
+ 20	84,05	295,4	36,93	3,35	8,79	58,1
+ 30	80,04	291,0	15,00	4,66	12,01	73,1
+ 40	75,47	286,6	—	6,35	16,01	—

6. Constantes physiques des saumures de réfrigération.

100 kg de saumure contenant en sel anhydre kg	Point de congélation en degrés C°		Poids spécifique en kg. litre		Chaleur spécifique en cal. litre	
	<i>NaCl</i>	<i>CuCl²</i>	<i>NaCl</i>	<i>MgCl²</i>	<i>NaCl</i>	<i>MgCl²</i>
1	-0,8	-0,5	1,008	1,010	0,993	1,004
2	-1,5	-0,9	1,017	1,018	0,981	1,004
3	-2,3	-1,4	1,024	1,027	0,977	0,996
4	-3	-1,9	1,031	1,035	0,973	0,992
5	-3,8	-2,5	1,038	1,044	0,969	0,987
6	-4,5	-3	1,046	1,052	0,966	0,981
7	-5,3	-3,6	1,054	1,061	0,963	0,975
8	-6	-4,2	1,062	1,070	0,960	0,969
9	-6,7	-4,9	1,070	1,079	0,957	0,963
10	-7,4	-5,6	1,079	1,089	0,954	0,956
11	-8,1	-6,3	1,086	1,099	0,952	0,950
12	-8,9	-7	1,093	1,109	0,950	0,944
13	-9,6	-7,8	1,100	1,119	0,948	0,938
14	-10,3	-8,7	1,108	1,129	0,946	0,932
15	-11	-9,6	1,116	1,139	0,945	0,926
16	-11,7	-10,5	1,124	1,149	0,944	0,919
17	-12,4	-11,5	1,131	1,159	0,943	0,911
18	-13	-12,5	1,139	1,169	0,942	0,904
19	-13,7	-13,6	1,147	1,179	0,941	0,896
20	-14,4	-14,8	1,156	1,189	0,941	0,889
25	-17,8	-22,1	1,200	1,237	0,939	0,846
30	(Saturé)	-36,7	—	1,281	—	0,797
35	—	-38,2	—	1,325	—	0,739

CHAPITRE VII

COMBUSTION, FOYERS, CONTROLE DE LA COMBUSTION

COMBUSTIBLES (1)

1. Classification des houilles.

TYPES des houilles	PROPORTION de coke 0/0 de houille pure	MATIÈRES volatiles 0/0 de houille pure	NATURE et aspect du coke
Houilles sèches à longue flamme.....	45 à 60	45 à 40	Pulvérulent ou légèrement frité.
Houilles grasses à longue flamme (charbons à gaz)..	60 à 68	40 à 32	Aggloméré et le plus souvent fondu, mais poreux.
Houilles grasses proprement dites (charbons de forge).	68 à 74	32 à 25	Fondu et plus ou moins boursoufflé.
Houilles 1/2 grasses à courte flamme (charbons à coke et d'industrie).....	74 à 82	26 à 18	Fondu compact.
Houilles maigres ou anthraciteuses	82 à 90	18 à 10	Légèrement frité, le plus souvent pulvérulent.

Au point de vue dimension on appelle usuellement :

Gaillerie, gailetin.	morceaux passant dans 15 cm. et refusés par 5 cm.
Braisette,	— . passe dans 5, ne passe pas dans 3 cm.
Grain,	— . passe dans 3, ne passe pas dans 1,5.
Fines,	— . au-dessous de 1,5.

2. Pouvoir calorifique des houilles.

Voir ci-après le graphique Izart des pouvoirs calorifiques des charbons.

(1) Les tables de ce chapitre sont tirées de l'ouvrage : *Combustion dans les chaudières*, par J. IZART Dunod, éditeur, 4^e édition.

2. Pouvoir calorifique des charbons (abaque Izart).

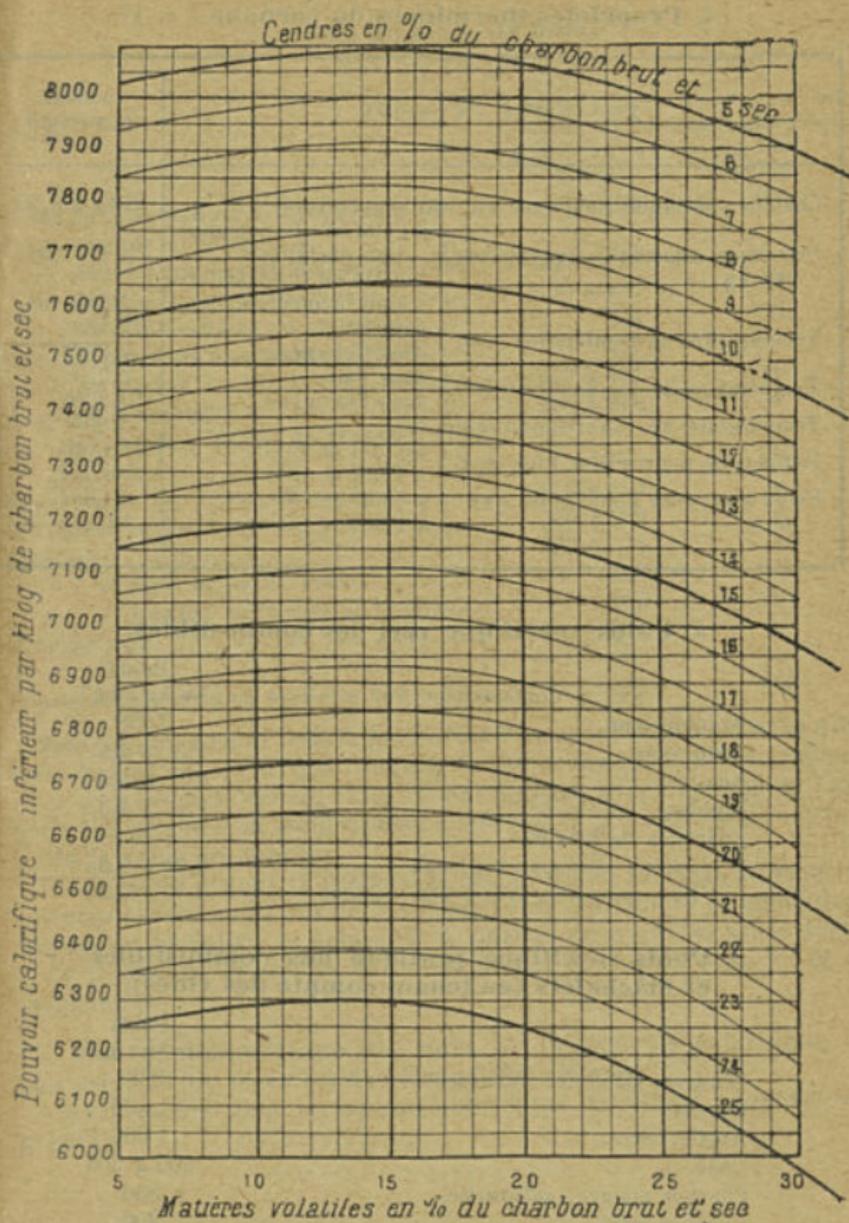


FIG. 59.

3. Propriétés thermiques du carbone C = 12.

PROPRIÉTÉ PHYSIQUE	DONNÉE numérique
Chaleur spécifique (moyenne suivant température).....	0,15 à 0,30
Puissance calorifique en calories par kg.....	à l'état de CO ₂ (combustion parfaite)..... à l'état de CO (combustion incomplète).....
	8.137 cal. 2.453 cal.
Température de combustion (CO).....	dans l'air..... dans l'oxygène.....
	1.485° 4.292°
Température de combustion (CO ₂).....	dans l'air..... dans l'oxygène.....
	2.753° 10.226°
Température de vaporisation (estimée).....	3.600°
Poids d'air pour brûler 1 kg. de C.....	à l'état de CO ₂ à l'état de CO.....
	11 ^{kg} ,594 5 ^{kg} ,797
Poids d'oxygène pour brûler 1 kg. de C.....	à l'état de CO ₂ à l'état de CO.....
	2 ^{kg} ,667 1 ^{kg} ,334

4. Poids spécifique réel des combustibles.

Combustible	Poids en kg : dm ³
Graphite pur.....	2,328
Anthracite.....	1,3 à 1,4
Houilles.....	1,2 à 1,3
Lignites.....	1,1 à 1,3
Charbons de bois de :	
Sapins résineux, bouleaux.....	0,25 à 0,35
Bois compacts, frêne, hêtre, chêne.....	0,40 à 0,55

5. Poids spécifique pratique des combustibles et mâchefers (en tenant compte des vides).

	Poids en kg : m ³
Cendres, mâchefer (humides).....	690
Ciment.....	1.400
Argile, terre.....	1.000
Coke.....	400 à 500
Charbon maigre, anthracite.....	830
Charbon gras.....	800
Charbon de bois.....	130 à 230

6. Poids du stère de bois.

(Vol. = 1 m³.)

	Séché à l'air tenant de 20 à 30 0/0 d'eau kilog.	Absolument sec, après chauffage à 140° kilog.
Chêne en quartiers ou grosses bûches.....	457	366
Chêne en gros rondins.....		
— dans les terrains du Midi de la France.	500 à 525	»
— dans le Centre de la France.....	450 à 480	»
— en petits rondins de branches.....	338	270
Hêtre en quartiers ou grosses bûches.....	467	»
— en rondins.....	440 à 480	»
— en branchages.....	300 à 340	»
— en rondins mêlés de branches et de brins.....	380	304
Sapin rouge des Alpes, en rondins.....	300 à 340	»
Pin sylvestre des Vosges.....	330 à 380	»
Bouleau.....	300 à 350	»
— et saule en petits rondins.....	390	311
— et tremble en bûches et rondins...	368	294
Peuplier noir.....	224	»
— blanc.....	200	»
Fagots mêlés, mais où le Hêtre domine....	425	400

Sur pied, ou à l'état vert, la proportion d'eau peut aller de 35 et 50 0/0 ; cette proportion d'eau qui diminue la valeur des bois varie beaucoup pour une essence, un sol et un climat donnés, avec l'époque de l'année : elle atteint son *maximum* au printemps et son *minimum* en hiver, après la chute des feuilles.

Les cendres — dont la proportion est de 0,75 à 3,70 0/0, suivant les essences et les conditions de développement des bois — se composent surtout de carbonate de potasse et de chaux ; en moindres proportions, il s'y trouve de la soude, de la magnésie, des oxydes de fer et de manganèse.

7. Pouvoir calorifique des bois. — Le pouvoir calorifique du bois sec à 20 0/0 d'eau est d'environ 3.000 calories.

Voir la table 9 pour le pouvoir calorifique de divers produits végétaux.

8. Données sur les combustibles liquides.

A. — HUILES LOURDES ET MAZOUTS

ORIGINE DES HUILES	DENSITÉ à 15° C.	POINT d'inflamma- tion	SOUFRE 0/0	POUVOIR calorifique cal : kg.
Russie 1	0,914		0,16	10.990
— 2	0,920		0,35	10.580
Texas 1	0,928	85°	1,4	10.750
— 2	0,927		0,71	10.730
— 3	0,934	121°		10.900
Burmah 1	0,924	138°	0,2	10.520
— 2	0,900		0,14	10.610
— brut	0,873	49°	0,16	10.650
Bornéo	0,915		0,52	10.780
Argentine	0,942	104°,5		10.680
Mexicain	0,950	121°	3,27	10.500
Huile de schistes 1	0,880	154°,5	0,36	10.570
— 2	0,803			11.150
Goudron lourd de houille	0,998	88°	0,81	9.050
— — après lavage	0,989	82°	0,99	9.720

Conditions de recette. — Les points les plus importants à observer en pratique sont :

— la teneur en matières solides (obstruction des brûleurs).

L'huile réchauffée suffisamment pour être fluide doit passer sans dépôt à travers une toile métallique n° 70.

— la teneur en eau (irrégularité de marche et difficultés d'allumage).

Cette teneur ne doit pas dépasser 2 0/0.

— la teneur en soufre (corrosion des appareils métalliques).

Cette teneur ne doit pas excéder 1,5 à 2 0/0.

B. — DENSITÉ ET POINTS D'ÉBULLITION DES PÉTROLES

A LA PRESSION ATMOSPHÉRIQUE

Ether de pétrole	0,65 à 0,66	40 à 70°
Gazoline	0,66 à 0,69	70 à 90
Benzine de pétrole	0,69 à 0,70	90 à 110
Essence	0,70 à 0,76	110 à 170
Pétrole lampant	0,76 à 0,80	170 à 245
Huiles lourdes	0,80 à 0,87	245 à 350
Huile paraffine	0,87 à 0,93	350 à 430

9. Mauvais combustibles et déchets végétaux.

NATURE des combustibles	HUMIDITÉ normale 0/0	pouvoir calorique	POIDS de 1 mètre cube	Poids de matière équivalente à 1.000 kilos de bon charbon.	Volume de matière équivalente à 1.000 kilos de bon charbon.	
			kilos	kilos	m ³	
Tannée humide.....	68	800	500	10.000	20	
Tannée essorée.....	52	1.400	330	5.700	17	
Copeaux (fabrique d'extraits).....	62	1.200	500	6.600	13	
Sciure humide.....	40	2.000	300	4.000	14	
Bagasse humide (déchets de canne à sucre).....	55	1.500	150	5.300	35	
Cossette (déchets de betterave traîtée par diffusion).....	60	1.100	200	7.300	36	
Copeaux secs (chêne).....	14	3.200	260	2.500	10	
Balle de riz.....	12	3.300	140	2.400	17	
Déchets de lin.....	29	2.600	260	3.200	12	
Paille sèche	de blé.....	16	3.000	160	2.760	18
	d'orge.....	11,5	3.200	160	2.500	18

Les chiffres de la dernière colonne signifient que, pour produire dans une chaudière le même effet utile que 1.000 kilogrammes de charbon, il faudra brûler par exemple 14 mètres cubes de sciure, 36 mètres cubes de cossettes ou 10 mètres cubes de copeaux secs.

10. Chaleurs spécifiques moyennes des corps entrant dans la chaufferie.

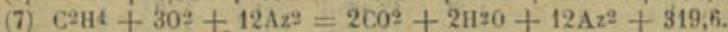
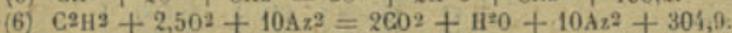
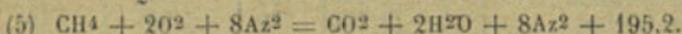
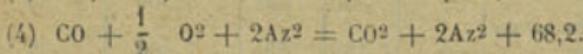
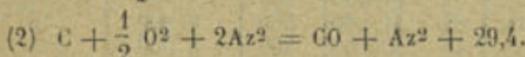
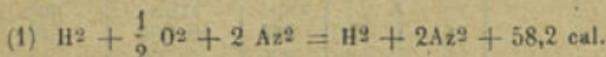
Fer, fonte entre 0 et 200.....	0,11-0,13
— entre 0 et 1.200.....	0,14-0,16
Cuivre et laiton.....	0,0947
Combustibles minéraux.....	0,20
Goudrons et mazouts.....	0,40
Pétroles et essences.....	0,50
Graphite entre 0-600°.....	0,29
— 0-1.000°.....	0,32
Cendres et mâchefers.....	0,20-0,21
Briques ordinaires.....	0,21-0,22
Briques réfractaires siliceuses.....	0,19
— alumineuses.....	0,20

COMBUSTION, TIRAGE, CHEMINÉES

Températures de combustion.

(Voir chapitre I, Mesures de températures élevées et chapitre II, Calcul de la température théorique.)

1. Chaleurs de combustion. — A. RÉACTIONS EXOTHERMIQUES (eau condensée) :



Si l'on veut les chaleurs de combustion avec eau condensée (ce sont celles qu'on mesure au calorimètre), il faut ajouter autant de fois 600 cal : kg qu'il y a d'eau dans les produits de la combustion de la molécule.

Exemple : Dans la combustion du méthane, il se produit 2H₂O, soit 36 d'eau, et l'on a à ajouter 36 × 0,6 = 21,6 cal : gr ; la chaleur de combustion totale eau condensée, encore appelée « pouvoir supérieur », est donc 195,2 + 21,6 = 216,8 cal.

B. RÉACTIONS ENDOTHERMIQUES :

Nature de la réaction	Calories absorb. par molécule (eau non condensée)
Réduction de l'acide carbonique :	
C + CO ₂ = 2CO	-38,8
Réduction de la vapeur d'eau :	
C + H ₂ O = CO + H ₂	-28,8
C + 2H ₂ O = CO ₂ + 2H ₂	-18,8

Ainsi la gazéification de 1 kilogramme de carbone par la valeur d'eau absorbe une quantité de chaleur égale à 28,8/12 = 2,4 cal : gr. ou 2.400 cal : kg.

C. RELATIONS ENTRE LA NOTATION MOLÉCULAIRE ET LA NOTATION PAR KILOGRAMME ET MÈTRE CUBE. — La thermochimie exprime les chaleurs de combustion calories gr. *d* rapportées soit au poids moléculaire en gramme, soit au volume en litre, volume qui est,

pour tous les corps considérés à l'état gazeux, le même que celui de la molécule d'hydrogène, soit 22,32 litres.

Dans la pratique, les pouvoirs calorifiques sont exprimés en calories kg : d rapportées au kilogramme pour les solides et liquides, et au mètre cube pour les gaz.

La notation moléculaire est commode parce que les produits de la combustion sont toujours gazeux, et que l'analyse chimique fournit leur rapport en volume et non en poids; de même les quantités d'air sont généralement exprimées en volume.

Il est facile toutefois de passer d'une notation à l'autre, et nous donnons ci-dessous quelques exemples :

Pouvoir calorifique par kilogramme. — Diviser la chaleur de combustion par le poids moléculaire.

EXEMPLE. — Combustion du carbone : C = 12 en C + O₂ = 97,6 calories. Le pouvoir calorifique du carbone rapporté au kilogramme est :

$$97,6/12 \times 1.000 = 8.133 \text{ cal par kilogramme.}$$

Pouvoir calorifique par mètre cube. — Diviser la chaleur de combustion par le volume moléculaire.

EXEMPLE. — Combustion de l'oxyde de carbone : CO = 22,32 litres en CO + O = 68,2 calories. Le pouvoir calorifique de l'oxyde de carbone rapporté au mètre cube (à zéro et 760) est :

$$68,2/22,32 \times 1.000 = 3.055 \text{ cal par mètre cube.}$$

2. Poids, volume et chaleur spécifique des gaz de la combustion à zéro et 760.

	FORMULE	POIDS moléculaire	CONSTANTE R	POIDS spécifique kg : m ³	VOLUME spécifique m ³ : kg	CHALEUR SPÉCIFIQUE sous pression constante	
						entre 0 et 100	entre 100 et 1500
Air pur et sec...	—	29	29,27	1,293	0,773	0,24	0,254
Gaz des fumées (en moyenne) ...	—	—	—	1,3	—	0,23	0,244
Vapeur d'eau ...	H ₂ O	18	47,11	0,804	1,244	0,48	0,72
Oxyde de carbone.	CO	28	30,29	1,251	0,800	0,245	0,259
Acide carbonique.	CO ₂	44	19,28	1,963	0,509	0,20	0,252
Acide sulfureux...	SO ₂	64	13,24	2,858	0,35	0,15	0,17
Oxygène	O	32	26,5	1,428	0,70	0,217	0,226
Azote	O ₂	28	30,2	1,252	0,80	0,245	0,259
Hydrogène	H	2	420,5	0,0896	11,160	3,430	—

3. **Composition de l'air.** — L'air atmosphérique a la composition suivante (1)

<i>En poids.</i>		<i>En volume.</i>	
Oxygène.....	23,15 0/0	Oxygène.....	20,84 0/0
Azote.....	76,85 0/0	Azote.....	79,16 0/0
Rapport : 1 d'O pour 3,32 Az		Rapport : 1 d'O pour 3,80 Az	

4. **Volume d'air pour la combustion.** — Le volume d'air théorique se calcule en partant de la composition élémentaire exacte du combustible, supposée connue, et en estimant la quantité d'oxygène nécessaire à la combustion de chacun des éléments.

En pratique, la combustion, pour être complète, nécessite un excès d'air qui est dû au défaut de mélange intime entre le combustible et le comburant.

Le rapport $\frac{\text{air réel}}{\text{air théorique}} = n$ est généralement appelé coefficient d'excès d'air ; une combustion est d'autant plus économique que ce coefficient n se rapproche de l'unité.

L'abaque ci-après est extrêmement commode et donne immédiatement le poids ou volume d'air théorique, et le poids ou volume d'air pratique, pour différentes valeurs de n , nécessaire à la combustion d'un combustible de pouvoir calorifique donné.

Le mode d'emploi est simple.

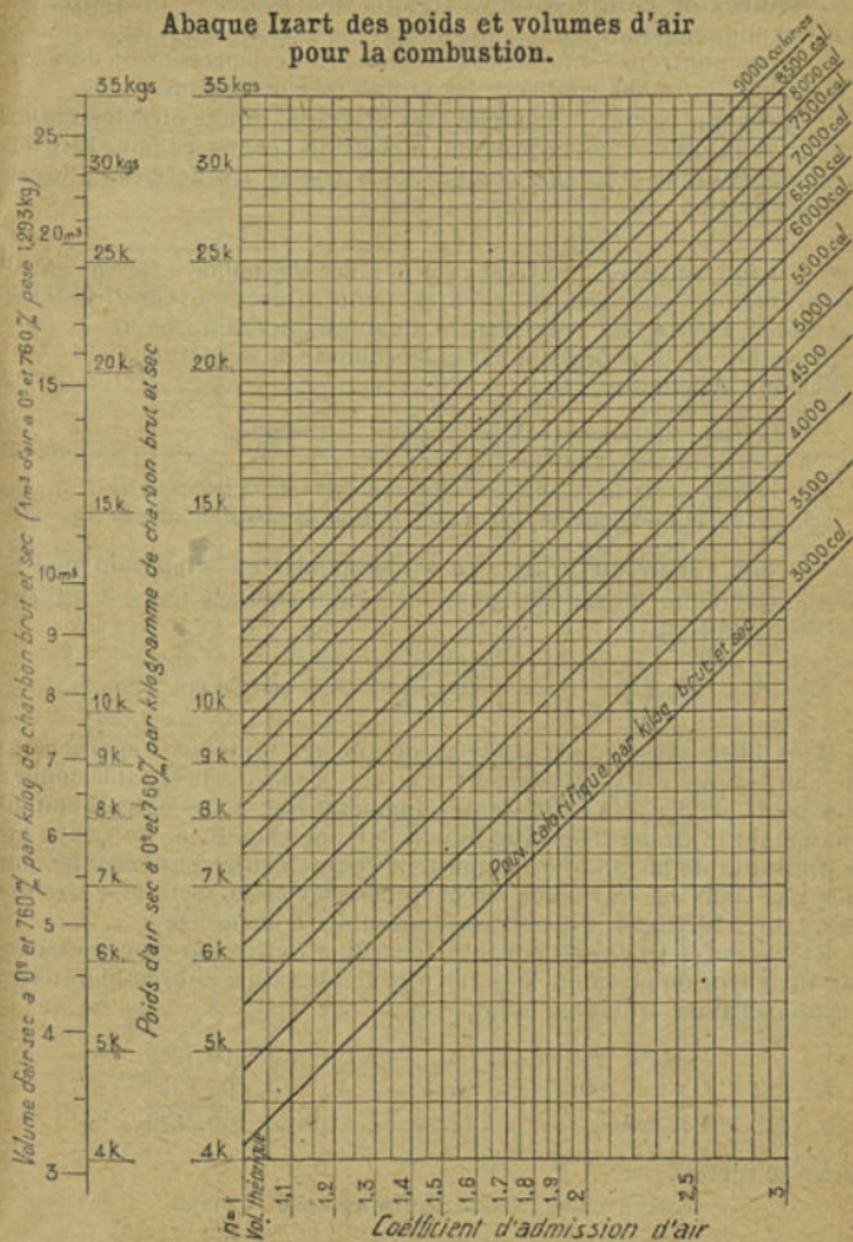
Soit un combustible courant, faisant 7.500 calories par kg. brut et sec ; on voit immédiatement que le poids d'air théorique nécessaire est de 10,4 kg. par kg. de charbon brûlé, ou en volume, un volume théorique de 8 m³ d'air (supposé à zéro et 760).

Pour brûler pratiquement ce combustible, il faudra un coefficient d'admission d'air de 1,3 environ (soit un excès d'air de 30 0/0). Dans cette hypothèse l'abaque indique que le poids d'air est de 13,5 kg. par kg. de charbon brûlé, ou bien en volume, 10,4 mètres cubes d'air supposé à zéro et 760.

Pour passer du volume à zéro et 760 au volume de l'air dans les conditions de la combustion (qui peut être, par exemple, réchauffé et insufflé sous pression), on se servira des tables données au chapitre III, *Gaz et vapeurs*.

(1) Voir aussi le chap. *Propriétés de l'air aux pressions ambiantes*, ci-avant.

Abaque Izart des poids et volumes d'air pour la combustion.



5. **Allures de combustion et tirage nécessaire à la grille.** — Nous expliquons qu'il est logique de faire les mesures de dépression à la grille, et montrons l'intérêt des enregistreurs de dépression ou doseurs d'air (plus loin) pour contrôler les allures de combustion.

Le graphique figure 54, d'emploi très pratique, donne directement la valeur de la différence de pression à la grille nécessaire pour assurer la combustion de différents combustibles usuels à différentes allures de combustion par mètre carré de grille.

6. **Tirage naturel.** — C'est la différence de poids existant entre deux colonnes gazeuses, l'une à la température moyenne dans la cheminée, l'autre à la température ambiante de l'atmosphère.

La valeur de la dépression est indépendante de la section.

Si nous appelons :

T, la température moyenne des gaz dans la cheminée ;

t, la température extérieure ;

H, la hauteur de la colonne gazeuse au-dessus de la grille en m ;

δ_0 , le poids spécifique de l'air à zéro et sous la pression 760, en kg : m³,

on a pour valeur du tirage, en kilogrammes, en supposant que le poids spécifique moyen des gaz soit égal à celui de l'air, ce qui est sensiblement vrai :

$$h = H\delta_0 \left(\frac{1}{1 + \alpha t} - \frac{1}{1 + \alpha T} \right) \text{ kg : m}^2, \text{ soit en mm d'eau.}$$

Dans l'hypothèse que le poids spécifique des fumées est égal à celui de l'air, ce qui est pratiquement vrai, on se servira de la table donnée des poids de l'air aux différentes températures pour obtenir immédiatement le tirage théorique fourni par une cheminée. Ce tirage est à diminuer de la valeur de la perte de charge causée par l'écoulement des gaz dans les carneaux et cheminées et de la perte vive correspondant à la vitesse des gaz au sommet de la cheminée.

EXEMPLE. — Quel est le tirage théorique fourni par une cheminée de 40 mètres où circulent des gaz à la température moyenne de 300°, la température ambiante étant + 25° ?

Poids à 25°.....	1 ^{kg} ,1842
— 300°.....	0,6153
Par mètre.....	$t = 0^{\text{kg}},5689$

pour 40 mètres :

$$t \times 40 = 22,756 \text{ kg : m}^2,$$

soit 22,75 millimètres d'eau.

Différence de pression nécessaire à la grille pour réaliser diverses allures de combustion (abaque Izart).

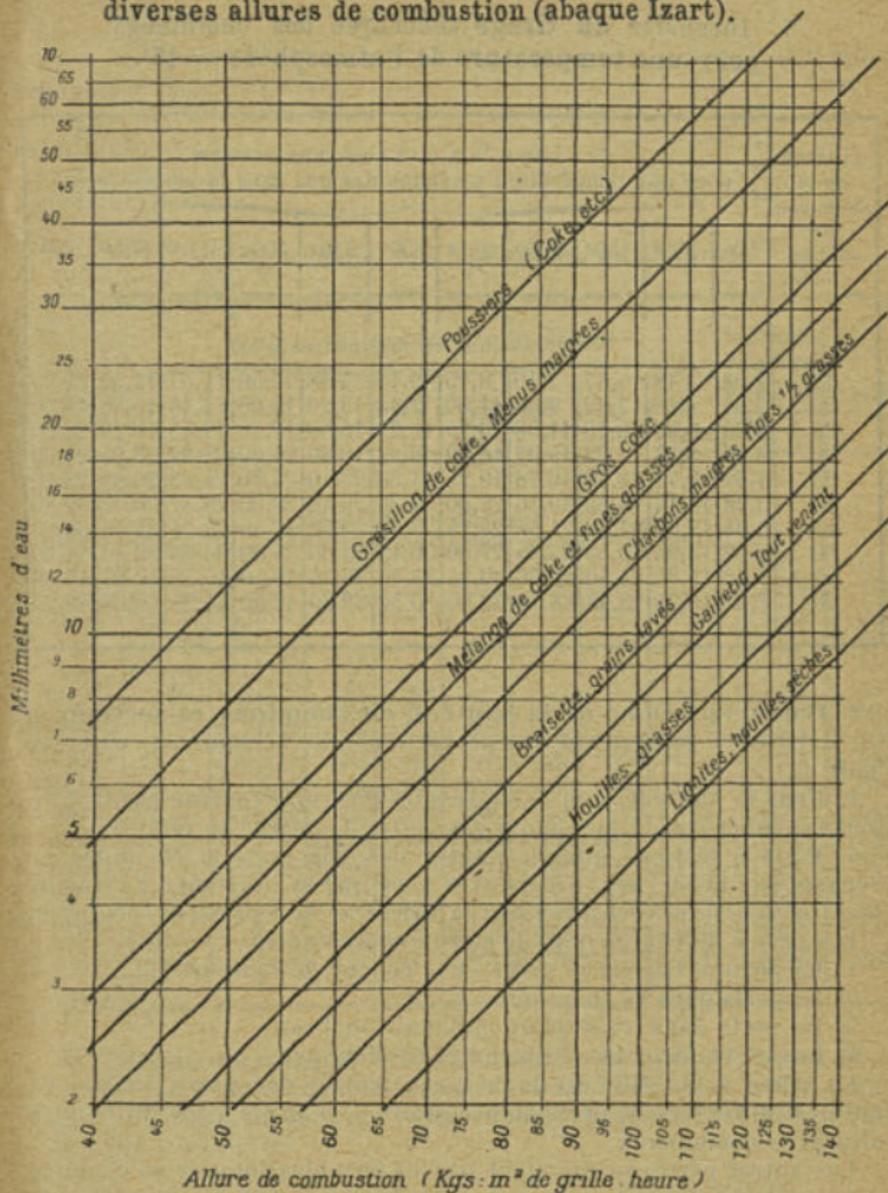


FIG. 54.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

7. Intensité du tirage théorique des cheminées,
pour une température de l'atmosphère = 15°.

HAUTEUR de la cheminée en mètres	VALEUR DU TIRAGE THÉORIQUE pour une température moyenne des gaz dans la cheminée de										
	50°	100°	150°	200°	250°	300°	350°	400°	450°	500°	550°
	Dépressions en millimètres d'eau.										
15	1,98	4,48	5,87	7,19	8,25	9,14	9,90	10,50	11,07	11,52	12,30
20	2,64	5,58	7,82	9,58	11,00	12,18	13,20	14,00	14,76	15,36	16,40
25	3,30	6,98	9,78	11,98	13,75	15,23	16,50	17,50	18,45	19,20	20,50
30	3,96	8,37	11,73	14,37	16,50	18,27	19,80	21,00	22,24	23,04	24,60
35	4,62	9,77	13,70	16,78	19,25	21,30	23,10	24,50	25,83	26,88	28,70
40	5,28	11,16	15,65	19,16	22,00	24,36	26,40	28,00	29,52	30,72	32,80
45	5,94	12,55	17,60	21,56	24,75	27,40	29,70	31,50	33,21	34,56	36,90
50	6,60	13,95	19,55	23,95	27,50	30,45	33,00	35,00	36,90	38,40	41,00
55	7,26	15,35	21,50	26,36	30,25	33,50	36,30	38,50	40,59	42,24	45,10
60	7,92	16,75	23,46	28,76	33,00	36,54	39,60	42,00	44,28	46,08	49,20

8. Calcul approché de la hauteur de cheminée et section. — On détermine rapidement les proportions des cheminées en vérifiant :

1° Pour la hauteur, que la dépression théorique fournie par la hauteur est supérieure à la somme des pertes de charge du circuit;

2° Pour la section, que la vitesse des gaz dans la cheminée ne dépasse pas 10 m : sec, de manière à ce que la résistance à l'écoulement n'abaisse pas sensiblement la valeur de la dépression théorique.

Les pertes de charge dans le circuit comprennent :

1° La perte à travers la grille et la couche de combustible ;

2° La perte dans la chaudière ;

3° La perte dans les réchauffeurs d'air ou d'eau ;

4° Les pertes dans les carneaux et la cheminée.

La perte à la grille est donnée exactement par notre abaque figure 54, différence de pression nécessaire à la grille pour différentes allures de combustion.

Les autres pertes se calculent par les formules données au chapitre « Écoulement des gaz, résistances de frottement et de changements de section ». Pratiquement on prendra les chiffres suivants correspon-

dant à une combustion de 100 kilogrammes de charbon par mètre carré de grille :

Chaudières	} à bouilleurs.....	3 à 4 millimètres	
		} à tubes d'eau.....	4 à 6 —
			à tubes de fumée.....
Surchauffeurs.....		3 à 4 —	
Economiseurs.....		4 à 6 —	
Réchauffeurs d'air.....		5 à 15 —	

9. Proportions des cheminées en briques.

DIAMÈTRE intérieur en mètres	HAUTEUR DE LA CHEMINÉE EN MÈTRES										SECTION effective contribuant au tirage	SECTION réelle
	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60		
Puissance en chevaux (sur la base de 13 kilos de vapeur par cheval-heure)												
											m ²	m ²
0,50	29	34	—	—	—	—	—	—	—	—	0,1152	0,1963
0,60	47	54	60	—	—	—	—	—	—	—	0,1853	0,2827
0,70	68	79	88	97	—	—	—	—	—	—	0,2713	0,3848
0,80	94	109	121	133	143	—	—	—	—	—	0,3730	0,5027
0,90	—	143	159	175	188	201	—	—	—	—	0,4902	0,6362
1,00	—	181	203	222	239	256	272	—	—	—	0,6231	0,7854
1,20	—	—	304	332	359	385	408	431	—	—	0,9361	1,1310
1,40	—	—	427	467	504	539	572	604	634	—	1,3125	1,5394
1,60	—	—	—	623	672	720	763	805	844	881	1,7507	2,0106
1,80	—	—	—	802	865	926	982	1.036	1.085	1.133	2,2519	2,5447
2,00	—	—	—	—	1.081	1.157	1.228	1.295	1.357	1.416	2,8159	3,1416
2,20	—	—	—	—	1.323	1.416	1.502	1.585	1.660	1.733	3,4447	3,8013
2,40	—	—	—	—	—	1.700	1.803	1.902	1.993	2.079	4,1341	4,5239
2,60	—	—	—	—	—	2.000	2.131	2.249	2.356	2.459	4,8884	5,3093
2,80	—	—	—	—	—	—	2.487	2.624	2.749	2.869	5,7037	6,1575
3,00	—	—	—	—	—	—	2.870	3.028	3.172	3.311	6,5818	7,0686

10. Tirage mécanique. — La cheminée, en tant que déplaceur d'air, présente un rendement déplorable, environ 10/0: il en est de même des souffleries à vapeur pour foyers, dont le rendement est quelquefois inférieur à 10/0 (1).

(1) Voir IZART. Notes sur le Tirage dans les générateurs de vapeur, dans la *Technique moderne* (1911-1912).

La méthode la meilleure pour créer la dépression nécessaire à la circulation des gaz dans les générateurs est la ventilation mécanique.

L'inconvénient général des systèmes de tirage mécanique est qu'on ne les contrôle pas suffisamment au moyen d'enregistreurs, d'où excès d'air considérable ; il est bon d'avoir toujours un instrument de mesure de la dépression.

Les procédés de tirage mécanique comprennent :

1° Le *tirage forcé*, où le vent est soufflé sous pression à la grille, dans le cendrier clos.

2° Le *tirage aspiré*, dans lequel un ventilateur aspirant placé à la cheminée entraîne les gaz de la combustion. Ces gaz étant dilatés, le tirage aspiré entraîne nécessairement une consommation de puissance plus grande que le tirage forcé.

3° Le *tirage induit*, dans lequel l'aspiration n'a pas lieu dans un ventilateur, mais dans un éjecteur ou trompe fonctionnant soit à la vapeur, soit à l'air sous faible pression. Ce système est exploité par la Société Prat.

4° Le *tirage équilibré*, qui est une combinaison des tirages forcés et aspirés ayant pour effet de maintenir automatiquement la pression atmosphérique au foyer de manière à supprimer les excès d'air par suite de la négligence du chauffeur à manœuvrer le registre ou les papillons de réglage de vent ou à s'inspirer des enregistreurs de mesure (déprimomètres doseurs d'air).

Ce système est exploité par la Société Hotchkiss.

11. Comparaison des systèmes de tirage Prat. — Ce système s'est rapidement répandu du fait qu'il ne « coupe » pas le tirage naturel, mais s'ajoute à ce dernier en proportion variable suivant le besoin du moment. Pour tirer tout le parti voulu d'un Prat, le moteur de commande du ventilateur devra être à vitesse variable, et on installera un enregistreur de dépression (donnant le tirage obtenu) à proximité de la commande variable du ventilateur.

Jusqu'à 30 millimètres de dépression la cheminée Prat convenablement employée est le système de tirage à la fois le plus simple et le plus économique ; au delà de 30 ou 40 millimètres, le ventilateur aspirant direct reprend l'avantage (à cause de la diminution du rendement de la trompe).

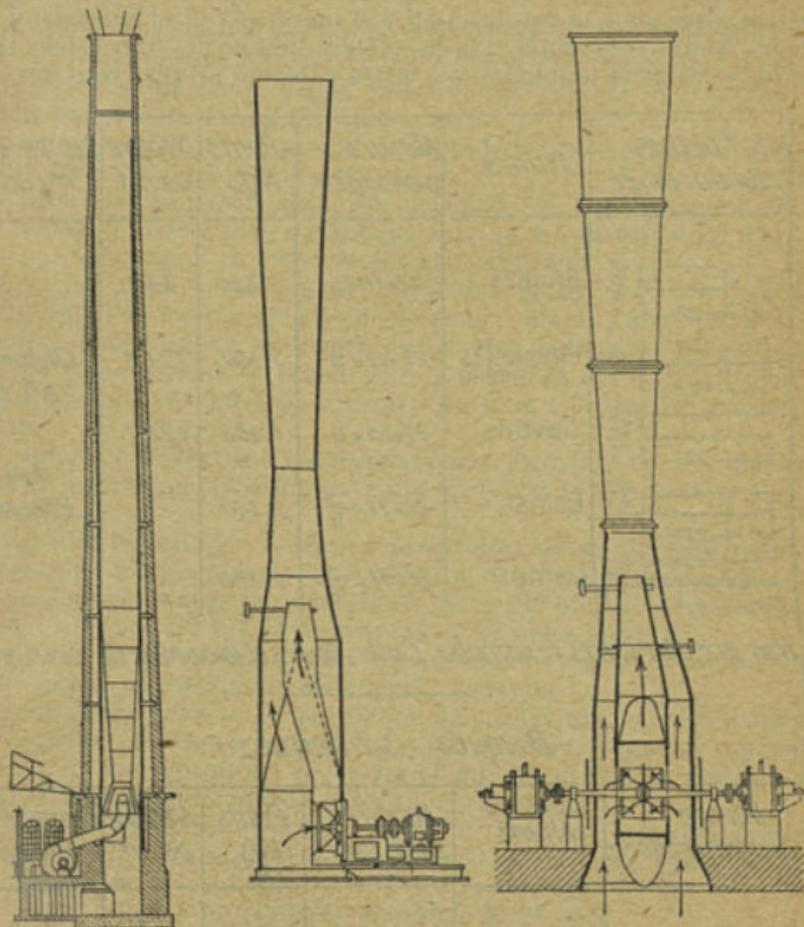
Dans tous les cas (sauf ceux de ventilation usuelle à froid), on emprunte le faisceau de gaz actionnant la trompe à une dérivation des carneaux.

Au point de vue réalisation, les appareils Prat présentent les trois dispositifs de la figure ci-jointe.

1° Ventilateur en dehors de la cheminée proprement dite, ce qui permet d'améliorer le tirage d'une cheminée en brique existante ;

2° Ventilateur dans la cheminée, ce qui diminue

l'encombrement ; ce ventilateur peut être simple ou double suivant l'importance de l'installation ; les turbines se retirent aisément pour le nettoyage.



1
Amélioration
du tirage
d'une cheminée.

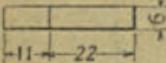
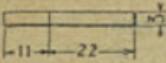
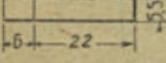
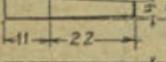
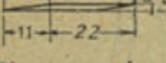
2
Cheminée conique
à un
seul ventilateur.

3
Cheminée conique
à ventilateurs
jumeaux.

FIG. 62. — Différentes réalisations du tirage-Prat, à éjecteur.

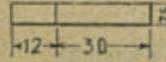
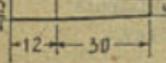
FOYERS ET RÉFRACTAIRES

1 Briques standardisées. — Il existe fréquemment une confusion regrettable dans les dimensions et les appellations des briques réfractaires pour la construction des fourneaux et chaudières et des fours. Nous avons réuni dans la table ci-dessous les dimensions standard, le poids et le nombre au mètre cube des briques courantes.

Forme standardisée.	Noms	Mesures sans joint.	Poids Kgs	Nombre au m ³ .	Composition 1 ^{er} choix
	Briques	22x11x6	2,500	630	} Alumine 28% min. } Fer 2% max.
	Plaquettes	22x11x3	1,300	1260	
	Savons	22x5,5x6	1,300	1260	
	Coins	22x11x $\frac{5}{4}$	2,300		
	Lames	22x11x $\frac{5}{4}$	2,300		

Non pressées. Très résistantes. Emploi voutes et fourneaux de chaudières.

Briques siliceuses.

Forme standardisée	Noms	Mesures sans joint.	Poids Kgs.	Nombre au m ³ .	Composition 1 ^{er} choix
	Briques	30x12x7,5	4,930	111	} silice 90%
	Coins	30x12x $\frac{7,5}{3}$	4,200	111	

Emploi. Voutes de four. Verreries. Acieries.

2. **Établissement des voûtes.** — Nous donnerons, d'après une étude de M. Perdrizet dans *Chaleur et Industrie*, les conseils suivants concernant l'établissement des voûtes.

Le point de départ de la détermination d'une voûte est la portée de celle-ci.

Flèches. — A l'origine, les formes des voûtes ont été déterminées pour produire, particulièrement pour la voûte d'allumage, une réverbération suffisante sur la grille, amenant sur celle-ci une combustion progressive de l'avant à l'arrière.

Du rôle même qu'on en attend est découlé le tracé rationnel donnant à ces voûtes une forme plutôt plate.

De multiples accidents ayant été constatés, les constructeurs ont été conduits à cintrer bien davantage, sans qu'il s'en soit suivi d'ailleurs une influence bien marquée sur la combustion.

La fatigue d'une voûte — pour une même portée — diminuant à mesure que l'on augmente la flèche de cette voûte, il y a intérêt, pour de hautes températures, à donner aux voûtes autant de flèche que possible. Couramment, on prend, pour la flèche de la voûte, 1/10 pour les petites portées, c'est-à-dire jusqu'à 1^m,50, et 1/7 pour les grandes portées.

Le rapport des flèches à l'écartement des pieds-droits, sur divers types de chaudières, est compris entre 6,7 0/0 et 11 0/0, parfois jusqu'à 20 0/0.

Les grilles mécaniques modernes avec fortes allures de combustion donnent des températures très élevées, faisant travailler les réfractaires à leur résistance presque limite; il a été obtenu d'excellents résultats avec 14 1/2 0/0 de flèche pour de grandes portées.

Il semble qu'une flèche de 15 0/0 pour des voûtes de 3 mètres de portée soit la valeur qu'il conviendrait d'adopter.

Rayons de courbure. — Le graphique donne les rayons de courbure qu'il convient d'adopter pour des portées données et pour le rapport de flèche à écartement de pieds-droits qui a été choisi, les lignes obliques donnant quelques-uns des rapports usuels.

EXEMPLE. — Soit un foyer mécanique de 3^m,10 de largeur; supposons qu'on désire un rapport de 11 0/0 environ de flèche à écartement de pieds-droits.

Il faudra adopter un rayon de courbure de 3^m,40.

Le deuxième graphique permet de vérifier la portée à adopter pour avoir un nombre entier de claveaux lorsqu'on a choisi le rayon de courbure. Ce graphique a été établi pour des claveaux de 100 millimètres de largeur à l'intrados, d'où l'on passera facilement aux largeurs quelconques; logiquement, il faudrait tenir compte de l'épaisseur du joint, mais nous avons insisté sur la nécessité de supprimer le coulis pour avoir une voûte résistante.

EXEMPLE. — Soit un foyer mécanique de 3^m,10 de largeur; suppo-

sons que l'on désire un rapport de rayon de courbure à écartement de pied-droit d'environ 11 0/0. Le graphique 64 montre qu'un rayon de courbure de 3^m,50 conviendra.

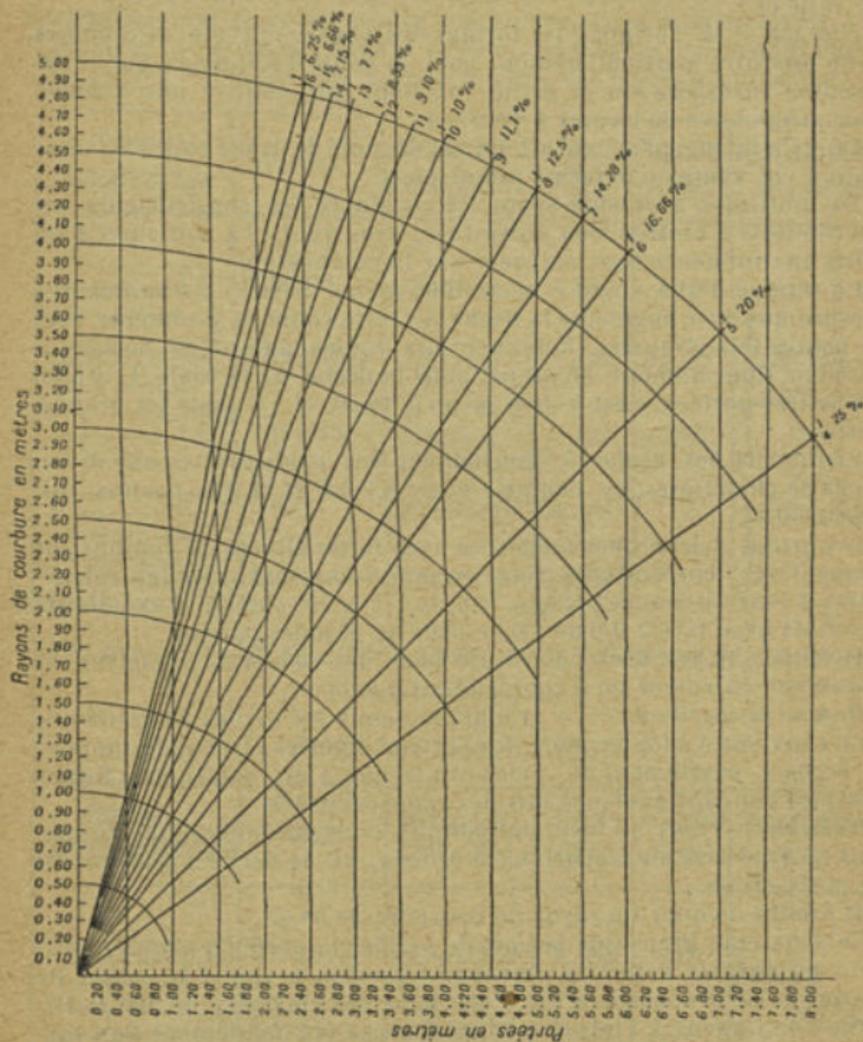


FIG. 64. — Graphique du choix du rayon de courbure pour une portée donnée.

Le graphique 65 nous indique que, pour un rayon de courbure de 3^m,50, pour avoir un nombre entier de claveaux de 100 millimètres

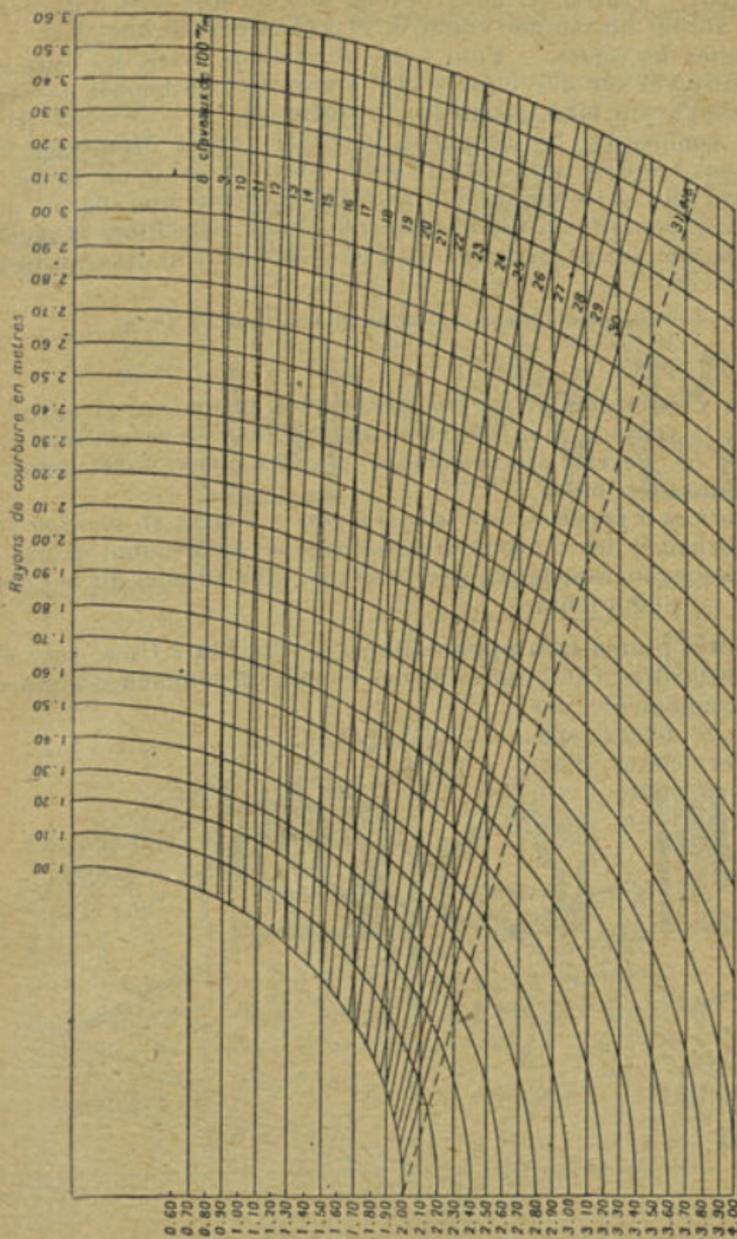


Fig. 65. — Graphique pour la détermination du nombre entier de clavoux.

de largeur à l'intrados, nous devons adopter une portée de 3^m,06, et nous aurons un nombre entier de claveaux égal à 26.

Exécution des voûtes. — Pour l'exécution d'une voûte, les couteaux seront disposés sur des cintres et il y aura lieu de choisir des couteaux s'appuyant bien les uns sur les autres.

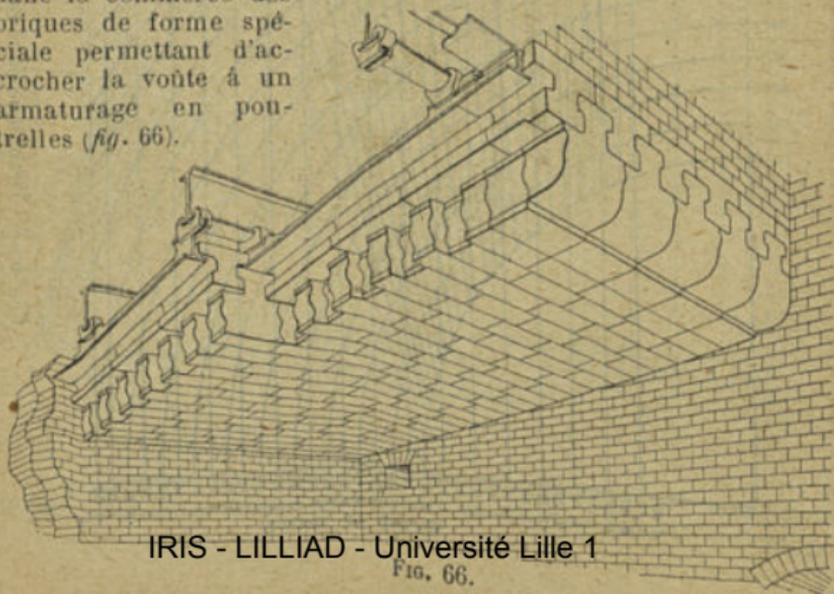
Pour compenser le tassement inévitable après décintrage, les cintres sur lesquels sera bâtie la voûte devront avoir un rayon de courbure plus petit ou, ce qui revient au même, une flèche plus grande que ceux de la voûte décintrée. Nous conseillons d'adopter pour cela une valeur d'environ 10 0/0, ce qui fournit des rayons de courbures de :

1 ^m ,65	pour obtenir un rayon de courbure de	1 ^m ,50
2 ^m ,75	— — — — —	2 ^m ,50
3 ^m ,85	— — — — —	3 ^m ,50

Il doit y avoir *portage parfait* des briques, surtout sur la partie interne de la voûte et non à l'extérieur; les coins se posent sans coulis et l'on ne devrait pas néanmoins pouvoir glisser une lame de couteau dans les joints.

Précautions à prendre avant la mise à feu. — Exiger un séchage parfait et rationnel des maçonneries; séchage à l'air pendant quatre ou cinq jours en ouvrant le registre en grand, puis allumer du feu doux pendant plusieurs jours.

3. Voûtes plates non appareillées. — Aux États-Unis, pour éviter les difficultés d'établissement des voûtes, on commence à trouver dans le commerce des briques de forme spéciale permettant d'accrocher la voûte à un armaturage en poutrelles (*fig. 66*).



4. Types de chambres de combustion (P. PERDRIZET).

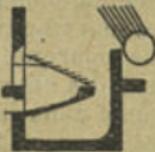
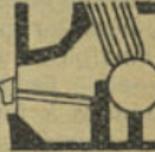
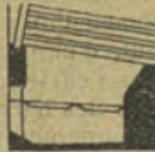
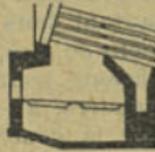
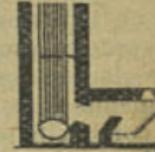
<i>Chambre de combustion</i>	<i>Ouverte</i>	<i>1/2 ouverte</i>	<i>Fermée.</i>
<i>Transmission de la chaleur</i>			
<i>Bon combustible</i>			
<i>Température.</i>	1100 - 1300°	1300 - 1400°	1500 - 1650°
<i>Résultats</i>	<i>Bon</i>	<i>Bon.</i>	<i>Mauvais réfractaires ne résistent pas</i>
<i>Combustible pauvre.</i>			
<i>Température</i>	900 - 1050°	1100 - 1200°	1200 - 1350°
<i>Résultats.</i>	<i>Mauvais allumage</i>	<i>Assez bon</i>	<i>Bon pour combustible pauvre.</i>

FIG. 67.

5. **Desiderata d'un foyer rationnel.** — Il est très rare qu'un foyer de chaudière soit établi rationnellement, et ceci découle du fait que le foyer est à l'intérieur même de la chaudière, ce qui est opposé aux desiderata d'une bonne combustion.

La combustion et le chauffage doivent être deux opérations nettement séparées, parce qu'elles sont antagonistes. Le but de la combustion est d'obtenir une température aussi élevée que possible; le but du chauffage est d'utiliser le maximum de la chaleur produite par la combustion, c'est-à-dire d'abaisser la température autant que possible. Les deux fonctions sont donc bien opposées comme nous le disions, et pour s'en convaincre, il suffit d'interposer une soucoupe froide dans la flamme d'une bougie: immédiatement la combustion est interrompue et il se dépose du noir de fumée.

Le même phénomène se reproduit identiquement dans un foyer de chaudière, lorsque les tubes ou les tôles sont trop près de la couche de combustible en ignition; ceci explique pourquoi, notamment, il est impossible de brûler économiquement des charbons gras dans les chaudières à foyer intérieur, et pourquoi dans les foyers extérieurs l'adjonction d'une voûte réfractaire améliore considérablement la combustion.

Une seconde difficulté de la combustion rationnelle provient de la nature du combustible.

L'utilisation de combustion dépend de l'union plus ou moins intime du comburant et du combustible.

Cette union suppose nécessairement une grande porosité de la couche de combustible; plus cette couche sera poreuse, mieux l'air se répartira favorablement au travers d'elle, et, par suite, plus la combustion sera parfaite.

On est ainsi conduit à trouver que la *cokéfaction* des combustibles joue un rôle très important dans la combustion proprement dite.

D'après ce que je viens de dire, il faut, d'une part, une cokéfaction ou agglomération suffisante pour éviter l'effritement et le tamisage des menus dans les cendres, au travers des barreaux; d'autre part, une compacité telle que la couche devienne peu perméable à l'air.

Si la couche se laisse trop facilement traverser, l'air occasionnera de véritables courts-circuits, aux points où le charbon est en moindre épaisseur, et la majeure partie du fluide s'engouffrera par ce trou sans participer à la combustion, et produira uniquement un excès d'air fâcheux.

J'estime qu'avec les houilles, dites de chaudière, la meilleure tenue est réalisée avec les charbons demi-gras à 15/17 pour 100 de matières volatiles, donnant un coke tendre, facile à effriter.

Lorsqu'on veut brûler des combustibles à pouvoir agglomérant nul, comme c'est le cas, par exemple, des lignites, des poussières de coke ou des anthracites, on aura toujours avantage à les mélanger

avec une certaine proportion de combustible collant, de manière à réaliser la formation de cette couche poreuse dont je viens d'indiquer le rôle intéressant. La proportion convenable dépendra précisément du charbon correctif.

Si l'on brûle, en effet, ces combustibles tels, la cokéfaction étant nulle, et, par suite, la porosité n'existant pas, l'air passera directement au travers des morceaux sans se distribuer dans la masse, et la combustion se fera dans de mauvaises conditions.

En somme, le choix du combustible le plus convenable pour un foyer ou un générateur donnés, résout la moitié du problème, et ce choix ne peut être sérieusement établi qu'à la suite d'essais convenables de vaporisation, de réglage et de contrôle.

Pour me résumer, enceinte à grand volume, grande surface réfractaire de radiation sont les conditions indispensables à la réalisation d'une combustion complète, c'est-à-dire les caractéristiques d'un bon foyer ; distance suffisante du feu aux premières tôles, parcours assez long pour refroidir les gaz jusqu'à une température voisine de celle de la vapeur produite, propreté interne et externe des tôles, sont les conditions indispensables à la meilleure utilisation, c'est-à-dire les caractéristiques d'une bonne chaudière ; morceaux calibrés dits « grains », teneur moyenne en matières volatiles, cendres aussi peu fusibles que possible sont des caractéristiques d'un bon charbon.

6. **Foyers mécaniques** (1). — Aucune des grilles mécaniques usuelles ne peut rivaliser pour l'économie de combustible, avec une grille à main servie par un chauffeur capable, possédant pour guider son travail un doseur d'air enregistreur (voir ci-après *Contrôle de la combustion*).

Le grand défaut technique des foyers mécaniques, c'est l'irrégularité de combustion : le charbon brûle *progressivement* depuis l'entrée jusqu'à la sortie, de sorte que son épaisseur va en diminuant et sa porosité va en augmentant ; il en résulte que près de l'entrée l'air est insuffisant, et près de la sortie l'air rentre au contraire en grand excès à travers les escarbilles et les trous qui se forment généralement à cette extrémité de la grille.

C'est là un dilemme général : ou l'arrière de la grille est dégarni si l'on veut que tout le coke soit brûlé avant le rejet des matières hors du foyer, ou bien si l'on veut conserver l'arrière de la grille garni, on rejette dans les cendres une grande quantité de coke non brûlé. On obvie à cet inconvénient par l'emploi de caissons de soufflage cloisonnés dont on règle la pression de vent au moyen d'appareils de contrôle.

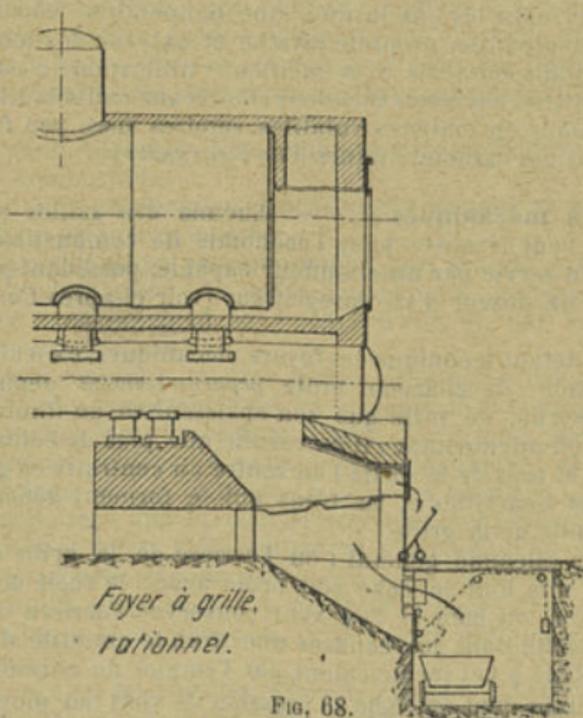
(1) Voir IZART, *Les foyers mécaniques*. Conférence à la Société des Ingénieurs civils, 1911.

7. **Foyers avec grilles chargées à main.** — Un bon foyer à main devra :

1° Être approprié au combustible à brûler, c'est-à-dire avoir un espacement des barreaux, une surface de grille, une surface de voûte, prévues pour permettre de brûler le combustible envisagé au mieux. Les chaudières dites à foyers intérieurs devraient toujours être chauffées par avant-foyer ;

2° Être approprié au chauffeur, c'est-à-dire avoir un nombre suffisant de portes de chargement pour permettre de couvrir bien également toute la surface, avoir une profondeur n'excédant pas 1,70 à 1,90 pour la même raison ;

La figure 68 indique un foyer rationnel pour les chaudières semi-tubulaires très courantes en France, et généralement mal installées. On remarquera que le plan de grille a été abaissé, qu'on a ajouté une voûte réfractaire, et que l'enlèvement des mâchefers se fait par



en-dessous, avec un tablier mobile faisant passer les cendres dans la galerie inférieure.

CONTROLE DE LA COMBUSTION (1)

1. **Pertes dans les foyers.** — Dans une combustion bien réglée, il est possible d'atteindre un rendement de 80 0/0, ce rendement étant le rapport du pouvoir calorifique à la chaleur totale dans la vapeur.

Les trois principales sources de pertes sont : la perte sensible pour la cheminée; la perte latente par combustion incomplète; la perte en escarbilles combustibles dans les cendres.

Pertes par la cheminée. — Sont dues aux excès d'air, cet air devant être échauffé inutilement par les calories du foyer. Elle est donnée par :

$$P_c = (1 + k) (t' - t) 0,24,$$

k étant le nombre de kilogrammes d'air admis par kilogramme de combustible ;

t' , la température des gaz sortant de la cheminée ;

t , la température de l'air admis au foyer ;

0,24, la chaleur spécifique moyenne des gaz.

Pratiquement, l'excès d'air se mesure par la dilution d'acide carbonique, par le moyen d'appareils analyseurs (voir p. 287). La table suivante, que nous avons calculée avec la formule ci-dessus, permet facilement, ayant mesuré la température des gaz et le pourcentage en acide carbonique, d'estimer la valeur de la perte. Nous avons pris dans le calcul les bases que voici :

Charbon supposé à 7.500 calories par kilogramme et constitué par 80 0/0 de carbone, 4 0/0 d'hydrogène ;

Air admis au foyer à la température de 20° centigrades ;

Volume d'air théorique pour la combustion 8,16 m³ par kilogramme ;

Proportion théorique d'acide carbonique 18,8 0/0 CO².

Calculs faits à la règle.

(1) Demander la brochure *Méthodes et appareils pour le contrôle de la chauffe*, Établissements Izart, rue de Paris, à Sannois (Seine-et-Oise). Envoi gratis.

Tableau des pertes en chaleur sensible par la cheminée pour différentes quantités d'air admis à l'entrée et différentes températures de sortie des gaz.

PROPORTION d'acide carbonique 0/0	AIR ADMIS par kilogramme de charbon		TEMPÉRATURE DES GAZ EN DEGRÉS				
	en volume	en poids	100	200	300	400	500
	m ³	kg.	Valeur de la perte en pour cent de la chaleur produite au foyer.				
3	51,0	67,0	17,41	39,18	60,99	82,72	—
4	38,4	51,0	13,32	29,98	46,63	63,29	79,95
5	30,6	39,6	10,39	23,37	36,35	49,34	62,32
6	25,5	33,0	8,7	19,57	30,44	41,31	52,18
7	21,7	28,1	7,45	16,76	26,07	35,38	44,70
8	19,1	24,7	6,56	14,77	22,98	31,19	39,40
9	17,0	22,0	5,86	13,22	20,56	27,91	35,25
10	15,3	19,6	5,26	11,87	18,41	29,99	31,56
11	13,9	18,0	4,86	10,93	17,00	23,07	29,15
12	12,7	16,4	4,45	10,02	15,59	21,16	26,73
13	11,8	15,2	4,15	9,33	14,52	19,70	24,88
14	10,9	14,1	3,86	8,68	13,51	18,33	23,16
15	10,2	13,2	3,65	8,21	12,77	17,33	21,89
16	9,6	12,4	3,46	7,78	12,10	16,42	20,74
17	9,0	11,6	3,23	7,26	11,29	15,32	19,35
18	8,5	11,0	3,07	6,91	10,75	14,59	18,43
18,8 (Théorie)	8,16	10,5	2,94	6,61	10,28	13,95	17,63

Perte par combustion incomplète. — Si C est le pourcentage de carbone par kilogramme de combustible transformé en oxyde de carbone, Q le pouvoir calorifique du carbone brûlant à l'état de CO², q le pouvoir calorifique du carbone brûlant à l'état de CO, la valeur de la perte est :

$$P_1 = \frac{C}{100} (Q - q).$$

Perte par escarbilles. — Si f est le pourcentage de carbone ayant passé dans les cendres, Q le pouvoir calorifique du combustible, la valeur

de la perte est :

$$P_c = \frac{f}{100} Q.$$

2. Méthodes économiques de contrôle industriel. — Nous nous plaçons ici au point de vue essentiellement pratique, celui, par exemple, d'un industriel désireux de supprimer le gaspillage évident du charbon qui prend place dans une chaufferie non surveillée mais qui, cependant, ne veut pas voir ladite chaufferie se transformer en un coûteux laboratoire de mesures.

Tout d'abord, il convient de différencier nettement le *réglage du contrôle permanent*. Le « réglage » se fait une fois de temps en temps; il consiste à consacrer quelques jours à étudier le fonctionnement des générateurs, à examiner la valeur des pertes et les moyens de les réduire, à faire un essai de vaporisation pour déterminer le meilleur combustible ou mélange de combustibles, à rechercher, en un mot, les conditions de marche donnant la tonne de vapeur au plus bas prix.

Le *contrôle permanent*, au contraire, comme son nom l'indique, comprend les instruments enregistrant à poste fixe, chaque jour, les caractéristiques de l'installation dont le chef d'usine doit avoir connaissance quotidiennement pour savoir si tout a fonctionné correctement : c'est l'œil du maître dans la chaufferie, et de plus un « guide » permanent pour le personnel, qui s'inspire des indications des instruments pour surveiller et maintenir la bonne allure des feux.

Un bon système de contrôle permanent comprend :

1° *A chaque foyer* un appareil permettant d'apprécier le travail du chauffeur et lui servant à la fois de guide et de base pour l'attribution de primes. Les doseurs d'air *Izart Simplex* (pour grilles à main) et *Duplex* (pour foyers mécaniques) sont classiques dans les chaufferies modernes; ils ont fait leur preuve en cette matière difficile par une expérience de quinze ans;

2° *A chaque cheminée ou groupe de générateurs*, un poste servant de vérification *a posteriori* pour le chef d'usine. Les diagrammes à relever sont :

La pression (et la température en cas de surchauffe) au collecteur général;

La dépression au carneau général;

La température des fumées au carneau général;

Le O_2/CO_2 des fumées au carneau général par Unographe.

3. Analyseurs de gaz. — Pour les mesures précises, il est nécessaire d'employer un analyseur à manipulation permettant de doser

non seulement CO_2 , mais encore O dans un échantillon moyen prélevé au moyen d'un échantillonneur automatique; le simple enregistrement de la teneur en CO_2 est insuffisant pour un réglage :

La diminution de l'acide carbonique (excès d'air) peut en effet être due à des causes diverses: registre trop ouvert, grille dégarnie ou mal garnie, fissures dans la maçonnerie ou effondrement de chicanes, etc., et ces diverses causes produisant le même effet, il est impossible de les identifier après coup. Un bon diagramme d'acide carbonique laisse

place lui-même à une certaine indécision, car on n'a aucune idée de l'allure de combustion à laquelle il a été obtenu; on peut, en effet, obtenir facilement de beaux diagrammes aux allures de combustion réduites, mais alors, brûlant peu de combustible, on produit évidemment peu de vapeur.

Bref, au point de vue technique, l'analyseur enregistrant est un outil dont les indications sont insuffisantes.

Pour cette raison, certaines usines préfèrent à l'analyseur automatique enregistreur de CO_2 le contrôle par batteries d'échantillonneurs automatiques (un par chaudière) avec analyse par Orsat à trois burettes permettant le

FIG. 69. — Modèle robuste transportable d'Orsat (Établissement Izart).

dosage de CO_2 , CO et O sur l'échantillon moyen correspondant à chaque chaudière.

La figure 70 représente un poste de ce genre pour centrale de force motrice établi par les Établissements Izart; les échantillonneurs « *Simplicia* » tout en cuivre, sont reliés aux chaudières par des conduites capillaires en cuivre, et l'appareil est réglable pour que le remplissage se fasse en une heure jusqu'à huit heures. L'analyse complète de l'échantillon moyen ainsi prélevé peut se faire avec un appareil classique, burette, etc.; nous signalons l'Orsat-Izart et la nouvelle construction de la figure 69 particulièrement simple et robuste, en verre épais qui, en conservant les qualités de précision de l'Orsat, en fait un appareil industriel adapté aux besoins des chaufferies.

4. **Analyseur physique « Unographe ».** — Les analyseurs enregistreurs de CO_2 , à manipulation chimique, sont fragiles, coûteux et assez fréquemment peu sûrs comme indication; on cherche depuis

longtemps à mettre au point des analyseurs physiques (interférences, résonances, densité, balances, etc.), qui obvièrent à ces inconvénients.

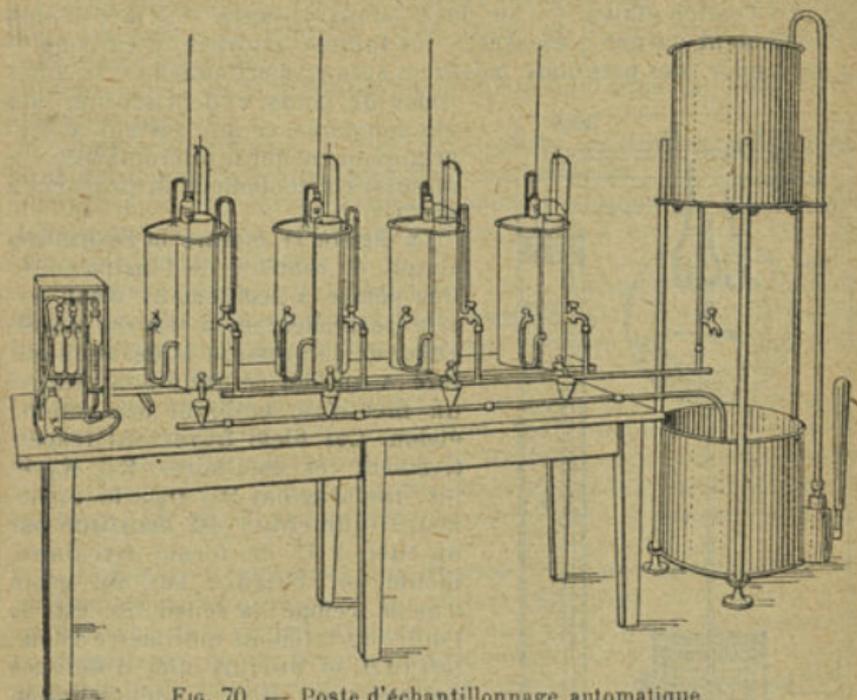


Fig. 70. — Poste d'échantillonnage automatique des fumées pour une batterie de quatre chaudières (Etabl. Izart).

La question paraît être résolue par l'Unographe du Dr Dommer (1), qui présente des qualités de robustesse et de simplicité très supérieures à ce qui a été fait jusqu'ici, et en font un appareil pratique, industriellement parlant.

L'instrument est basé sur un principe physique aussi simple que précis : l'écoulement des gaz à travers un orifice calibré et un tube capillaire ; la physique enseigne, par des lois bien connues, que la perte de charge ou résistance d'écoulement dépend du poids spéci-

(1) Voir Izart, L'Unographe nouvel enregistreur de CO_2 , dans *Chaleur et Industrie*, octobre 1920. Demander notice aux Établissements Izart, à Sannois (Seine-et-Oise).

fique des gaz dans le cas du diaphragme, de la viscosité de ces gaz dans le cas du capillaire; les deux effets s'ajoutent pour aboutir à une pression aisément mesurable avec un manomètre sensible.

Par suite, si l'on compare entre elles la pression d'écoulement d'un gaz pris comme étalon — l'air dans la circonstance — à la pression d'écoulement du gaz à essayer — les fumées aspirées au carneau — la différence des pressions mesurées sera proportionnelle à la différence de poids et de viscosités des gaz comparés, ce qui revient à dire pratiquement que le micromanomètre mesurera directement la proportion de CO_2 .

La figure 71 montre la réalisation simple et robuste de l'instrument : une pompe à écoulement d'eau aspire parallèlement à travers un régulateur de pression et de température A un filet de gaz à analyser, et un filet d'air ambiant pris comme étalon. Ces filets traversent respectivement les capillaires K_1 , K_2 et les diaphragmes D_1 , D_2 ; le manomètre différentiel est constitué par un tube à U de forme circulaire, monté en balance sur un grain d'acier trempé; la sensibilité est de l'ordre du $1/100$ du millimètre d'eau; lorsqu'il se produit une différence de pression, il y a dénivellation proportionnelle du niveau de liquide dans les deux branches du tube en U, par suite déplacement d'équilibre, et l'index de la balance, constitué par une aiguille enregistreuse,

se déplace pour ramener l'équilibre; le pourcentage d'acide carbonique se trouve ainsi enregistré de façon continue sur le diagramme.

Le tableau ci-dessous montre l'exactitude suffisante de l'Unographe par étalonnage précis à l'appareil Orsat :

Le tableau ci-dessous montre l'exactitude suffisante de l'Unographe par étalonnage précis à l'appareil Orsat :

Orsat	0/0 CO_2	5,0	8,0	12,2	15,1	19,8	20,6	0/0
Unographe	0/0 CO_2	5,1	8,2	12,4	14,7	19,4	19,9	
Différence		+ 0,1	+ 0,2	+ 0,2	- 0,4	- 0,4	- 0,3	
Moyenne : 0,1 0/0.								

5. **Postes de mesures et de réglage.** — Les mesures à faire sont : l'analyse des gaz, la température des fumées, la mesure des pressions-dépressions (appelées couramment tirage) en divers points du circuit.

Les Établissements Izart à Sannois (S.-et-O.) se sont spécialisés dans les postes de contrôle pour essais en usine, réunis sur une petite table roulante.

Le poste qui suffit à toutes les mesures courantes de bilan thermique comprend :

1 thermomètre-canne à tige de 2 mètres, graduation jusqu'à 500° pour mesure de la température dans les carneaux ;

1 déprimomètre enregistreur transportable mesurant depuis une dépression de — 40 millimètres d'eau jusqu'à une surpression de + 40 millimètres d'eau ;

1 analyseur Orsat à deux burettes, avec échantillonneur automatique ; le tout dans une même boîte transportable. L'échantillonneur est indispensable, les analyses devant se faire sur un échantillon moyen d'au moins une heure.

Pour les mesures courantes, deux laboratoires à l'Orsat suffisent ; on peut, connaissant la teneur en O et en CO² des fumées, préciser de façon certaine la présence ou non de CO. Nous avons créé un modèle d'Orsat extra-léger, à deux burettes, très maniable et facilement transportable, qui convient tout spécialement pour les mesures en usine.

6. **Contrôle permanent par doseur d'air enregistreur.** — Les différentes caractéristiques du réglage étudiées, on relèvera à la grille avec le type d'enregistreur que nous avons baptisé *Doseur d'air*(1), le diagramme de dépression correspondant. Ce diagramme devient une véritable photographie de l'état du feu le plus convenable, et il suffit alors de chercher à le reproduire quotidiennement pour être certain qu'on marche chaque jour dans des conditions satisfaisantes.

C'est là ce que nous appelons le *contrôle permanent*.

Un système de contrôle, pour s'appliquer avec succès, doit employer des instruments *pratiques*. Donc, premier point : robustesse et simplicité, qui doivent passer avant même les qualités techniques d'exactitude ou de précision.

Le second point, toujours au point de vue industriel, doit être l'enregistrement. Chaque matin, le directeur, arrivant à son bureau, doit juger d'un coup d'œil ce qui s'est passé, de façon à pouvoir rechercher la cause des troubles si le diagramme lui en révèle.

Il vaut mieux ne pas mettre d'appareil de contrôle du tout que de mettre des appareils simplement indicateurs, ce que l'on fait trop souvent pour des raisons d'économie irréfléchie. Il est simple de comprendre que des appareils de mesures ne doivent relever que

(1) Demander notice aux Établissements Izart à Sannois (Seine-et-Oise).

du haut personnel d'une usine et que ce haut personnel ne peut passer son existence à inscrire sur des carnets les indications des cadrans.

En second lieu, pour ce qui est du phénomène à contrôler, on peut hésiter entre l'analyse des gaz au registre ou la mesure de la dépression au foyer.

Nous employons de préférence la seconde méthode, car on ne peut accorder aucune confiance, comme nous venons de le dire, aux enregistreurs d'acide carbonique. La faillite de ces appareils, au point de vue pratique, a été complète; ils sont fragiles, délicats, coûteux. Si l'on veut qu'ils indiquent quelque chose, il faut absolument les confier aux soins de quelqu'un de compétent et de minutieux. Ce n'est pas tout encore: leurs indications sont impossibles à interpréter si l'on n'a pas été présent lors de l'enregistrement du phénomène; en un mot, si le diagramme indique bien que la marche a été bonne ou mauvaise, il ne dit pas *pourquoi* elle a été bonne ou mauvaise.

La diminution de l'acide carbonique (excès d'air) peut en effet être due à des causes diverses: registre trop ouvert, grille dégarnie ou mal garnie, fissures dans la maçonnerie ou effondrement de chicanes, etc., et ces diverses causes produisant le même effet, il est impossible de les identifier après coup. Un bon diagramme d'acide carbonique laisse place lui-même à une certaine indécision, car on n'a aucune idée de l'allure de combustion à laquelle il a été obtenu; on

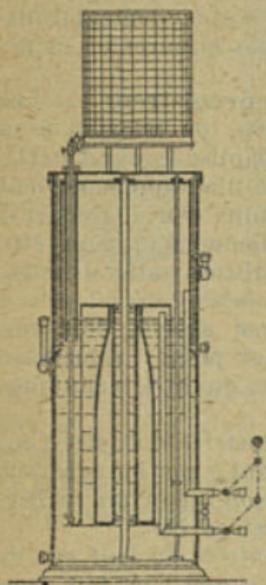


FIG. 72. — Doseur d'air enregistreur Simplex, système Izart pour grille à main.

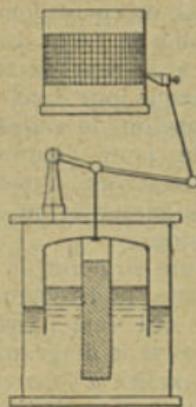


FIG. 73. Construction défectueuse (amplific. par leviers).

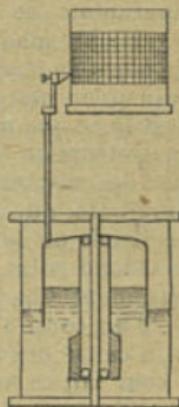


FIG. 74. Bonne construction (amplification directe). Syst. Izart.

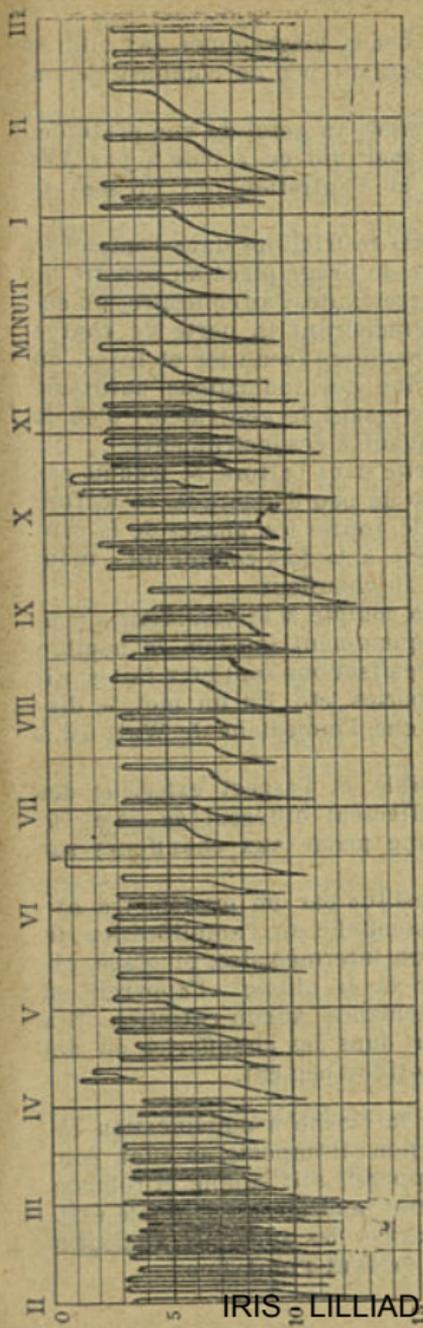


Fig. 75. - Diagramme de Doseur d'air Izart. Mauvaise combustion; chargements espacés, dépression irrégulière.

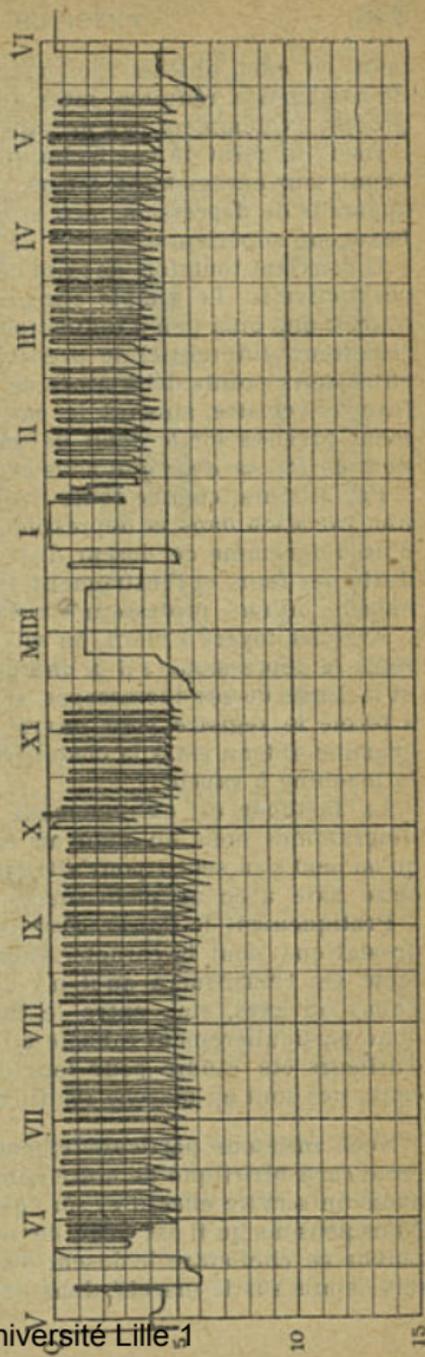


Fig. 76. - Diagramme de Doseur d'air Izart. Bonne combustion; chargements et dépression réguliers.

peut, en effet, obtenir facilement de beaux diagrammes aux allures de combustion réduites, mais alors, brûlant peu de combustible, on produit évidemment peu de vapeur.

Bref, au point de vue technique comme au point de vue pratique, l'analyseur enregistreur est un outil cher qui ne « paie » pas. Les appareils de dépression, peu coûteux et d'entretien nul, lui sont de beaucoup supérieurs.

Il convient toutefois de faire certaines restrictions dans l'emploi de ces appareils. Le simple enregistreur de tirage placé au registre ne fournit que bien peu d'indications intéressantes; au contraire, un enregistreur différentiel de pression, enregistrant la perte de charge entre deux points déterminés de la chaudière (cendrier et foyer, ou foyer et registre, suivant le cas), donne des indications suffisamment précises sur le débit de gaz traversant le générateur, d'où le nom de *Doseur d'air* que nous avons donné à ces instruments.

Par ailleurs, comme toute irrégularité dans l'allure se traduit par une variation dans la dépression, avec un peu d'habitude, la lecture d'un diagramme de doseur d'air révèle toutes les phases de la conduite des feux, et l'instrument se révèle à la fois comme un « moucharde » ou un « professeur » vis-à-vis du chauffeur.

Avec les foyers à main, on se rendra compte si le chauffeur a bien réglé la dépression, s'il a chargé fréquemment son feu, le nombre et la durée de ses décrassages, si ses égalisations sont bien faites, s'il a fermé le registre pour ouvrir les portes, etc. En un mot, le diagramme obtenu est à la chaudière ce que l'indicateur de Watt est à la machine à vapeur.

La méthode est extrêmement sensible et l'aspect extérieur des diagrammes bons ou mauvais est tellement différent (*fig. 75 et 76*) qu'on peut s'en servir pour attribuer une prime aux chauffeurs sur cette base avec un plein succès.

Pratiquement le *Doseur d'air* est constitué par un manomètre hydrostatique dont la caractéristique essentielle est l'amplification directe. On remarquera qu'il n'y a aucun intermédiaire, pivotage, pignons ou axes, etc., entre le flotteur et la plume: l'appareil est donc particulièrement robuste et ne demande aucun entretien. Il a d'ailleurs été étudié pour fonctionner dans les chaufferies où des centaines sont en marche régulière quotidiennement.

Nous insistons particulièrement sur la cloche à amplification directe caractéristique de notre construction; il importe, en effet, pour avoir un service effectif et sûr, que l'appareil soit simple et robuste. Nous pensons qu'il est utile de souligner la différence capitale existant de ce chef entre le doseur d'air Izart et des appareils analogues mis depuis sur le marché dans un but évident d'imitation.

7. Contrôle des foyers mécaniques par doseur « Duplex ».

— Dans les installations modernes munies de foyers mécaniques, l'extension du tirage soufflé ou équilibré permet un mode de contrôle très exact que nous avons réalisé avec plein succès dans diverses centrales, à l'aide du doseur « Duplex ».

L'enregistrement de la différence de pression au foyer, avec une seule aiguille, suffisant pour la chauffe à la main, ne l'est plus pour les grilles mécaniques.

Nous avons présenté à l'Exposition d'instruments de contrôle organisée par l'Office central de Chauffage rationnelle notre nouveau doseur « Duplex », établi spécialement pour le contrôle des foyers automatiques; cet appareil (fig. 77) n'est pas autre chose que la réunion en une seule carcasse de deux cloches manométriques de notre type ordinaire; les deux aiguilles inscrivent leurs indications sur le même diagramme, et c'est de l'allure relative des deux courbes enregistrées que l'on peut déduire aisément la correction à apporter aux réglages du foyer ou du ventilateur.

Le zéro du diagramme est au milieu de l'échelle, de façon à ce que l'instrument puisse enregistrer indifféremment soit des pressions, soit des dépressions, suivant que le foyer fonctionne avec vent sous grille ou par aspiration.

L'analyse des gaz et l'enregistrement de température ne sont, venons-nous de dire, que la « constatation des résultats »; l'organe essentiel d'exécution est le déprimomètre doseur d'air.

On connaît le principe de la méthode que nous avons appliquée depuis plus de quinze ans; si l'on mesure, à l'aide d'un manomètre sensible, la pression en deux points d'un circuit d'écoulement de gaz, la variation de cette différence de pression permet d'interpréter tous les incidents du régime d'écoulement.

Dans la circonstance présente le circuit sera la chaudière, et le point de mesure intéressant sera la grille; selon que l'épaisseur de combustible est plus ou moins grande, que le charbon cokéfié est plus ou moins compact, que les trous sont plus ou moins nombreux, la vitesse d'avancement plus ou moins grande, etc., le débit d'air qui traverse la grille varie et par suite le diagramme enregistré présente des incidents de route qui sont l'image même des incidents de la combustion au fur et à mesure qu'ils se présentent.

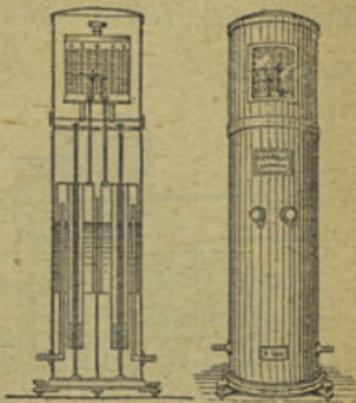


FIG. 77. — Doseur d'air « Duplex » pour foyers mécaniques.

Ces incidents de route sont faciles à interpréter avec un peu de pratique, et l'on sait ainsi, à chaque instant, s'il faut réduire ou augmenter l'épaisseur de charbon ou la vitesse de grille, s'il faut égaliser par les ouvreaux, s'il faut accroître ou diminuer la pression d'aspiration ou de soufflage, etc.

On se rend aisément compte par ce court exposé que le doseur d'air est un auxiliaire véritablement précieux pour le conducteur de foyers automatiques ; en fait, après avoir essayé un peu de tous les modes

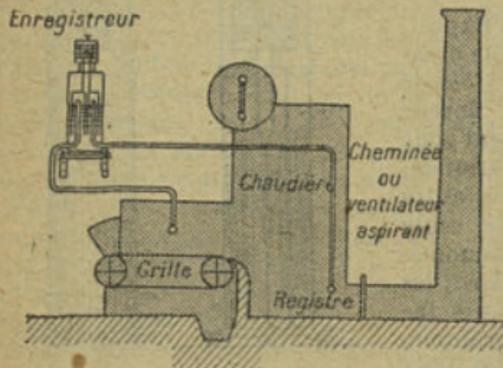


FIG. 78. — Contrôle par « Duplex » en dépression.

de contrôle, c'est la pratique même qui nous a conduit à créer ce moyen de réglage.

Examinons d'un peu plus près les modalités d'application : les installations de foyers mécaniques se sont faites au début presque exclusivement à tirage en dépression, l'aspiration ayant lieu soit par cheminée, soit par ventilateur direct, soit le plus souvent par tirage induit Prat.

C'est le cas de la figure 78

le cendrier est ouvert à l'atmosphère (pression zéro) ; la chaudière est en dépression constante depuis le foyer jusqu'à la cheminée.

Puis, devant le coût excessif des calibrés choisis mi-gras, que l'on considèrerait comme seuls convenables aux foyers à grilles mécaniques, on a cherché à utiliser des combustibles courants plus maigres et plus cendreaux ; on y est parvenu en soufflant sous la grille par ventilateurs, et les grilles soufflées se sont très rapidement répandues, au point qu'on les installe presque exclusivement aujourd'hui.

C'est le cas de la figure 79 : le cendrier est clos ; la pression va graduellement d'une valeur positive sous la grille à

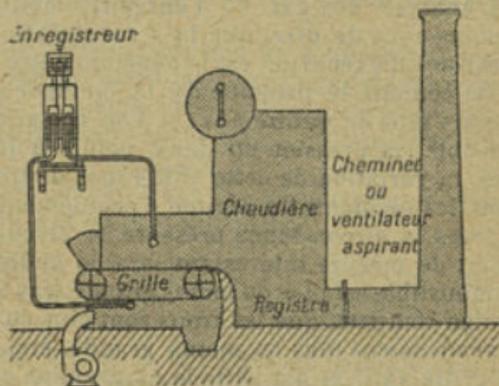


FIG. 79. — Contrôle de foyer soufflé par « Duplex ».

une valeur négative au registre, avec la pression zéro au foyer, (ce qui est nécessaire pour éviter les refoulements de fumée).

Le « Duplex » permet de contrôler avec facilité et précision le mode de fonctionnement des foyers dans ces deux cas courants de la pratique.

8. Contrôle des tirages combinés par « Triplex ». — Dans les grandes centrales modernes on emploie de plus en plus deux ventilateurs conjugués pour la circulation d'air: l'un soufflant sous la grille pour réaliser la pression équilibrée au foyer, l'autre aspirant à la cheminée, généralement un système Prat. Les Établissements Izart ont établi un doseur spécial « Triplex » dont les trois aiguilles donnent la pression du vent soufflé, la pression dans le foyer et la dépression d'aspiration à la cheminée; cet appareil est indispensable pour régler en connaissance de cause la vitesse de l'un des ventilateurs par rapport à l'autre; le montage est indiqué sur la figure 80 schématique.

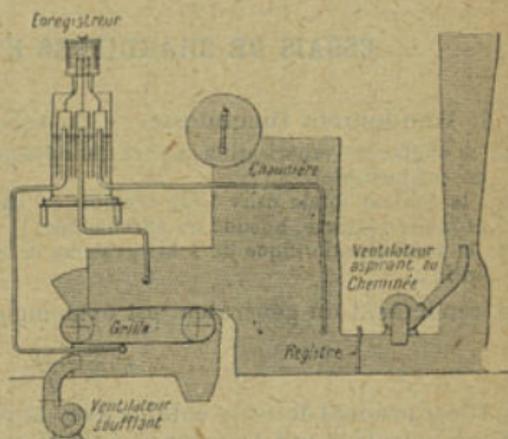


FIG. 80. — Doseur « Triplex » pour tirage équilibré par ventilateurs conjugués.

CHAPITRE VIII

GÉNÉRATEURS DE VAPEUR ET ACCESSOIRES

ESSAIS DE CHAUDIÈRES ET RENDEMENT

1. Rendement thermique. — En appelant :

x , le chiffre de vaporisation atteint (kilogrammes de vapeur par kilogramme de combustible) ;

λ_0 , la chaleur totale dans 1 kilogramme de vapeur dans l'état où elle a été produite (saturée, humide ou surchauffée) ;

Q , le pouvoir calorifique de 1 kilogramme de combustible dans l'état où il a été brûlé ;

le rendement du générateur est évidemment

$$\eta = \frac{x\lambda_0}{Q}.$$

Il est prudent de tenir compte avec la vapeur saturée de la quantité d'eau entraînée par primage (1 à 6 0/0 suivant les chaudières) lequel majore le chiffre de vaporisation.

Dans les installations modernes; on est arrivé à dépasser 90 0/0 de rendement global; ce dernier dépend plus encore d'une étude rationnelle des surfaces d'échange que d'une combustion parfaite.

En pratique on ne peut guère obtenir plus de 12 0/0 CO_2 moyens; par contre on peut toujours abaisser la température de sortie des fumées. Le graphique (fig. 8f) indique les limites réalisées dans diverses centrales allemandes.

2. Chaleur dans la vapeur (1). — Les valeurs de λ_0 à faire figurer dans la formule du rendement thermique sont des valeurs nettes, déduction faite de la température à laquelle est introduite l'eau d'alimentation.

On a : $\lambda_0 = \lambda - q$; q étant la chaleur du liquide et λ la chaleur totale:

A. — Vapeur saturée sèche. — Les valeurs de λ pour la vapeur saturée sèche sont données directement dans la table du chapitre III pour les pressions comprises en 0,1 et 20 kilogrammes-centimètres carrés.

(1) Voir les tables du chap. III, paragraphe *Propriétés de la vapeur d'eau*.

B. — *Vapeur surchauffée.* — On ajoutera à la chaleur de la vapeur saturée la quantité de chaleur nécessaire pour porter la vapeur de la température de saturation à la température de surchauffe. Ces chaleurs sont données au chapitre III.

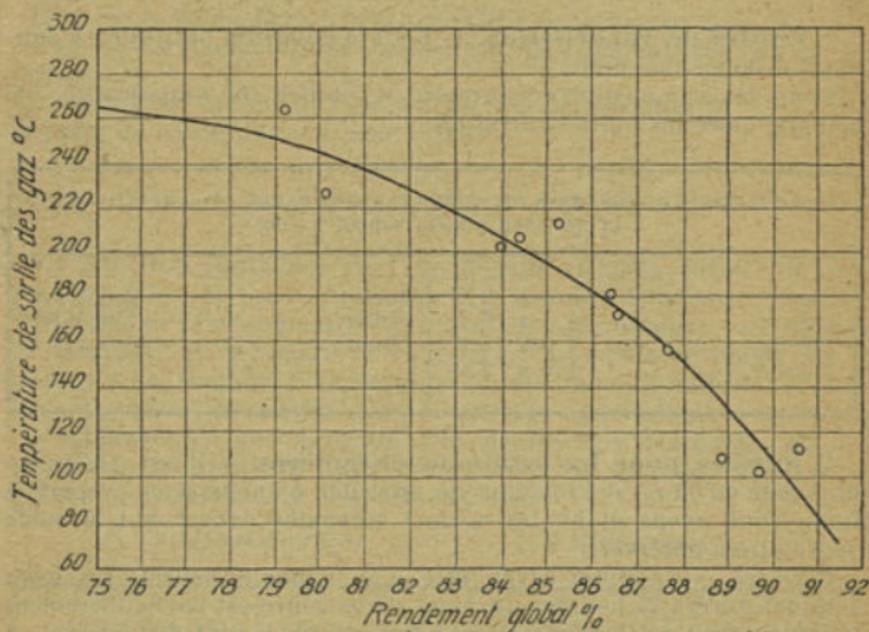


FIG. 81.

EXEMPLE. — La vapeur saturée sèche à la pression absolue 10 kilogrammes possède une chaleur totale de 661,06; la vapeur à cette même pression et à la température de surchauffe de 325° possède une chaleur totale λ de $661,06 + 78,4 = 739,46$ col.

C. — *Vapeur humide.* — On dit qu'une vapeur est au titre x , lorsque 1 kilogramme de cette vapeur humide contient x kilogramme de vapeur sèche et $(1 - x)$ kilogramme d'eau vésiculaire.

Pour calculer la chaleur totale, on emploiera l'expression :

$$\lambda = q + rx.$$

EXEMPLE. — Quelle est la chaleur totale dans 1 kilogramme de vapeur saturée à 8 kilogrammes absolus présentant 5 0/0 d'eau entraînée mécaniquement ?

La chaleur du liquide pour 8 kilogrammes est 171,49 et la chaleur

de vaporisation $r = 486,69$; la chaleur totale de la vapeur dans l'état considéré est donc :

$$\lambda = q + rx = 171,49 + 486,69 \times 0,95,$$

$$\lambda = 634,6 \text{ calories.}$$

3. Chiffre de vaporisation. — C'est le critérium pratique du rendement d'une chaudière.

Pour les combustibles courants, le chiffre de vaporisation est compris entre les limites suivantes :

VAPORISATIONS EN KILOGRAMMES DE VAPEUR PAR KILOGRAMME DE COMBUSTIBLE BRUT ET SEC (eau à zéro, vapeur à 100°)			
Houille.....	5,5 à 9,0	Bois.....	2,0 à 3,0
Coke.....	4,5 à 6,5	Paille.....	1,0 à 1,5
Lignite.....	2,0 à 5,0	Tannée.....	0,5 à 1,0
Tourbe.....	1,5 à 2,0		

4. Normes pour les essais de chaudières. — Il est beaucoup plus aisé qu'on ne se l'imagine de procéder à un essai de vaporisation. Nous avons établi les normes suivantes concernant le mode opératoire à observer :

1° *Durée.* — La durée devra être d'au moins 8 heures. Un essai complet durera 24 heures; un essai de ce genre est particulièrement indiqué pour les usines marchant à feu couvert la nuit, de façon à connaître et analyser les pertes pendant l'arrêt.

2° *Mise en route et arrêt.* — On procède à un décrassage préalable et, après avoir retrouvé la pression normale, le niveau normal et l'allure de combustion normale, on arrête la pompe, puis on estime simultanément :

- 1° La hauteur des feux ou leur poids;
- 2° La hauteur des niveaux (qu'on fixe par une ficelle rouge),
- 3° La hauteur d'eau dans la bûche (ou le chiffre du compteur).

L'essai part de cette dernière mesure et, aussitôt après, l'on met en route l'alimentation.

Mêmes séries de manœuvres avant l'arrêt; on s'arrangera pour stopper au moment précis où les conditions initiales se retrouveront exactement, afin d'éviter les erreurs et corrections.

Le décrassage doit précéder l'arrêt de la même durée qu'il avait précédé la mise en route, afin d'avoir la quantité exacte de résidus.

Pour les corrections de niveau, lorsqu'on ne peut les éviter, il faut noter si le niveau final est *plus bas* que le niveau initial, il faut *ajouter*

au chiffre mesuré un poids P qui est le poids d'eau à la température T de la vapeur correspondant à la différence des niveaux.

Si le niveau final est plus haut que le niveau initial, il faut déduire du chiffre mesuré un poids p qui, converti en vapeur, aurait absorbé la même quantité de calories que le poids P en a absorbé par simple échauffement dans la chaudière.

Si P est le poids d'eau à la température de la vapeur T ;
 t et T , les températures respectives de l'alimentation et de la vapeur;

λ , la chaleur latente de vaporisation à la température T
le poids de correction p a pour valeur :

$$p = \frac{P(T - t)}{(P - t) + \lambda}$$

La table des dilatations de l'eau donnée ci-après permet de calculer les poids de l'eau, connaissant les volumes à la température T .

3° Poids de charbon ; son échantillonnage ; son analyse. — Le poids de combustible s'évaluera en comptant l'intervalle de temps mis à employer le contenu d'un récipient ou sac de poids déterminé, pesé à chaque fois. On mettra dans la colonne observations la cause de l'irrégularité, s'il s'en présente une (décrassage, surcharge, etc...). Ce moyen est le plus sûr pour éviter l'erreur ou omission d'un sac.

Exemple de carnet du poids de charbon :

Poids net d'un sac..... 50 kilogrammes.

NOMBRE DE SACS	HEURE DE LA PESÉE	INTERVALLE	OBSERVATIONS
1	9 h. 6		
2	9 h. 11	5 minutes	
3	9 h. 17	6 —	
4	9 h. 22	5 —	
5	9 h. 28	6 —	

Les poids de charbon comme le poids d'eau seront portés sur un graphique en fonction du temps ; on pourra ainsi déduire de la ligne obtenue les irrégularités de marche durant l'essai.

Le prélèvement des échantillons, tant pour l'humidité que pour l'analyse, se fera en mettant de côté, à chaque sac pesé, une pelletée ; le tas obtenu sera subdivisé par la méthode des secteurs opposés jusqu'à réduction à un échantillon de 5 kilogrammes qu'on étendra, pour dessécher, sur le massif de la chaudière.

Table des poids et dilatation de l'eau.

TEMPÉRA- TURE en degrés cen- tigrades — t en degrés	RAPPORT du volume au volume de poids égal à la température du maximum de densité — V en litres	TEMPÉRA- TURE en degrés cen- tigrades — t en degrés	RAPPORT du volume au volume de poids égal à la température du maximum de densité — V en litres	TEMPÉRA- TURE en degrés cen- tigrades — t en degrés	RAPPORT du volume au volume de poids égal à la température du maximum de densité — V en litres
0	1,000129	36	1,006276	72	1,023402
1	1,000072	37	1,006622	73	1,024008
2	1,000031	38	1,006968	74	1,024614
3	1,000009	39	1,007314	75	1,025220
4	1,000000	40	1,00766	76	1,025864
5	1,00001	41	1,00806	77	1,026508
6	1,000058	42	1,00846	78	1,027152
7	1,000106	43	1,00886	79	1,027796
8	1,000154	44	1,00926	80	1,02844
9	1,000202	45	1,00966	81	1,029112
10	1,000250	46	1,010086	82	1,029784
11	1,000398	47	1,010512	83	1,030456
12	1,000546	48	1,010938	84	1,031128
13	1,000694	49	1,011364	85	1,03180
14	1,000842	50	1,01179	86	1,032516
15	1,000990	51	1,01226	87	1,033232
16	1,00115	52	1,01273	88	1,033948
17	1,00131	53	1,0132	89	1,034664
18	1,00147	54	1,01367	90	1,03538
19	1,00163	55	1,01414	91	1,03612
20	1,00179	56	1,01464	92	1,03686
21	1,002032	57	1,01514	93	1,03760
22	1,002274	58	1,01564	94	1,03834
23	1,002516	59	1,01614	95	1,03908
24	1,002758	60	1,01664	96	1,039866
25	1,00300	61	1,017178	97	1,040652
26	1,00326	62	1,017716	98	1,041438
27	1,00352	63	1,018254	99	1,042224
28	1,00378	64	1,018792	100	1,04301
29	1,00404	65	1,019330	101	1,043816
30	1,00430	66	1,019902	102	1,044622
31	1,004626	67	1,020474	103	1,045428
32	1,004952	68	1,021046	104	1,046234
33	1,005278	69	1,021618	105	1,047040
34	1,005604	70	1,02219	106	1,047898
35	1,005930	71	1,022796	107	1,048756

Table des poids et dilatation de l'eau.

TEMPÉRA- TURE en degrés cén- tigrades — t en degrés	RAPPORT du volume au volume de poids égal à la température du maximum de densité — V en litres	TEMPÉRA- TURE en degrés cén- tigrades — t en degrés	RAPPORT du volume au volume de poids égal à la température du maximum de densité — V en litres	TEMPÉRA- TURE en degrés cén- tigrades — t en degrés	RAPPORT du volume au volume de poids égal à la température du maximum de densité — V en litres
108	1,049614	144	1,084718	180	1,12888
109	1,050472	145	1,08579	181	1,13082
110	1,051330	146	1,086934	182	1,13152
111	1,052204	147	1,08808	183	1,13296
112	1,053078	148	1,08922	184	1,13420
113	1,053952	149	1,09037	185	1,13554
114	1,054826	150	1,09151	186	1,13708
115	1,05570	151	1,09265	187	1,13840
116	1,056628	152	1,09379	188	1,13983
117	1,057556	153	1,09493	189	1,14125
118	1,058484	154	1,09607	190	1,14278
119	1,059412	155	1,09721	191	1,14410
120	1,060340	156	1,09835	192	1,14550
121	1,06128	157	1,09949	193	1,14691
122	1,06222	158	1,10065	194	1,14831
123	1,06316	159	1,10180	195	1,14972
124	1,06410	160	1,10298	196	1,15122
125	1,06504	161	1,10418	197	1,15272
126	1,06604	162	1,10569	198	1,15421
127	1,06704	163	1,10689	199	1,15571
128	1,06804	164	1,10809	200	1,15720
129	1,06904	165	1,10930	201	1,15860
130	1,07004	166	1,11059	202	1,16017
131	1,07105	167	1,11188	203	1,16165
132	1,07206	168	1,11316	204	1,16312
133	1,07307	169	1,11445	205	1,16450
134	1,07408	170	1,11574	206	1,16617
135	1,07509	171	1,11701	207	1,16763
136	1,07616	172	1,11829	208	1,16929
137	1,07723	173	1,11956	209	1,17086
138	1,07829	174	1,12084	210	1,17232
139	1,07936	175	1,12211	211	1,17328
140	1,08043	176	1,12346	212	1,17595
141	1,081502	177	1,12482	213	1,17669
142	1,082574	178	1,12617	214	1,17852
143	1,083648	179	1,12753	215	1,18000

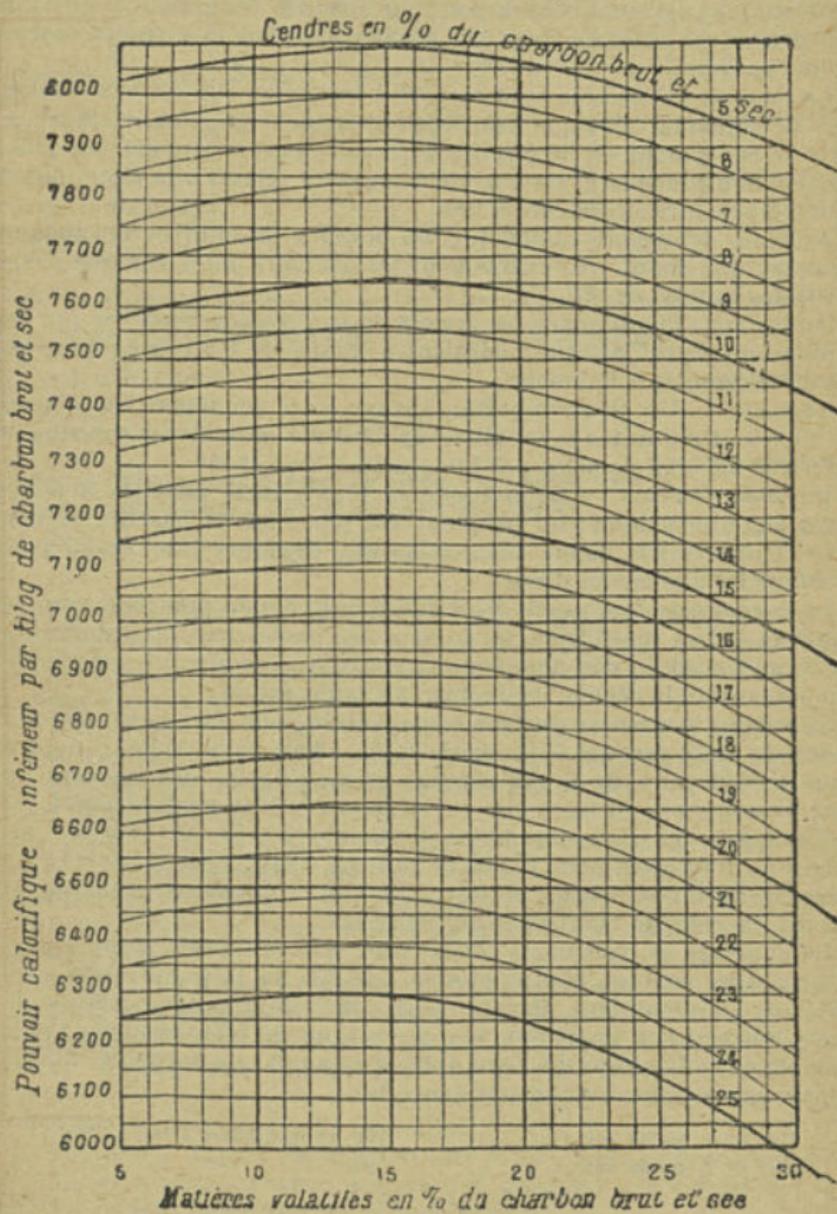
IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Table des poids et dilatation de l'eau.

TEMPÉRA- TURE en degrés cen- tigrades — t en degrés	RAPPORT du volume au volume de poids égal à la température du maximum de densité — V en litres	TEMPÉRA- TURE en degrés cen- tigrades — t en degrés	RAPPORT du volume au volume de poids égal à la température du maximum de densité — V en litres	TEMPÉRA- TURE en degrés cen- tigrades — t en degrés	RAPPORT du volume au volume de poids égal à la température du maximum de densité — V en litres
216	1,18169	245	1,23070	273	1,28356
217	1,18333	246	1,23254	274	1,28550
218	1,18497	247	1,23438	275	1,28744
219	1,18660	248	1,23622	276	1,28949
220	1,18824	249	1,23806	277	1,29153
221	1,18984	250	1,23990	278	1,29358
222	1,19145	251	1,24170	279	1,29563
223	1,19305	252	1,24351	280	1,29768
224	1,19465	253	1,24531	281	1,29968
225	1,19626	254	1,24712	282	1,30169
226	1,19796	255	1,24892	283	1,30369
227	1,19967	256	1,25083	284	1,30569
228	1,20137	257	1,25274	285	1,30770
229	1,20307	258	1,25466	286	1,30982
230	1,20478	259	1,25657	287	1,31194
231	1,20645	260	1,25848	288	1,31406
232	1,20813	261	1,26035	289	1,31618
233	1,20980	262	1,26223	290	1,31830
234	1,21148	263	1,26410	291	1,32037
235	1,21315	264	1,26597	292	1,32245
236	1,21492	265	1,26785	293	1,32452
237	1,21669	266	1,26983	294	1,32659
238	1,21846	267	1,27181	295	1,32867
239	1,22023	268	1,27378	296	1,33085
240	1,22200	269	1,27576	297	1,33304
241	1,22374	270	1,27774	298	1,33522
242	1,22548	271	1,27968	299	1,33741
243	1,22722	272	1,28162	300	1,33959
244	1,22896				

Lorsque deux pesées successives donnent le même résultat, le charbon est dit industriellement sec ; c'est à cette base que doivent être rapportés tous les résultats, vaporisations, etc.

Pouvoir calorifique des charbons (Abaque Izart).



L'échantillon industriellement sec (qui contient encore l'eau hygroscopique) est subdivisé à son tour jusqu'à réduction à environ 500 grammes, enfermé dans un bocal cacheté à la cire et réservé pour l'analyse.

Le pouvoir calorifique sera mesuré à la bombe sur cet échantillon sec, ne contenant plus que l'eau hygroscopique; on établira les calculs de rendement sur le pouvoir *inférieur*, c'est-à-dire eau de combustion non condensée, les gaz étant toujours rejetés à la cheminée à une température supérieure à 100°.

A défaut de mesure calorifique, on prendra les chiffres de l'abaque ci-avant qui donne très exactement les pouvoirs inférieurs des combustibles usuels (fig. 82).

Nous avons montré dans un article de la *Technique moderne* que les indications de cet abaque cadraient à moins de 1 0/0 près avec les mesures directes à la bombe.

EXEMPLE. — Un charbon présentant *sur le sec* une teneur en cendres de 13 0/0 et en matières volatiles de 20 0/0 a un pouvoir calorifique inférieur de 7.350 calories par kilogramme brut et sec.

4° *Poids de l'eau.* — La méthode la plus exacte consiste à peser l'eau rigoureusement: un récipient est placé sur la bascule et l'on pèse chaque fois la même quantité d'eau, l'équilibre étant établi avec le robinet d'admission d'eau.

Le carnet est absolument analogue à celui donné plus haut pour le charbon et l'on surveillera le nombre des pesées par les intervalles de remplissages; ces données permettront d'établir un graphique témoignant de la régularité d'allure de vaporisation.

Si le débit à mesurer est trop considérable pour être pesé directement, on aura recours à la méthode des deux bacs jaugés; on aura soin d'employer pour le remplissage et la vidange des *robinets* au lieu de soupapes ou tampons, ces derniers fuyant généralement; si l'on emploie des récipients hauts de moins de 0,60, on évitera l'emploi d'un trop-plein pour régler la hauteur d'eau; celle-ci devra être mesurée avec une pointe; en outre, le fond inférieur sera conique ou bombé, la vidange étant faite au point bas.

Le jaugeage de chacun des deux bacs sera fait, l'eau étant à une température connue, la plus proche possible de la température probable de l'alimentation. Durant l'essai, on notera la température de chaque bac et l'on procédera aux corrections de température d'après la table des dilatations de l'eau donnée ci-après. Le carnet de mesurage d'eau est dans ce cas, par exemple:

Bac n° 1, poids net.....	100 kilogrammes d'eau à 39°,
Bac n° 2, poids net.....	97 —

BAC N° 1		BAC N° 2		INTERVALLE	TEMP.	REMARQUE
Nombre	Heure	Nombre	Heure	Minutes	Degrés	
1	9 h. 1	—	—	0	49	
—	—	1	9 h. 8	7	39	
2	9 h. 16	—	—	8	40	
—	—	2	9 h. 22	0	40	
3	9 h. 30	—	—	8	38	

Le poids d'eau injectée s'établira de la façon suivante :

Bac n° 1, vidé n fois.....	kilogrammes
Bac n° 2, vidé n fois.....	—
Fraction de bac vidé au moment de l'arrêt.....	_____
Ajouté ou déduit pour différence de niveau des repères dans la bâche d'alimentation à la mise en route et à l'arrêt.....	_____
Poids brut mesuré.....	=====

Sur ce poids brut doivent se faire : les corrections de température, les corrections pour fuites, eaux de retour, décharges des économiseurs, conduite alimentaire, etc..., les corrections des niveaux d'eau à la chaudière comme indiqué précédemment.

Si l'on veut faire un essai très précis, il faut, en outre, dans le cas où l'on n'emploie pas de forte surchauffe, procéder à un essai d'humidité dans la vapeur; la méthode la plus exacte est celle du calorimètre de surchauffe.

Les essais de vaporisation aux compteurs d'eau sont à proscrire, à moins de faire usage de compteurs ouverts à basculement qui, convenablement vérifiés, donnent des résultats exacts à 1 0/0 près, c'est-à-dire une erreur du même ordre de grandeur que celle des mesures aux bacs jaugés.

5° *Tirage; dépression à la grille; conduite du feu.* — Dans le cas d'essais avec chargement à la main, pour éliminer dans la mesure du possible l'irrégularité introduite par le facteur « chauffeur », on relèvera à l'aide d'un enregistreur de pression placé au foyer le nombre de chargements et d'égalisations, leur périodicité, ainsi que le nombre de décrassages et leur durée.

Le chauffeur, durant l'essai, doit être laissé à ses propres moyens de manière à se rapprocher autant que possible des conditions de fonctionnement courantes de la chaufferie.

6° *Analyse des gaz.* — On emploiera un appareil Orsat (1) pour analyser des moyennes relevées à l'aide d'un échantillonneur automatique; ces analyses moyennes seront faites d'heure en heure, et les résultats traduits sous forme de graphique, comme il a été dit pour l'eau et le charbon.

La prise devra se faire au registre, avant celui-ci, c'est-à-dire à l'intérieur de la chaudière, en un point voisin de celui où se fait la mesure des températures.

7° *Manomètres, thermomètres.* — On emploiera de préférence des enregistreurs, dûment étalonnés avant et après essai. A défaut d'enregistreurs, les lectures devront être faites de 1/4 d'heure en 1/4 d'heure de façon à établir un graphique se rapprochant le plus possible de la réalité.

Les thermomètres à employer de préférence seront à colonne de mercure; les appareils à cadran sont à écarter comme insuffisamment exacts.

Dans le cas de mesure des températures par des coupelles, celles-ci devront pénétrer suffisamment dans la conduite et le thermomètre suffisamment dans la coupelle pour qu'on puisse admettre que le réservoir du thermomètre est sensiblement au centre de la conduite.

La coupelle sera toujours tenue pleine d'huile ne se décomposant pas à la température à mesurer.

8° *Estimation des fumées.* — Si la fumivorté entre en ligne de compte, la densité des fumées sera estimée par la méthode de Max Ringelman, c'est-à-dire par comparaison avec 6 échelles de teintes allant du blanc au noir.

On établira un graphique des densités observées pour se rendre compte de l'allure générale de la fumivorté constatée.

9° *Résultats.* — Le terme de comparaison le plus exact est le rendement thermique en 0/0 ou rapport des calories recueillies sous forme de vapeur (dans un état déterminé par la siccité, la pression et la température) aux calories introduites au foyer sous forme de combustible brut et industriellement sec, dont on aura déterminé le pouvoir calorifique dans cet état, de la manière indiquée plus haut.

S'il n'est pas possible de déterminer le rendement thermique, on fera usage, comme terme de comparaison, du chiffre de vaporisation ramené en eau à zéro vapeur 100°, c'est-à-dire du nombre de kg. de vapeur sèche à 637 calories produit par kg. de combustible brut et industriellement sec introduit au foyer.

Les différentes caractéristiques résumant les résultats de l'essai seront inscrites sous forme tabulaire, alors que les chiffres exposant

(1) Voir le modèle transportable Izart-Orsat, décrit au paragraphe *Contrôle combustion.*

les variations des différentes mesures durant la marche de l'essai seront traduites sous forme de graphique.

CHAUDIÈRES. PROPORTIONS USUELLES (1)

1. **Types de chaudières.** — Nous n'avons pas la place de donner la description des principaux types.

Les multibouilleurs et les semi-tubulaires à bouilleurs sont de moins en moins employées avec juste raison.

Les chaudières à foyer intérieur conservent la faveur dans les industries à demande de vapeur irrégulière demandant un volant de vapeur important (chimie, mines, etc.). On améliore leur rendement et leur capacité de production en y adjoignant un faisceau supérieur à tubes de fumée (chaudières type Fairbairn) et un avant-foyer.

Les multitubulaires sont de beaucoup les plus employées étant donné leur grande capacité de production, qui permet de réaliser les unités importantes (jusqu'à 30.000 kilogrammes de vapeur à l'heure); elles deviennent de plus en plus courantes.

Les types les plus usités en France sont Belleville, Niclausse et Babcock; la faveur va de plus en plus, et avec juste raison, aux types à tubes verticaux Garbe et Kestner. Ce dernier générateur, vu ses avantages, se répand rapidement et est fréquemment adopté dans les installations neuves.

2. **Surface de chauffe des chaudières.** — Elle se calcule d'après l'allure de vaporisation, que donne le tableau ci-après, rapport de la production de vapeur en kilogrammes à l'heure à la surface de chauffe en mètres carrés.

Par suite des progrès réalisés par ailleurs en matière d'auxiliaires de chauffe, notamment par l'emploi de postes d'eau fournissant l'eau chaude et pure et d'installations de ramonage automatique, les surfaces d'échange interne et externe des générateurs modernes de vapeur sont maintenues constamment propres, et l'on peut de ce fait adopter des allures de vaporisation normales par m² de chauffe de plus en plus élevées.

Il devient aujourd'hui courant d'adopter 30 kg. de vaporisation par m² de chauffe.

(1) Les tables sont tirées de l'ouvrage d'Izart, *Combustion économique dans les chaudières*, 4^e édition, chez Dunod, éditeur.

3. Allures de vaporisation usuelles par mètre carré de surface de chauffe des chaudières.

TYPES DE CHAUDIÈRES	POUR UNE ALLURE DE COMBUSTION		
	Faible	Normale	Forcée admissible
	kg.	kg.	kg.
Chaudières cylindriques à bouilleurs...	13	16	22
— à foyers intérieurs.....	16 à 18	20 à 22	30
— semi-tubulaires à tubes de fumée.	10	12	18
— multitubulaires et chaudières demi-fixes.....	10	15	25
— multitubulaires à tubes verticaux.	15	20	35
— mixtes à foyers intérieurs et tubes de fumée.....	13	16	22

4. Rapport de la surface de chauffe à la surface de grille. —

Il existe un rapport empirique entre la valeur de la surface totale de grille et la surface de chauffe pour différents types de générateurs; la table ci-après en donne les valeurs les plus courantes pour de bons combustibles.

Pour les mauvais combustibles, cendreux ou pauvres, ce rapport est naturellement plus faible.

TYPES DE CHAUDIÈRES	RAPPORT DE LA SURFACE de chauffe à la surface de grille (surface de grille = 1)
Un foyer intérieur (Lancashire).....	26 à 33
Deux foyers intérieurs (Cornouaille).....	25 à 40
— type Galloway.....	35 à 45
Multitubulaires à tubes d'eau.....	35 à 65
Type locomotive ou demi-fixe.....	60 à 90
Cylindrique à bouilleurs.....	15 à 20
Semi-tubulaires à bouilleurs.....	25 à 35

5. Proportions des grilles. — Le tableau donne les rapports couramment admis entre la surface de chauffe et la surface de grille totale; il correspond en général à des allures de combustion de 70 à 80 kilogrammes par mètre carré et par heure.

Si P est le poids total de charbon brûlé, V le volume d'air *pratiquement* nécessaire, v la vitesse d'écoulement à la grille en m : sec. (prise entre 0,75 et 1,50 m. : sec. pour des sections de passage d'air égales à 50 et 25 0/0 de la surface totale de grille), la surface libre de grille sera :

$$S_e = \frac{PV}{3600 \cdot v}$$

Le rapport $n = \frac{S_e}{S_t}$ de la surface libre de passage d'air S_e à la surface totale S_t de la grille est pris en général :

$$n = \frac{1}{4} \text{ à } \frac{1}{2} \text{ pour la houille ; } \quad \frac{1}{3} \text{ à } \frac{1}{2} \text{ pour le coke,}$$

$$n = \frac{1}{5} \text{ à } \frac{1}{3} \text{ pour le lignite ; } \quad \frac{1}{7} \text{ à } \frac{1}{5} \text{ pour la tourbe et le bois.}$$

6. Proportions des économiseurs et surchauffeurs. — La façon de déterminer les dimensions de ces appareils accessoires est donnée ci-après avec précision (Voir *Économiseurs* et *Surchauffeurs*).

Usuellement, on a adopté un rapport de la surface de chaudière à la surface d'échangeur égal à :

	SURCHAUFFEURS	ÉCONOMISEURS	RÉCHAUFFEURS D'AIR
Pour chaudières vaporisant 30 kgs : m ² .	1,25	8 à 10	2
— 20 —	1,50	5 à 7	3
— 15 —	2,00	3 à 5	4

7. Proportions de la section des carneaux et cheminées. — On adopte en général le rapport suivant entre la surface de grille et la section des carneaux et des cheminées.

DÉSIGNATION	RAPPORT DE LA SURFACE de grille (= 1) à la section de carneau
Section du carneau au registre.....	1/4 à 1/6
Section de la cheminée.....	1/5 à 1/7

Voir pour un calcul plus approché notre ouvrage « *Combustion pour les chaudières* ».

APPAREILS ACCESSOIRES

1. **Soupapes de sûreté.** — Le décret du 7 octobre 1907 dit :

« Chaque chaudière est munie de deux soupapes de sûreté chargées de manière à laisser s'écouler la vapeur dès que la pression atteint la limite indiquée par le timbre.

« Chacune des soupapes doit suffire pour évacuer elle seule et d'elle-même toute la vapeur produite sans que la pression effective dépasse de plus de 1/10 la limite ci-dessus. »

Il n'est pas donné de formule réglementaire pour remplacer celle de 1865 :

$$d = 2,6 \sqrt{\frac{s}{n - 0,412}}$$

d , diamètre en centimètres ;

S , surface de chauffe en mètres carrés ;

n , timbre en atmosphères.

On est donc libre de déterminer la section d'une soupape comme un orifice débitant la vapeur à l'atmosphère ; en ce cas on compte en général comme section libre d'écoulement les 4/5 de l'orifice de la soupape. Pratiquement les constructeurs d'accessoires de chaudière continuent à appliquer la formule de 1865, mais en prenant 1,5 comme coefficient au lieu de 2,6.

La critique de cette formule est qu'elle ne tient compte que de la surface de chauffe, et non de la quantité de vapeur produite ; or les types de chaudières courantes ont des productions normales qui varient de 10 à 25 kilogrammes par mètre carré de surface de chauffe et par heure.

Nous préférons employer la formule empirique qui part de la quantité de vapeur produite :

$$S = 520 \frac{P}{n}$$

S , section de la soupape en centimètres carrés ;

P , poids de vapeur à débiter en kg : seconde ;

n , timbre en kg : centimètre carré.

Le tableau ci-après donne les dimensions de soupapes à adopter, calculées sur ces bases.

Les soupapes modernes se font toutes à échappement progressif et dégagement latéral ; elles sont généralement montées sur une culotte dont le diamètre intérieur est $1,41 \times$ diamètre de chaque soupape (section double).

Table des soupapes de sûreté.

Surf de Chauffe	Prod de vapeur à l'allure normale de 20kg par m ²	Tension en kg m ²					
		6	8	10	12	14	16
m ²	kg:heure	m/m	m/m	m/m	m/m	m/m	m/m
80	1600	70	60	54	50	46	43
100	2000	78	68	60	56	51	48
120	2400	86	75	66	61	56	53
140	2800	92	81	72	66	61	57
160	3200	99	83	77	71	65	61
180	3600	105	91	81	75	69	64
200	4000	111	96	86	79	73	68
220	4400	116	101	90	83	76	71
240	4800	121	105	94	87	79	74
260	5200	127	109	98	90	83	77
280	5600	131	114	102	94	86	80
300	6000	136	118	105	97	89	83
325	6500	141	123	109	101	92	86
350	7000	147	127	114	105	96	90
375	7500	152	131	118	108	100	93
400	8000	157	136	121	111	103	96
425	8500	162	140	125	115	106	99
450	9000	166	144	129	118	109	102

La charge de la soupape se fait soit par levier et contrepoids, soit par ressort. Ces dernières, très utilisées à l'étranger, présentent l'avantage de pouvoir être cadenassées et d'éviter complètement le calage ou la surcharge de la soupape, chose qu'on rencontre encore trop fréquemment.

ALIMENTATION ET POSTE D'EAU

1. **Importance du poste d'eau.** — La chaudière étant un échangeur thermique, il importe à son bon rendement que les surfaces interne (tartres) et externe (suie) soient toujours très propres.

L'entretien souvent si onéreux des générateurs et la plupart des troubles de fonctionnement proviennent presque uniquement des concentrations salines excessives qui se produisent à l'intérieur, ainsi qu'à la présence de sels (chlorures) ou gaz (oxygène dissous) produisant des effets corrosifs.

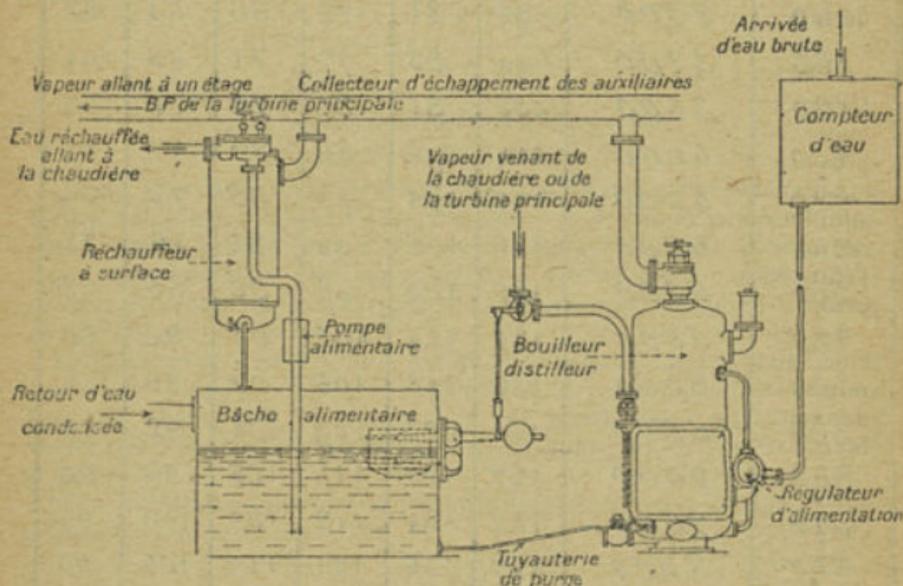


Fig. 83.

On doit donc toujours chercher à fonctionner en eau *distillée* et *dégazée* ou tout au moins *épurée*; les « extractions » et les produits « tartrifuges » ajoutés à l'intérieur des chaudières ne sont que de pauvres palliatifs.

En pratique on peut presque toujours fonctionner avec condenseurs à surface; il suffit donc de réparer en eau brute les pertes diverses, fuites, soupapes, etc., qu'on évalue en général à 100/0 de la quantité totale vaporisée.

Cette eau de réparation est rajoutée au circuit de l'alimentation soit sous forme d'eau distillée (qui est la seule solution parfaite en présence de chlorures), soit sous forme d'eau simplement épurée chimiquement; dans ce dernier cas, il y a toujours un excès de réactif qui, à son tour, se concentre à la longue dans la chaudière et peut amener des désordres d'un autre genre (attaque des montures en cuivre et primage par excès d'alcalinité).

On évite cet excès d'alcalinité en établissant une circulation permanente entre la chaudière et l'épurateur par le système dit de la *purge continue*.

Enfin, si le fait d'introduire l'eau alimentaire très chaude ne suffit pas à purger suffisamment de gaz corrosifs dissous, il faut procéder au *dégazage* de cette eau. Ces diverses opérations doivent s'opérer avec une perte minimum de calories; l'ensemble assez complexe se désigne sous le nom de *poste d'eau alimentaire*.

2. Schémas de postes d'eau. — Nous signalerons que l'*Union thermique*, à Paris, s'est spécialisée dans les postes d'eau et que son matériel d'épuration, de dégazage et de purge continue se prête aux plus efficaces combinaisons.

Le dispositif classique comporte une arrivée d'eau d'appoint simplement épurée et dégagée; les pertes de chaleur peuvent être réduites au minimum par adjonction d'un échangeur qui réchauffe l'eau brute allant à l'épurateur à l'aide des purges venant de la chaudière.

Le schéma (fig. 83) montre un dispositif très employé dans la marine anglaise (Weir) où l'eau d'appoint est distillée pour assurer l'élimination des chlorures. La vapeur du bouilleur-distilleur est condensée dans un barboteur à la bache ou envoyée aux bas étages de la turbine, avec les échappements des divers auxiliaires; l'eau brute ou l'eau de la bache peuvent être réchauffées par un échangeur placé sur la vapeur du bouilleur ou sur la purge continue connectant la chaudière au bouilleur.

Dans les grandes centrales, la distillation s'opère dans de véritables évaporateurs à multiple effet.

3. Contrôle du poste d'eau. — De toutes façons un appareillage de contrôle est indispensable au bon fonctionnement du poste d'eau; il serait puéril de s'imaginer que les choses vont s'arranger toutes seules, sans surveillance. On consultera les Etablissements Izart à Sannois (Seine-et-Oise), spécialisés de longue date dans les méthodes industrielles de contrôle.

Les points à contrôler sont les suivants;

Mesures des quantités d'eau; on trouvera un peu plus loin la description du compteur à basculement, type robuste et exact permet-

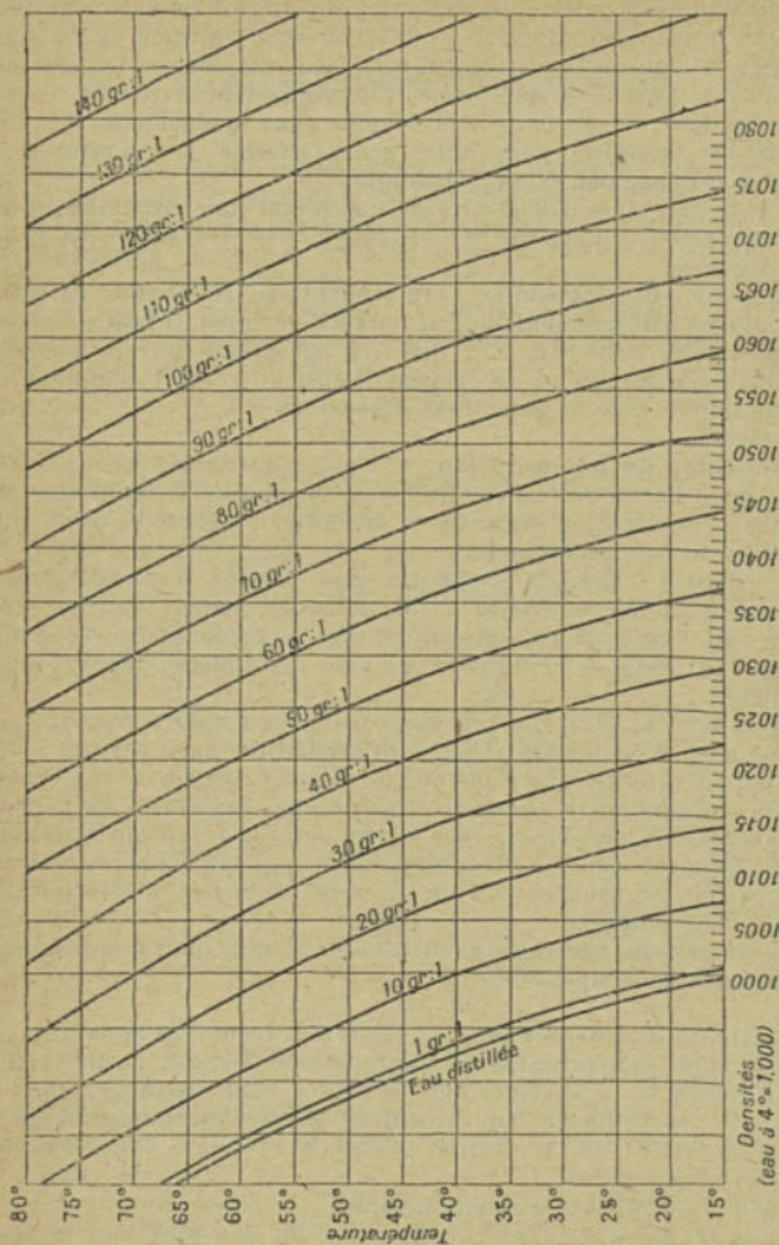


FIG. 84.

tant de connaître les quantités d'eau d'appoint, d'eau de retour, etc. en un mot les facteurs essentiels de la vaporisation de la chaufferie :

Analyse de l'eau à la chaudière : c'est évidemment le point principal. L'eau à la chaudière devra être alcaline, environ 0,5 gr : litre sans que le titre en CO_3Na^2 dépasse 1 gramme par litre, et avoir un degré hydrotimétrique aussi bas que possible, sans qu'il dépasse 3 à 4°.

Si le degré s'élève c'est que l'épurateur fonctionne mal ou qu'il y a des rentrées d'eau non épurée par la circulation du condenseur ; si le titre alcalimétrique s'élève, mauvais réglage de la purge continue.

Pour les eaux chlorurées, on vérifiera qualitativement ou même quantitativement la présence de chlorures.

Analyse de l'eau épurée. — On vérifiera comparativement sur l'eau brute et sur l'eau épurée sortant de l'appareil l'abaissement réalisé du degré hydrotimétrique, et l'on vérifiera à la sortie le titre alcalimétrique pour éviter d'envoyer un excès de soude à la chaudière.

En employant l'aluminate de baryte (voir plus loin) au lieu de sel Solvay, on n'a pas à redouter l'excès de soude et ses inconvénients ; il suffit de vérifier à la phénolphtaléine que l'eau de la chaudière n'est pas acide.

4. Essai alcalimétrique des eaux. — On vérifie d'abord que l'eau n'est pas acide (quelques gouttes de phtaléine se décolorent instantanément dans une eau acide), puis on procède au titrage alcalimétrique au méthylorange.

Prendre 50 centimètres cubes de l'eau à essayer dans le flacon 4 traits et ajouter 2 à 3 gouttes de méthylorange qui donne une coloration jaune ; ajouter la liqueur acidimétrique jusqu'à ce que le jaune vire au rose.

Il est commode d'employer une solution titrée de manière à ce que 1 centimètre cube de la burette corresponde à une teneur décimale de CO_3Na^2 en gr par litre d'eau. Une solution titrée à $3^{\text{sr}},69 \text{ SO}_4\text{H}^2$ par litre correspondra à $0^{\text{sr}},1 \text{ CO}_3\text{Na}^2$ par litre d'eau essayée, lorsqu'on opérera sur 40 centimètres cubes dans le flacon 4 traits. On l'obtient en allongeant à 100 centimètres cubes un volume de $75^{\text{cm}},3$ de $\text{SO}_4\text{H}^2 \text{ N}/10$.

5. Essai hydrotimétrique. — Le degré hydrotimétrique est une valeur arbitraire ; le degré français correspond en poids à :

0,0103 gramme par litre de carbonate de chaux.

0,0140 gramme par litre de sulfate de chaux.

0,0114 gramme par litre de chlorure de calcium.

Grosso modo on peut dire que 1° hydrotimétrique correspond à 1 centigramme par litre de sels de chaux.

La solution de savon normale est préparée en dissolvant 100 grammes de savon de Marseille dans 1.600 grammes d'alcool et allongeant d'eau de manière à ce que 22° de la burette versés dans 40 centimètres cubes d'une solution titrée de CaCl_2 à 0,25 par litre (soit 0,0114 par degré) provoquent l'apparition d'une mousse persistante.

L'essai hydrotimétrique est très approximatif mais commode; on verse dans le flacon « 4 traits » 40 centimètres cubes de l'eau à essayer, et on ajoute à la burette la solution savonneuse jusqu'à mousse persistant après agitation; les degrés sont lus directement sur la burette.

L'essai fait sur l'eau brute donne la *dureté totale* de l'eau; c'est-à-dire la somme des sels de chaux, magnésie, etc.

L'essai fait sur l'eau ayant bouilli longtemps et refroidie donne la *dureté permanente* correspondant aux sulfates, l'ébullition ayant précipité les carbonates.

6. Essai au salinomètre. — Lorsque les eaux sont très chargées en sels dissous, on peut évaluer les quantités par litre d'eau par densimétrie.

Le « salinomètre » est un simple densimètre sensible; les mesures sont généralement rapportées à 15° C., et il faut toujours au moment de l'essai noter la température pour ramener les densités observées à la densité à 15°.

L'eau de mer à 15° a une densité de 1,026 en moyenne, qui correspond à environ 40 grammes de sels dissous par litre, dont 35 de NaCl.

Le graphique de la figure 84 donne les quantités de sel par litre en fonction de la densité et de la température; le salinomètre est surtout employé pour suivre la concentration des eaux mères des bouilleurs distilleurs ou évaporateurs d'eau de mer.

7. Épuration, dégazage et déshuilage des eaux. — La détérioration des chaudières par les eaux alimentaires peut avoir trois causes :

Incrustations .. Par l'effet des dépôts de sels insolubles.
 Dépôts gras ... Par la présence de matières organiques et surtout d'huiles.
 Corrosions..... Par l'effet de sels corrosifs (chlorures notamment) ou d'oxygène dissous dans l'eau.

Avec les régimes de vaporisation de plus en plus forts que l'on emploie (on admet maintenant 20 à 30 kilogrammes de vapeur par mètre carré de chauffe), il est essentiel que la surface interne de la chaudière soit rigoureusement propre.

L'épuration chimique à chaud, qui se poursuit dans la chaudière, et doit être combinée par suite avec l'extraction ou purge continue, résout parfaitement le premier problème.

Le déshuilage parfait de l'eau est plus difficile; en déshuilant sur

la vapeur avant introduction au condenseur, on enlève la majeure partie de l'huile, et une simple filtration sur tour à coke de l'eau condensée suffit le plus souvent.

Un déshuilage plus complet de l'eau doit être effectué quand la vapeur elle-même n'a pas été déshuillée.

Les Établissements Gail et Noël Adam ont réalisé un déshuileur basé sur un procédé physico-chimique breveté qui réalise la séparation absolue de l'huile quand cette huile se trouve en émulsion, c'est-à-dire dans les cas de condensation par surface, d'aéro-condensation ou de condensation par mélange avec emploi d'un réfrigérant.

Deux réactifs dosés et distribués de manière indérégtable agissent l'un sur l'autre en formant un précipité d'hydrate métallique très dense qui englobe complètement l'huile et l'entraîne au fond d'un compartiment de l'appareil. Dans deux autres compartiments l'eau subit une double filtration rationnelle et se débarrasse s'il y a lieu des traces de précipité qu'elle a pu garder en suspension.

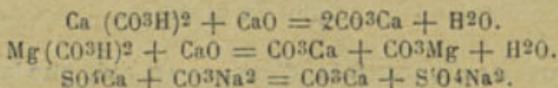
La solution parfaite du déshuilage de l'eau est réalisée par l'emploi des turbines à vapeur, dans lesquels la vapeur d'échappement n'est pas souillée d'huile.

Quant à la corrosion, le problème est des plus difficiles à résoudre si la teneur en sels corrosifs est élevée, le mieux est de distiller l'eau dans un évaporateur où les surfaces d'échanges sont en métal inattaquable, où l'évaporation conduite à une température beaucoup plus basse que celle de la chaudière et la corrosion moins active.

Néanmoins des corrosions se produisant même à l'eau distillée, on a été amené à reconnaître que la présence de gaz dissous (oxygène et acide carbonique) jouait un rôle important; les eaux passent dans une bache à dégazage, ou après avoir été amenées à la plus haute température possible (ce qui diminue la solubilité du gaz), elles sont filtrées à travers la mousse de fer doux ou d'un autre métal facilement corrodable.

8. Réactifs pour l'épuration chimique. — Les épurateurs à froid emploient l'eau de chaux qui insolubilise le bicarbonate dissous dans l'eau, et le carbonate de soude qui précipite le sulfate de chaux.

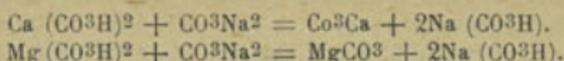
On a :



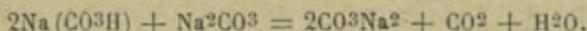
La réaction est longue, incomplète (il est difficile de descendre au-dessous de 8 à 10° hydrotimétriques), les appareils encombrants et coûteux; l'épuration à froid disparaît devant l'épuration à chaud.

Dans les épurateurs à chaud (Epurateur Uniterm, de l'Union thermique) l'opération se fait à 75° et l'on peut abaisser le titre à 2

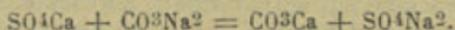
ou 3^e hydrotimétriques. On emploie seulement le sel Solvay. On a :



En présence d'un excès de carbonate de soude, le bicarbonate de soude se régénère :



La consommation réelle de carbonate est seulement celle qui correspond à la décomposition des sulfates :

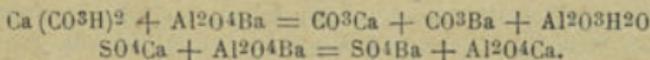


La quantité de sel Solvay à employer est de 12 à 15 grammes par degré hydrotimétrique de l'eau brute et par mètre cube d'eau brute à épurer.

L'épuration à la soude laisse subsister l'inconvénient d'un excès de réactif qui se concentrera dans la chaudière et de la présence de sulfate de soude qui se concentre également.

Le réactif idéal pour une marche indéfinie sans extractions importantes qu'il faut tôt ou tard opérer soit à la chaudière, soit à l'épuration, est celui qui donne des sels insolubles à la double réaction et n'exige pas de soude libre.

Ce réactif est l'aluminate de baryum qui est certainement le meilleur épurant connu. On a :



Tous les résultats de l'épuration, sels de chaux, de baryum, alumine hydratée, sont insolubles.

La quantité de réactif à employer est de 10 à 12 grammes de solution d'aluminate à 5^e Baumé, par degré hydrotimétrique d'eau brute et par mètre cube d'eau brute à épurer.

Contrairement à l'opinion répandue, le traitement à l'aluminate est à peine plus coûteux que le traitement à la soude, et l'on ne saurait trop en recommander l'emploi en pratique.

9. Mesurage des quantités d'eau. — On sait que la préférence doit être donnée aux compteurs d'eau dits ouverts, pour la mesure exacte soit de l'eau d'alimentation, soit des eaux de retour de condenseurs ou de purge ; les appareils à basculement sont en effet très simples, très sûrs et à peu près indégradables.

Jusqu'ici les nombreux modèles sur le marché étaient, la plupart du temps, d'origine allemande (Schilde, Eckardt). Signalons un

appareil de fabrication française; le compteur Clément, construit par les établissements Izart à Sannois (Seine-et-Oise), qui est fourni avec totalisateur ou avec enregistreur de débit.

La figure 85, schématique, montre le principe de ce compteur à bascule d'une extrême simplicité.

Une minuterie enregistre chaque basculement et l'unité du totalisateur est prise égale à deux mouvements de balance, de sorte que les chiffres enregistrent le débit total passé dans l'appareil; on peut aussi enregistrer par points le débit sur un tambour qui donne la courbe en fonction du temps.

Il est à remarquer que cet appareil bascule avant que l'eau ne commence à se déverser, contrairement à ce qui a lieu dans la plupart des appareils analogues: il en résulte que cet instrument est d'une grande précision dans le mesurage; étalonné par comparaison avec des mesures faites par pesée, on peut constater des écarts de moins d'un dixième pour cent sur des quantités d'eau très importantes.

Généralement on se sert de ces compteurs pour mesurer séparément à la bêche alimentaire les eaux condensées ou eaux de retour et les eaux de réparation, mais on peut les appliquer également à la mesure des huiles, pétroles et goudrons pour contrôler la consommation des brûleurs, etc.

10. Disposition des tuyauteries d'alimentation. — Vitesses à adopter. — L'alimentation à la chaudière doit avoir lieu par deux conduites séparées, chacune capable d'amener la quantité d'eau nécessaire, et deux systèmes de pompage différents, l'un au moins à vapeur, servant de secours.

Cette quantité doit être le *double* du débit normal correspondant à la production de vapeur de la chaudière.

Le calcul des tuyauteries d'aspiration et de refoulement se fait à la façon indiquée au chapitre « Pompes ». S'il s'agit d'eau chaude, mettre les pompes sous charge de 1 à 2 mètres de hauteur. On prendra une vitesse à l'aspiration de 1 mètre par seconde pour les conduites courtes ou en charge, et de 0^m,75 pour les conduites dépassant 30 à 40 mètres de long; au refoulement, une vitesse de 1^m,50 à 2 mètres par seconde

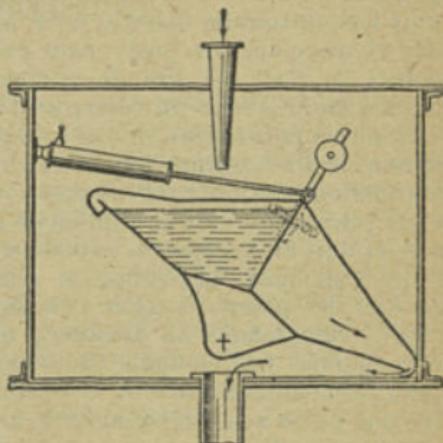


FIG. 85.

pour les conduites courtes et de débit relativement faible; pour les grosses pompes ou grandes longueurs on ne dépassera pas 1 mètre par seconde.

Sur l'aspiration on dispose une crépine à second panier démontable et un clapet de pied; pour éviter les chocs, surtout avec les pompes à piston à grande vitesse, on intercalera aussi près que possible de la pompe un réservoir d'air, de façon à ce que le niveau d'eau soit à la hauteur de la soupape d'aspiration; le réservoir a un volume de dix à quinze fois la cylindrée de la pompe; il est muni d'un manomètre indiquant la pression d'air dans la cloche, d'un robinet de purgé d'air et d'un robinet de remplissage d'eau de la conduite. Celle-ci doit être disposée naturellement pour que tous les dégagements d'air dans l'aspiration se réunissent dans la cloche d'air, ou alors en des points hauts où l'on puisse purger l'air.

Sur le refoulement on disposera, en outre du réservoir d'air près de la pompe une soupape de sûreté pour le retour d'eau à la bache alimentaire, surtout si l'eau est chaude, ce qui constituerait une perte non négligeable. Les économiseurs doivent être également munis d'une soupape de sûreté avec retour d'eau chaude à la bache.

11. Groupes alimentaires. — On doit toujours disposer de deux groupes séparés, l'un servant de secours, et que l'on met alternativement en service de façon régulière.

La pratique conduit à prévoir l'un des groupes actionné directement par la vapeur, ce qui présente le maximum de sécurité, et l'autre groupe actionné mécaniquement (généralement par moteur électrique), ce qui présente le maximum d'économie de consommation.

Les pompes à vapeur devront toujours être prévues avec récupération de la vapeur d'échappement, soit par retour aux bas étages de turbine ou aux condenseurs, soit par barbotage à la bache alimentaire.

ÉCONOMISEURS

1. Réchauffeurs d'alimentation. — Ces réchauffeurs fonctionnent par la vapeur d'échappement ou par la chaleur des gaz du foyer non utilisée par la chaudière directement. Les réchauffeurs à vapeur d'échappement sont à surfaces ou par mélange. Dans les premiers, l'eau d'alimentation passe autour ou dans les tubes échauffés par la vapeur ; cette dernière disposition est préférable, parce qu'elle permet un échauffement méthodique de l'eau circulant en sens contraire de la vapeur. L'activité de ces condenseurs varie considérablement avec l'état des surfaces, qui détermine en grande partie la valeur du coefficient de transmission ; cette valeur varie de 100 à 150 ; on donne souvent à ces réchauffeurs une surface de chauffe égale aux 0,2 de celle de la chaudière, ce qui leur permet de porter l'eau d'alimentation à 70 et même 90°.

Les réchauffeurs par contact de l'eau avec la vapeur d'échappement réalisent ce contact par injection ou pulvérisation de l'eau dans la vapeur ; ils doivent être pourvus de dispositifs de filtration permettant de séparer l'huile entraînée par la vapeur, et aussi de plateaux disposés de manière à recueillir les dépôts formés par la précipitation des sels calcaires dont l'eau se sépare en s'échauffant.

Ces réchauffeurs peuvent être complétés par des auxiliaires permettant d'achever l'échauffement par une injection de vapeur vive de la chaudière, et de porter la température de l'eau d'alimentation presque à celle de la chaudière ; cette disposition, assez répandue aux États-Unis, présente l'avantage de supprimer la fatigue des chaudières due aux contractions et dilatations provoquées par les injections d'eau froide ; elle procurerait, en outre, une légère économie de combustible, de 5 0/0 environ, et augmenterait de 10 à 15 0/0 la puissance de vaporisation de la chaudière.

2. Réchauffeurs tubulaires et serpentins. — Le calcul de la surface de chauffe des échangeurs de température quelconques se déduit des formules précédentes, qu'il s'agisse de transmission de gaz ou vapeur à l'eau ou inversement.

Le point du fixer est le coefficient e , variable suivant la nature à métal ($\lambda = 6.000$ pour le fer, 33.000 pour le cuivre), l'épaisseur de paroi et les vitesses respectives des fluides échangeurs.

Pratiquement, ce coefficient est presque toujours voisin de 10 pour le fer, paroi en état de propreté relatif.

La surface des échangeurs en serpentins est donnée très exactement

en mètres carrés par :

$$S = 10nDd,$$

d , diamètre en mètre du tube ;

D , diamètre en mètre du diamètre moyen des spires ;

n , nombre de spires.

Cette formule est due à M. Lutunger, qui en a donné la démonstration à la Société industrielle de Rouen, 4 avril 1911. Autrement dit, la surface en décimètres carrés d'une spire de serpentín d'un diamètre moyen de 1 mètre est égale au nombre représentant le diamètre du tube en millimètres.

3. **Économiseurs.** — Chauffés par les gaz du foyer, ils sont véritablement efficaces, permettant de rejeter les fumiers à basse température. Ces réchauffeurs se composent, en général, de tubes disposés dans le prolongement des carneaux ; ils doivent être pourvus de raclettes ou de tout autre moyen de les nettoyer fréquemment à l'extérieur, et de robinets de vidange pour les débarrasser des dépôts et boues laissés par les eaux. Pour éviter les explosions, il faut en outre munir ces réchauffeurs d'une soupape de sûreté.

4. **La transmission thermique dans les économiseurs.** — Les économiseurs récemment mis sur le marché possèdent un mode de circulation de l'eau qui semble plus logique *a priori* que celui de l'appareil original qu'inventa,

vers 1840, *E. Green*. Alors que dans celui-ci l'eau est introduite uniformément à la base de tous les tubes, dans les appareils récents on adopte, à différentes variantes près, la circulation méthodique, opposée à celle des gaz chauds.

La chaleur transmise est proportionnelle à la différence de température et au coefficient c de transmission. Ce coefficient comprend trois termes :

λ , conductibilité du métal, fonction de l'épaisseur δ ;

α_1 , transmission des gaz chauds à la paroi ;

α_2 , transmission de la paroi à l'eau.

On a :

$$\frac{1}{c} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2},$$

λ , pour le fer est = 6.000 ;

α_1 a pour valeur = $2 + 10 \sqrt{v}$, v vitesse des gaz en mètres par seconde ;

α_2 , a pour valeur = $300 + 1.800 \sqrt{v}$, v vitesse de l'eau en mètres par seconde.

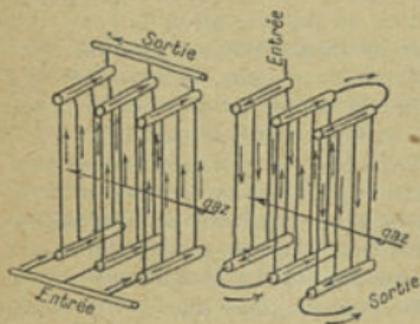


FIG. 86.

On trouve dans les conditions usuelles de la pratique que c est voisin de 15 calories par mètre carré de surface et par heure, par degré de différence de température.

5. Calcul de la surface de chauffe d'un économiseur. — La détermination de la surface de chauffe d'un économiseur est un point généralement laissé à l'empirisme le plus routinier; ce point n'est pas secondaire, car le prix d'un appareil est relativement élevé et son installation entraîne à des frais également importants; il importe donc de déterminer exactement la surface de chauffe convenable. Pour répondre à différentes questions qui nous ont été posées à ce sujet, nous exposerons la façon de procéder que nous adoptons généralement.

La surface de chauffe se déduit aisément de la transmission thermique. Si l'on appelle :

c , le coefficient pratique de transmission de la chaleur (voir plus haut) ;

Q , le débit d'eau traversant l'appareil en litres à l'heure ;

t_0 et t_1 , la température de l'eau à l'entrée et à la sortie ;

T_0 et T_1 , la température des gaz à l'entrée et à la sortie ;

on a d'une part, pour la quantité de chaleur gagnée par l'eau :

$$Q(t_1 - t_0),$$

et d'autre part, pour la quantité de chaleur cédée par les gaz par unité de surface :

$$c \left(\frac{T_1 + T_0}{2} - \frac{t_1 + t_0}{2} \right).$$

Si S est la surface de chauffe cherchée, on a l'expression :

$$(1) \quad S = \frac{Q(t_1 - t_0)}{c \left(\frac{T_1 + T_0}{2} - \frac{t_1 + t_0}{2} \right)} = \frac{2Q(t_1 - t_0)}{c(T_1 + T_0 - t_1 - t_0)}.$$

Voici pour l'application de cette formule quelques coefficients pratiques indiqués par l'expérience: Le coefficient k varie pour les économiseurs à tubes (genre Green) entre 5 et 15 calories par heure et par mètre carré. Il est influencé par l'état de propreté externe des tubes: si le métal est très propre, on peut prendre 15; si le ramonage est mal fait, $c = 5$ seulement. Pour le choix de la surface de chauffe de l'économiseur, on prendra $c = 10$.

Le second point, degré de refroidissement des gaz, met en jeu un grand nombre de facteurs qu'on ne peut songer à évaluer; la pratique indique qu'en général les gaz se refroidissent de 2 degrés quand la température de l'eau augmente de 1 degré.

D'après ces données, le calcul approché de la surface de l'économiseur devient aisé.

EXEMPLE. — Dans une installation donnée, dont le débit moyen est de 5 mètres cubes à l'heure, les gaz arrivent à l'économiseur à 300 degrés; l'eau est un retour de condenseur à 40°; quelle surface d'économiseur adopter ?

On prendra les chiffres suivants, d'après ce qui précède :

$$k = 10 \quad t_1 \text{ et } t_0 = 100 \text{ et } 40^\circ \text{ respectivement ;}$$

$$T_1 = 300^\circ ; T_0 = 300 - 2(100 - 40) = 180^\circ.$$

L'application de la formule (1) conduit donc à :

$$S = \frac{2 \times 5.000(100 - 40)}{10(300 + 180 - 100 - 40)};$$

d'où

$$S = 180 \text{ mètres carrés en chiffres ronds.}$$

S'il s'agit d'un green, la surface d'un tube étant sensiblement de 1 mètre carré, on est conduit à un appareil de 180 tubes.

6. Économie des économiseurs. — En ce qui concerne l'économie, c'est-à-dire la quantité de chaleur perdue récupérée par un économiseur, il est bien entendu tout d'abord qu'il s'agit d'économie *brute* dont il importe de retrancher les frais d'amortissement, entretien et force motrice (s'il y a lieu) pour connaître l'économie vraie.

Par ailleurs, cette économie est *relative*, c'est-à-dire est rapportée à la quantité de chaleur utilisée par la chaudière et non pas à la quantité de chaleur produite au foyer; ainsi définie, cette économie varie suivant que l'utilisation de la chaudière est elle-même plus ou moins bonne.

Ces précisions apportées, si nous appelons λ la quantité de chaleur contenue dans 1 kilogramme de vapeur dans les conditions de marche de la chaudière, t_1 et t_0 les températures respectives de l'eau à l'entrée et à la sortie de l'appareil, l'économie brute en 0/0 fournie par l'économiseur est exprimée par :

$$\text{Economie 0/0} = 100 \frac{(t_1 - t_0)}{\lambda}.$$

EXEMPLE. — Si, dans l'exemple précédent, la pression de marche de la chaudière est de 8 kilogrammes, quelle est l'économie réalisée ?

La chaleur totale dans 1 kilogramme de vapeur à 8 kilogrammes absolus, supposée sèche, est de 659,7 calories; l'eau d'alimentation étant à 40°, la chaleur dans 1 kilogramme de vapeur dans les conditions de l'expérience est :

$$\lambda = 659,7 - 40 = 619,7 \text{ calories.}$$

L'économie brute réalisée est alors :

$$\text{Économie} = 100 \frac{(100 - 40)}{619,7} = 9,7 \text{ 0/0.}$$

7. Économiseur Green. — Est constitué par l'assemblage de sections de 4, 6, 8, 10 tubes réunies en parallèle par des collecteurs d'entrée et de sortie; le nombre de tubes total d'un économiseur est donc facteur des chiffres ci-dessus.

Le tube standard est un tube en fonte de 4 9/16, soit 115 millimètres de diamètre extérieur, 4" soit 101,6 diamètre intérieur, 7^{mm},15 d'épaisseur de paroi, 9' soit 2^m,743 de hauteur, 28',4 de capacité et 0^m2,93 de surface de chauffe interne.

La vitesse de circulation recommandée par le constructeur consiste à renouveler le volume une fois par heure, soit une vitesse de $\frac{0,0284}{3,600} = 0,000008$ mètre par seconde, extrêmement faible comme on voit; ceci est défavorable à l'échange de chaleur, mais assure une perte de charge très faible pour le passage de l'eau dans l'appareil et évite tout risque de coups de bélier.

La règle pour calculer le nombre de tubes nécessaires consiste donc à diviser le débit d'eau en litres à l'heure (on peut prendre le poids aussi bien) par le volume en litres d'un tube.

Ainsi une installation de 10.000 kilogrammes de vapeur à l'heure exigerait un économiseur de : $\frac{10,000}{28,4} = 350$ tubes, soit 325^m2,5 de surface de chauffe.

La largeur interne de la chambre en maçonnerie nécessaire est de :

1,245 m. pour sections de.....	4 tubes.
1,651 m. — —	6 —
2,057 m. — —	8 —
2,464 m. — —	10 —

La section libre de passage des gaz est de :

1,53 m ² pour sections de.....	4 tubes.
2,00 m ² — —	6 —
2,46 m ² — —	8 —
2,93 m ² — —	10

SURCHAUFFEURS

(Voir au chapitre III, *Gaz et vapeurs, les propriétés de la vapeur surchauffée* étudiées par le diagramme entropique Izart.)

1. Limites d'emploi de la surchauffe.— La surchauffe de la vapeur a donné lieu à de nombreux mécomptes dans la pratique courante, et bien des industriels l'ont abandonnée après l'avoir essayée. C'est là exagération, et il en est de la surchauffe de la vapeur comme de toute chose nouvelle à laquelle doit correspondre un mode d'application nouveau ; il faut donc savoir l'appliquer judicieusement.

L'économie est incontestable *a priori*, pour les raisons élémentaires suivantes : l'addition de calorique apporté par la surchauffe a pour effet :

1° De vaporiser toute l'eau qu'entraîne toujours, à l'état fluide ou vésiculaire, la vapeur saturée, et de supprimer les condensations sur le trajet suivi par la vapeur dans les tuyauteries ;

2° De réduire la densité de la vapeur et, par suite, de faciliter, dans une mesure sensible, la véhiculation de celle-ci ;

3° D'empêcher la condensation de la vapeur pendant l'admission, et parfois même durant la détente, si le degré de surchauffe est suffisant.

Voici quelques observations sur la façon dont les métaux se comportent en présence des hautes températures.

Fonte. — Elle supporte bien les efforts de traction ou compression, mais sa dilatation ne lui permet plus d'être employée au delà de 250 à 350° pour la confection de certains organes, notamment les tiroirs plans.

Avec la fonte, il peut se produire aussi des oxydations provoquées par l'oxygène ou l'acide carbonique résultant de la décomposition des huiles ; malgré ses inconvénients, la fonte est conseillée pour les segments et les bagues de stuffing-boxes, l'emploi du bronze devant être prohibé aux hautes températures. La fonte au nickel, qui est très dure, homogène et à grain fin, rend d'excellents services, en particulier pour les boîtes de distribution.

Acier. — Les avis sont assez partagés ; la marine admet que les aciers peuvent supporter les températures de surchauffe modérées, sans que la résistance ni l'allongement en soient sensiblement altérés. Il est toutefois certain qu'à partir de 400° les propriétés mécaniques sont atteintes.

L'acier moulé devient tendre à partir de 200°, et, par suite, son emploi doit être rigoureusement proscrit pour toutes les pièces à frottement, en contact plus ou moins immédiat avec de la vapeur surchauffée.

Cuivre rouge. La ténacité du cuivre rouge est très rapidement

diminuée à mesure que la température augmente. Son emploi doit donc être absolument proscrit de toutes machines ou tuyauteries devant supporter de la surchauffe. Ce métal, qui présente à 40° une résistance de 23 kilogrammes par millimètre carré, voit à 430° cette résistance tomber à 6 kilogrammes.

Bronze. — Les bronzes se font en nuances tendres, doux ou dur ; mais, quelle que soit la composition, les caractéristiques mécaniques commencent à se modifier profondément à partir de 200°, et à 300° il devient fragile et s'use avec une grande rapidité.

Dans les machines à surchauffe, il doit donc être prohibé des pièces soumises à des efforts ou à des frottements tels que clapets, segments de piston, garnitures, etc.

2. Température à adopter. — Toutes les machines ne se prêtent pas indifféremment à l'emploi de la vapeur surchauffée, et des limites de température s'imposent suivant le type de moteur. Une sage pratique, que l'expérience a sanctionnée, a reconnu que la température de :

250° ne devrait pas être dépassée avec les machines à tiroir plan ;

275° avec les machines à tiroir circulaire ou obturateur ;

300° avec les machines à soupape et à piston-valve.

Aller au delà serait tomber dans un graissage difficile et coûteux, rendant illusoire l'économie à attendre du supplément de surchauffe. Ce serait même courir les risques d'ennuis de tout genre : fuites, grippages, réparations fréquentes, etc.

Pour les turbines à vapeur, on peut atteindre 400° sans inconvénient, ces appareils ne comportant pas d'organes de frottement, ni de pièces soumises à la lubrification en contact avec la vapeur ; toutefois on adopte en général 325°.

3. Précautions à prendre dans la conduite des surchauffeurs. — Il faut avoir soin, pour la mise en service des chaudières avec surchauffeurs, de remplir le surchauffeur d'eau avant de mettre la chaudière à feu ; aussitôt qu'elle est sous pression, on doit purger cette eau et ouvrir seulement alors la prise de vapeur allant à la machine.

En outre, lorsque la chaudière a été simplement ralentie dans son allure, c'est-à-dire quand on a fermé le registre pendant un certain temps, il faut, avant de rouvrir le registre et d'activer de nouveau le feu, purger le surchauffeur.

A défaut de cette précaution indispensable, l'eau qui s'est formée dans le surchauffeur par condensation serait projetée dans la conduite générale et même jusque dans la machine.

C'est pourquoi nous conseillons aux industriels de placer sur chaque surchauffeur un purgeur automatique et un indicateur de niveau d'eau en outre de la purge directe.

On sait que les purgeurs automatiques sont souvent dérangés dans leur fonctionnement par des impuretés ou autres motifs.

L'indicateur de niveau d'eau est là pour prévenir le chauffeur que le purgeur automatique ne fonctionne pas. Il peut alors employer la purge directe.

4. **Transmission thermique dans les surchauffeurs.** — La chaleur transmise est proportionnelle à la différence des températures moyennes des gaz et de la vapeur de chaque côté de la paroi et au coefficient de transmission thermique c .

Ce coefficient dépend de :

λ conductibilité du métal, fonction de l'épaisseur de paroi δ en cm (tout en supposant des parois propres de part et d'autre);

α_1 transmission des gaz chauds à la paroi, fonction de la vitesse des gaz :

$$\alpha_1 = 2 + 10 \sqrt{v}, \text{ vitesse en m : sec. ;}$$

α_2 transmission de la paroi à la vapeur, qu'on peut assimiler à un gaz :

$$\alpha_2 = 2 + 10 \sqrt{v}.$$

On a :

$$\frac{1}{c} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2},$$

λ conductibilité thermique du fer et de l'acier = 6.000 ;

α_1 et α_2 varient suivant la vitesse de léchage des gaz et de la vapeur entre 20 et 60,

et l'on trouve, en général, C compris entre 12 et 25 calories par mètre carré et par heure, par degré de différence de température. Nous avons, du reste, calculé la table ci-contre qui donne les coefficients à adopter.

Coefficient c de transmission thermique pour surchauffeurs en calories par mètre carré de chauffe et par heure, par degré.

VITESSE DES GAZ	VITESSE DE VAPEUR 20 m : sec.		VITESSE DE VAPEUR 30 m : sec.		VITESSE DE VAPEUR 40 m : sec.	
	Épaisseur de paroi		Épaisseur de paroi		Épaisseur de paroi	
	3 mm.	6 mm.	3 mm.	6 mm.	3 mm.	6 mm.
5 m : sec.	16,0	15,95	17,05	17,00	17,70	17,65
10 —	19,5	19,45	20,75	20,70	21,85	21,80
15 —	21,7	21,65	23,65	23,60	25,00	24,95
20 —	23,3	23,25	25,60	25,55	27,15	27,10

EXEMPLE. — Soit un surchauffeur en tubes d'acier ($\lambda = 6.000$) de 3 millimètres d'épaisseur ($e = 0^{\text{cm}},3$). Les gaz circulent à l'extérieur à la vitesse de 4 mètres par seconde environ ($\alpha_1 = 20$) et la vapeur circule à l'intérieur à la vitesse de 25 mètres par seconde ($\alpha_2 = 52$).

On trouve pour c :

$$\frac{1}{c} = \frac{1}{20} + \frac{0,3}{6.000} + \frac{1}{52}, \quad c = \frac{1}{0,069} = 14,43.$$

Si la température moyenne des gaz est 600° , celle de la vapeur 300° , la chaleur transmise est $Q = 14,43 (600 - 300) = 1.329$ calories par mètre carré et par heure.

5. **Calcul de la surface de chauffe d'un surchauffeur.** — La surface de chauffe se déduit aisément du coefficient de transmission thermique, établi en tenant compte des facteurs énumérés plus haut. Si l'on appelle :

C , le coefficient pratique de transmission ;

t_0 et t_1 , la température de la vapeur à l'entrée et à la sortie ;

T_0 et T_1 , — des gaz à l'entrée et à la sortie ;

Q , la quantité de chaleur à fournir pour réaliser la surchauffe voulue *en tenant compte de l'humidité de la vapeur* ;

la surface de chauffe cherchée est :

$$S = \frac{Q}{c \left(\frac{T_1 + T_0}{2} - \frac{t_1 + t_0}{2} \right)} = \frac{2Q}{c (T_1 + T_0 - t_1 - t_0)} \text{ m}^2$$

Usuellement, le coefficient c est choisi entre 19 et 25 calories par mètre carré de surface de chauffe et par degré de différence de température, suivant le lieu où est placé le surchauffeur, la température des gaz et la vitesse de vapeur dans les tubes.

En pratique, le rapport de la surface de chauffe de la chaudière à la surface de chauffe du surchauffeur est rarement supérieur à 5 pour les chaudières marchant à l'allure de 25 kilogrammes de vapeur par mètre carré de chauffe, à 4 pour celles marchant à 20 kilogrammes, à 3 pour celles marchant à 15 kilogrammes.

CANALISATIONS DE VAPEUR

1. **Résistance mécanique et établissement des conduites.** — L'établissement des tuyauteries au point de vue des résistances, dimensions du commerce, joints compensateurs, vannes, robinets, joints, etc., est exposé dans notre *Agenda de Construction mécanique* au chapitre spécial « Tuyauteries ».

2. **Section des conduites.** — Dans le calcul de la section des tuyaux, il y a deux facteurs à considérer : la perte de pression produite par la résistance de frottement, et la perte de vapeur produite par le refroidissement, c'est-à-dire par la condensation. Plus le diamètre des tuyaux est petit, plus la perte de vapeur par le refroidissement est faible, mais plus la chute de pression produite par la résistance de frottement devient grande. Lorsqu'on connaît la pression aux chaudières et la chute de pression tolérée au moteur à vapeur, on peut déterminer la section des conduites en admettant une vitesse de vapeur qui peut varier, suivant les conditions du service et suivant la longueur des conduites, entre 18 et 25 mètres par seconde pour la vapeur saturée, et entre 30 et 50 mètres par seconde pour la vapeur surchauffée. Dans le calcul de la vitesse de la vapeur surchauffée, il faut considérer que le volume de 1 kilogramme de vapeur surchauffée est plus grand que le volume de 1 kilogramme de vapeur saturée.

La table ci-après donne les éléments pour le calcul des tuyauteries sur ces vitesses de base.

3. **Pertes de charge.** — Les pertes de charge de la vapeur dans les tuyaux de conduite ne proviennent pas seulement du frottement, mais encore du refroidissement dû à la conductibilité des tuyaux.

M. Marchis a donné dans son ouvrage *La Vapeur surchauffée* des exemples numériques de calculs complets de tuyauteries de vapeur saturée et surchauffée, tant au point de vue de pertes de charge que des pertes thermiques : nous renvoyons à cette source, la place nous manquant pour reproduire ces exemples.

Avec de la vapeur surchauffée on a un gros intérêt économique à calorifuger outre la conduite, les brides et soupapes, chose que l'on néglige trop souvent.

Volumes et poids spécifiques de la vapeur saturée et de la vapeur surchauffée.

PRESSION absolue en kg : cm ²	TEM- PÉRATURE de saturation en C°.	VOLUMES : m ³ : kg					POIDS SPÉCIFIQUES : kg : m ³						
		à une surchauffe de					à une surchauffe de						
		à la température de satu- ration	200°	250°	300°	350°	400°	à la température de satu- ration	200°	250°	300°	350°	400°
0,5	80,9	3,2940	4,435	4,909	5,381	5,852	6,324	0,3035	0,2235	0,2037	0,1858	0,1709	0,1581
1,0	99,1	1,7220	2,212	2,451	2,688	2,924	3,160	0,5807	0,4521	0,4080	0,3720	0,3420	0,3163
1,6	112,7	1,1096	1,378	1,529	1,678	1,827	1,974	0,9013	0,7257	0,6540	0,5960	0,5473	0,5066
2,0	119,6	0,9066	1,01	1,221	1,34	1,460	1,579	1,1104	0,9083	0,8190	0,7457	0,6849	0,6333
2,5	126,7	0,7310	0,878	0,976	1,072	1,167	1,263	1,3680	1,139	1,025	0,9328	0,8569	0,7918
3,0	132,8	0,6163	0,730	0,812	0,892	0,972	1,052	1,6224	1,370	1,232	1,121	1,029	0,9506
3,5	000,0	0,5335	0,624	0,695	0,764	0,833	0,901	1,8743	1,603	1,439	1,309	1,200	1,110
4,0	142,8	0,4708	0,545	0,607	0,668	0,728	0,788	2,1239	1,835	1,647	1,497	1,374	1,269
4,5	147,1	0,4217	0,483	0,539	0,593	0,647	0,700	2,3716	2,070	1,855	1,686	1,546	1,429
5,0	151,0	0,3820	0,434	0,484	0,533	0,582	0,630	2,6177	2,304	2,066	1,876	1,718	1,587
6,0	157,9	0,3220	0,360	0,402	0,444	0,484	0,524	3,1058	2,778	2,488	2,252	2,066	1,908
7,0	164,0	0,2786	0,307	0,344	0,379	0,415	0,449	3,5891	3,257	2,907	2,639	2,410	2,227
8,0	169,5	0,2458	0,267	0,300	0,331	0,362	0,393	4,0683	3,745	3,383	3,021	2,762	2,545
9,0	174,4	0,2200	0,236	0,266	0,294	0,322	0,349	4,5448	4,237	3,759	3,401	3,106	2,865
10,0	178,9	0,1993	0,211	0,238	0,264	0,289	0,314	5,018	4,739	4,202	3,788	3,460	3,185
11,0	183,1	0,1822	0,191	0,216	0,240	0,262	0,285	5,489	5,236	4,630	4,167	3,817	3,509
12,0	186,9	0,1678	0,174	0,197	0,219	0,240	0,261	5,960	5,747	5,076	4,566	4,167	3,831
13,0	190,6	0,1557	0,160	0,181	0,202	0,221	0,241	6,425	6,250	5,525	4,951	4,525	4,149
14,0	194,0	0,1452	0,148	0,168	0,187	0,205	0,223	6,889	6,757	5,952	5,348	4,878	4,484
15,0	197,2	0,1360	0,137	0,156	0,174	0,191	0,208	7,352	7,299	6,410	5,747	5,236	4,808
16,0	200,3	0,1280	0,128	0,146	0,163	0,179	0,195	7,814	7,813	6,849	6,135	5,587	5,128

4. **Pertes thermiques et calorifuges.** — Les pertes de chaleurs par les tuyaux et surfaces métalliques, qui permettent d'évaluer les quantités d'eau condensée sont en calories $m^2 : h.$ et par degré de différence de température entre la vapeur et l'ambiance :

	Vapeur à la pression			
	2 kg.	5 kg.	7 kg.	10 kg.
Surface nue.....	10	16	17	18
Surface calorifugée avec :				
Kieselgühr.....	2,4	2,80	2,9	3,0
Fibre d'amiante.....	2,5	3,00	3,2	3,3
Laine de scorie.....	2,3	2,4	2,45	2,5
Liège granulé.....	2,2	2,3	2,35	2,4

Le poids de ces divers calorifuges est de :

Kieselgühr.....	240	kg : m^3
Laine de scorie.....	138	—
Fibre d'amiante.....	233	—
Liège granulé.....	98	—
Magnésie.....	130	—

L'épaisseur de calorifuge appliquée est généralement de 4 à 5 centimètres ; elle doit évidemment être d'autant plus épaisse que la température intérieure est plus élevée, mais il y a lieu de se souvenir que c'est seulement les premiers centimètres qui sont les plus efficaces.

En général on emploie un mélange de kieselguhr et fibre d'amiante, celle-ci en faible proportion. Les kieselguhr ou « farines fossilées » sont quelquefois désignées sous le nom de silice ou terre d'infusoires lorsqu'il s'agit de débris d'origine animale, et de silice ou terre de diatomées lorsqu'il s'agit de débris d'origine végétale.

Les briques ou agglomérés de « diatomite » sont simplement des agglomérés de kieselguhr et poudre fine de liège cuits à environ 1.000° ; le liège est détruit et laisse une brique très poreuse.

La magnésie, encore plus légère que la terre d'infusoires, constitue aussi un isolant de tout premier ordre, mais beaucoup plus cher.

5. **Peinture des tuyauteries.** — Étant donné le grand nombre de conduites différentes que l'on est exposé à devoir distinguer facilement les unes des autres, il serait utile de standardiser les couleurs à adopter.

Un essai de code a été tenté en Allemagne, où plusieurs associations ont établi une norme de colorations, observée dans un assez grand nombre d'usines.

Une caractéristique de cette palette standard est que l'on distingue pour un même fluide les conduites véhiculant les produits purs des produits impurs ou de retour, par des anneaux de couleur foncée ou noire; c'est là une excellente chose à adopter. On pourrait de même distinguer la haute pression de la basse pression par un artifice du même genre, par exemple une bande en spirale au lieu d'anneaux parallèles.

A titre d'exemple nous suggérons la palette ci-dessous :

Vapeur vive saturée.....	rouge.
Vapeur vive surchauffée.....	rouge spirale blanche.
Vapeur d'échappement.....	rouge anneaux blancs.
Eau.....	bleu.
Eau sous haute pression.....	bleu spirale blanche.
Eaux de retour.....	bleu anneaux blancs.
Eau (Service d'incendie).....	bleu et rouge en chapelets.
Gaz.....	jaune.
Air comprimé.....	vert.
Vide (air sec).....	gris.
Vide (eau et air humide).....	gris anneaux noirs.
Huile graissage.....	olive.
Huiles combustibles.....	olive anneaux jaunes.
Lessives acides.....	rose.
Lessives alcalines.....	mauve.

Il serait certainement utile que lors d'un Congrès de mécanique ou de physique industrielle, cette question soit examinée et résolue.

6. Récupération des purges. — Lorsqu'on emploie de la vapeur saturée, il faut attacher une grande importance à l'enlèvement rationnel de l'eau de condensation qui se forme dans les conduites; avec la vapeur surchauffée il faut être prudent dans l'emploi des séparateurs d'eau et dans le choix de leurs dimensions, parce que, dans le cas de la vapeur surchauffée, les conduites n'ont besoin d'être purgées que pour ainsi dire à la mise en marche.

Pour choisir les dimensions des séparateurs d'eau dans le cas de la vapeur saturée, on peut admettre qu'une conduite bien isolée produit environ 1,5 d'eau de condensation par mètre carré de surface isolée et par heure. Avec la vapeur surchauffée la perte de chaleur inévitable dans les conduites se traduit simplement par une diminution de la température de la vapeur, de sorte qu'il ne se produit que peu d'eau de condensation en dehors des mises en route et arrêts.

Si l'on désire calculer plus exactement les poids d'eau condensée, se reporter au paragraphe 4 qui donne la valeur des pertes thermiques; on peut calculer celles-ci encore plus exactement en appli-

quant les formules de la transmission de la chaleur avec un coefficient de conductibilité, moyen qui peut être pris égal à 0,05 pour les bons calorifuges.

L'extraction automatique de l'eau condensée se fait soit par purgeurs automatiques, soit par pompes de purge; il existe également des appareils dits de « retour direct », qui renvoient automatiquement l'eau condensée aux chaudières. Il ne faut pas avoir une confiance aveugle dans le fonctionnement parfait de tous ces appareils automatiques.

7. Pompes de retour d'eau chaude. — Dans les grandes installations à vapeur, on emploie souvent aussi un appareil de purge central constitué par une pompe d'eau de condensation, qui fonctionne automatiquement. Les différentes constructions qui existent ne se distinguent pas notablement l'une de l'autre. Une pompe d'eau de condensation se compose généralement d'un réservoir collecteur auquel est adaptée une pompe alimentaire. L'eau de condensation est amenée à ce réservoir par une tubulure. Le réglage est obtenu par un flotteur qui peut être contrôlé extérieurement. Lorsque ce flotteur monte, une soupape de vapeur s'ouvre et la pompe, qui renvoie directement l'eau de condensation aux chaudières, se met en marche. Cet appareil doit être installé à l'endroit le plus bas de tout le système de conduites et toujours fonctionner en charge de plusieurs mètres pour éviter des troubles à l'aspiration.

MOTEURS A VAPEUR ET CONDENSEURS

DÉTENTE DE LA VAPEUR D'EAU

1. **Détente adiabatique.** — On ne connaît pas la loi de la détente réelle de la vapeur dans les cylindres des machines; cette détente est, en effet, soumise, dans ces cylindres, à des influences nombreuses, au premier rang desquelles il faut placer celles des parois mêmes des cylindres, et qui varient suivant la nature de ces parois, leur forme, leur rayonnement, avec l'allure de la machine, sa vitesse, le degré de détente, unique ou multiple, et bien d'autres circonstances impossibles à formuler. Tout ce que l'on peut faire, c'est de se rendre compte, pour chaque machine en particulier, et d'après les diagrammes d'indicateur, de l'importance de ces actions en comparant la courbe réelle de détente à celle qui se produirait si cette détente avait lieu dans certaines conditions nettement définies, et sous lesquelles on pourrait formuler la loi de cette détente. On prend ordinairement, comme détente de comparaison, celle qui se produirait dans un cylindre absolument imperméable à la chaleur, où la détente s'opère, par conséquent, sans échange de chaleur, avec les parois du cylindre; cette détente est appelée *adiabatique*.

La loi de la détente adiabatique est donnée par l'équation :

$$pv^{1,138} = C^e ;$$

le travail exercé par le passage du volume v' de vapeur de la pression p' à la pression p^2 , en détente adiabatique, est donné par la formule :

$$T = 1,82p'v' \left[1 - \left(\frac{p^2}{p'} \right)^{0,117} \right] \text{ kilogrammètres,}$$

les pressions étant exprimées en kilogrammes par centimètre carré et les volumes en mètres cubes. Comme, pendant la détente adiabatique, la vapeur reste toujours à sa température de saturation, que sa chaleur latente τ diminue à mesure que la pression s'abaisse, et que la vapeur ne peut qu'emprunter à elle-même la chaleur équivalente à son travail de détente, il s'ensuit que cette vapeur doit, pendant la détente adiabatique, se condenser en quantité suffisante pour céder ainsi au reste de la vapeur la chaleur nécessaire pour maintenir cette détente, et qui est précisément équivalente à son

travail. La quantité de vapeur x ainsi condensée, par kilogramme

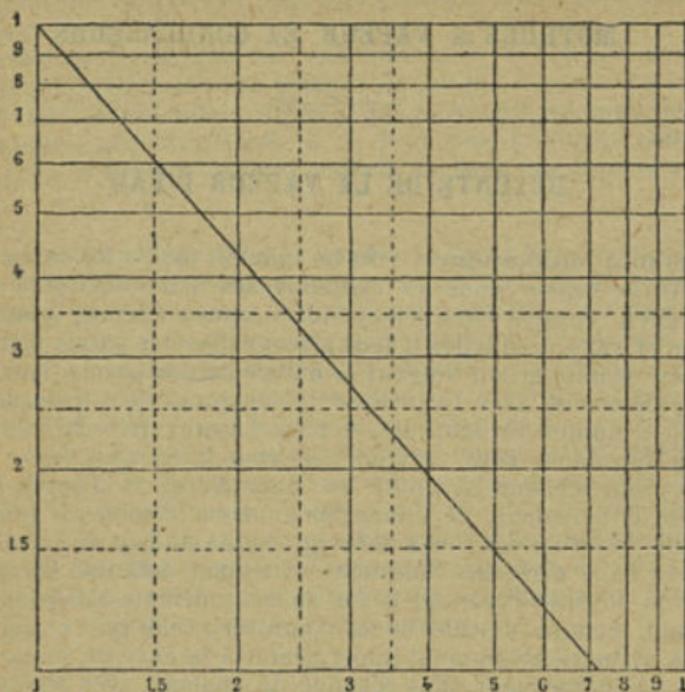


FIG. 87. — Les espacements des traits de cette figure sont proportionnels aux logarithmes des nombres qui les désignent, de sorte qu'une courbe d'équation $pv^k = C^e$, équivalente à $\log p + k \log v = C^e$, y est représentée, avec $\log p$ en ordonnées et $\log v$ en abscisses, par une droite inclinée de $\text{tg } \alpha = k$. La droite tracée sur la figure 14 répond à l'équation $pv^{1,16} = 10$ qui donne $v = 7,30$ pour $p = 1$ et $v = 1$ pour $p = 10$.

de vapeur saturée sèche présente à l'admission, est donnée par la formule :

$$x = \frac{\left(\frac{r}{t} - 2,3 \log \frac{t'}{t} \right)}{r'}$$

dans laquelle t et t' , r et r' sont les températures de saturation et les chaleurs de vaporisation aux pressions initiale et finale p' et p^2 .

Les courbes réelles de détente données par l'indicateur, qui ne sont jamais des adiabatiques, sont souvent de la forme :

$$pv^n = C^e,$$

la valeur de l'exposant n étant donnée, entre les points pv et $p'v'$, par l'équation :

$$n \log v + \log p = n \log v' + \log p';$$

d'où :

$$\log p = n \log v' + \log p' - n \log v,$$

qui permet de déterminer p et v en fonction de p' et v' .

Ces courbes peuvent facilement se construire par points ou à l'aide d'un papier quadrillé logarithmique, en remarquant que l'équation $pv^n = \text{constante}$ équivaut à celle

$$\log p + n \log v = C^e;$$

qui est celle d'une droite tracée sur un papier divisé en prenant pour coordonnées $\log p$ et $\log v$ (Sauvage); c'est ainsi que la droite tracée sur la figure 48 correspond à la relation $pv^{1,16} = 10$, qui donne $p = 10$ pour $v = 1$ et $v = 7,28$ pour $p = 1$.

Parmi ces courbes de détente de la forme pv^n , l'une des plus intéressantes, est celle

$$pv^{1,06} = C^e;$$

c'est, en effet, la détente qui se produirait si l'on fournissait à la vapeur, pendant sa détente, juste assez de chaleur pour en empêcher la condensation; le poids de vapeur présent au cylindre reste alors invariable pendant toute la durée de la détente, de sorte que le tracé de cette courbe sur un diagramme d'indicateur permet de suivre les variations du poids de vapeur présent au cylindre pendant la détente réelle.

2. Détente hyperbolique. — Si l'on fournit encore plus de chaleur à la vapeur saturée sèche, pendant sa détente, la loi de cette détente se rapproche de plus en plus de celle exprimée par la formule :

$$pv = p'v' = C^e$$

représentée sur le diagramme par une hyperbole équilatère.

Le travail effectué par la vapeur en passant de pv à $p'v'$ est alors donné par la formule :

$$T = pv \, 2,30 \log \frac{p'}{p}.$$

Il importe de remarquer que cette loi de la détente hyperbolique n'a qu'une analogie de pure forme avec la loi de Mariotte ou de la détente *isothermique* des gaz, la différence capitale entre les deux détenteurs étant que la température des gaz reste invariable, tandis que celle de la vapeur baisse pendant la détente hyperbolique. A température constante, la pression de la vapeur reste invariable, et, en outre, tandis qu'il ne faut fournir au gaz que la quantité de chaleur équivalente au travail externe ou utilisable qu'il accomplit par sa détente, la vapeur absorbe, pour se détendre suivant la loi $pv = p'v'$, une quantité de chaleur plus considérable que l'équivalent de l'énergie qu'elle dépense en travail extérieur.

ÉCONOMIE DES MOTEURS A VAPEUR

Il appartient à ce que j'appellerai l'école de Liège l'honneur d'avoir succédé à l'école de Mulhouse et d'avoir apporté en cette matière délicate le maximum de clarté.

Les travaux de Dwelshauvers-Dery, élève des idées positivistes de Hirn, et ceux de son émule le regretté G. Duchesne ont fait faire un pas immense et l'on peut dire définitif à la théorie expérimentale de la machine à piston.

Nul n'a conduit plus loin que Duchesne l'analyse expérimentale du bilan des échanges thermiques entre la vapeur et les parois qui l'enveloppent.

Hirn avait montré sur sa fameuse machine du Logebach, l'importance jusqu'alors insoupçonnée de l'influence des parois (1). Dwelshauvers mit les phénomènes en équation (2). Georges Duchesne poussa l'enquête à bonne fin sur la non moins fameuse machine de l'Université de Liège, et aboutit à une théorie physique complète de la machine à piston qui est l'œuvre définitive sur ce sujet, et qui surpasse de beaucoup, étant basée sur les preuves irréfutables de l'expérience, la théorie analytique donnée par Zeuner et celle donnée par Nadal.

Les travaux de G. Duchesne ont une importance pratique considérable en ce sens qu'ils démontrent que le maximum d'économie est obtenu lorsqu'on peut réaliser des détente et compressions telles que le fluide évolue autant que possible durant ces deux [périodes suivant une adiabatique, et ceci peut être réalisé dans des machines monocylindriques qui de ce fait peuvent être aussi économiques que les plus coûteuses machines à multiple expansion.

Il a mis en lumière notamment l'importance de la compression ; si au moment de l'émission la vapeur rejetée est encore humide, la paroi intervient et absorbe de la chaleur ; si la compression est telle que la vapeur est surchauffée, il y a d'une part bénéfice, mais la surface du diagramme (c'est-à-dire le travail fourni) est réduite (c'est-à-dire perte). L'économie maximum doit donc correspondre à l'évolution adiabatique, et finalement tout le secret de l'économie d'une ma-

(1) Les travaux de Hirn sont exposés dans son traité de la *Théorie mécanique de la chaleur* (1875).

(2) Les travaux essentiels de Dwelshauvers et ceux de Georges Duchesne ont été donnés dans la *Revue de Mécanique* et dans la *Revue universelle des mines et de la Métallurgie*. Ils sont condensés dans l'ouvrage de Dwelshauvers : *Etude calorimétrique de la machine à piston*.

chine à piston réside dans le respect de ce mode d'évolution indiqué par la théorie.

1. Causes des pertes dans les machines à piston. — Examinons de plus près le fonctionnement thermique d'une machine à piston, en le comparant au rendement idéal du cycle de Carnot.

Ceci est particulièrement facile à suivre sur le diagramme entropique.

Soit une machine fonctionnant avec de la vapeur initialement saturante à 6 kilogrammes absolus admise par conséquent à la température $T_1 = 158 + 273 = 431$ degrés absolus, et de l'eau de condensation à la température $T_0 = 20 + 273 = 293$ degrés absolus.

Nous avons vu que le travail libéré était représenté sur le diagramme entropique par un rectangle, et le rendement est évidemment le rapport de ce travail utile au travail représenté par l'aire totale à partir du zéro absolu.

L'entropie de vaporisation pour de la vapeur à 431° est 1,149, la largeur de notre rectangle. Le travail utile correspond à une chute de température de $431 - 293 = 138^\circ$, alors que le travail total correspond à une chute de $431 - 0 = 431^\circ$.

On a donc :

Calories utilisées dans le cycle.	$138 \times 1,149 = 158,5$ calories,
— totales.....	$431 \times 1,149 = 495,2$ —
Rendement du cycle....	$\frac{158,5}{495,2} = 0,32$ soit 32 0/0.

On serait arrivé au même résultat par l'application de la formule connue :

$$\rho = \frac{T_1 - T_0}{T} = 0,32 \quad \text{soit} \quad 32 \text{ 0/0.}$$

C'est là le rendement maximum qu'indique la théorie.

Une première cause de perte réside dans l'évolution même du cycle réel de la machine qui, avons-nous vu, n'est pas celui du cycle de Carnot. La vapeur ne revient pas à l'état initial par une adiabate : elle est rejetée au condenseur et remplacée par une nouvelle quantité de vapeur produite dans l'état initial par vaporisation dans la chaudière. Il en résulte une petite perte.

Le travail de ce cycle théorique (cycle de Rankine) est représenté dynamiquement par la surface du diagramme de Watt et thermiquement par la surface équivalente *abdc* du diagramme entropique (*fig. 81*).

On remarquera que la surface trapézoïdale est assimilable à un

rectangle dont la largeur peut être obtenue en ajoutant à l'entropie de vaporisation la demi-variation d'entropie du liquide.

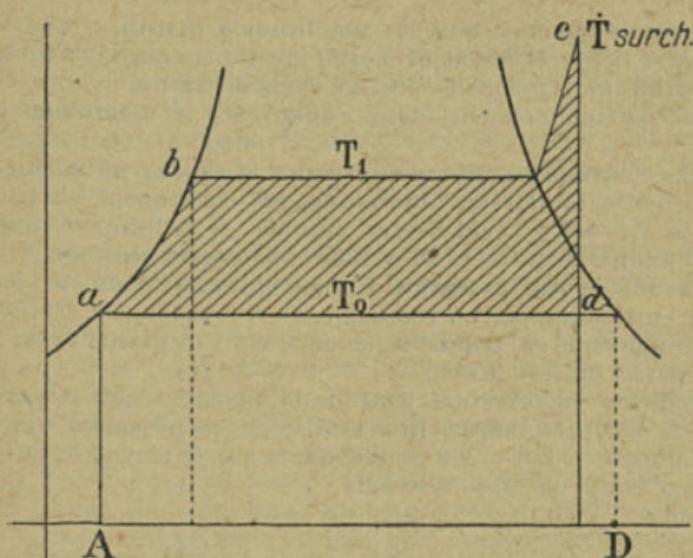


FIG. 88.

Soit :

$$1,149 + \frac{0,461 - 0,121}{2} = 1,319; \text{ c'est la largeur de notre rectangle.}$$

On a donc :

Calories utilisées dans le cycle...	1,319 × 138 =	184,5 calories
— rejetées au condenseur ..	1,489 × 293 =	437,5 —
Calories totales		<u>622,0 calories.</u>

Et le rendement maximum n'est plus cette fois que de :

$$\rho = \frac{184,5}{622} = 0,295 \text{ soit } 29,5 \text{ 0/0 au lieu de } 32 \text{ 0/0.}$$

Une seconde cause de perte inévitable réside dans l'imperfection matérielle de nos moyens de condensation ; nous avons supposé cette eau de condensation à 20°. En réalité il faut une certaine contre-pression (c'est-à-dire une différence de température) pour provoquer l'écoulement de la vapeur depuis le cylindre jusqu'au contact de l'eau, et si le condenseur est à surface au lieu d'être à contact direct (mé-

lange), une nouvelle différence de température est nécessaire pour provoquer le passage de la chaleur de la vapeur au métal et du métal à l'eau.

Dans les meilleurs cas, il n'est guère possible d'éviter une chute de température inférieure à 30°, ce qui réduit d'autant nos diagrammes pv et θ (voir *fig. 89*) : ceci met clairement en lumière l'influence considérable de la condensation sur la consommation.

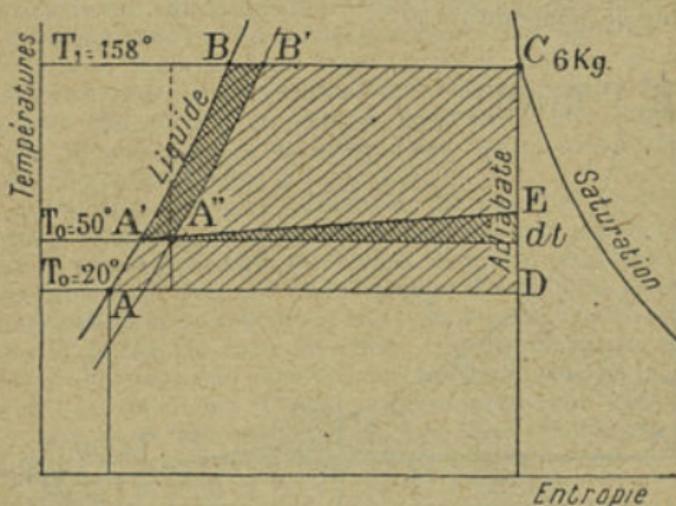


FIG. 89.

A 50°, l'entropie du liquide est 0,172 ; la largeur du rectangle est réduite à :

$$1,149 + \frac{0,461 - 0,172}{2} = 1,294.$$

Et l'on a :

Calories utilisées.....	1,294 × 108 =	139,8 calories,
— rejetées.....	1,438 × 323 =	465,1 —
Calories totales...		<u>604,9 calories,</u>

rendement : $\rho = \frac{139,8}{604,9} = 0,23$ soit 23 0/0 au lieu de 29,5 0/0.

Une troisième perte inévitable est celle due à la détente incomplète. On appelle détente complète celle qui ramènerait exactement la pression à l'échappement à celle de la contre-pression, ce qui exigerait, comme on peut le voir sur le diagramme pv , des volumes de cylindres énormes. IRIS LILLIAD, Université Lille 1

gramme affecte la forme indiquée (fig. 90), V étant le volume du cylindre où s'effectue la détente; il en résulte une perte de travail représentée par la partie quadrillée et que l'on nomme généralement perte triangulaire: c'est pour réduire la valeur de cette perte qu'on a créé les machines dites à multiple expansion. Cette perte, qui réduit la moyenne pression effective, équivaut à une augmentation de contre-pression, moyenne de la variation de pression pendant la durée de l'échappement: elle se traduit sur le diagramme entropique par la faible chute de température dt .

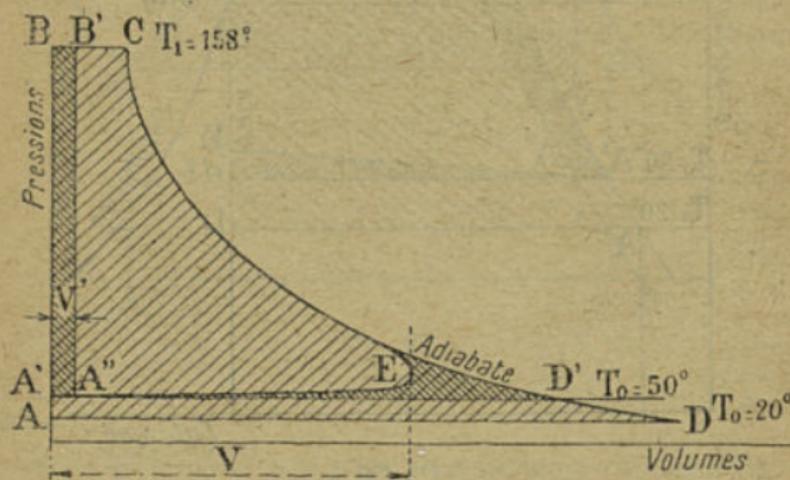


FIG. 90.

Si au point E, ouverture de l'échappement, la température est supérieure de 30° , par exemple au point A correspondant à la fermeture, le diagramme est réduit de la moitié du trapèze construit sur cette chute de température.

La demi-variation d'entropie du liquide entre 80 et 50° est $\frac{0,259-0,172}{2} = 0,043$ à laquelle il faut ajouter l'entropie de vaporisation $1,149$; la chute de température étant 30° , la surface du trapèze est $1,192 \times 30 = 35,0$ calories et la valeur de la perte triangulaire, égale à la moitié est donc $17,9$ calories.

Le calorique utilisé est donc réduit à $139,8 - 17,9 = 121,9$
 — rejeté est porté à $465,1 + 17,9 = 483,0$

et le rendement maximum devient $\frac{121,9}{604,9} = 0,202$ soit 20 0/0 au lieu de 23 0/0.

La quatrième perte inévitable est celle due à l'espace mort ; cette perte est relativement peu importante, mais moins par la valeur même de l'espace nuisible que par l'influence des parois au moment de l'admission suivante, qui dépend considérablement de l'état de la vapeur à la fin de l'émission.

Le diagramme entropique permet de discerner nettement ce qui revient à l'espace mort de ce qui est justiciable de l'influence des parois.

Nous avons indiqué plus haut comment évaluer le poids p de vapeur non évacuée encore présent dans l'espace mort. Cette quantité d'eau, déjà transformée en vapeur, équivaut à une diminution de l'entropie de vaporisation du poids d'eau initial, c'est-à-dire se traduit sur le diagramme par la ligne A'B'.

Un calcul analogue aux précédents montre que la réduction du rendement est déjà insignifiante dans une machine sans compression, et devient tout à fait négligeable dans les machines usuelles, dont la compression dans l'espace mort balance à peu près complètement l'influence nuisible de cet espace mort (au point de vue du rendement).

Reste la principale cause de perte dans les machines : le pouvoir absorbant des parois au moment de l'émission, durant la détente et pendant l'échappement. C'est ici qu'interviennent lumineusement les travaux de G. Duchesne ; la détente dans les machines à piston n'a pas lieu suivant l'adiabatique du cycle de Rankine mais suivant une courbe qui dépend de la condensation initiale.

Au moment de l'admission de la vapeur, une quantité de chaleur plus ou moins importante (suivant la température de la paroi passe à travers la paroi provoquant une réduction correspondante du titre, et est dissipée par le métal de la machine ; une autre fraction est restituée pendant la détente provoquant une augmentation du titre, mais cette récupération est toujours très faible.

Le moyen de réaliser la détente adiabatique serait donc de supprimer cet échange de chaleur ; plusieurs moyens sont bons : d'abord diminuer la durée de contact de la vapeur avec la paroi, c'est-à-dire adopter de grandes vitesses de piston ; éviter la condensation initiale qui augmente beaucoup la perte (le pouvoir absorbant d'une paroi mouillée étant considérablement plus grand que celui d'une paroi sèche) par l'emploi de la surchauffe ; enfin et surtout empêcher l'échange thermique en réalisant une température de la paroi *plus élevée* que celle de la température de saturation de la vapeur agissante. Ce moyen qu'on réalise par l'emploi de chemises de vapeur à pression plus élevée que celle de la vapeur admise a été indiqué par Duchesne et est d'une efficacité bien plus grande que la surchauffe.

2. **Intérêt de la surchauffe.** — L'influence économique de la surchauffe est moins importante qu'on ne l'avait supposé au début et l'on est bien revenu aujourd'hui des très hautes surchauffes qui ont été de mode un moment, sauf toutefois pour les turbines à vapeur où la question de graissage n'intéresse pas.

Le diagramme entropique permet d'analyser aisément l'influence de la surchauffe; la quantité de calories transformées en travail est ici augmentée de la portion hachurée indiquée sur le diagramme figure 88 et le rendement est le rapport de la surface *abcd* à la surface précédemment indiquée.

Les surchauffeurs ont été examinés au chapitre VII, *Générateurs de vapeur*.

3. **Intérêt de la condensation.** — En raisonnant sur les cycles théoriques, l'intérêt de la condensation apparaît très grand. Pratiquement il n'en va pas de même, du moins pour la machine à piston.

Nous avons analysé le fonctionnement de la machine à piston évoluant d'après le cycle de Rankine; sans parler de l'influence des parois, de l'espace mort, des laminages, nous avons vu l'impossibilité de réaliser la détente complète qui exigerait des dimensions de cylindre irréalisables; le gain théorique de la condensation (surface hachée) est ainsi diminué de la surface quadrillée; si l'on ajoute à cette perte la puissance absorbée pour les appareils de condensation, la complication pour obtenir de hauts vides, on conçoit que pour la machine à piston un vide élevé présente peu ou pas d'intérêt.

En fait un vide de 85 0/0 du théorique est le degré que l'expérience indique comme le plus convenable pour la machine à piston.

Il en va tout autrement avec la turbine à vapeur, dont la détente peut être poussée jusqu'à la température du condenseur, à quelques degrés près correspondant à la perte de charge nécessaire pour que la vapeur franchisse l'espace entre les dernières ailettes et le condenseur proprement dit.

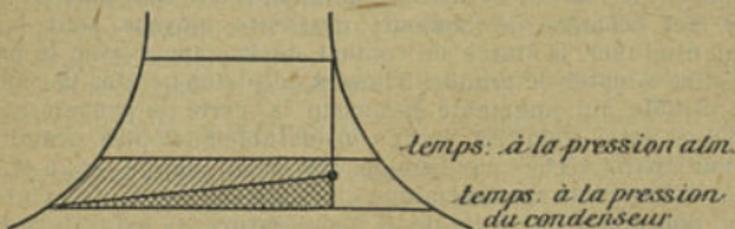


FIG. 91.

Il est important, soit dit en passant, que cet espace ne constitue pas un étranglement suffisant pour donner naissance au phénomène

du débit limite que nous avons vu à propos des ajutages, car alors la contrepression se maintiendrait bien au-dessus de la pression au condenseur.

Comme la surface du diagramme (voir *fig. 91*) augmente très rapidement à mesure qu'on s'approche de zéro, l'intérêt d'un vide élevé devient ainsi considérable et l'influence sur la consommation de plus en plus grande.

Ainsi un accroissement du vide de 10 mm. de mercure procure une diminution de 2 à 6 0/0 dans la consommation de la turbine suivant les températures limitées entre lesquelles évolue le cycle.

C'est cette heureuse propriété de la détente complète qui a permis la création des turbines à vapeur d'échappement, dont l'application pourrait être étendue à toutes les industries utilisant au chauffage des vapeurs de dérivation.

Toutes les fois que le chauffage devra être fait à haute température ce qui conduit à faire fonctionner le moteur entre des limites de température étroites, c'est-à-dire grande consommation, on s'expose à avoir pour la force motrice un besoin de vapeur plus grand que pour le chauffage. Je pense qu'il serait plus logique, et bien plus économique surtout, de chauffer d'abord et de placer le moteur sur la basse pression, après extraction de l'eau condensée.

De multiples industries trouveraient avantage à installer une condensation centrale, avec moteurs à basse pression dans le voisinage des appareils de chauffage.

Quoi qu'il en soit, on peut dire que l'extension rapide de la turbine à vapeur a fait faire un progrès immense à la machinerie de condensation.

4. Intérêt des prélèvements de vapeur ⁽¹⁾. — En étudiant les cycles des machines à vapeur, on est frappé de voir combien est grande, par rapport au travail produit, la quantité de chaleur (dégradée il est vrai, c'est-à-dire à basse température) qui est versée au condenseur et qui est perdue.

La thermodynamique assigne une limite supérieure au rendement d'une machine quelconque fonctionnant entre les températures extrêmes θ (admission) et θ' (condenseur). C'est le rapport $\frac{\theta - \theta'}{\theta + 273'}$ rendement du cycle de Carnot correspondant à ces températures.

Pour augmenter le rendement du cycle des turbines, on devra, d'une part, agir sur les constantes θ et θ' . Ensuite, on fera tous ses efforts pour se rapprocher du cycle de Carnot. Voici un moyen efficace d'arriver à ce dernier résultat.

Dans une turbine ordinaire, on extrait l'eau distillée du condenseur

(1) D'après le rapport Rauber à la Commission interministérielle d'utilisation des combustibles.

à une température de 25 à 30°, et on la renvoie aux chaudières. Imaginons qu'au lieu de cela, on prélève à chaque étage de pression de la turbine une certaine quantité de vapeur, qu'on emploie à réchauffer progressivement l'eau d'alimentation. Celle-ci aura pris à la fin de l'opération une température élevée, voisine de la température de saturation correspondant à la pression au premier étage. On pourrait penser *a priori* que ce réchauffage ne présente pas d'intérêt au point de vue thermodynamique. Ce serait une erreur.

Il est facile de montrer que, pour une turbine fonctionnant à la vapeur saturée, ce réchauffage, supposé réalisé par un nombre infini de prélèvements élémentaires étages, aurait pour effet d'amener le rendement du cycle à être égal au rendement du cycle de Carnot correspondant, c'est-à-dire à atteindre le maximum possible.

L'accroissement du coefficient économique du cycle, est d'ailleurs d'autant plus grand que la pression initiale de la vapeur employée (pression aux chaudières) est plus élevée. On peut en juger par les chiffres du tableau ci-après qui donne les rendements théoriques sans réchauffage ou avec réchauffage parfait, pour différentes pressions initiales de vapeur saturée, et pour un même vide final (97 0/0). Le rendement désigné ci-après par r est celui du cycle de Rankine, celui désigné par R est celui du cycle de Carnot.

PRESSION de vapeur	RENDEMENT théorique sans réchauffage r	RENDEMENT théorique avec réchauffage R	RAPPORT $\frac{R}{r}$
10 kilogr.	0,309	0,340	1,10
15 —	0,328	0,368	1,12
20 —	0,341	0,365	1,13
25 —	0,351	0,398	1,135

Ci-dessous voici le même tableau poussé jusqu'à la pression de 100 kilogrammes.

PRESSION de vapeur	RENDEMENT théorique sans réchauffage r	RENDEMENT théorique avec réchauffage R	RAPP. $\frac{R}{r}$
35 kilogr.	0,369	0,421	1,14
50 —	0,383	0,443	1,16
100 —	0,390	0,489	1,25

On voit que l'élevation du timbre présente, en outre des avantages déjà signalés plus haut, celui d'accentuer la majoration dont le rendement théorique est susceptible, grâce au chauffage méthodique maintenant envisagé.

Lorsqu'il s'agit d'une turbine alimentée au moyen de vapeur surchauffée, la série complète des prélèvements comprend, en allant de l'amont à l'aval de la turbine, d'abord des prélèvements en vapeur de moins en moins surchauffée, puis d'autres en vapeur sèche ou humide. Le rendement théorique du cycle est alors moins simple à calculer que dans le cas précédent, mais le résultat est du même ordre.

Si, enfin, au lieu d'envisager une machine théorique parfaite avec des prélèvements en nombre infini, on considère une turbine réelle avec des prélèvements à tous ses étages de pression, le calcul donne des chiffres encore assez peu différents.

Dans le cas où l'on n'opère pas des prélèvements à tous les étages, mais seulement un petit nombre de prélèvements à quelques étages judicieusement choisis, l'augmentation du coefficient économique du cycle est naturellement moindre que dans le cas où le système est appliqué dans des conditions plus voisines de la conception théorique, mais elle reste intéressante. Il importe de noter à ce sujet que, pour un même poids de vapeur prélevée, l'effet du réchauffage sur le coefficient économique du cycle est d'autant plus accusé qu'il s'agit d'un étage plus rapproché du condenseur et que, par suite, la vapeur que l'on prélève a déjà fourni plus de travail.

Considérons par exemple une turbine moderne fonctionnant avec de la vapeur à 25 kg surchauffée à 400°. Cette turbine aura par exemple dix étages.

Un prélèvement unique, effectué au 9^e étage et soutirant 1,9 0/0 de poids de la vapeur entré dans la turbine, suffira à élever à la température de cet étage la totalité de l'eau condensée et augmentera le rendement du cycle de 2,5 0/0. Température de l'eau échauffée, 45°.

Deux prélèvements, l'un au 8^e, l'autre au 9^e étage, ensemble 7,26 0/0 du poids de vapeur entré dans la turbine, donneront une augmentation de 4,4 0/0. Température de l'eau échauffée, 65°.

Trois prélèvements, aux 7^e, 8^e et 9^e étages, ensemble 10,27 0/0 du poids de vapeur entré dans la turbine, donneront une augmentation du rendement du cycle égale à 6,2 0/0. Température de l'eau échauffée, 85°.

On fera, et on a déjà fait à ce procédé de réchauffage de l'eau d'alimentation, l'objection que, lorsque cette eau sort froide de la turbine, on met à profit sa basse température initiale pour récupérer méthodiquement, au moyen d'économiseurs, une partie de la chaleur sensible des gaz provenant des chaudières proprement dites. Cette objection ne tient pas, attendu qu'on peut récupérer cette chaleur

sensible pour d'autres usages, par exemple pour échauffer l'air comburant avant de l'envoyer sous les grilles des chaudières.

Si l'on compare en eux-mêmes, et pour un même réchauffage de l'eau d'alimentation, les deux procédés, à savoir d'une part l'emploi d'économiseurs et d'autre part le réchauffage à la turbine au moyen de prélèvements de vapeur, on remarque qu'il est plus rationnel de réchauffer de l'eau à 25° avec de la vapeur à 45°, de l'eau à 45° avec de la vapeur à 65°, etc., que de chauffer cette même eau avec des gaz ayant des températures supérieures à 150°. En outre, il est plus intéressant de réaliser la transmission de chaleur dans un faisceau tubulaire en laiton mince, à grand rendement, travaillant avec deux fluides purs, que dans un faisceau tubulaire en acier ou en fonte, n'ayant pas toujours un bon coefficient de transmission.

Depuis de longues années déjà, on utilisait pour faire du chauffage, dans certaines machines à piston compound, des prises de vapeur au receiver, ou la vapeur d'échappement de machines à contre-pression. Il convient de noter la grande différence qui existe entre ces applications et le réchauffage progressif de l'eau d'alimentation préconisé ci-dessus, qui tend à faire de la turbine à vapeur un appareil méthodique et complet.

Évidemment, dans l'état actuel des choses, on se bornera, pour les premières applications, à faire deux ou trois prélèvements aux étages inférieurs, qui sont d'ailleurs, comme nous l'avons dit, les plus intéressants comme bénéfique. Cela permettra de continuer à employer l'économiseur à eau en même temps que le réchauffeur d'air. Mais on peut penser que dans les centrales futures l'importance des réchauffeurs à prélèvements augmentera au détriment de celle des économiseurs, ces derniers étant de plus en plus remplacés comme récupérateurs, à la suite des chaudières, par les réchauffeurs d'air. L'évolution sera d'autant plus rapide que l'on s'orientera plus nettement vers des pressions élevées.

La construction des réchauffeurs d'eau d'alimentation, destinés à la mise en œuvre des principes qui viennent d'être développés, ne comporte aucune difficulté spéciale. On peut opérer par mélange ou par surface. C'est le réchauffeur à surface qui semble devoir être adopté, car il dispense d'avoir à se préoccuper des différences de pression entre la vapeur et l'eau. Cet appareil sera construit à la façon d'un condenseur par surface, et on devra y prévoir, notamment, l'évacuation méthodique de l'eau condensée et de l'air.

Avec une disposition convenable des appareils, on peut penser que le rendement mécanique de la turbine ne sera pratiquement pas affecté par l'adjonction du système de réchauffage.

5. Intérêt d'emploi de la vapeur d'échappement en cascade (1).

— L'équivalent calorifique d'un cheval-heure étaent de 635 calories, c'est-à-dire du même ordre de grandeur que la chaleur totale d'un kilogramme de vapeur, une machine à vapeur parfaite ne devrait consommer qu'un kilogramme environ de vapeur par cheval-heure, si toute la chaleur reçue par le fluide pouvait être transformée en travail. Or, la machine parfaite à condensation consomme 3 à 4 kilogrammes et la machine réelle 5 à 10 kilogrammes. Il saute aux yeux que l'utilisation de la chaleur non transformable en travail et abandonnée par la machine constitue une des sources d'économie les plus fécondes dans l'emploi de la vapeur.

Mais l'utilisation de cette chaleur est souvent peu aisée, à raison de ce qu'elle est d'autant plus dégradée et ramenée à un niveau de température d'autant plus bas que la machine est plus perfectionnée et sa consommation plus réduite. Une centrale électrique, par exemple, avec turbines modernes, évacue des centaines de millions de calories par heure, qui se retrouvent dans l'eau du condenseur à une température entre 25° et 35° centigrades, c'est-à-dire à un niveau où, malheureusement, elle est presque sans valeur pratique. C'est à peine si une petite fraction de cette chaleur peut être employée à réchauffer l'eau d'alimentation de quelques degrés ou, comme cela se fait dans des cas malheureusement trop rares, à alimenter des bains publics. La plupart du temps cette énorme quantité de chaleur à basse température est plus gênante qu'utile, et il faut faire usage de réfrigérants spéciaux pour s'en débarrasser et la céder à l'atmosphère.

Il faut donc, si l'on veut utiliser la chaleur de la vapeur d'échappement d'une machine ou d'une turbine, s'arrêter à un niveau de température plus élevé en évitant la détente complète. On augmente ainsi, bien entendu, la consommation de vapeur par unité de travail mécanique, mais, dans l'ensemble, le profit est souvent très sérieux.

Un exemple concret fera mieux comprendre la relation qui existe entre ces différentes grandeurs.

Supposons une machine alimentée en vapeur à 12 kilogrammes absolus et 250° centigrades (vapeur surchauffée). Si cette machine marche avec un vide de 92 0/0, elle consommera, par exemple, 5 kg. 16 de vapeur par cheval-heure indiqué. Elle abandonnera en même temps au condenseur 2.940 calories à un niveau de température de 41°, c'est-à-dire sans grande valeur (voir le tableau ci-après) :

(1) D'après le rapport Kammerer à la Commission d'utilisation des Combustibles.

Pression initiale absolue, 12 kilogrammes par centimètre carré ;
température initiale 250°.

PRESSION A L'ÉCHAPPEMENT	CHALEUR DISPONIBLE par la détente adiabatique d'un kilogramme de vapeur	VALEUR SUPPOSÉE du rendement thermodynamique de la machine, par rapport à la machine parfaite	CALORIES UTILISÉES par kilogramme de vapeur	CONSOMMATION DE VAPEUR par cheval-heure	CHALEUR DU KILOGRAMME de la vapeur d'échappement	CHALEUR DE LA VAPEUR d'échappement par cheval-heure	TEMPÉRATURE DE LA VAPEUR d'échappement
kg/cm ²	cal.		cal.	kg.	cal.	cal.	degré cent.
0,08	188,3	0,65	122,4	5,16	569,1	2.938	41,3
0,5	133,6	0,68	90,7	6,97	604,0	4.209	80,9
1,1	104,8	0,70	73,3	8,62	623,1	5.372	101,8
3,0	65,3	0,73	47,6	13,28	651,4	8.649	133 (139)
5,0	43,8	0,76	33,25	19,00	667,1	12.680	151 (168)

Si on remonte le niveau de température d'aval en diminuant le vide jusqu'à 50 0/0, la consommation de vapeur montera à près de 7 kilogrammes par cheval-heure et la quantité de chaleur évacuée à environ 4.200 calories. Cette chaleur sera à un niveau de température de 81°, c'est-à-dire très apte déjà à certains usages, en particulier à la préparation d'eau chaude pour la brasserie, les bains de teinture ou le chauffage d'ateliers.

En supprimant complètement le condenseur et en marchant à échappement libre, c'est-à-dire à une contre-pression dépassant légèrement 1 kilogramme absolu, la consommation et la chaleur évacuée augmenteront encore d'environ 20 0/0, s'élevant respectivement à 8 kg. 6 et à 5.370 calories. Cette fois, la chaleur évacuée aura une valeur très appréciable, puisque sa température sera de 100° environ. Elle pourra servir à des chauffages de toute sorte à basse pression, vaporisation, séchage et autres. Toutefois, à ces température et pression, la vapeur de décharge ne peut pas être amenée bien loin, à moins que l'on ne fasse un léger vide à l'extrémité de la conduite. Dans la plupart des emplois de vapeur, cette sujétion est gênante, et il est utile, souvent même indispensable, d'avoir une certaine pression.

Une pression de 2 kilogrammes effectifs suffit pour un grand nombre d'applications, par exemple dans l'industrie textile et celle du papier. En arrêtant la détente à cette pression, la machine considérée, alimentée toujours par la même vapeur surchauffée, consommerait 13 kg. 3 et évacuerait 8.650 calories à 3 kilogrammes de pression absolue, pression à laquelle correspond une température de 133°, sans tenir compte des quelques degrés de surchauffe que la vapeur pourrait encore avoir au sortir de la machine.

Si enfin l'utilisation de la vapeur d'échappement nécessite une pression encore plus élevée, par exemple 5 kilogrammes absolus, la consommation montera à 19 kilogrammes avec une quantité de chaleur disponible de 12.680 calories, qui se trouvera être à une température supérieure à 150°.

Cet exemple montre dans quelles proportions augmente, en fonction de la contre-pression, la consommation des machines et la chaleur disponible à leur sortie. Ces chiffres n'ont rien d'absolu. Ils s'appliquent à une bonne machine à pistons, ils seraient plus élevés s'il s'agissait de vapeur saturée ou d'une machine moins bonne, mais pourraient être sensiblement moindres, surtout pour les contre-pressions élevées, si, au lieu de 12 kilogrammes, on employait une pression initiale de 18 ou 20 kilogrammes. L'avantage des hautes pressions d'admission est incontestable dans ce cas.

Les turbines à vapeur fonctionnant à contre-pression ont d'ordinaire, à égalité de contre-pression, des consommations plus élevées que les machines à pistons, puisque le rendement des roues haute pression est généralement moindre. Malgré cette infériorité, la turbine à contre-pression, même de faible puissance, est souvent employée lorsqu'on veut utiliser la vapeur de décharge, parce que cette vapeur est absolument pure et exempte d'huile, tandis que celle qui sort d'une machine à pistons contient, même après son passage par des déshuileurs, un peu d'huile. La présence de traces d'huile, même légères, peut rendre la vapeur inemployable pour certaines opérations, où elle entre en contact direct soit avec des marchandises délicates, soit avec des matières alimentaires.

CONSOMMATION DES MOTEURS A VAPEUR

1. **Consommation théorique.** — Un cheval-heure équivaut à 635,3 calories et un kilowatt-heure à 863 calories.

Si N est le nombre de calories transformées en travail par kilogramme de vapeur évoluant d'après le cycle de Rankine (Machine idéale), la consommation théorique par cheval-heure et par kilowatt-heure est respectivement :

$$p_{HP} = \frac{635,3}{N} \quad \text{et} \quad p_{KH} = \frac{863}{N}.$$

M. Rateau a donné un abaque des consommations *théoriques* de vapeur, calculées d'après :

$$(1) \quad N = r_1 \cdot \frac{T_1 - T_2}{T_1} + \int_{T_2}^{T_1} \frac{T - T_2}{T} dT,$$

ou :

- T_1 est la température absolue à l'admission (pression p);
- T_2 — — — au condenseur (pression p);
- c , chaleur spécifique variant avec la température T ;
- r_1 , — latente de vaporisation à la température T .

L'abaque figure 92, complété pour les basses pressions, donne les consommations théoriques de vapeur entrant à la pression P et se condensant à la pression p , dans l'hypothèse que la vapeur est saturée sèche à l'admission et que l'eau condensée retourne à la chaudière à la température correspondant à la pression p .

Ces pressions sont exprimées en kg. : cm^2 alors que le vide est exprimé en général en centimètres de mercure ; la table donnée au chapitre II « Unités » fournit la correspondance.

Il est extrêmement laborieux de tenir compte dans la formule (1) soit de la surchauffe, soit de l'humidité dans la vapeur à l'admission (ce qui est particulièrement important dans les turbines utilisant de la vapeur d'échappement).

Le calcul par l'entropie est beaucoup plus commode. Le nombre de calories transformées en travail, par kilogramme de vapeur, est :

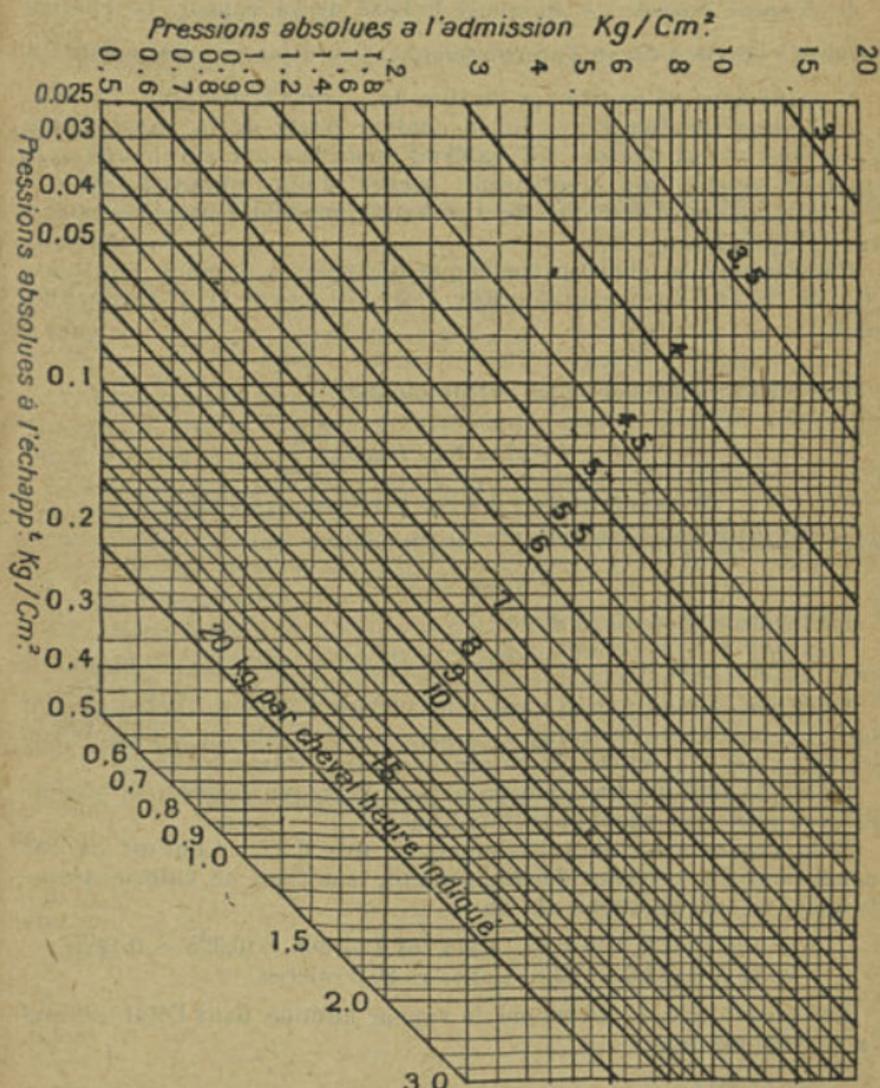
$$(2) \quad N = \text{IRIS-LILLIAD} \cdot (T_1 - T_2) \cdot (1 - \tau_2),$$

dans laquelle :

$q_1 q_2$ = chaleurs du liquide aux températures absolues T_1 et T_2 ;

$\tau_1 \tau_2$ = entropies du liquide aux températures T_1 et T_2 ;

$\varphi_1 \varphi_2$ = accroissement d'entropie de la vapeur aux températures T_1 et T_2 .



Cette formule donne exactement les mêmes valeurs (1) dans les mêmes hypothèses, c'est-à-dire vapeur saturée sèche à l'admission, en retournant à la température de condensation.

Mais il devient très facile de faire intervenir l'humidité et la surchauffe.

1° *Vapeur humide.* — Si x est le titre de la vapeur, la chaleur latente r devient rx , et l'accroissement d'entropie $\frac{rx}{T}$, c'est-à-dire εx .

Il suffit donc de mettre $\varepsilon_1 x$ au lieu de ε_1 dans la formule (2).

2° *Vapeur surchauffée.* — Ici la chaleur totale de la vapeur dans l'état initial est accrue des calories apportées par surchauffe et la chaleur rejetée au condenseur accrue d'une quantité égale à l'accroissement d'entropie de surchauffe multiplié par la température d'évacuation.

Connaissant la chaleur spécifique moyenne à pression constante (C_p) m de la vapeur surchauffée entre T saturé et T surchauffé, on a :

$$q_{\text{surch.}} = (C_p) m. (T_{\text{surch.}} - T_{\text{sat.}}).$$

L'accroissement d'entropie est donné par :

$$\gamma = M (C_p) m. \log. \text{ vulg. } \frac{T_{\text{sat.}}}{T_{\text{surch.}}},$$

M étant le module des log. népériens = 2,3026,

et la quantité de chaleur rejetée au condenseur par :

$$q_{\text{cond.}} = \gamma T_2.$$

La formule (2) devient donc :

$$N = q_1 - q_2 + \varepsilon_1 (T_1 - T_2) - T_2 (\varepsilon_1 - \varepsilon_2) + q_{\text{surch.}} - q_{\text{cond.}}$$

EXEMPLE. — Soit par exemple une turbine à vapeur d'échappement fonctionnant entre les limites de pression 1^k5,2 absolu à l'admission (temp. = 104,2) et 0^k5,06 absolu au condenseur (temp. = 35,5).

L'ébauche indique une consommation théorique de 6^k5,5 de vapeur saturée sèche par cheval-heure indiqué.

Si la vapeur avait été initialement au titre 0,85, ce qui est un cas usuel pour de la vapeur d'échappement, le nombre de calories transformées en travail aurait été de :

$$\begin{aligned} N &= 104,8 - 35,3 + 0,85 \cdot 1,414 \cdot 68,7 - 308 \cdot 5 (0,325 - 0,122) \\ &= 69,5 + 82,6 - 62,6 \text{ calories} = 89,5 \text{ calories.} \end{aligned}$$

La consommation théorique de vapeur humide dans l'état indiqué ($x = 0,85$) est donc :

$$\frac{635,3}{89,5} = 7,1 \text{ kilogrammes par cheval-heure indiqué.}$$

Si au contraire la vapeur d'échappement à $1^{\text{st}},2$, dont la température de saturation est $104,2$, avait été surchauffée à 150° , la consommation de calories aurait été de :

$$\begin{aligned} N &= 69,5 + 1,414 \cdot 68,7 - 308 \cdot 5 (0,325 - 0,122) + \\ &= 69,5 + 97,1 - 62,6 + 0,462 \cdot 45 - 0,0455 \cdot 308 \cdot 5 \\ &= 187,4 - 76,6 = 110,8 \text{ calories.} \end{aligned}$$

La consommation théorique de vapeur surchauffée dans l'état indiqué ($t = 150^{\circ}$) est donc :

$$\frac{635,3}{110,8} = 5^{\text{kg}},7 \text{ par cheval-heure.}$$

On voit ainsi l'influence de l'état initial de la vapeur sur la consommation :

1 ^o	Vapeur à $1^{\text{st}},2$ saturée sèche.....	=	$6^{\text{kg}},5$	par cheval-heure.
2 ^o	— humide à $x = 0,85\dots$	=	$7,1$	—
3 ^o	— surchauffée à $150^{\circ}\dots$	=	$5,7$	—

2. Consommation pratique. — Il suffit de diviser la consommation théorique par le rendement spécifique, encore appelé rendement thermodynamique du moteur.

Ce rendement atteint jusqu'à 70 0/0 dans les turbines; on peut prendre 0,60 couramment.

Dans les machines à piston, où l'influence de la paroi est plus considérable que dans la turbine, il ne dépasse guère 50 0/0, sauf dans les machines équilibrées.

Tous ces chiffres bien entendu pour la marche à pleine charge; le rendement spécifique diminue très sensiblement avec la charge.

EXEMPLE. — La turbine à échappement, pour laquelle nous avons trouvé, dans l'exemple précédent, une consommation théorique de $6^{\text{kg}},5$ par cheval et par heure, consommera pratiquement :

$$\frac{6,5}{0,6} = 11 \text{ kilogrammes sensiblement par cheval.}$$

3. Consommation pratique

(D'après des essais de consom

PUISSANCE en chevaux	TYPE DE TURBINE	VAPEUR	
		pression en kg : cm ²	saturée ou surchauffe en degrés C.
150	De Laval.....	9	Saturée
300	De Laval.....	14	Surch. 60
50	De Laval.....	7	Saturée
20	De Laval.....	12	Saturée
250	De Laval.....	8	Saturée
500	Rateau.....	10	Saturée
500	Rateau.....	8,5	Surch. 50
525	Rateau.....	9	Saturée
475	Rateau.....	15,3	Saturée
1.000	Rateau.....	12,0	Saturée
1.500	Curtis (Thomson-Houston).....	10	Surch. 115
1.000	Curtis (T.-H.).....	10	Surch. 100
2.500	Curtis (T.-H.).....	8	Surch. 75
1.000	Curtis horizont. (A. E. G.).....	13,1	Surch. 121
1.000	Curtis horizont. (A. E. G.).....	13,1	Surch. 69
550	Zølly.....	8,5	Saturée
500	Zølly.....	12,5	Surch. 122
450	Zølly.....	10	Saturée
1.850	Riedler-Stumpf.....	13	Saturée
700	Riedler-Stumpf.....	12	Surch. 110
850	Riedler-Stumpf.....	8,0	Surch. 125
35	Parsons.....	6	Saturée
50	Parsons.....	*	Saturée
250	Parsons.....	9,5	Surch. 50
250	Parsons.....	12,5	Surch. 60
400	Parsons.....	14,0	Saturée
550	Parsons.....	7,5	Surch. 35
2.700	Parsons.....	12	Surch. 85
4.000	Parsons.....	13	Surch. 120
13.500	Parsons.....	11	Surch. 135
6.000	Parsons (Willans).....	13,9	Surch. 55

de vapeur des turbines.

mation en marche industrielle.)

CONSOMMATION en kg. de vapeur par cheval-heure				OBSERVATIONS
pleine charge	3/4	1/2	1/4	
7,1	»	»	»	Centrale privée.
5,8	»	»	»	Centrale privée.
16,0	»	19,0	»	Centrale privée.
14,75	»	16,0	»	Privée.
7,5	»	»	»	Privée.
7,1	»	»	»	Turbo-alternateur.
5,8	»	»	»	
5,8	»	»	»	Centrale minière.
7,3	»	»	»	
6,6	»	»	»	
5,5	»	6,2	»	Compagnie lyonnaise des tramways.
5,6	»	»	»	Privée.
4,4	»	»	»	Centrale Etats-Unis.
5,5	»	»	»	
6,2	»	»	»	
6,8	6,95	7,1	8,04	Centrale de Mulhouse.
5,1	»	»	»	
7,2	8,6	»	10,0	Station allemande.
5,4	»	»	»	Stodola.
6,1	»	6,6	»	Station allemande.
5,85	»	7,6	»	Société l'Espérance, à Liège.
10,2	»	»	»	Newcastle-on-Tyne.
14,0	»	16,0	»	Exposition de Paris 1900.
8,3	8,5	9,0	»	Centrale de Heidelberg.
7,1	7,6	7,9	»	Centrale de Coire.
8,5	»	»	»	Atelier de la Marine à Indret.
7,3	7,7	8,8	11,8	Centrale de mines.
5,8	6,1	6,3	8,6	Station Edison à Milan.
4,9	5,1	»	»	Station municipale à Francfort.
4,2	4,8	»	»	Station centrale d'Essen (garantie 4 kilogrammes par cheval).
5,3	»	»	»	

4. Consommation pratique de vapeur des machines à piston.

(D'après des essais de consommation en marche industrielle.)

PUISSANCE en chevaux	TYPE de machine	VAPEUR		CONSOMMATION à pleine charge en kg. de vapeur par cheval-heure	OBSERVATIONS (Toutes ces machines sont à condensation)
		pression en kg : cm ²	saturée ou surchauffée en degrés C.		
70	A soupapes.....	7,35	Saturée	9,732	
52	A obturateur Cor- liss.....	6,25	Saturée	10,666	
78	A tiroirs-pistons	7,20	Surch. 55	9,003	
115	A soupapes.....	9,35	Surch. 120	8,030	
160	A obturateurs...	7,5	Saturée	10,707	
155	A obturateurs...	7,0	Saturée	10,608	
160	A obturateurs...	7,8	Saturée	9,014	
45	A tiroirs-plans...	7,0	Saturée	13,735	
190	A obturateurs...	6,4	Saturée	7,337	
1.100	A piston-valve..	7,6	Surch. 100	4,791	Compound.
725	A obturateurs...	7,5	Saturée	7,563	Compound.
650	A obturateurs...	11,0	Saturée	6,305	Compound.
375	A obturateurs...	7,0	Saturée	6,172	Compound.
400	A piston-valve..	8,3	Saturée	6,268	Compound.
360	A piston-valve..	9,2	Surch. 35	4,545	Compound.
550	A soupapes.....	11,2	Surch. 90	5,683	
130	A tiroir Rider...	11,6	Saturée	7,054	
500	A piston-valve..	7,2	Surch. 120	4,514	Dujardin, compound.
330	A soupapes.....	8,5	Surch. 170	4,400	Carels, compound.
275	A soupapes.....	10,0	Saturée	5,400	Crepelle, compound.
500	A piston-valve..	9,8	Surch. 195	4,02	Van den Kerchove, compound.
850	A piston-valve..	10,8	Surch. 53	5,10	Willans, type pilon, triple expansion.
1.000	A obturateurs...	13,6	Surch. 45	4,70	Wallsend triple ex- pansion.
5.000	A obturateurs...	10,5	Saturée	5,33	Allis, compound.

(1) IZART, dans l'*Industrie électrique*, 25 février 1909.

CONDENSEURS DE MOTEURS A VAPEUR

1. **Condensation.** — Pour les calculs relatifs à la condensation, l'extraction de l'eau et de l'air, se reporter au chapitre IV, paragraphe *Condensation*.

2. **Consommation de puissance pour la condensation.** — La puissance consommée pour la condensation comprend trois termes ; le principal, exigé pour la circulation de l'eau, est éminemment variable, dépendant du débit et de la résistance du circuit de la circulation.

Le second, pour l'extraction de l'air, est également très variable, suivant le type de pompe à air employé.

Le troisième, comprenant le travail d'élévation de l'eau condensée jusqu'à la bêche d'alimentation où puisent les pompes d'alimentation des chaudières, est toujours très minime.

On compte pratiquement que la machinerie de condensation consomme de 5 à 10 0/0 de la puissance développée aux machines.

La consommation de puissance des pompes à air a été étudiée expérimentalement pour les principaux modèles de trompes par Grümewald (1), et M. Aimé Witz a complété les résultats de cette étude par ceux qu'il a obtenus avec un éjecteur Bréguet, dans la *Technique Moderne* du 1^{er} juillet 1914. Ces divers résultats sont traduits dans l'un et l'autre articles par des courbes de comparaison fort intéressantes.

3. **Installations de condenseurs à mélange.** — Les figures ci-contre montrent l'installation des trois principaux types de condenseurs à mélange appliquée à un groupe de turbine à vapeur.

La figure 93 montre un condenseur barométrique.

La pompe P fournit l'eau d'injection et p est la pompe d'extraction de l'air, dite pompe sèche ; ces deux pompes sont alternatives.

La figure 94 montre un éjecto-condenseur.

Une seule pompe P fournit l'eau d'injection ; c'est une pompe centrifuge mue électriquement.

La figure 95 montre l'application de l'éjecteur-air Lemale ; l'appareil aspire son eau lui-même.

(1) Grümewald, *Expériences sur les pompes à air, à éjecteur, à eau*. *Zeitsch. des ver. Deutscher ingenieur*, 1912, p. 1975.

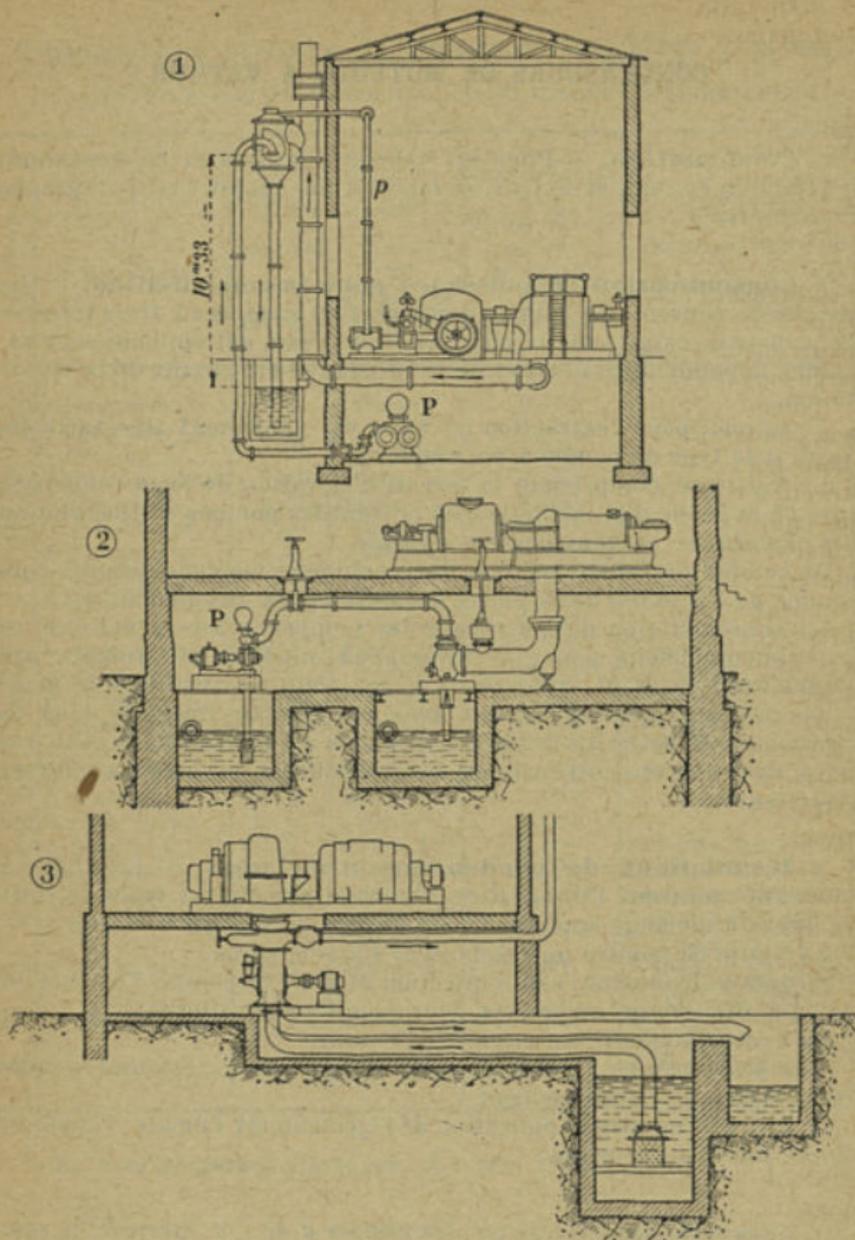


FIG. 93, 94 et 95.

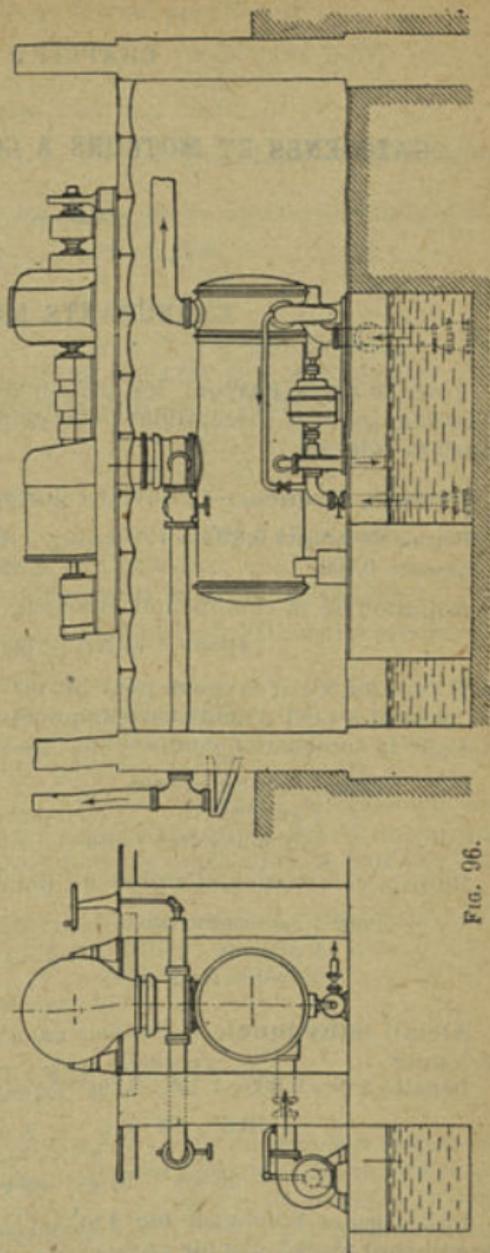
4. Installations de condenseurs à surface.

— La figure 96 montre une installation type de condensation par surface avec pompe Leblanc à lame d'eau.

Un même moteur électrique actionne la pompe de circulation d'eau dans le condenseur D, et la pompe à air sec F à lame d'eau; on distingue en charge sous le condenseur la pompe d'extraction d'eau condensée.

Dans les installations à extraction d'air par éjecteur, qui sont presque exclusivement employées maintenant, les éjecteur et condenseur auxiliaires sont placés sur le plancher au-dessus du condenseur et le groupe de pompage comprend sur le même arbre la pompe de circulation et la pompe d'extraction d'eau condensée.

Il est enfin à noter comme dernière évolution, que pour les groupes d'une certaine puissance, on remplace le moteur électrique du groupe par un petit turbo à vapeur dont l'échappement est envoyé dans les bas étages de la turbine; on évite ainsi la dépendance du groupe des incidents électriques ou disjonctions, etc.



CHAPITRE X

GAZOGÈNES ET MOTEURS A COMBUSTION INTERNE

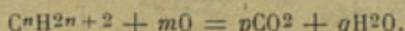
CARBURANTS LIQUIDES

Voici, d'après Favron, les principales caractéristiques des combustibles liquides susceptibles d'être employés dans les moteurs à combustion interne :

Pétrole, essence. — Pouvoir calorifique :

Pétrole de densité 0,820 (à 15°)	11.040 calories par kilogramme
Essence 0,700.....	11.340 —

Équation de la combustion *théorique* :



Il faut 3^{kg},504 d'oxygène pour brûler 1 kilogramme de pétrole, et il se produit 3^{kg},091 d'acide carbonique et 1^{kg},413 de vapeur d'eau.

Pour la combustion complète de l'essence de pétrole à 0,700, il faut :

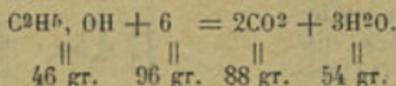
Pour 1 centimètre cube	91,09 d'air à 15°
— 1 gramme	13 litres —
— 110 millimètres cubes	1 litre —

Pour la combustion complète du pétrole à 0,800, il faut :

Pour 1 centimètre cube	104,9 d'air à 15°
— 1 gramme	13 litres —
— 96 millimètres cubes	1 litre —

Alcool (éthylque). — Pouvoir calorifique : 7.200 calories par kilogramme.

Densité à 0° : 0,809 ; à 15° : 0,794. Équation de combustion *théorique* :



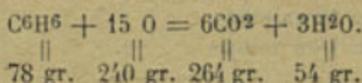
Pour brûler 1 kilogramme d'alcool pur, il faut 2^{kg},087 d'oxygène, produisant 1^{kg},943 d'acide carbonique et 1^{kg},47 de vapeur d'eau.

Pour la combustion complète de l'alcool pur, il faut :

Pour 1 centimètre cube	5,92	d'air à 15°
— 1 gramme	7,4	—
— 169 millimètres cubes.....	1,0	—

Benzol (benzine de houille). — Pouvoir calorifique : 9.830 calories par kilogramme.

Densité à 0° : 0,899 ; à 15° : 0,889. Équation de combustion *théorique* :



Il faut 3^{kg},077 d'oxygène pour brûler 1 kilogramme de benzine, en produisant 3^{kg},384 d'acide carbonique et 0^{kg},693 de vapeur d'eau.

Pour la combustion complète de la benzine, il faut :

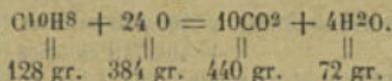
Pour 1 centimètre cube	9,58	d'air à 15°
— 1 gramme	10,65	—
— 104 millimètres cubes.....	1,00	—

Naphtaline. — Ce carburant, quoique solide, a été employé avec succès dans les moteurs à essence et à pétrole.

C'est à ce titre que nous en donnons ici les caractéristiques :

Fusion 79°, ébullition 218° ; puissance calorifique 9.700 calories par kg.

Équation de combustion *théorique* :

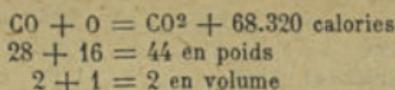
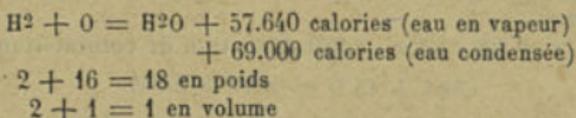
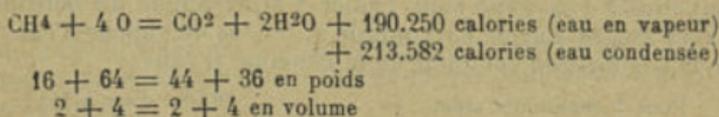
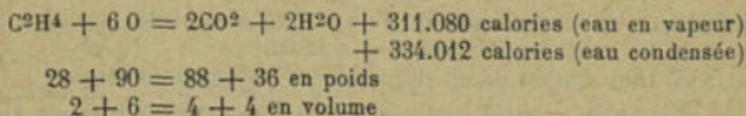
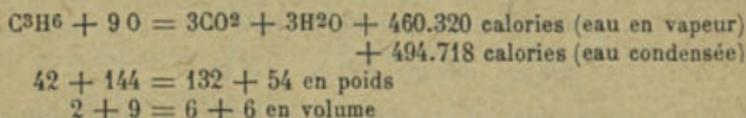
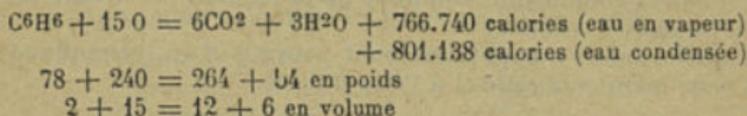


Il faut 3 kilogrammes d'oxygène pour brûler 1 kilogramme de naphtaline, en donnant 3^{kg},438 d'acide carbonique et 0^{kg},562 de vapeur d'eau. Pour la combustion complète de la naphtaline, il faut 13^{lit},043 d'air à 15° pour 1 gramme.

Les carburateurs à naphtaline sont pourvus d'un réchauffage suffisant pour maintenir celle-ci à l'état liquide.

CARBURANTS GAZEUX

1. **Constituants des gaz de gazogène.** — Les combustibles employés dans les moteurs à gaz sont essentiellement constitués des gaz élémentaires suivants : oxyde de carbone (CO), hydrogène (H), méthane (CH₄), éthylène (C₂H₄), propylène (C₃H₆), benzol (C₆H₆), dont nous donnons ci-après le pouvoir calorifique et les équations de combustion

a. *Oxyde de carbone :*b. *Hydrogène :*c. *Méthane :*d. *Éthylène :*e. *Propylène :*f. *Benzine :*

Ce qui donne, comme pouvoir calorifique ramené au kilogramme et au mètre cube de ces différents gaz, les chiffres suivants (*l'eau de combustion en vapeur*) :

	CH ₄	C ² H ⁴	C ³ H ⁶	C ⁶ H ⁶	CO	H
Pouvoir calorifique par kilo-gramme.....	11.890	11.110	10.960	9.830	2.440	28.820
Pouvoir calorifique par mètre cube.....	8.250	13.500	20.000	33.500	2.960	2.500

2. Composition des principaux gaz combustibles industriels

	GAZ de distillation	GAZ à l'eau non carburé	GAZ de gazogène forcé métrée au charbon anthracite	GAZ de gazogène de chauffage au coke	GAZ d'huile
	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0
CH ₄	34	0,82	1	—	40,0
H ₂	47	50,8	15	—	27,0
Carbures	5	0,05	—	—	33,0
CO	9	39,65	20,6	25	—
CO ₂	2	4,65	8,6	6	—
Az	3	3,83	55,8	69	—
Pouvoir cal. inf.	5.280	2.602	1.018	752	8.276
Poids spécifique	0,44	0,53	0,88	1,00	0,86

3. Volume de gaz produit au gazogène. — Le volume de gaz produit par kilogramme de combustible est de 4 à 5 mètres cubes (ramené à zéro et 760) environ. Voici quelques chiffres :

Anthracite à 8.500 cal.....	5,04 m ³ de gaz à 1.450 cal.
Coke à 5.500 cal.....	4,27 m ³ de gaz à 1.150 cal.
Charbon maigre à 7.500 cal....	4,61 m ³ de gaz à 1.200 cal.
Déchets de bois à 60 0/0 d'eau.	0,92 m ³ de gaz à 1.050 cal.

Les tables précédentes permettent de calculer aisément la quantité d'air, de produits de la combustion et le pouvoir calorifique, dans la combustion d'un gaz de composition quelconque.

4. Composition du gaz de gazogène. — Elle varie dans de larges limites suivant la nature du combustible employé et l'allure de la gazéification. Le tableau ci-après d'après Witz réunit un certain nombre de données sur ce point.

Ce tableau montre qu'il est possible d'alimenter les gazogènes avec les combustibles les plus divers, en faisant de bon gaz.

Le plus communément, les gaz pauvres ont un pouvoir com-

pris entre 1.150 et 1.300 calories ; il est bien rare que leur pouvoir dépasse 1.500 ou qu'il tombe en dessous de 950.

On serait porté à croire que les charbons contenant une forte proportion de matières volatiles engendrent les gaz les plus riches, mais cette conclusion n'est pas absolue ; en effet, le volume de gaz produit par kilogramme de combustible intervient dans la question par une dilution plus ou moins grande des gaz combustibles dans les éléments inertes CO_2 , O et Az.

Les teneurs relatives en H et CO ont peu d'influence sur le pouvoir du gaz, parce que le litre d'hydrogène ne dégage pas plus de calories que le litre d'oxyde de carbone, vapeur d'eau condensée. Un gaz, renfermant 16 0/0 d'acide carbonique, peut encore être riche ; il est rare qu'un gaz en contienne moins de 4 0/0. La somme des gaz inertes varie de 54 à 65 0/0, l'oxygène y est le plus souvent en quantité inappréciable.

Composition élémentaire des gaz de gazogènes.

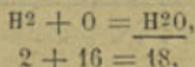
ORIGINE DU GAZ ET ALLURE DU FEU	POUVOIR calorifique au mètre cube	COMPOSITION DU GAZ DE GAZOGÈNE en volume							D'APRÈS MM.
		H	CO	CH ₄	C ₂ H ₄	CO ₂	O	Az	
Coke d'usine à gaz.....	1.212	10,83	21,76	1,10	1,38	3,57	»	61,36	Lensauchez
Anthracite.....	1.519	20,00	21,00	3,50	0,50	5,00	»	49,50	id.
Houille d'Ecosse à 410/0 de matière volatile.	1.542	11,00	26,65	4,86	0,27	3,42	»	53,80	id.
Charbon très riche en matière volatile.	1.303	16,85	22,75	2,05	»	4,55	»	58,30	id.
id. allure froide.....	1.414	29,0	11,0	2,0	»	16,0	»	42,0	Humphrey
id.....	1.433	27,8	12,2	2,2	»	16,0	0,50	41,8	id.
Anthracite Llanelly.....	1.287	16,5	25,4	1,0	»	4,8	1,2	51,1	Wiltz
Allure froide au charbon d'Anzin.....	1.208	20,7	19,7	1,0	»	3,1	0,6	51,9	id.
Allure plus chaude.....	1.283	22,0	20,2	1,1	»	4,9	0,6	54,2	id.
Coké.....	1.254	6,4	27,8	2,6	»	4,2	»	59,0	Meyer
Anthracite anglais.....	1.463	19,8	23,8	1,3	»	6,3	»	48,8	Dowson
id.....	1.552	17,5	26,5	2,1	»	4,4	»	49,5	id.
Charbon maigre belge.....	1.213	13,3	19,35	2,20	»	6,95	»	58,20	Riché
Coké.....	928	9,6	18,8	0,6	»	9,4	»	61,6	id.
Charbon Zeiche Morsbach.....	1.286	18,40	24,30	0,57	»	6,60	»	49,33	Mathot
Charbon Batterie.....	1.287	18,60	24,50	0,64	»	6,50	»	48,96	id.
Coké, grand débit de gaz.....	1.185	15,0	23,0	»	»	11,0	»	51,0	Lecomte
Coké, petit débit.....	1.218	14,5	24,5	»	»	9,0	»	52,0	id.
Mélange 1/3 gras de Courrières et 2/3 de poussier de coke.....	975	10,3	20,0	0,5	»	5,5	»	62,7	Hovine
Mélange 1/3 gras de Courrières et 2/3 de fraisl de locomotive.....	950	12,5	19,0	»	»	5,5	»	62,0	id.
Bois mouillé.....	1.025	15,0	14,0	1,5	»	5,5	»	62,0	d.
Tourbe.....	1.050	13,0	18,0	1,0	»	9,0	1,5	57,5	id.
Mélange 1/3 gras de Bruay et 2/3 maigre									
Ostricourt.....	1.175	15,5	19,5	1,25	»	4,5	2,5	56,75	id.
Bruay gras à 32 de matières volatiles.....	1.175	16,0	18,0	1,5	»	6,5	1,0	57,0	id.
Houille grasse.....	1.270	18,73	25,07	0,62	»	6,57	»	49,01	Faugé havanon
Bois.....	1.224	15,0	19,7	2,8	»	12,5	»	50,0	id.

COMBUSTION DES GAZ

M. Valdenaire, professeur à l'école d'Armentières, a indiqué très clairement dans la *Revue de l'Enseignement technique* les principes de la comburimétrie en volumes. Nous les reproduisons tels, ces calculs ne pouvant être exposés plus simplement et plus explicitement.

1. **Égalités en volume.** — Elles traduisent numériquement le principe de la conservation de la matière.

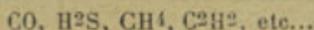
Quand on écrit, par exemple :



on exprime que la masse 2 d'hydrogène se combine à la masse 16 d'oxygène pour donner une masse d'eau égale à leur somme (1); cette seule égalité n'indique en aucune façon ni les circonstances qui provoquent, ni les phénomènes qui accompagnent la combinaison des deux gaz.

1° D'après l'hypothèse d'Avogadro-Ampère, à la même température et à la même pression, toutes les molécules gazeuses occupent le même volume.

Représentons ce volume par le nombre abstrait 2. Puisque la formule d'un corps composé représente une molécule de ce corps, il s'ensuit que les formules :

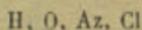


représentent des volumes égaux des gaz considérés, soit 2 volumes.

2° Les molécules des gaz simples sont, en général, *diatomiques*. Les symboles :



représenteront donc 2 volumes de ces gaz, et les symboles :



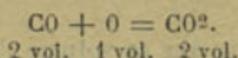
en représenteront 1 volume.

(1) Remarquons de suite que dans le système international des masses atomiques, on a, pour $\text{O} = 16$, $\text{H} = 1,008$. Donc, en réalité, 2^{er},016 d'hydrogène se combinent à 16 grammes d'oxygène pour former 18^{er},016 d'eau. L'emploi des masses atomiques usuelles conduit à des résultats parfois très approchés, avec une erreur relative considérable.

La loi d'Avogadro-Ampère est une loi limite ; elle n'est applicable rigoureusement à tous les gaz que si la pression est infiniment petite. Aux pressions ordinaires, son application conduit donc à des résultats très approchés. L'approximation varie d'ailleurs avec la nature du gaz.

EXEMPLE. — 1. *Quel est le volume d'oxygène nécessaire pour brûler complètement 20 litres d'oxyde de carbone ? Quel est le volume de gaz carbonique obtenu ?*

La réaction se traduit par l'égalité :



Cette égalité montre que pour brûler 2 volumes d'oxyde de carbone il faut 1 volume d'oxygène, et que le volume de gaz carbonique formé est égal au volume d'oxyde de carbone employé. On en déduit immédiatement les réponses demandées :

$$\begin{array}{ll} 1^{\circ} \text{ volume d'oxygène} \dots\dots\dots & x = 20 \frac{1}{2} = 10 \text{ litres.} \\ 2^{\circ} \text{ volume de gaz carbonique} \dots\dots & y = 20 \text{ litres.} \end{array}$$

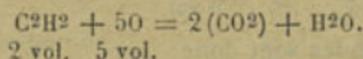
NOTA. — L'utilisation de la méthode des masses exige ici la connaissance des densités des gaz. L'approximation du résultat dépend essentiellement du degré d'approximation de ces densités. En prenant pour densités respectives de l'oxyde de carbone, de l'oxygène et du gaz carbonique, les nombres 0,967, 1,105, 1,529, approchés à moins de $\frac{1}{1.000}$, on trouverait :

$$\begin{array}{l} x = 9^{\text{I}},89\dots\dots \\ y = 19^{\text{I}},87\dots\dots \end{array}$$

Ces nombres diffèrent peu de ceux que fournit la méthode des volumes.

2. *Quel est le volume d'oxygène nécessaire pour brûler V litres d'acétylène ?*

La combustion complète de l'acétylène s'exprime par l'égalité :

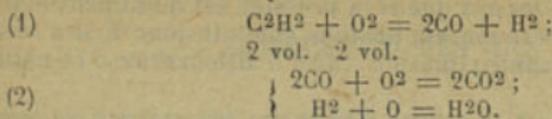


On a donc immédiatement pour le volume demandé V_0 :

$$V_0 = \frac{5V}{2}.$$

Application à soudure oxyacétylénique. — On admet que la com-

bustion se fait en deux phases :



Seul, l'oxygène de la phase (1) est emprunté aux bouteilles; celui de la phase (2) est fourni par l'air ambiant. L'égalité (1) montre donc immédiatement que le volume d'oxygène dépensé est égal au volume d'acétylène consommé.

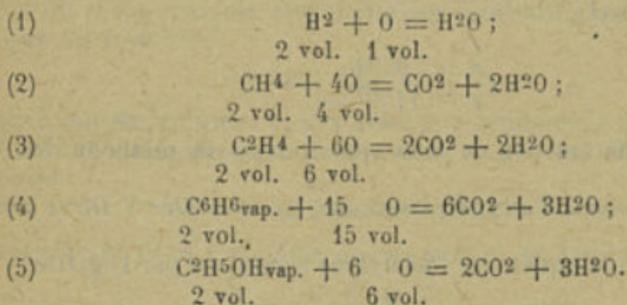
Pratiquement, on estime que ce volume doit être les $\frac{3}{2}$ du volume théorique. Pour brûler V litres d'acétylène, on admet donc une consommation de $\frac{3V}{2}$ litres d'oxygène.

Le taux de consommation d'oxygène est un élément important dans l'appréciation de l'habileté d'un ouvrier soudeur.

3. *Quel est le volume d'air nécessaire pour brûler complètement V litres de chacun des gaz suivants: hydrogène, méthane, éthylène, vapeur de benzène, vapeur d'alcool ordinaire ?*

Il suffit de calculer le volume d'oxygène V_o . Puisque l'air contient en volume 21 0/0 d'oxygène, le volume d'air V_a sera les $\frac{100}{21}$ de V_o .

Les égalités traduisant les combustions envisagées sont :



Les volumes demandés sont donc :

pour l'hydrogène :

$$V_a = \frac{V}{2} \times \frac{100}{21};$$

pour le méthane :

$$V_a = 2V \times \frac{100}{21};$$

pour l'éthylène :

$$V_a = 3V \times \frac{100}{21};$$

pour la vapeur de benzine :

$$V_a = \frac{15V}{2} \times \frac{100}{21};$$

pour la vapeur d'alcool :

$$V_a = 3V \times \frac{100}{21}.$$

Le quotient $\frac{100}{21}$ peut être effectué une fois pour toutes; il est égal à 4,762 (à 0,001 près).

On a donc :

$$V_a = V_o \times 4,762.$$

NOTA. — Il faut compter 3 chiffres exacts au plus au résultat.

4. Quel est le volume d'air V_a nécessaire pour brûler complètement 1 mètre cube de gaz d'éclairage ayant la composition suivante ?

Hydrogène.....	46,20 0/0
Méthane.....	34,18
Oxyde de carbone.....	8,72
Éthylène.....	2,64
Benzine.....	1,24

Il suffit de calculer le volume d'oxygène nécessaire pour brûler chacun des composants, d'où, par addition, le volume total d'oxygène V_o . On en déduit immédiatement :

$$V_a = V_o \times 4,762.$$

APPLICATION. — Calculer les sections des orifices d'admission d'air et de gaz dans le cylindre d'un moteur à gaz d'alésage et de longueur donnés.

5. Traiter de même les questions relatives à la combustion complète de gaz pauvres ayant les compositions centésimales suivantes :

	CO	H	CH ⁴	O
Gaz pauvre proprement dit.....	23,7	6,5	2	3,6
Gaz mixte.....	43	40,2	0,6	1,8
Gaz de hauts fourneaux.....	27,8	1,64	»	2,5

En comparant les résultats obtenus au résultat de l'exercice 4, on peut expliquer pourquoi — degré de compression mis à part — un moteur à gaz riche ne peut être alimenté par un gaz pauvre; pourquoi les modifications de composition des gaz pauvres influent fâcheusement sur le fonctionnement des moteurs à explosion qui les utilisent, etc.

MOTEURS A GAZ ET A PÉTROLE

1. **Généralités.** — Les moteurs à gaz et à pétrole fonctionnent tous aujourd'hui avec *compression*, c'est-à-dire suivant un cycle qui comporte au moins quatre périodes ou *quatre temps*: a) *aspiration* du mélange moteur d'air et de gaz ou de pétrole; b) *compression* de ce mélange; c) *allumage* et détente de ce mélange ou course motrice; d) *échappement* des gaz brûlés. Dans la très grande majorité de ces moteurs, les différentes opérations de ce cycle se succèdent dans un même cylindre et du même côté du piston, de sorte que le moteur donne, au plus, une course motrice ou un coup tous les deux tours; si l'on fait exécuter deux des opérations du cycle, comme l'aspiration et la compression, dans un cylindre de pompe, qui peut, d'ailleurs, être constitué par l'une des extrémités du cylindre moteur, on donne un coup par tour. Ces dernières machines sont plus actives que les premières, mais moins simples, de sorte qu'elles ne se sont presque pas répandues; elles reprennent néanmoins actuellement une certaine vogue pour les très grandes forces auxquelles on a été amené par l'emploi des gaz de hauts fourneaux.

Les principales pertes des moteurs à gaz sont celles dues à l'influence des parois et à la chaleur emportée par les gaz de l'échappement. L'influence des parois est très considérable par l'obligation où l'on se trouve de refroidir ces parois par une circulation d'eau; la compression diminue cette perte, parce qu'elle réduit l'étendue des parois avec lesquelles les gaz se trouvent en contact à la fin de la compression et qu'elle permet de marcher avec des mélanges plus pauvres en gaz; cette perte diminue aussi avec la vitesse du moteur, qui réduit la durée de l'action des parois. La perte à l'échappement augmente, au contraire, avec cette vitesse, et elle varie, entre certaines limites des marches bien réglées, en sens inverse de la perte par les parois, de sorte que l'on perd à peu près d'un côté ce que l'on gagne de l'autre; c'est ainsi que deux moteurs perdant par les parois: l'un 43, et l'autre 27 0/0 seulement de la chaleur de combustion du gaz, ont utilisé tous deux, aux essais, la même proportion, 22 0/0 de cette chaleur convertie en travail indiqué, parce que le premier perdait à l'échappement 35 0/0 seulement de la chaleur de combustion, et l'autre 50 0/0; en pratique, il vaut mieux, toutes choses égales, augmenter la perte aux parois que celle à l'échappement, parce que le cylindre moins chaud fatigue moins, et que le rendement organique s'améliore. On voit que les pertes par les parois et par l'échappement enlèvent de 75 à 80 0/0 de la chaleur totale de la combustion.

La fonction caractéristique des moteurs à gaz est l'allumage.

Actuellement, cet allumage s'effectue presque toujours soit par une étincelle électrique, soit par un tube incandescent; l'allumage électrique exige des accessoires : piles ou magnéto, plus compliqués évidemment que le simple tube ; mais sa mise en train est instantanée, son réglage parfait et très sensible, et il ne présente aucune flamme à l'extérieur ; sa place semble tout indiquée où l'on dispose facilement d'électricité, car il devient alors le plus simple et le plus docile des allumages, et dans certains cas où il faut souvent remettre la machine en train le plus vite possible, comme sur les automobiles. L'allumage par tube est extrêmement simple : il exige, pour la mise en train, le chauffage du tube par une lampe spéciale, dont on peut souvent se passer, surtout avec le pétrole, une fois le moteur en marche ; dans bon nombre de petits moteurs, le tube reste toujours grand ouvert au cylindre, l'allumage se faisant par le jeu seul de la compression, qui, vers la fin de la course arrière, refoule le mélange moteur jusqu'à la zone incandescente du tube ; mais, lorsque l'on désire un réglage précis, il faut fermer ce tube par une soupape qui précise l'allumage en s'ouvrant au moment voulu, et permet de faire varier le moment de cet allumage ; les tubes, presque toujours en fer, doivent être faciles à remplacer et, dans les moteurs dont le service ne doit pas être interrompu, disposés en double, de manière que le tube brûlé soit automatiquement remplacé par un tube neuf.

La distribution des moteurs à gaz s'opère presque toujours au moyen de soupapes, commandées, dans le cas des moteurs à deux tours par coup, au moyen d'un arbre de distribution marchant deux fois moins vite que le moteur. Ces soupapes doivent être parfaitement accessibles et faciles à roder sur leurs sièges ; ces sièges doivent être abondamment rafraîchis par une circulation d'eau, ceux surtout des soupapes d'échappement, dont l'établissement présente, pour les grands moteurs, de graves difficultés, et doit parfois entraîner le dédoublement des soupapes et leur arrosage par un petit jet d'eau, ainsi que leur équilibrage, pour éviter des chocs au levier qui en commande l'ouverture. Pour les petits moteurs, la soupape d'admission du mélange peut, sans inconvénient, être automatique ; mais, pour les moteurs de quelque importance, la commande desmodromique, très simple d'ailleurs, est préférable.

Le réglage des moteurs se fait presque toujours par la méthode touf ou rien, c'est-à-dire en supprimant l'admission du mélange jusqu'à ce que le moteur ait repris sa vitesse normale, opération qui, dans les moteurs à soupapes d'admission automatiques, se fait très simplement en maintenant la soupape d'échappement ouverte ; lorsqu'on désire plus de régularité, on supprime graduellement cette admission du mélange. Cette solution très simple présente l'inconvénient de refroidir le cylindre par les aspirations d'air froid ; il vaudrait mieux, à ce point de vue, fermer complètement le cylindre à l'admission et à

l'échappement. Un autre mode de réglage plus exact consiste à faire varier simultanément la composition du mélange et la position du point d'allumage, mais il ne s'est encore que peu répandu, en raison de la complication de son établissement; le plus souvent, on se contente d'avancer ou de retarder l'allumage, suivant que la charge du moteur augmente ou diminue; ce mode de réglage, des plus sommaires et désavantageux au point de vue du rendement, est adopté sur un grand nombre de moteurs d'automobiles, en raison de son extrême simplicité. On peut aussi augmenter la compression, à mesure que l'on diminue le dosage du mélange, de manière que le rendement des faibles courses ne soit pas sensiblement diminué (Letombe).

Les moteurs de quelque importance doivent être pourvus de dispositifs de *mise en train*, dont le plus simple consiste en une réserve d'air comprimé, avec une modification temporaire de la distribution permettant de faire tourner le moteur au moyen de cet air comprimé jusqu'à ce qu'il soit suffisamment lancé pour y comprimer, puis allumer la charge de démarrage; une autre solution consiste à amener, puis immobiliser le piston à mi-course environ, puis à refouler au cylindre, au moyen d'une pompe de mise en train, un mélange d'air et de gaz que l'on allume après sa compression; on peut aussi faire tourner les gros moteurs par un petit, qui sert pour cette mise en train et pour les services auxiliaires de l'installation. Pour les petits moteurs, la mise en train se fait en tournant le volant après avoir supprimé la compression au moyen de la mise en jeu d'une came d'échappement spéciale.

Le *refroidissement du cylindre* se fait par une circulation d'eau toujours la même, à la vaporisation près, et prise dans un réservoir disposé en siphon; sur les automobiles, ce refroidissement est combiné avec celui par circulation de l'air autour des ailettes rayonnantes du cylindre, et le réservoir d'eau, de forme tubulaire, est lui-même garni d'ailettes; on se contente parfois, pour de petits moteurs, des ailettes seules, sans eau, mais aux dépens de la durée et du rendement du moteur.

On peut exiger, aujourd'hui, d'un bon moteur à gaz une dépense de 600 à 650 litres de gaz à 5.500 calories par cheval-heure effectif, suivant sa puissance, et ces chiffres sont souvent moindres aux essais; au gaz pauvre, en pratique courante, environ 600 grammes de carbone par cheval; quant à la puissance, elle atteint facilement 1.000 chevaux avec les gaz de hauts fourneaux (1).

2. Les moteurs à essence et à pétrole sont caractérisés par leur carburateur; pour les moteurs à essence, ce carburateur peut être

(1) Voir l'ouvrage de M. Deschamps sur les *Moteurs à gaz de hauts fourneaux*. Paris, Dunod, éditeur, 1901.

constitué par un simple vaporisateur, chauffé par l'eau de circulation ou les gaz de l'échappement, et dans lequel le mélange des vapeurs d'essence et d'une partie de l'air de la charge s'opère par simple barbotage; pour les moteurs à pétrole proprement dits, le problème est beaucoup plus difficile.

Les moteurs à pétrole ne diffèrent des moteurs à gaz que par deux organes : l'*injecteur de pétrole*, qui remplace le robinet d'admission du gaz, et le *carburateur* ou *vaporisateur*, qui gazéifie plus ou moins ce pétrole. Le principe le plus généralement adopté pour ces appareils consiste à injecter et pulvériser, à chaque course motrice, la dose de pétrole nécessaire dans un récipient chauffé soit par les gaz de l'échappement, soit par les explosions mêmes du moteur, ou encore par une flamme extérieure, puis à mélanger, pendant la course d'aspiration, la masse de vapeur de pétrole et d'air ainsi formée au complément d'air nécessaire pour constituer, avec lui, un mélange détonant. Ce principe est, cela va sans dire, appliqué de la façon la plus variée dans les différents types de carburateurs, de sorte qu'il est très difficile d'en faire une classification définitive. Pour le moment, la grande majorité de ces carburateurs peut se classer dans les trois divisions suivantes : A, B et C.

Dans le *type A*, la vaporisation du pétrole s'opère après sa pulvérisation, et en présence du complément d'air nécessaire à sa combustion, dans un vaporisateur séparé, chauffé à une température relativement basse (250 à 300°) par les gaz de l'échappement. C'est la solution adoptée sur les moteurs de Priestmann : elle assure une marche régulière avec un faible encrassement; mais, relativement coûteuse et encombrante, elle exige, en raison de l'échauffement préalable du mélange moteur, de grands cylindres et une faible compression, pour ne pas s'exposer à des allumages intempestifs.

Dans le *type B*, la vaporisation se fait dans un récipient encore distinct de la chambre de compression du moteur, et porté par une lampe à une température assez élevée pour gazéifier en partie le pétrole, et l'addition d'air complémentaire se fait, non pas dans le vaporisateur mais dans le cylindre moteur. C'est une excellente solution au point de vue de la régularité, de la sécurité et de l'économie de la marche.

Enfin, avec le *type C*, la vaporisation s'opère dans un prolongement de la chambre de combustion, en plus ou moins large communication ouverte avec le cylindre moteur, et chauffé presque toujours par les explosions seules, avec ou sans pulvérisation pendant l'aspiration du complément d'air ou à la fin de la compression. Le vaporisateur est parfois muni d'un emmagasineur de chaleur métallique ou en terre réfractaire, qui facilite la marche en allumage spontané. Ce type de vaporisateur, en apparence très simple, est d'un réglage difficile; il permet difficilement des pressions aussi élevées qu'avec le type C, et provoque souvent des ratés quand on marche à

faible puissance; c'est, néanmoins, le type le plus fréquemment adopté aujourd'hui.

Les pompes dont on se sert le plus souvent pour injecter le pétrole au vaporisateur doivent avoir leurs pistons aussi libres que possible et leur course facile à régler à la main ou par le régulateur. On a présenté, pour résoudre ce problème, une foule de dispositions, pour l'étude desquelles je ne puis que renvoyer aux ouvrages spéciaux. Je n'en signalerai qu'une, déjà ancienne, et qui, particulièrement ingénieuse, consiste à constituer la pompe par un tube de manomètre Bourdon alternativement comprimé, puis détendu par un levier à course variable soumise au régulateur.

Quant au réglage même des moteurs à pétrole, il s'opère d'après les mêmes principes et par à peu près les mêmes moyens que celui des moteurs à gaz, surtout avec les carburateurs du type B, qui se prêtent facilement à tous ces modes de réglage, et qui donnent les marches les plus régulières. Ce réglage peut être très sensible et opéré par des mécanismes de précision très légers, car le volume du pétrole injecté sur lequel on peut faire agir le régulateur est environ 12.000 fois plus petit que celui de l'air admis pour le brûler.

Les moteurs à pétrole sont, aujourd'hui, très économiques; leur dépense varie de 350 à 400 grammes de pétrole par cheval-heure effectif, ce qui est un très beau résultat; mais, en tenant compte de la puissance calorifique du pétrole, cette dépense équivaut, en calories, à une consommation d'environ 1 mètre cube de gaz d'éclairage, ce qui montre que, dans ces moteurs, le pétrole est moins bien utilisé que le gaz, probablement parce que sa combustion est moins rapide et moins complète. Ce défaut tient à ce que le pétrole vaporisé, ou même en partie gazéifié, n'a sans doute pas le temps de se mélanger complètement à l'air de la charge, de sorte que l'on arrivera peut-être à y remédier par l'emploi de vaporisateurs mélangeurs convenablement étudiés.

THERMODYNAMIQUE DES MOTEURS A COMBUSTION

1. **Cycle à quatre temps.** — La figure 97 représente le diagramme d'un moteur à 4 temps; chaque temps correspond à 1 course du piston, il y a donc 1 impulsion motrice pour 2 tours de manivelle.

De *a* en *b* a lieu l'aspiration du mélange;

De *b* en *c* a lieu la compression;

De *c* en *d* a lieu l'explosion, suivie de détente jusqu'en *e*;

De e en a a lieu l'expulsion des produits brûlés (échappement).
L'échelle des pressions courantes est indiquée sur le diagramme.

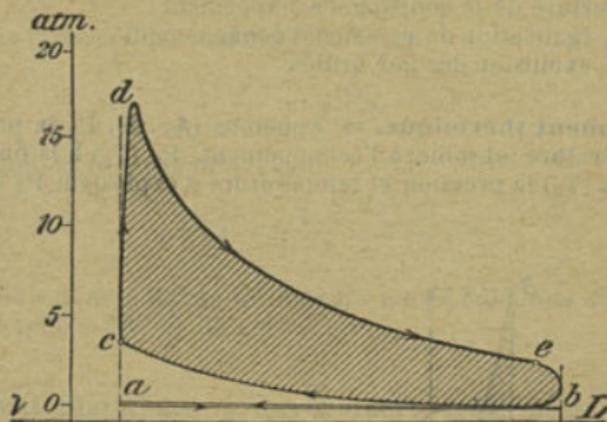


FIG. 97.

2. **Cycle à deux temps.** — Le fonctionnement ne diffère du précédent qu'en ce que l'admission et la compression, comme la détente et l'expulsion, ont lieu durant une seule course. Il y a donc une impulsion motrice pour chaque tour de manivelle.

3. **Cycle Diesel à pression constante.** — Le cycle Diesel à haute compression, injection du combustible et inflammation spontanée, est bien connu. Le diagramme est indiqué figure 98.

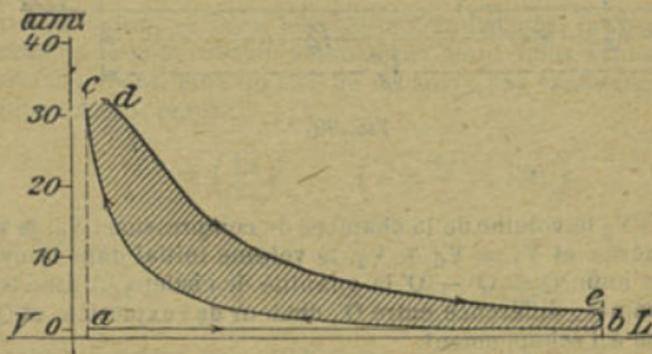


FIG. 98.

De a en b , aspiration de l'air;

De b en c , compression de l'air (à l'aide de deux sphères);

De c en d , injection du combustible, et combustion ;
 De d en e , détente des gaz de la combustion ;
 En e , ouverture de la soupape d'échappement ;
 De e en b , égalisation de pression d'échappement ;
 De b en a , expulsion des gaz brûlés.

4. **Rendement thermique.** — Appelons (*fig. 99*) P_1 la pression et T_1 la température (absolue) à l'échappement, P_2 (T_2) à la fin de compression, P_3 (T_3) la pression et température d'explosion, P_4 (T_4) à fin de détente.

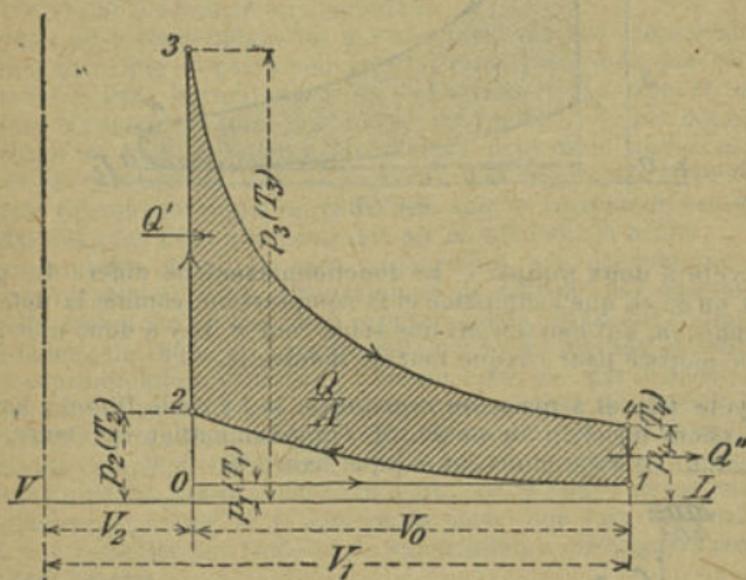


FIG. 99.

Appelons V_2 le volume de la chambre de compression ; V_0 , le volume de la cylindre, et $V_1 = V_0 + V_2$, le volume initial dans le cylindre.

Appelons enfin $Q = Q' - Q''$ la quantité de chaleur utilisée (surface du diagramme) : différence entre Q' , chaleur de l'explosion, et Q'' , chaleur perdue à l'échappement.

D'après ce que nous avons vu plus haut, l'expression du rendement est :

$$\eta = \frac{Q' - Q''}{Q'} = 1 - \frac{T_1}{T_2}$$

En désignant par ϵ le rapport de compression :

$$\epsilon = \frac{V_1}{V_2} = \frac{V_0 + V_2}{V_2},$$

et par κ le rapport des chaleurs spécifiques :

$$\kappa = \frac{c_p}{c_v},$$

l'expression du rendement devient :

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\epsilon^{\kappa-1}} = 1 - \epsilon^{1-\kappa}.$$

La table suivante donne les valeurs toutes calculées du rendement pour différentes valeurs de ϵ et κ :

Rendement thermique η_t des moteurs cycle Beau de Rochas.

$\epsilon =$	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	6,0	7,0	8,0
$\kappa = 1,20$	0,129	0,167	0,197	0,221	0,242	0,260	0,275	0,301	0,322	0,340
$\kappa = 1,25$	0,159	0,205	0,240	0,269	0,293	0,313	0,331	0,361	0,385	0,405
$\kappa = 1,30$	0,188	0,241	0,281	0,313	0,340	0,363	0,383	0,416	0,442	0,464
$\kappa = 1,35$	0,216	0,274	0,319	0,355	0,384	0,409	0,431	0,466	0,494	0,517
$\kappa = 1,40$	0,248	0,313	0,363	0,402	0,434	0,460	0,483	0,520	0,550	0,574

5. **Compression.** — Dans tous les moteurs usuels, la compression se rapproche de la compression adiabatique, dont nous avons donné les lois précédemment, bien qu'elle ne les suive pas exactement, à cause de l'influence des parois :

$$\frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^\kappa \quad \left(\kappa = \frac{c_p}{c_v} = 1,41 \right),$$

soit :

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{0,41}{1,41}} \quad \text{ou} \quad \frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{0,41}.$$

Le tableau donne pour différents rapports de compression ϵ les pressions et températures de compression finales pour une pression initiale $p_1 = 1$ atmosphère et une température initiale $T_1 = 20 + 273^\circ$ (soit 20° centigrades).

ϵ	p_2 atmosphères absolues	T_2 températures absolues	t_2 températures centigrades
1	1,00	293	20
2	2,64	387	114
3	4,65	455	182
4	6,96	510	237
5	9,52	558	285
6	12,3	600	327
7	15,3	638	365
8	18,4	673	400
9	21,7	706	433
10	25,7	736	463

On a vu, d'après la table donnée plus haut, que le rendement augmente rapidement avec la compression. Toutefois, à cause des préallumages, on ne peut dépasser certaines limites qui dépendent surtout de la richesse du mélange (d'où la conclusion que les moteurs sont d'autant plus économiques qu'ils marchent à mélange plus pauvre et compression plus forte).

Les rapports de compression usuels sont $\epsilon = 5$ pour moteurs à pétrole ou essence ; dans les moteurs à gaz riche (éclairage) $\epsilon = 6$ à 7. Les moteurs à alcool ou à injection d'eau peuvent aller jusqu'à $\epsilon = 8$ à 10 ; enfin les moteurs à gaz pauvre ont $\epsilon = 10$ à 12 et, dans certains moteurs à gaz de haut fourneau, on dépasse même cette valeur.

6. Calcul des dimensions principales. — M. Hugo Güldner⁽¹⁾ part du volume de l'air aspiré par cycle pour déterminer les dimensions principales des moteurs à gaz. Dans ses formules on désigne par :

N_n , la puissance normale effective en chevaux ;

n , le nombre de tours par minute ;

d , le diamètre du piston, en mètres ;

s , la course du piston, en mètres ;

$V = 0,785d^2s$, la cylindrée en m^3 ;

$V_0 = \eta_v V$ le volume de mélange réellement aspiré à l'état normal, en mètres cubes ;

I_c , la consommation pratiquement favorable de l'air par mètre cube de combustible gazeux, ou par kilogramme de combustible liquide, en m^3 ;

(1) *Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure*, 26 avril 1902.

L_h , la consommation réelle d'air résultant de la consommation L par course motrice, à la puissance nominale N_n , en m^3 ;

C_s , la dépense de combustible par heure à la puissance nominale N_n ; gaz en m^3 et pétrole en kilogrammes;

C , la même, par cheval-heure;

C_h , la même, par course d'aspiration;

H , le pouvoir calorifique du combustible par m^3 de gaz ou par 1 kilogramme de pétrole, en calories;

$\tau_v = \frac{V_0}{V}$, le rendement volumétrique de la course d'aspiration;

$\tau_w = \frac{N_n \times 75 \times 3.600}{C_s H 428} = \text{environ } \frac{631 N_n}{C_s H}$, le rendement économique.

On a, tout d'abord, pour les *moteurs à quatre temps*, à gaz ou à pétrole :

$$\begin{aligned} C_s &= \frac{N_n \times 75 \times 3.600}{H_{\tau_w} 428} = \frac{630.841 N_n}{H_{\tau_w}}; \\ C_h &= \frac{N_n \times 75 \times 60 \times 2}{H_{\tau_w} n_v 428} = \frac{21.028 N_n}{H_{\tau_w} n_v}; \\ L_h &= \frac{C_s L}{30n} = \frac{630.841 N_n L}{30 H_{\tau_w} n} = \frac{21.038 N_n L}{H_{\tau_w} n}. \end{aligned}$$

a) *Moteurs à gaz.*

La charge qui arrive pendant la course d'aspiration dans le cylindre

$$V_0 = C_h + L_h$$

exige une cylindrée active de

$$\begin{aligned} V - 0,785 d s &= \frac{C_h + L_h}{\tau_v} = \frac{N_n \times 75 \times 60 \times 2}{H_{\tau_w} n_v 428} + \frac{L N \times 75 \times 60 \times 2}{H_{\tau_w} n \tau_v 428} \\ &= \frac{N_n 75 \times 60 \times 2 (1 + L)}{H_{\tau_w} n \tau_v 428} = \frac{21.028 N_n (1 + L)}{H_{\tau_w} n \tau_v} \text{ mètres cubes.} \end{aligned}$$

En résolvant par rapport aux trois valeurs de d , s et n , on obtient :

$$(1) \quad d = \sqrt{\frac{4 \times 21.028 N_n (1 + L)}{\pi H_{\tau_w} n s \tau_v}} = \sqrt{\frac{26.787 N_n (1 + L)}{H_{\tau_w} s n \tau_v}} \text{ mètres,}$$

$$(2) \quad s = \frac{26.787 N_n (1 + L)}{H_{\tau_w} d^2 n \tau_v} \text{ mètres,}$$

$$(3) \quad s = \frac{26.787 N_n (1 + L)}{H_{\tau_w} d^2 s \tau_v}.$$

b) *Moteurs à pétrole.*

On a dans ce cas :

$$V - 0,785 d^2 s = \frac{L_h}{\tau_v} = \frac{21.028 N_n L}{H_{\tau_w} n \tau_v} \text{ mètres cubes.}$$

TABLEAU I. — Pouvoir calorifique, air nécessaire

Colonnes Nos.....		1	2	3	
			Air nécessaire		
		Pouvoir calorifique			
		par 1 m ³ ou (kg)	théorique L ₀ par 1 m ³ ou (kg)	réelle L par 1 m ³ ou (kg)	
		calories	m ³	m ³	
I	Gaz d'éclairage {	pauvre.....	4.500	5,5	7,5
		ordinaire.....	5.000	à	à
		riche.....	5.500	6,5	10,0
			6.000		
II	Gaz Dowson {	par kil. d'anthracite.....	7.500	»	»
		par mètre cube de gaz...	1.250	0,85	1,1
		par kil. de coke.....	7.200	à	à
		par m ³ de gaz au coke..	1.150	1,0	1,4
III	Gaz des hauts fourneaux.....	950	0,75	1,0 à 1,2	
IV	Gaz des fours à coke.....	4.000	5,3	7,0	
V	Pétrole rectifié par kilogramme.....	10.500	11,5	16 à 22	
VI	Pétrole brut (moteur Diesel).	10.000	11,0	18 à 22	
VII	Essence.....	11.000	11,5	15 à 20	
VIII	Alcool brut de 90 0/0 de vol.....	5.700	6,0	8 à 12	

d'où :

$$(4) \quad d = \sqrt{\frac{4 \times 21\,028 N_n L}{\pi H_{\eta_w} n s \eta_v}} = \sqrt{\frac{26\,787 N_n L}{H_{\eta_w} s n \eta_v}} \text{ mètres,}$$

$$(5) \quad s = \frac{26\,787 N_n L}{H_{\eta_w} d^2 n \eta_v} \text{ mètres,}$$

$$(6) \quad d = \frac{26\,787 N_n L}{H_{\eta_w} d^2 s \eta_v}$$

Ces équations fondamentales (1) à (6) ne contiennent aucune grandeur qui ne puisse être déterminée avec certitude pour chaque cas spécial. Une estimation n'est nécessaire que pour les valeurs des rendements η_w et η_v . Les tableaux I et II donnent des valeurs moyennes pour les cas principaux.

à la combustion, et dépense de combustible.

4		5		6		7		8	
Dépense de combustible C à la puissance normale. par cheval-heure (à la pression atmosphérique de 760 mm. et à 15°) lorsque la puissance du moteur N_n est de									
5 chevaux		10 chevaux		25 chevaux		50 chevaux		100 chevaux et plus	
C	η_{av}	C	η_{av}	C	η_{av}	C	η_{av}	C	η_{av}
m ³ (kg)		m ³ (kg)		m ³ (kg)		m ³ (kg)		m ³ (kg)	
0,70	0,20	0,63	0,22	0,58	0,24	0,54	0,26	0,525	0,27
0,63	0,20	0,57	0,22	0,52	0,24	0,48	0,26	0,47	0,27
0,58	0,20	0,52	0,22	0,48	0,24	0,44	0,26	0,43	0,27
0,53	0,20	0,475	0,22	0,44	0,24	0,40	0,26	0,39	0,27
0,75	0,11	0,65	0,13	0,57	0,15	0,50	0,17	0,47	0,18
3,0	0,17	2,7	0,19	2,4	0,21	2,2	0,22	2,1	0,24
0,8	0,11	0,68	0,13	0,59	0,15	0,52	0,17	0,49	0,18
3,3	0,17	2,9	0,19	2,6	0,21	2,4	0,23	2,3	0,24
"	"	3,7	0,18	3,3	0,20	3,0	0,22	2,8	0,24
"	"	1,0	0,17	0,85	0,19	0,75	0,31	0,70	0,23
0,55	0,11	0,50	0,12	0,46	0,13	"	"	"	"
0,25	0,25	0,24	0,26	0,23	0,27	0,30	0,21	0,20	0,315
0,30	0,19	0,28	0,21	0,25	0,23	"	"	"	"
0,50	0,22	0,46	0,24	0,42	0,26	"	"	"	"

**TABLEAU H. — Rendement volumétrique η_v
 de la course d'aspiration des types principaux.**

Moteur à faible vitesse avec soupape d'admission réglée... $\eta_v = 0,88$ à $0,93$

Moteur à faible vitesse avec soupape d'admission automatique... $\eta_v = 0,80$ à $0,87$

Moteur à grande vitesse avec soupape d'admission réglée... $\eta_v = 0,78$ à $0,85$

Moteur à grande vitesse avec soupape d'admission automatique... $\eta_v = 0,65$ à $0,75$

Moteur à très grande vitesse pour automobiles avec soupape d'admission automatique et radiateur... $\eta_v = 0,50$ à $0,65$

NOTA. — Les carburateurs à l'échappement des moteurs à essence réduisent le rendement η_v de 3 à 5 %.

Les indications des colonnes 3 à 8 du tableau I sont relatives à la puissance normale (N_n) du moteur ; comme celle-ci est, dans les moteurs bien exécutés, au moins de 15 à 20 0/0 inférieure à la puissance maxima, et comme, pour cette puissance maxima, il faut un excès d'air, on doit admettre, pour la puissance normale, un excès d'air de 30 0/0 au moins. Or, les compressions élevées obligent à raréfier encore davantage le mélange, surtout dans le cas de combustibles ayant un pouvoir calorifique élevé, où l'excès d'air est de 50 à 60 0/0 et davantage. Pour toutes ces raisons, on a, dans le tableau I, supposé un excès d'air très grand.

La dépense de combustible C (colonnes 4 à 8, tableau I) suppose une construction rationnelle du moteur. La consommation des lampes d'allumage et de chauffage n'est pas comprise dans les valeurs de C.

Formules pratiques pour les combustibles principaux. — En introduisant dans les équations (1) à (6) les valeurs moyennes de H et de L, on peut obtenir des formules dans lesquelles les deux inconnues η_w et η_v subsistent seules, et que l'on peut prendre dans les tableaux I et II. Les équations suivantes (7) et (24) ont été obtenues en opérant sur des moteurs fixes de qualité moyenne et à faible vitesse ; de plus, on a admis pour η_v environ 0,85. On n'a plus alors qu'à se donner η_w . Pour le cas de moteurs à faible vitesse, on prendra la valeur de η_w et η_v dans les tableaux I et II.

a) *Moteurs à combustibles gazeux.*

1° *Gaz d'éclairage* : H = 5 000 cal. par m³ ; L = 8,5 m³ par m³.

$$(7) \quad d = \sqrt{\frac{26\,787(1 + 8,5)N_n}{5\,000 \times 0,85\eta_w n s}} = \sqrt{\frac{0,060N_n}{s n \eta_w}} \text{ mètres,}$$

$$(8) \quad s = \frac{0,060N_n}{d^2 n \eta_w} \text{ mètres,}$$

$$(9) \quad n = \frac{0,060N_n}{d^2 s \eta_w}.$$

2° *Gaz Dowson* : H = 4 150 cal. par m³ ; L = 1,25 m³ par m³.

$$(10) \quad d = \sqrt{\frac{26\,787(1 + 1,25)N_n}{4\,150 \times 0,85\eta_w n s}} = \sqrt{\frac{0,062N_n}{s n \eta_w}} \text{ mètres,}$$

$$(11) \quad s = \frac{0,062N_n}{d^2 n \eta_w} \text{ mètres,}$$

$$(12) \quad n = \frac{0,062N_n}{d^2 s \eta_w}.$$

3° *Gaz de hauts fourneaux* : H = 950 cal. par m³ ; L = 1,1 m³ par m³.

$$(13) \quad d = \sqrt{\frac{26\,787(1 + 1,1)N_n}{950 \times 0,85\eta_w n s}} = \sqrt{\frac{0,070N_n}{s n \eta_w}} \text{ mètres,}$$

$$(14) \quad s = \frac{0,070N_n}{d^2 n \tau_{i,v}} \text{ mètres,}$$

$$(15) \quad n = \frac{0,70N_n}{d^2 s \tau_{i,v}}$$

b) *Moteurs à combustibles liquides.*

4° *Pétrole* : H = 10 500 cal. par kgr. ; L = 19 m³ par kgr.

$$(16) \quad d = \sqrt{\frac{26\,787 \times 19N_n}{10\,500 \times 0,85N_n n s}} = \sqrt{\frac{0,057N_n}{s n \tau_{i,v}}} \text{ mètres,}$$

$$(17) \quad s = \frac{0,057N_n}{d^2 n \tau_{i,v}} \text{ mètres,}$$

$$(18) \quad n = \frac{0,057N_n}{d^2 s \tau_{i,v}}$$

5° *Essence* : H = 11 000 cal. par kgr. ; L = 17,5 m³ par kgr.

$$(19) \quad d = \sqrt{\frac{26\,787 \times 17,5N_n}{11\,000 \times 0,85N_n n s}} = \sqrt{\frac{0,050N_n}{s n \tau_{i,v}}} \text{ mètres,}$$

$$(20) \quad s = \frac{0,050N_n}{d^2 n \tau_{i,v}} \text{ mètres,}$$

$$(21) \quad n = \frac{0,050N_n}{d^2 s \tau_{i,v}}$$

6° *Alcool brut à 90 0/0 environ* : H = 5 700 cal. par kgr. ; L = 10 m³ par kgr.

$$(22) \quad d = \sqrt{\frac{26\,787 \times 10N_n}{5\,700 \times 0,85N_n n s}} = \sqrt{\frac{0,055N_n}{s n \tau_{i,v}}} \text{ mètres,}$$

$$(23) \quad s = \frac{0,055N_n}{d^2 n \tau_{i,v}} \text{ mètres,}$$

$$(24) \quad n = \frac{0,055N_n}{d^2 s \tau_{i,v}}$$

ÉVALUATION DE LA PUISSANCE DES MOTEURS D'APRÈS LEURS DIMENSIONS

1. *Moteurs industriels.* — Appelons, d'après Haeder :

F, la surface de piston

H, la course, et n, le nombre de tours ;

$v = \frac{2Hn}{60}$, la vitesse en mètres par seconde

p_m , la pression moyenne sur le piston ;

p_i , la pression moyenne ramenée à la surface unitaire de piston suivant le nombre et le groupement des cylindres ;

ω , le rapport des explosions effectives au nombre d'explosions théoriques (effet du régulateur).

La puissance est alors donnée par :

$$\text{Puissance indiquée : } N_i = \frac{Fv}{75} \omega p_i.$$

Dans les moteurs courants on peut prendre sans grosse erreur $\omega = 0,85$ et $p_m = 5,3 \text{ kg} : \text{cm}^2$, de sorte qu'à l'aide du tableau suivant donnant les valeurs de ωp_i on déterminera rapidement la puissance approximative de différents types de moteurs.

Coefficients pour le calcul de la puissance des moteurs à gaz.

TYPES DE MOTEUR	MOTEURS A 4 TEMPS			MOTEURS A 2 TEMPS	
	simple effet 1 cylindre	simple effet 2 cylindres double effet 1 cylindre	simple effet 4 cylindres double effet 2 cylindres	simple effet 2 cylindres double effet 1 cylindre (Korting ou Dechelhauser ordinaires)	Korting ou Dechel- hauser jumelles
Nombre de faces travaillantes.....	1	1	4	2	4
Pression moyenne unitaire p_i	$1/4 p_m$	$2/4 p_m$	$4/4 p_m$	$2/2 p_m$	$4/2 p_m$
Pour $p_m = 5^{\text{kg}},3$, on a p_i	1,32	2,65	5,3	5,3	10,6
Pour $\omega = 0^{\text{kg}},85$, on a ωp_i	1,12	2,25	4,5	4,5	9,0

EXEMPLE. — Quelle est la puissance indiquée d'un moteur à simple effet à 4 temps ayant les caractéristiques suivantes :

alésage $D = 42$ centimètres, vitesse de piston $c = 2,4 \text{ m} : \text{sec}$.

La valeur de :

$$F = \frac{\pi D^2}{4} = 1116 \text{ cm}^2 \quad \text{IRIS - ELLIAD - Université Lille 1} \quad \text{tableau} = 1,12.$$

On a alors :

$$N_i = \frac{Fv}{75} \omega p_i = \frac{1.385 \cdot 2,4}{75} 1,12 = 50 \text{ chevaux environ.}$$

2. Moteurs légers, type automobile. — La puissance des moteurs à essence à grande vitesse ne peut pas se calculer par les formules précédentes. On a proposé plusieurs formules coïncidant au mieux avec les résultats trouvés au frein.

La plupart de ces formules sont de la forme :

$$N_e = KD^n,$$

D étant l'alésage.

La puissance croît sensiblement plus vite que le carré de l'alésage et l'on obtient une approximation suffisante avec la formule :

$$N_e = KD^{2,4} \text{ (formule Arnoux).}$$

Toutefois la course ne doit pas être négligée, car, pour une même vitesse de piston, plus la course est petite plus le nombre de tours est grand, et les forces d'inertie ont une influence plus sensible. La formule de Faroux :

$$N_e = KD^{2,4}L^{0,6},$$

est celle qui nous paraît cadrer le mieux avec les puissances relevées au frein. Avec les rendements de la construction courante, on peut prendre :

$$K = 0,00000739 \text{ pour le monocylindre,}$$

$$K = 0,00002956 \text{ pour le 4-cylindres.}$$

Les moteurs de course, habilement travaillés, peuvent fournir jusqu'à une puissance double de celle qui correspond à ces données. Le tableau ci-après donne les puissances calculées à l'aide de ce dernier coefficient pour différents alésages et courses de moteurs à 4 cylindres.

On peut, sans grande erreur, admettre la proportionnalité de la puissance aux cylindres, de sorte que le tableau indiquant pour un 120×140 4 cylindres une puissance de 56,04 chevaux, on pourra dire que :

$$\text{— le monocylindre } 120 \times 140 \text{ donnera } \frac{56,04}{4} = 14,01 \text{ chevaux ;}$$

$$\text{— le six-cylindres } 120 \times 140 \text{ donnera } \frac{6 \times 56,04}{4} = 84,06 \text{ chevaux.}$$

Tableau donnant les puissances de tous les moteurs à quatre cylindres depuis 80 jusqu'à 140 millimètres d'alésage et depuis 85 jusqu'à 220 millimètres de course.

	ALÉSAGE												
	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140
85	15,74	18,17	20,83	23,72	26,82	30,16	33,74	37,52	41,56	45,30	50,35	55,12	60,14
90	16,25	18,79	21,55	24,55	27,76	31,21	34,94	38,82	42,92	47,38	52,08	57,04	62,24
95	16,79	19,41	22,26	25,37	28,69	32,25	35,09	40,12	43,85	48,96	53,81	58,91	64,30
100	17,32	20,02	22,98	26,17	29,58	33,25	37,19	41,36	45,82	50,53	55,51	60,77	66,32
105	17,85	20,61	23,65	26,94	30,45	34,23	38,27	42,58	47,16	52,00	57,17	62,56	68,27
110	18,33	21,20	24,32	27,71	31,32	35,26	39,34	43,78	48,48	53,45	58,79	64,32	70,19
115	18,83	21,76	24,98	28,47	32,17	36,15	40,39	44,96	49,78	54,88	60,38	66,05	72,08
120	19,31	22,31	25,63	29,21	33,00	37,09	41,43	46,12	51,06	56,29	61,94	67,75	73,94
125	19,80	22,89	26,25	29,93	33,81	38,00	42,47	47,26	52,32	57,68	63,47	69,42	75,77
130	20,24	23,43	26,88	30,64	34,61	38,89	43,50	48,40	53,58	59,05	64,97	71,06	77,57
135	20,72	23,97	27,49	31,34	35,40	39,79	44,51	49,52	54,82	60,40	66,44	72,67	79,37
140	21,29	24,50	28,10	32,03	36,18	40,68	45,50	50,62	56,04	61,75	67,90	74,25	81,16
145	21,80	25,02	28,70	32,71	36,96	41,48	46,48	51,70	57,25	63,09	69,36	75,85	82,92
150	22,30	25,54	29,29	33,38	37,73	42,27	47,44	52,76	58,44	64,44	70,80	77,45	84,58
155	22,80	26,04	29,87	34,04	38,48	43,06	48,36	53,82	59,62	65,74	72,21	79,00	86,25
160	23,30	26,54	30,44	34,69	39,23	43,85	49,26	54,87	60,78	67,01	73,61	80,53	87,90
165	23,80	27,04	31,00	35,33	39,96	44,64	50,16	55,90	61,92	68,26	75,00	82,04	89,53
170	24,30	27,54	31,55	35,96	40,66	45,42	51,05	56,91	63,04	69,49	76,38	83,53	91,14
175	24,80	28,04	32,09	36,57	41,35	46,22	51,93	57,90	64,14	70,79	77,74	85,00	92,73
180	25,30	28,54	32,63	37,17	42,02	47,00	52,79	58,89	65,24	71,89	79,07	86,45	94,30
185	25,80	29,04	33,17	37,76	42,69	47,84	53,65	59,86	66,32	73,06	80,37	87,88	95,85
190	26,30	29,54	33,70	38,34	43,36	48,64	54,49	60,81	67,38	74,23	81,64	89,31	97,38
195	26,80	30,04	34,23	38,92	44,10	49,51	55,42	61,75	68,41	75,41	82,90	90,71	98,92
200	27,30	30,54	34,76	39,49	44,83	50,40	56,35	62,69	69,43	76,59	84,13	92,10	100,5
205	27,80	31,04	35,29	40,07	45,50	51,16	57,20	63,62	70,45	77,74	85,37	93,48	102,0
210	28,30	31,54	35,81	40,66	46,16	51,90	58,03	64,54	71,47	78,89	86,61	94,74	103,5
215	28,80	32,04	36,33	41,24	46,82	52,64	59,86	65,46	72,49	80,01	87,85	96,14	105,0
220	29,30	32,54	36,85	41,82	47,48	53,37	59,67	66,38	73,52	81,10	89,08	97,53	106,5

S388D00

Tableau donnant les puissances de tous les moteurs à quatre cylindres depuis 145 jusqu'à 200 millimètres d'alésage et depuis 85 jusqu'à 220 millimètres de course.

COURSES	ALÉSAGE											
	145	150	155	160	165	170	175	180	185	190	195	200
85	65,46	70,99	76,78	"	"	"	"	"	"	"	"	"
90	67,76	73,47	79,44	"	"	"	"	"	"	"	"	"
95	69,98	75,89	82,08	"	"	"	"	"	"	"	"	"
100	72,16	78,26	84,66	91,38	98,40	105,6	"	"	"	"	"	"
105	74,25	80,59	87,21	93,98	101,2	108,8	"	"	"	"	"	"
110	76,31	82,83	89,73	96,54	104,0	111,9	"	"	"	"	"	"
115	78,34	85,14	92,22	99,06	106,8	114,9	"	"	"	"	"	"
120	80,34	87,36	94,68	101,6	109,5	117,9	126,3	135,3	144,5	"	"	"
125	82,31	89,54	97,11	104,1	112,2	120,8	129,5	138,6	148,0	"	"	"
130	84,25	91,68	99,51	106,7	114,9	123,7	132,6	141,9	151,5	"	"	"
135	86,18	93,78	101,9	109,2	117,5	126,5	135,6	145,2	155,0	"	"	"
140	88,12	95,85	104,2	111,6	120,2	129,3	138,6	148,4	158,4	"	"	"
145	90,08	97,86	106,1	114,3	122,8	132,1	141,6	151,5	161,8	"	"	"
150	92,04	99,83	108,0	116,5	125,4	134,7	144,5	154,6	165,1	176,0	187,3	199,0
155	93,85	101,8	110,0	118,8	127,9	137,4	147,4	157,6	168,3	179,4	191,0	202,9
160	95,64	103,8	112,0	121,2	130,4	140,1	150,3	160,6	171,5	182,7	194,3	206,8
165	97,41	105,7	114,0	123,5	132,9	142,7	153,1	163,6	174,7	186,1	198,1	210,6
170	99,16	107,6	116,1	125,8	135,3	145,3	155,8	166,5	177,8	189,4	201,9	214,4
175	100,9	109,6	118,1	127,9	137,7	147,8	158,5	169,4	180,9	192,7	205,4	218,1
180	102,6	111,4	120,1	130,1	140,1	150,3	161,2	172,3	184,1	196,0	208,9	221,8
185	104,3	113,2	122,1	132,2	142,4	152,8	164,0	175,2	187,2	199,3	212,4	225,5
190	106,0	115,0	124,1	134,2	144,7	155,3	166,5	178,1	190,2	202,3	215,9	229,2
195	107,7	116,8	126,2	136,3	147,0	157,8	169,1	180,9	193,2	206,2	219,3	232,9
200	109,3	118,6	128,2	138,3	149,2	160,2	171,7	183,8	196,2	209,2	222,6	236,6
205	110,9	120,4	130,2	140,4	151,4	162,6	174,3	186,6	199,2	212,2	225,9	240,2
210	112,5	122,2	132,1	142,5	153,6	164,9	176,8	189,4	202,1	215,2	229,2	243,7
215	114,1	124,0	134,0	144,5	155,8	167,3	178,3	192,0	205,0	218,2	232,5	247,1
220	115,7	125,8	135,0	146,6	157,9	169,6	181,7	194,6	207,8	221,3	235,7	250,5

CHAPITRE XI

CHAUFFAGE, VENTILATION, RAFRAICHISSEMENT

1. Température moyenne dans les diverses contrées.

	PRINTEMPS	ÉTÉ	AUTOMNE	HIVER
Algérie (côte).....	17°	24°	21°	+ 10°
Côte méditerranée (France)...	13	21	17	+ 8
Berlin.....	8	17	8	- 2
Berne.....	7	16	9	- 2
Le Caire.....	22	30	23	+ 15
Christiania.....	4	15	6	- 4
Edimbourg.....	7	14	9	+ 3
Jérusalem.....	16	23	19	+ 10
Lisbonne.....	15	22	17	+ 11
Londres.....	9	17	11	+ 4
Madrid.....	14	22	13	+ 6
Moscou.....	6	17	1	- 10
Naples.....	15	23	17	+ 10
Paris.....	10	18	11	+ 3
Rome.....	14	23	16	+ 8
Saint-Pétersbourg.....	2	16	4	- 8
Stockholm.....	4	16	7	- 5
Vienne.....	10	17	11	+ 4

2. **Quantité de chaleur à fournir.** — Pour se préciser les calories à fournir, on se pose les différences de température interne-externe à maintenir, et l'activité de la ventilation; il suffira d'évaluer alors les calories emportées par l'air évacué, et perdues par transmission ou rayonnement.

Le taux de ventilation usuel pour les ateliers consiste à renouveler complètement le cube d'air en dix heures.

Si P est le poids d'air évacué, C_p la chaleur spécifique moyenne de l'air sous pression constante = 0,24 en chiffres ronds, t_1 la température d'entrée dans le réchauffeur, t_2 la température d'évacuation de l'air, la perte en chaleur emportée est :

$$q = P (t_2 - t_1) c_p.$$

On examine les pertes par le sol, le plafond, les parois latérales, en tenant compte, s'il y a lieu, des bâtiments adossés (qui rédui-

sent la perte en calories proportionnellement à la surface) ou des vents du nord et est (qui l'augmentent de 20 0/0 chiffre ordinairement pris). Ces calculs se font simplement par la formule de Péclet pour la transmission à travers parois à faces parallèles, avec les coefficients donnés ci-après, et en majorant les résultats d'un certain facteur, plus important si le chauffage est discontinu que s'il a lieu nuit et jour.

Si $t_1 - t_2$ est la différence de température, S la surface, K le coefficient, la perte a pour valeur :

$$q = S (t_1 - t_2) k.$$

Tableau des coefficients K pour les calculs de chauffage.

(Calories par heure et par degré de différence de température.)

ÉPAISSEUR en mètres	MURS EN MAÇONNERIE DE :				
	Pierre calcaire ou meulière	Briques pleines sans enduit	Briques pleines et enduit, papier ou peinture	Briques creuses	Ciment arm
0,06	3,60	2,90	2,70	3/4 des coefficients pour briques pleines.	3,00
0,10	3,30	2,60	2,50		2,80
0,15	3,10	2,20	2,10		2,50
0,20	2,80	1,80	1,70		2,20
0,30	2,50	1,50	1,40		1,90
0,35	2,35	1,40	1,30		
0,40	2,20	1,30	1,20		
0,45	2,10	1,15	1,05		
0,50	1,90	1,00	0,90		
0,55	1,80	0,90	0,85		
0,60	1,70	0,80	0,75		
0,65	1,60	0,75	0,70		
0,70	1,50	0,70	0,65		

Valeurs de k

Deux murs en briques de 0,06 d'épaisseur, séparés par vide de 0 ^m ,05.....	1,50
Un mur de 0 ^m ,06, un de 0 ^m ,11 et un vide de 0 ^m ,05.....	1,40
Deux murs de 0 ^m ,11 et un vide de 0 ^m ,05.....	1,30
Un mur de 0 ^m ,08 en carreaux de plâtre et enduits..	1,80
Bois de 0 ^m ,03 d'épaisseur.....	1,82

	Valeurs de k
Vitres de fenêtres verticales, simples.....	4,00
Vitres de fenêtres, doubles et séparées par un vide de 0 ^m ,03 à 0 ^m ,06.....	2,00
Plafond vitré simple.....	5,00
Plafond vitré double et vide de 0 ^m ,03 à 0 ^m ,06.....	3,00
Plafond ordinaire, en plâtre et lattis sans plancher....	0,80
— — — avec plancher bois	0,60
Plafond à hourdis en briques voûtées, sans plancher ...	1,70
— — — avec plancher bois	1,50
Toit en zinc sur lattis.....	2,15
— sur planches jointives.....	1,50
— sur briques de liège de 0 ^m ,06.....	0,60
Toit en tuiles sur lattis ordinaire.....	3,60
— sur voligeage à 0 ^m ,15 de distance....	1,00
— avec briques de liège de 0 ^m ,06 à 0 ^m ,15 de distance.....	0,60
Solives en ciment, carrelage, etc. (toujours supposé à + 10°).....	1,90
Solives avec pavés en bois (toujours supposé à + 10°).	0,60

3. Chauffage et ventilation par pulsion. — La circulation ration-

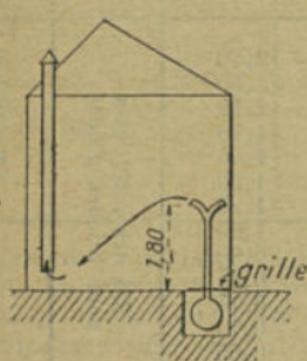


Fig. 100.

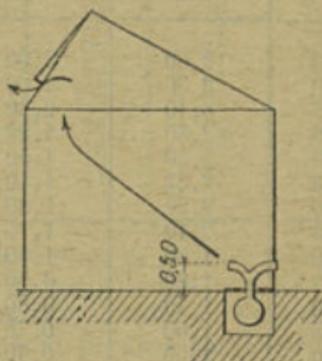


Fig. 101.

nelle en hiver devrait comprendre une arrivée un peu au-dessus de hauteur d'hommes, et une évacuation par cheminée au ras du sol, les produits viciés étant les plus lourds; l'ouvrier est ainsi baigné par un courant d'air pur et chaud (fig. 100).

Le plus souvent par raison d'économie, on supprime la cheminée d'aération et l'on fait l'arrivée d'air chaud au ras du sol; l'évacuation est en général suffisante par les fissures, etc., et l'on peut du reste

ouvrir les châssis vitrés (fig. 101).

Néanmoins les coffres « aérothermiques », qui réalisent le desideratum rationnel du premier croquis, commencent à se répandre et constituent un excellent dispositif.

Ils sont constitués en général (fig. 102) par un coffre renfermant un aérocondenseur qui réchauffe l'air aspiré à l'extérieur par un ventilateur actionné directement par moteur électrique; une ouïe de mélange, avec clapet réglable, permet d'effectuer la reprise d'une partie de l'air chaud empruntée à l'atmosphère intérieure du bâtiment.

Dans d'autres appareils, le moteur électrique est remplacé par une petite turbine à vapeur, ce qui simplifie l'installation et assure l'utilisation maximum de la chaleur contenue dans la vapeur: une partie est utilisée pour force motrice et l'échappement est envoyé sur le radiateur cellulaire faisant office de condenseur.

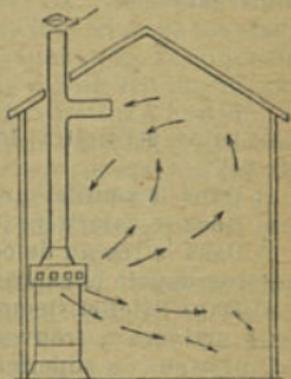


FIG. 103.

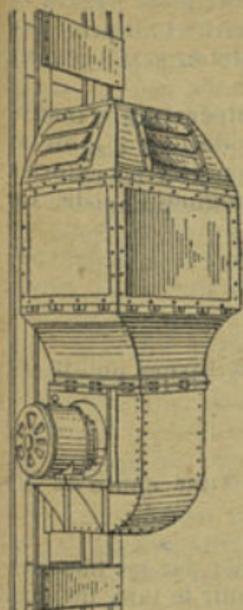


FIG. 102.

trice et l'échappement est envoyé sur le radiateur cellulaire faisant office de condenseur.

L'aérocorigène M. Vinot est particulièrement bien étudié et se prête même à l'installation dans les salles de minime importance (fig. 103) affectant la forme extérieure d'une sorte de poêle. L'air froid est prélevé à l'extérieur par la cheminée; il se mélange dans une proportion réglable à l'air de reprise prélevé à l'intérieur; un ventilateur actionné directement par une turbine à vapeur refoule l'air sur un échangeur cellulaire *Radix* faisant office de condenseur; l'air chaud se répand dans la salle radialement, sur toute la périphérie du poêle.

Marche du calcul pour le ventilateur nécessaire. — Pour la détermination du ventilateur, il faut connaître le tempérament ou orifice équivalent du système, c'est-à-dire le volume d'air à débiter et la résistance réduite du circuit en millimètres d'eau.

On se fixe d'abord la température maximum de l'air insufflé par les bouches, 70° environ pour les réchauffeurs tubulaires chauffés à feu nu (calorifères) et 50° environ pour les réchauffeurs tubulaires

chauffés à la vapeur (aéro-condenseurs). On ne saurait dépasser cette température sans être conduit à réduire beaucoup la vitesse de passage de l'air dans le réchauffeur (généralement prise égale à 10 m : sec.) et par suite augmenter l'encombrement et le prix des appareils. De plus l'air insufflé trop chaud dans l'atelier serait gênant pour le personnel.

Connaissant la perte totale en calories Q , la température d'insufflation de l'air t , la chaleur spécifique moyenne de l'air C_p , on en tire le poids d'air à envoyer dans l'atelier pour apporter les calories nécessaires au maintien de la température de régime choisie. Ce poids est :

$$P = \frac{Q}{C_p t}$$

Ce poids permettra de passer aux volumes aux divers points du circuit :

- a) Dans le ventilateur (température externe);
- b) Dans le calorifère (température maximum);
- c) Dans le réseau de conduites (on tient compte d'une chute de 20% environ depuis le calorifère jusqu'aux bouches);
- d) Dans l'atelier (température interne).

On arrivera à trouver que le volume à insuffler par les bouches est inférieur ou supérieur au volume à évacuer pour le taux de ventilation admis (1/10 du cube de l'atelier par heure, en général).

S'il est inférieur, on ramènera le débit au chiffre adopté en chauffant l'air à une température moindre.

Mais le plus souvent il est supérieur, parfois de beaucoup. Pour ne pas aboutir à une installation trop coûteuse, on est alors conduit à reprendre dans l'atelier une fraction d'air chaud qu'on mélange au volume d'air frais nécessaire à la ventilation, pour le repasser dans le réchauffeur.

Les volumes aux divers points du circuit bien fixés, on calculera les frottements et pertes de charge par les méthodes habituelles, avec la densité du fluide correspondant à la température en ces divers points, et en établissant les sections de conduites de façon à maintenir une vitesse uniforme V en tous les points du système. On arrive ainsi à une pression totale H en millimètres d'eau à la base du ventilateur; connaissant le débit Q à la température de passage de l'air dans le ventilateur, on peut ainsi déterminer le tempérament ou orifice équivalent, et par suite choisir le ventilateur donnant le meilleur rendement mécanique pour cet orifice.

Le travail de ventilation en kilogrammètres sera Qh et la puissance absorbée, pour un rendement en marche pratique de 0,50, sera $\frac{2Qh}{75}$.

Connaissant le prix du kilowatt, et considérant la dépense annuelle en énergie comme taux d'amortissement d'un capital C, on pourra discuter la valeur de la vitesse V la plus économique, en considérant que c'est du choix de cette vitesse que dépendent les dimensions des conduites et du ventilateur, par conséquent du coût d'installation.

Les vitesses adoptées sont comprises entre 5 et 10 m : sec.

Marche du calcul pour le calorifère. — Connaissant la température maximum de l'air, le débit à cette température, on détermine les sections de passage dans le réchauffeur. La connaissance du coefficient de transmission de la chaleur à travers le corps tubulaire choisi, on déterminera la surface et la consommation du fluide réchauffeur (vapeurs ou gaz de foyers). Dans le cas du feu nu, la surface de grille s'établira d'après le nombre de calories à fournir par heure, en comptant une utilisation du pouvoir calorifique du combustible choisi (coke généralement pour éviter l'encrassement par les suies) inférieure à 60 0/0; et une allure de combustion de 45 à 50 kilogrammes de combustible par mètre carré de grille et par heure.

Pour éviter, en cas de fuites au système tubulaire, l'entraînement de gaz asphyxiants dans l'air à chauffer, on disposera *toujours* le réchauffeur sur le refoulement du ventilateur et non sur l'aspiration.

Enfin il sera bon de prévoir un filtre sur l'air froid aspiré et un humidificateur sur l'air chaud refoulé, si l'on tient à réaliser une installation parfaitement hygiénique.

4. Chauffage par surface d'échange (radiateurs). — Ce mode de chauffage est plus particulièrement usité pour le chauffage d'appartement.

On emploie soit la circulation d'eau chaude (eau à 90°), soit la vapeur à basse pression (0^k5,500 manométrique); le premier système est plus réglable mais exige davantage de surface chauffante.

Les radiateurs peuvent être constitués par des tubes lisses, ou des radiateurs proprement dits, à surface d'échange directe, ou par des tubes à ailettes.

On admet un coefficient de transmission de 7 cal : m² et par degré de différentes de température pour l'eau chaude à l'air, et de 10 cal : m² pour la vapeur basse pression à l'air.

Pratiquement il est usuel de compter les chiffres suivants par mètre carré de surface chauffante :

Eau chaude	{ tubes ou radiateurs lisses	500 cal par m ²	et par heure
à 90°	{ tubes à ailettes	350 cal par m ²	et par heure
Vapeur B.P.	{ tubes ou radiateurs lisses	700 cal par m ²	et par heure
à 500 gr. soit 110°	{ tubes à ailettes	475 cal par m ²	et par heure

Dans le chauffage central le calcul de la quantité de chaleur à fournir peut évidemment se faire comme indiqué au paragraphe 2 ci-avant. On se contente en général d'évaluer le cube de la pièce à chauffer et à le multiplier par :

- 40 cal. : m³ dans les régions froides (Nord, Est, montagnes);
- 30 cal. : m³ dans les régions tempérées (Paris, Centre, etc.);
- 20 cal. : m³ dans les régions chaudes (Midi côtes ouest et sud).

5. Chauffage domestique. — Les chauffages au gaz et à l'électricité sont en concurrence pour ce genre d'application, mais le gaz reste de beaucoup le plus économique.

Voici quelques tableaux comparant le rendement utile et le coût relatif des appareils de chauffage domestique et culinaire.

	CHARBON	GAZ	ÉLECTRICITÉ
Pouvoir calorifique..	7.500 cal. par kg.	5.000 cal. par m ³ .	865 cal. par kwh.
Prix unitaire.....	0 ^f ,20 le kg.	0 ^f ,55 le m ³ .	1 ^f ,10 le kwh.
Rendement (cuisine).	50/0 (cuisinière)	45 0/0 (réchaud ordinaire)	55 0/0 (réchaud ordinaire)
Rend. (chauffage)...	15 0/0 (poêle extér.)	70 0/0 (radiateur)	97 0/0 (radiateur)
Prix de revient aux 0/00 cal. (cuisine).	0 ^f ,53	0 ^f ,24	2 ^f ,31
Prix de revient aux 0/00 cal. (chauff.).	0 ^f ,18	0 ^f ,10	1 ^f ,31

Les appareils à récupération et allumage automatique au gaz se répandent de plus en plus; ils consistent, en principe, à maintenir un réservoir d'eau chaude à température constante; ce réservoir alimente les différents besoins de la maison en eau chaude, et au fur et à mesure de la consommation de celle-ci, une quantité d'eau froide correspondante est introduite automatiquement dans le réservoir.

LÉGISLATION DU TRAVAIL

Par **G. COURTOT**
Inspecteur du Travail

PREMIÈRE PARTIE. — GÉNÉRALITÉS

CHAPITRE I

DES CONVENTIONS RELATIVES AU TRAVAIL

Extrait du livre I du Code du Travail

A. — DU CONTRAT DE TRAVAIL.

On distingue cinq sortes de contrats : 1° Le contrat d'apprentissage ; — 2° Le contrat de louage de services ; — 3° le contrat de louage d'ouvrage ou marché d'industrie ; — 4° Le marchandage ; — 5° *La convention collective de travail*,

Le contrat d'apprentissage.

De la nature et de la forme du contrat. — ART. 1^{er}. — Le contrat d'apprentissage est celui par lequel un fabricant, un chef d'atelier ou un ouvrier s'oblige à enseigner la pratique de sa profession à une autre personne, qui s'oblige, en retour, à travailler pour lui ; le tout à des conditions et pendant un temps convenus.

ART. 2. — Le contrat d'apprentissage est fait par acte public ou par acte sous seing privé. — Il peut aussi être fait verbalement, mais la preuve testimoniale n'en est reçue que conformément au titre du Code civil : « Des contrats ou des obligations conventionnelles en général. » — Les notaires, les secrétaires des conseils de prud'hommes et les greffiers de justice de paix peuvent recevoir l'acte d'apprentissage. — Cet acte est soumis, pour l'enregistrement, au droit fixe de 1 fr. 50, lors même qu'il contiendrait des obligations, de sommes ou valeurs mobilières, ou des quittances. — Les honoraires dus aux officiers publics sont fixés à 2 francs.

ART. 3. — L'acte d'apprentissage contient : 1° Les nom, prénoms, âge, profession et domicile du maître ; 2° Les nom, prénoms, âge et domicile de l'apprenti ; 3° Les noms, prénoms, professions et domicile de ses père et mère, de son tuteur, ou de la personne autorisée par les parents et, à leur défaut, par le juge de paix ; 4° La date et la durée du contrat ; 5° Les conditions de logement, de nourriture, de prix et toutes autres arrêtées entre les parties. — Il doit être signé par le maître et par les représentants de l'apprenti.

Des conditions du contrat. — ART. 4. — Nul ne peut recevoir des apprentis mineurs s'il n'est âgé de vingt et un ans au moins.

ART. 5. — Aucun maître, s'il est célibataire ou en état de veuvage ou divorcé, ne peut loger, comme apprenties, des jeunes filles mineures.

ART. 6. — Sont incapables de recevoir des apprentis : Les individus qui ont subi une condamnation pour crime; — Ceux qui ont été condamnés pour attentat aux mœurs; — Ceux qui ont été condamnés à plus de trois mois d'emprisonnement pour les délits prévus par les art. 388, 401, 405, 406, 407, 408, 423 du Code pénal.

ART. 7. — L'incapacité résultant de l'art. 6 peut être levée par le préfet, sur l'avis du maire, quand le condamné, après l'expiration de sa peine, a résidé pendant trois ans dans la même commune. — A Paris, les incapacités seront levées par le préfet de police.

Des devoirs des maîtres et des apprentis. — ART. 8. — Le maître doit se conduire envers l'apprenti en bon père de famille, surveiller sa conduite et ses mœurs, soit dans la maison, soit au dehors, et avertir ses parents ou leurs représentants des fautes graves qu'il pourrait commettre ou des penchants vicieux qu'il pourrait manifester. — Il doit aussi les prévenir sans retard, en cas de maladie, d'absence ou de tout fait de nature à motiver leur intervention. — Il n'emploiera l'apprenti, sauf conventions contraires, qu'aux travaux et services qui se rattachent à l'exercice de sa profession.

ART. 9. — Si l'apprenti âgé de moins de seize ans ne sait pas lire, écrire et compter, ou s'il n'a pas encore terminé sa première éducation religieuse, le maître est tenu de lui laisser prendre, sur la journée de travail, le temps et la liberté nécessaires pour son instruction. — Néanmoins, ce temps ne peut excéder deux heures par jour.

ART. 10. — Le maître doit enseigner à l'apprenti, progressivement et complètement, l'art, le métier ou la profession spéciale qui fait l'objet du contrat. — Il lui délivrera, à la fin de l'apprentissage, un congé d'acquit, ou certificat constatant l'exécution du contrat.

ART. 11. — L'apprenti doit à son maître fidélité, obéissance et respect; il doit l'aider, par son travail, dans la mesure de son aptitude et de ses forces. — Il est tenu de remplacer, à la fin de l'apprentissage, le temps qu'il n'a pu employer par suite de maladie ou d'absence ayant duré plus de quinze jours.

ART. 12. — Tout fabricant, chef d'atelier ou ouvrier, convaincu d'avoir détourné un apprenti de chez son maître, pour l'employer en qualité d'apprenti ou d'ouvrier, pourra être passible de tout ou partie de l'indemnité à prononcer au profit du maître abandonné.

De la résolution du contrat. — ART. 13. — Les deux premiers mois de l'apprentissage sont considérés comme un temps d'essai pendant lequel le contrat peut être annulé par la seule volonté de l'une des parties. Dans ce cas, aucune indemnité ne sera allouée à l'une ou l'autre partie, à moins de conventions expresses.

ART. 14. — Le contrat d'apprentissage est résolu de plein droit:

1° Par la mort du maître ou de l'apprenti ; — 2° Si l'apprenti ou le maître est appelé au service militaire ; — 3° Si le maître ou l'apprenti vient à être frappé d'une des condamnations prévues en l'article 6 du présent titre ; — 4° Pour les filles mineures, dans le cas de divorce du maître, de décès de l'épouse du maître, ou de toute autre femme de la famille qui dirigeait la maison à l'époque du contrat.

ART. 15. — Le contrat peut être résolu sur la demande des parties ou de l'une d'elles : 1° Dans le cas où l'une des parties manquerait aux stipulations du contrat ; 2° Pour cause d'infraction grave ou habituelle aux prescriptions du présent titre et des autres lois réglant les conditions du travail des apprentis ; — 3° Dans le cas d'inconduite habituelle de la part de l'apprenti ; — 4° Si le maître transporte sa résidence dans une autre commune que celle qu'il habitait lors de la convention. — Néanmoins la demande en résolution du contrat fondée sur ce motif n'est recevable que pendant trois mois à compter du jour où le maître aura changé de résidence ; — 5° Si le maître ou l'apprenti encourait une condamnation emportant un emprisonnement de plus d'un mois ; — 6° Dans le cas où l'apprenti viendrait à contracter mariage.

ART. 16. — Si le temps convenu pour la durée de l'apprentissage dépasse le maximum de la durée consacrée par les usages locaux, ce temps peut être réduit ou le contrat résolu.

De la compétence. — ART. 17. — Les réclamations qui pourraient être dirigées contre les tiers en vertu de l'art. 12 du présent titre seront portées devant le conseil des prud'hommes ou devant le juge de paix du lieu de leur domicile.

ART. 18. — Dans les divers cas de résolution prévus au chapitre IV, les indemnités ou les restitutions qui pourraient être dues à l'une ou à l'autre des parties seront, à défaut de stipulations expresses, réglées par le conseil des prud'hommes ou par le juge de paix dans les cantons qui ne ressortissent point à la juridiction d'un conseil de prud'hommes.

Le Contrat de louage de services.

§ 1. *Règles générales.* — ART. 20. — On ne peut engager ses services qu'à temps ou pour une entreprise déterminée.

ART. 21. — La durée du louage de services est, sauf preuve d'une convention contraire, réglée suivant l'usage des lieux.

ART. 22. — L'engagement d'un ouvrier ne peut excéder un an, à moins qu'il ne soit contremaître, conducteur des autres ouvriers ou qu'il n'ait un traitement et des conditions stipulés par un acte exprès.

ART. 23. — Le louage de services, fait sans détermination de durée, peut toujours cesser par la volonté d'une des parties contractantes. — Néanmoins, la résiliation du contrat par la volonté d'un seul des contractants peut donner lieu à des dommages-intérêts. — Pour la fixation de l'indemnité à allouer, le cas échéant, il est tenu compte

des usages, de la nature des services engagés, du temps écoulé, des retenues opérées et des versements effectués en vue d'une pension de retraite, et, en général, de toutes les circonstances qui peuvent justifier l'existence et déterminer l'étendue du préjudice causé. — Les parties ne peuvent renoncer à l'avance au droit éventuel de demander des dommages-intérêts en vertu des dispositions ci-dessus. — Les contestations auxquelles pourra donner lieu l'application des paragraphes précédents, lorsqu'elles seront portées devant les tribunaux civils et devant les cours d'appel, seront instruites comme affaires sommaires et jugées d'urgence.

ART. 24. — Toute personne qui engage ses services peut, à l'expiration du contrat, exiger de celui à qui elle les a loués, sous peine de dommages-intérêts, un certificat contenant exclusivement la date de son entrée, celle de sa sortie et l'espèce de travail auquel elle a été employée. — (*Modifié, L. 18 juill. 1917*). Sont exempts de timbre et d'enregistrement les certificats de travail délivrés aux ouvriers; employés ou serviteurs, encore qu'ils contiennent d'autres mentions que celles prévues au paragraphe 1 du présent article, toutes les fois que ces mentions ne contiennent ni obligation, ni quittance, ni aucune autre convention donnant lieu au droit proportionnel. — (*Ajouté, L. 18 juill. 1917*). La formule « libre de tout engagement » et toute autre constatant l'expiration régulière du contrat de travail, les qualités professionnelles et les services rendus, sont compris dans l'exemption.

§ 2. *Règles particulières aux réservistes et aux territoriaux appelés à faire une période d'instruction militaire.* — ART. 25. — En matière de louage de services, si un patron, un employé ou un ouvrier est appelé sous les drapeaux comme réserviste ou territorial pour une période obligatoire d'instruction militaire, le contrat de travail ne peut être rompu à cause de ce fait.

ART. 26. — Alors même que, pour une cause légitime, le contrat serait dénoncé par l'une des parties, la durée de la période militaire est exclue des délais impartis par l'usage pour la validité de la dénonciation, sauf toutefois dans le cas où le contrat de louage a pour objet une entreprise temporaire prenant fin pendant la période d'instruction militaire.

ART. 27. — En cas de violation des articles précédents par l'une des parties, la partie lésée a droit à des dommages-intérêts qui seront arbitrés par le juge conformément aux indications de l'art. 23 du présent livre.

ART. 28. — Toute stipulation contraire aux dispositions qui précèdent est nulle de plein droit.

§ 3. *Règles particulières aux femmes en couches.* — ART. 29. — La suspension du travail par la femme, pendant huit semaines consécutives, dans la période qui précède et suit l'accouchement, ne peut

être une cause de rupture par l'employeur du contrat de louage de services et ce, à peine de dommages-intérêts au profit de la femme. Celle-ci devra avertir l'employeur du motif de son absence. Toute convention contraire est nulle de plein droit. — L'assistance judiciaire sera de droit pour la femme devant la juridiction du premier degré.

ART. 29 a (ajouté Loi 17 juin 1913). — Les femmes en état de grossesse apparente pourront quitter le travail sans délai-congé et sans avoir de ce fait à payer une indemnité de rupture.

Règlements d'ateliers. — Les clauses particulières du contrat de travail sont le plus souvent insérées dans les Règlements d'ateliers. Les prescriptions de ces règlements ne lient les ouvriers que si ceux-ci en ont eu, dès leur entrée à l'atelier, ample et suffisante connaissance, qu'elles sont observées et qu'ils les ont constamment sous les yeux pendant le travail. — Les règlements d'ateliers ont une force obligatoire, même établis par le patron seul lorsqu'il est évident que l'ouvrier y a donné un consentement tacite. — Pour être valables, les clauses insérées ne doivent pas être contraires aux lois. Seraient nulles de plein droit et sans effet les clauses qui prescriraient une retenue sur les salaires pour le paiement de la prime assurance-accidents ou qui imposeraient une durée de travail supérieure au maximum légal.

Délai-Congé. — Quand il s'agit de contrat de travail fait sans détermination de durée, l'usage s'est établi entre patrons et ouvriers de se prévenir mutuellement un certain temps à l'avance de leur intention de rompre le contrat qui les lie. Le temps qui s'écoule entre la dénonciation du contrat et la cessation effective de travail prend le nom de délai-congé. — C'est l'usage qui fixe la durée du délai-congé ainsi que le montant de l'indemnité à payer par la partie qui n'observe pas le délai-congé. — Pendant la période d'essai, le patron et l'ouvrier peuvent mutuellement se séparer sans observer le délai-congé. — Pour les ouvriers travaillant à l'heure ou à la journée, le Conseil des Prud'hommes de la Seine impose au patron un délai de préavis d'une heure. — Pour les ouvriers travaillant à la semaine ou à la quinzaine, les délais de préavis sont de huit ou de quinze jours. — Quant aux employés subalternes, certaines décisions disent que le délai de congé est seulement de quinze jours, d'autres d'un mois. — S'il s'agit d'employés supérieurs, aucune précision ne peut être apportée. — Pour les employés intéressés, le délai de préavis est le même que pour de simples employés. — Les parties sont libres de fixer par un règlement d'atelier ou par une convention la durée du délai-congé. Elles peuvent même convenir qu'aucun délai ne sera observé.

Le contrat de louage d'ouvrage ou marché.

Dans ce contrat l'ouvrier loue son travail pour un ouvrage déter-

miné à faire moyennant un prix convenu. C'est le travail à la pièce ou à la tâche. Il est soumis aux règles contenues dans les articles 1787 et suivants du Code Civil. Le louage d'ouvrage prend fin : 1° par l'achèvement de l'ouvrage ; — 2° par la volonté du patron ; 3° par la mort de l'ouvrier, de l'architecte ou de l'entrepreneur.

Le marchandage.

Le marchandage est le contrat par lequel des entrepreneurs et des tâcherons qui se sont rendus adjudicataires d'un travail, traitent en seconde, troisième ou quatrième main et à forfait avec des ouvriers pour la confection de telle ou telle partie de l'ouvrage. L'exploitation des ouvriers par des sous-entrepreneurs ou marchandage est interdite (art. 32 du livre I du Code du Travail). Les associations d'ouvriers qui n'ont point pour objet l'exploitation des ouvriers les uns par les autres ne sont point considérées comme marchandage.

La convention collective de travail.

Nature et validité de la convention. — ART. 31. — La convention collective de travail est un contrat relatif aux conditions du travail, conclu entre, d'une part, les représentants d'un syndicat professionnel ou de tout autre groupement d'employés et, d'autre part, les représentants d'un syndicat professionnel ou de tout autre groupement d'employeurs, ou plusieurs employeurs contractant à titre personnel ou même un seul employeur. — Elle détermine les engagements pris par chacune des parties envers l'autre partie et, notamment, certaines conditions auxquelles doivent satisfaire les contrats de travail individuels ou d'équipe que les personnes liées par la convention passent, soit entre elles, soit avec des tiers, pour le genre de travail qui fait l'objet de ladite convention.

ART. 31 a. — S'il n'y a clause contraire, les personnes liées par la convention collective de travail sont tenues d'observer les conditions de travail convenues dans leurs rapports avec les tiers.

ART. 31 b. — Les représentants d'un syndicat professionnel ou de tout autre groupement peuvent contracter au nom de la collectivité, en vertu de soit des stipulations statutaires de ce groupement ; — soit d'une délibération spéciale de ce groupement ; — soit des mandats spéciaux et écrits qui leur sont donnés individuellement par tous les adhérents à ce groupement. — A défaut, pour être valable, la convention collective de travail doit être ratifiée par une délibération spéciale de ce groupement. — Les groupements déterminent eux-mêmes leur mode de délibération.

ART. 31 c. — La convention collective de travail doit être écrite, à peine de nullité. — Elle n'est applicable qu'à partir du jour qui suit celui de son dépôt, soit au secrétariat du conseil des prud'hommes du lieu où elle a été passée, soit, à défaut de conseil des prud'hommes, ou, si les parties le stipulent, au greffe de la justice de paix de ce lieu, soit à tout autre secrétariat de conseil des prud'hommes

ou greffe de justice de paix convenu par les parties. — Elle peut être déposée au secrétariat du conseil des prud'hommes ou au greffe de la justice de paix de tout lieu où elle doit être appliquée. — Les parties peuvent convenir qu'elle ne sera applicable dans le ressort d'un conseil des prud'hommes ou d'une justice de paix, que si elle a été déposée au secrétariat de ce conseil ou au greffe de cette justice de paix. — Le ou les dépôts de cette convention ont lieu aux soins de la partie la plus diligente, à frais communs. — Le dépôt, prévu au paragraphe 2 du présent article, doit être considéré comme ayant été effectué lorsque, en vertu des dispositions de la loi du 27 décembre 1892, la convention collective de travail a été dressée par le juge de paix.

ART. 31 d. — Les parties doivent stipuler que la convention collective de travail est valable, soit en tous lieux, soit dans une région déterminée, soit dans une localité ou seulement pour un ou plusieurs établissements spécifiés. — A défaut, elle sera valable dans le ressort du conseil des prud'hommes ou de la justice de paix dont le secrétariat ou greffe aura reçu le dépôt de cette convention en vertu du paragraphe 2 de l'art. 31 c et elle ne sera valable dans le ressort d'un autre conseil des prud'hommes ou d'une autre justice de paix que si elle a été déposée par les deux parties au secrétariat de ce conseil ou au greffe de cette justice de paix.

Durée et résolution de la convention. — ART. 31 e. — La convention collective de travail peut être conclue: — Sans détermination de durée; — Pour une durée déterminée; — Pour la durée d'une entreprise déterminée.

ART. 31 f. — La convention collective de travail à durée indéterminée peut toujours cesser par la volonté de l'une des parties, à charge pour cette partie de se dégager dans les formes prévues à l'art. 31 m. — Si l'une des parties comprend plusieurs groupements d'employés ou plusieurs employeurs ou groupements d'employeurs, la convention à durée indéterminée n'est résolue que par la renonciation, dans les formes prévues à l'art. 31 m, du dernier de ces groupements d'employés ou du dernier de ces employeurs ou groupements d'employeurs.

ART. 31 g. — Lorsque la convention collective de travail est conclue pour une durée déterminée, cette durée ne peut être supérieure à cinq années.

ART. 31 h. — A défaut de stipulation contraire, la convention collective de travail à durée déterminée qui arrive à expiration continue à produire ses effets comme une convention à durée indéterminée.

ART. 31 i. — Lorsque la convention collective de travail est conclue pour la durée d'une entreprise, si cette entreprise n'est pas terminée dans une période de cinq années, cette convention est considérée comme conclue pour cette dernière durée.

Adhésions et renonciations à la convention. — ART. 31^j. — Tout syndicat professionnel ou tout autre groupement d'employés ou d'employeurs ou tout employeur non groupé, qui n'est pas partie à la convention collective de travail, peut y adhérer ultérieurement avec le consentement des parties contractantes. — Cette adhésion n'est valable qu'à partir du jour qui suit celui de sa notification, ainsi que de celle du consentement des parties, au secrétariat ou greffe où le dépôt de la convention a été effectué en vertu du paragraphe 2 de l'art. 31 c.

ART. 31 k. — Sont considérés comme liés par la convention collective de travail : 1° Les employés et les employeurs signataires de ladite convention ainsi que ceux qui leur ont donné individuellement, par écrit, mandat spécial pour traiter en leur nom ; — 2° Ceux qui, au moment où la convention est conclue, sont membres d'un groupement partie à cette convention si, dans un délai de huit jours francs à dater du dépôt prévu au paragraphe 2 ou au paragraphe 4 de l'art. 31 e, ils n'ont pas donné leur démission de ce groupement, et s'ils n'ont pas notifié celle-ci, soit au secrétariat ou greffe où le dépôt a été effectué, soit au secrétariat du conseil des prud'hommes ou au greffe de la justice de paix qui aurait à juger les différends relatifs à leurs contrats de travail. Lorsque la convention a pour but de faire cesser une grève ou un lock-out, le délai ci-dessus est réduit à trois jours ; — 3° Ceux qui sont membres d'un groupement adhérent ultérieurement à cette convention, si, à dater de la notification de l'adhésion prévue à l'art. 31 j, ils ne se sont pas retirés de ce groupement dans les conditions et délais précisés au paragraphe précédent ; — 4° Ceux qui, postérieurement au dépôt de la convention, entrent dans un groupement, partie à cette convention ; — 5° Les employeurs, n'appartenant pas à un groupement partie à la convention, qui adhèrent directement à celle-ci, conformément aux dispositions de l'art. 31 j.

ART. 31 l. — Lorsque la convention collective de travail est conclue pour une durée déterminée ou pour la durée d'une entreprise déterminée, sont seuls liés pour la durée déterminée ou celle de l'entreprise : 1° Les groupements parties à la convention, soit parce qu'ils ont participé à sa conclusion, soit parce qu'ils ont adhéré ultérieurement à cette convention ; — 2° Les employés et les employeurs adhérents à la convention en vertu du 1° de l'article précédent, qui sont nominativement désignés dans la convention ou dont le mandat a été joint ; — 3° Les employeurs adhérents à la convention en vertu du 5° de l'article précédent ; — 4° Les employés et les employeurs, membres des syndicats professionnels ou de tous autres groupements parties à la convention, qui adhèrent directement pour la durée déterminée ou celle de l'entreprise, en le notifiant, soit au secrétariat ou greffe où le dépôt de cette convention a été effectué, soit au secrétariat du con-

seil des prud'hommes ou au greffe de la justice de paix qui aurait à juger les différends relatifs à leur contrat de travail. — Toute convention est considérée comme étant de durée indéterminée à l'égard des autres personnes qu'elle lie.

ART. 31 m. — Tout groupement d'employés ou d'employeurs ou tout employeur non groupé, partie à une convention collective de travail, conclue ou prorogée par tacite reconduction pour une durée indéterminée, peut, à toute époque, se dégager en notifiant sa renonciation à toutes les autres parties, groupements d'employés ou d'employeurs ou employeurs non groupés, avec lesquelles il a conclu et au secrétariat ou greffe où le dépôt de la convention a été effectué en vertu du paragraphe 2 de l'art. 31 c. — Cette notification doit être faite un mois à l'avance, sauf stipulation contraire. — Lorsque, en vertu des dispositions de l'art 31 f, la renonciation d'un groupement ne doit pas entraîner la résolution de la convention, les autres parties, dans les dix jours qui suivent la notification qui leur a été faite, peuvent notifier également leur renonciation à cette convention, pour la date notifiée par le premier groupement. — La renonciation d'un groupement entraîne de plein droit celle de tous les membres de ce groupement, nonobstant toute convention contraire.

ART. 31 n. — Tout membre d'un groupement d'employés ou d'un groupement d'employeurs partie à une convention collective de travail, conclue pour une durée indéterminée, prorogée par tacite reconduction pour une durée indéterminée, ou considérée comme étant de durée indéterminée à son égard, peut, à toute époque, se dégager, à moins qu'il n'ait renoncé à cette faculté pour une durée déterminée, en se retirant de tout groupement partie à la convention et en le notifiant, soit au secrétariat ou greffe où le dépôt a été effectué, soit au secrétariat du conseil des prud'hommes ou au greffe de la justice de paix qui aurait à juger les différends relatifs à son ou à ses contrats de travail. — Cette notification doit être faite un mois à l'avance, nonobstant toute convention contraire. — Lorsque la convention collective de travail est prorogée par tacite reconduction pour une durée déterminée, tout membre d'un groupement restant partie à cette convention peut se dégager dans la huitaine qui suit la prorogation en se conformant aux conditions précisées ci-dessus. — Ces dispositions s'appliquent à toute personne qui, ayant démissionné de son groupement, est restée liée à la convention.

ART. 31 o. — Un employé ou un employeur ne peut renoncer, pour une durée de plus de cinq années, à se dégager d'une convention en cours. — Par une stipulation d'un contrat de travail, un employé ne peut renoncer à se dégager d'une convention en cours pour une durée supérieure à celle pendant laquelle son employeur est lui-même lié par la convention. — Toute renonciation d'un employé ou d'un employeur à se dégager d'une convention en cours n'est valable que

si elle est notifiée soit au secrétariat ou greffe où le dépôt de la convention a été effectué, soit au secrétariat du conseil des prud'hommes ou au greffe de la justice de paix qui aurait à juger des différends relatifs à son ou à ses contrats de travail.

ART. 31 p. — Est nulle toute convention par laquelle les employés ou les employeurs renonceraient à la faculté de répudier, dans les formes prévues par les 2^e et 3^e de l'art. 31 k :

Soit une convention collective de travail ; — Soit un mandat collectivement.

Effets et sanctions de la convention. — ART. 31 q. — Lorsqu'un contrat intervient entre un employé et un employeur qui doivent, aux termes de l'art. 31 k, être considérés comme soumis l'un et l'autre aux obligations résultant de la convention collective de travail, les règles déterminées en cette convention s'imposent, nonobstant toute stipulation contraire, aux rapports nés de ce contrat de travail.

ART. 31 r. — Lorsqu'une seule des parties au contrat de travail doit être considérée comme liée par les clauses de la convention collective de travail, ces clauses sont présumées s'appliquer aux rapports nés du contrat de travail, à défaut de stipulation contraire. — La partie liée par une convention collective de travail, qui l'oblige, même à l'égard des tiers, et qui aurait accepté, à l'égard de ceux-ci, des conditions contraires aux règles déterminées par cette convention, peut être civilement actionnée à raison de l'inexécution des obligations par elle assumées.

ART. 31 s. — Les groupements d'employés ou d'employeurs liés par une convention collective de travail sont tenus de ne rien faire qui soit de nature à en compromettre l'exécution loyale. — Ils ne sont garants de cette exécution que dans la mesure déterminée par la convention.

ART. 31 t. — Les groupements capables d'ester en justice, liés par une convention collective de travail, peuvent, en leur nom propre, intenter une action en dommages-intérêts aux autres groupements parties à la convention, aux membres de ces groupements, à leurs propres membres ou à toutes personnes liées par la convention qui violeraient les engagements contractés.

ART. 31 u. — Les personnes liées par une convention collective de travail peuvent intenter une action en dommages-intérêts aux autres personnes ou aux groupements liés par la convention qui violeraient à leur égard les engagements contractés.

ART. 31 v. — Les groupements capables d'ester en justice qui sont parties à la convention collective de travail peuvent exercer toutes les actions qui naissent de cette convention en faveur de chacun de leurs membres, sans avoir à justifier d'un mandat de l'intéressé, pourvu que celui-ci ait été averti et n'ait pas déclaré s'y opposer. L'intéressé peut toujours intervenir à l'instance engagée par le groupe-

ment. — Lorsqu'une action née de la convention collective de travail est intentée soit par une personne, soit par un groupement, les autres groupements capables d'ester en justice, dont les membres sont liés par la convention, peuvent toujours intervenir dans l'instance engagée, à raison de l'intérêt collectif que la solution du litige peut présenter pour leurs membres.

Dispositions diverses. — ART. 31 *x.* — Sont valables les dispositions de la convention collective de travail par lesquelles les parties remettent à des arbitres, désignés ou à désigner dans des formes déterminées, le jugement de tout ou partie des litiges que peut faire naître l'exécution de cette convention.

ART. 32. — Toutes les notifications prévues par le présent chapitre sont centralisées au secrétariat ou au greffe où a été effectué le dépôt de la convention prescrit par le paragraphe 2 de l'art. 31 *c.* — Il est donné gratuitement communication à toute personne intéressée des conventions collectives de travail et des notifications y relatives. — Des copies certifiées conformes pourront lui être délivrées à ses frais. — Un décret fixe les émoluments des secrétaires et greffiers, le mode de recouvrement des frais et honoraires, le mode de centralisation des notifications prévu par le premier paragraphe du présent article et le mode de communication des conventions et notifications.

B. — DU SALAIRE

Paiement des Salaires (*art. 43, 44, 45 du livre 1 du Code du Travail*).

Les salaires des ouvriers et employés doivent être payés en monnaie métallique ou fiduciaire ayant cours légal nonobstant toute stipulation contraire à peine de nullité. Les salaires des ouvriers du commerce et de l'industrie doivent être payés au moins deux fois par mois, à seize jours au plus d'intervalle; ceux des employés doivent être payés au moins une fois par mois.

Pour tout travail aux pièces dont l'exécution doit durer plus d'une quinzaine, les dates de paiement peuvent être fixées de gré à gré, mais l'ouvrier doit recevoir des acomptes chaque quinzaine et être intégralement payé dans la quinzaine qui suit la livraison de l'ouvrage. Le paiement ne peut être effectué un jour où l'ouvrier ou l'employé a droit au repos, soit en vertu de la loi, soit en vertu de la convention. Il ne peut avoir lieu dans les débits de boissons ou magasins de vente, sauf pour les personnes qui y sont occupées.

Des économats.

ART. 75. — Il est interdit à tout employeur : 1° d'annexer à son établissement un économat où il vende, directement ou indirectement, à ses ouvriers et employés ou à leurs familles, des denrées et marchandises de quelque nature que ce soit; 2° d'imposer à ses ouvriers et employés

partie, dans des magasins indiqués par lui. — Cette interdiction ne s'étend pas au contrat de travail, si ce contrat stipule que l'ouvrier sera logé et nourri et recevra, en outre, un salaire déterminé en argent ou si, pour l'exécution de ce contrat, l'employeur cède à l'ouvrier des fournitures à prix coûtant.

ART. 76. — Tout économat doit être supprimé dans un délai de deux ans à dater du 25 mars 1910.

ART. 77. — Les économats des réseaux de chemins de fer, qui sont placés sous le contrôle de l'État, ne sont pas régis par les dispositions des art. 75 et 76, sous la triple réserve : 1° que le personnel ne soit pas obligé de se fournir à l'économat ; 2° que la vente des denrées et marchandises ne rapporte à l'employeur aucun bénéfice ; 3° que l'économat soit géré sous le contrôle d'une commission composée, pour un tiers au moins, de délégués élus par les ouvriers et employés du réseau.

Toutefois, le ministre des Travaux publics fera, cinq ans après le 25 mars 1910, procéder, dans les formes fixées par arrêté ministériel, à une consultation du personnel sur la suppression ou le maintien de l'économat de chaque réseau. Ce referendum sera renouvelé à l'expiration de chaque période de cinq ans.

Les mêmes règles s'appliqueront aux économats annexés aux établissements industriels dépendant de sociétés dans lesquelles le capital appartient, en majorité, aux ouvriers et employés, retraités ou non, de l'entreprise et dont les assemblées générales seront statutairement composées, en majorité, des mêmes éléments.

Du salaire de la femme mariée.

ART. 78. — Les droits de la femme mariée sur les produits de son travail personnel et les économies en provenant sont déterminés par la loi du 13 juillet 1907 relative au libre salaire de la femme mariée et à la contribution des époux aux charges du mariage.

C. — DU PLACEMENT DES TRAVAILLEURS.

Extraits du livre I du Code du travail.

ART. 79. — L'autorité municipale surveille les bureaux de placement pour y assurer le maintien de l'ordre, les prescriptions de l'hygiène et la loyauté de la gestion. Elle prend les arrêtés nécessaires à cet effet.

ART. 81. — Aucun hôtelier, logeur, restaurateur ou débitant de boissons ne peut joindre à son établissement la tenue d'un bureau de placement.

ART. 83. — Les bureaux de placement gratuit créés par les municipalités, par les syndicats professionnels ouvriers, patronaux ou mixtes, les bourses du travail, les compagnonnages, les sociétés de secours mutuels et toutes autres associations légalement constituées ne sont soumis à aucune autorisation.

ART. 84. — Les bureaux de placement énumérés à l'art. 83, sauf ceux qui sont créés par les municipalités, sont astreints au dépôt d'une déclaration préalable effectuée à la mairie de la commune où ils sont établis. La déclaration devra être renouvelée à tout changement de local du bureau.

ART. 85. — Dans chaque commune, un registre constatant les offres et demandes de travail et d'emplois devra être ouvert à la mairie et mis gratuitement à la disposition du public. A ce registre sera joint un répertoire où seront classées les notices individuelles que les demandeurs de travail pourront librement joindre à leur demande. Les communes comptant plus de 10.000 habitants seront tenues de créer un bureau municipal. — Si la création du bureau municipal de placement prescrite par le paragraphe précédent n'a pas été réalisée, il y sera procédé d'office par le Préfet, après mise en demeure restée sans résultat adressée au Conseil municipal. — Ces dépenses nécessitées par l'installation et le fonctionnement du bureau de placement créé en exécution des dispositions qui précèdent sont obligatoires pour les villes déterminées au paragraphe 2 du présent article.

ART. 85 a. — Dans chaque département l'institution d'un office départemental de placement est comprise dans les dépenses obligatoires inscrites au budget départemental. — Les offices départementaux ont pour objet d'organiser et d'assurer, dans toutes les communes de leur circonscription, le recrutement et le placement gratuits des travailleurs de l'agriculture, de l'industrie, du commerce, des professions libérales, ainsi que des domestiques et des apprentis. — Il peut être créé facultativement plusieurs offices dans le même département, si le conseil général le décide. — Des arrêtés préfectoraux déterminent, conformément aux délibérations du conseil général, le siège et la circonscription de chaque office départemental, son budget, son organisation, son fonctionnement et le mode de nomination de son personnel. — Les conseils généraux peuvent, en outre, s'associer pour la création et le fonctionnement d'offices interdépartementaux de placement.

ART. 85 b. — Dans chaque circonscription d'office départemental, un bureau municipal de placement, s'il en existe, peut être chargé, par arrêté préfectoral et après accord avec la municipalité intéressée, de former l'office départemental. — Les bureaux municipaux de placement — ou, s'il a été fait application du paragraphe précédent, les bureaux de la circonscription autres que celui qui joue le rôle d'office départemental — ainsi que les services municipaux d'inscription des offres et demandes d'emplois, doivent être en relations, quant à leur fonctionnement technique, avec l'office départemental de leur circonscription. — Chaque office départemental, de son côté, doit se tenir en rapports réguliers, notamment par l'échange de renseignements sur les offres et demandes de travail, le besoin d'œuvre, avec

les autres offices du département, ceux des autres départements, les offices interdépartementaux et avec l'office central institué auprès du ministère du travail. — La correspondance postale échangée pour les besoins du service entre tous ces bureaux et offices de placement est admise à circuler en franchise sous pli fermé.

ART. 85 c. — Chaque bureau municipal ou office départemental peut, pour certaines professions, instituer des sections professionnelles. L'institution d'une section agricole est obligatoire dans chaque office départemental. — Il est adjoint à chaque bureau municipal et office départemental et, s'il y a lieu, par arrêté spécial, à chaque section professionnelle, une commission administrative chargée de contrôler les opérations de placement et de donner son avis pour toutes les questions intéressant le développement de ces institutions. — Ces commissions doivent comprendre un nombre égal d'ouvriers ou employés et de patrons appartenant, autant que possible, aux professions qui font le plus souvent appel au placement.

ART. 85 d. — Les offices départementaux et les bureaux municipaux des villes de plus de 100.000 habitants pourront, sur la demande des conseils généraux ou des conseils municipaux qui les ont institués, être constitués en établissements publics, par décret rendu en conseil d'Etat.

ART. 85 e. — Un règlement d'administration publique déterminera les autres conditions auxquelles devront, d'une manière générale, satisfaire les divers offices, bureaux ou sections professionnelles, notamment en ce qui concerne : la constitution des commissions paritaires, les mesures à prendre pour assurer la gratuité et la sincérité des opérations de placement des offices, l'impartialité en cas de conflits du travail, la coordination entre les divers bureaux et offices, etc.

ART. 86. — Sont exemptées du droit de timbre les affiches imprimées ou non, concernant exclusivement les offres et demandes de travail et d'emplois et apposées par les bureaux de placement gratuit énumérés à l'art. 83.

ART. 87. — Il est interdit à tout gérant ou employé de bureau de placement gratuit de percevoir une rétribution quelconque à l'occasion du placement d'un ouvrier ou employé.

ART. 88. — Nul ne peut tenir un bureau de placement sous quelque titre et pour quelques professions, places ou emplois que ce soit, sans une permission spéciale délivrée par l'autorité municipale et qui ne peut être accordée qu'à des personnes d'une moralité reconnue.

ART. 90. — L'autorité municipale règle le tarif des droits qui peuvent être perçus par le gérant.

ART. 91. — Les frais de placement touchés dans les bureaux maintenus à titre payant sont entièrement supportés par les employeurs sans qu'aucune rétribution puisse être recue des employés. — Les articles suivants indiquent les professions des bureaux

et les pénalités auxquelles sont assujettis ceux qui ne se soumettraient pas à ces prescriptions.

Fonctionnement du placement. (*Décret du 9 mars 1926.*)

ART. 1^{er}. — Chaque office départemental ou bureau municipal de placement doit être installé dans un local spécialement y affecté, pourvu du téléphone, d'accès facile au public, et dont l'emplacement est indiqué par des affiches et enseignes très apparentes. — Dans chaque office départemental et dans chaque bureau municipal, les employés doivent être en nombre suffisant pour assurer, pendant les heures d'ouverture de l'office ou des bureaux, le fonctionnement normal du service.

ART. 2. — La commission administrative de contrôle prévue au paragraphe 2 de l'article 85 et du livre 1^{er} du Code du travail doit être constituée comme suit. — Pour un office départemental ou pour un bureau municipal chargé de former l'office départemental, la commission administrative comprend : Un représentant au moins du conseil général et, le cas échéant, des conseils municipaux participant aux dépenses de l'office, désignés par ces assemblées. — Un nombre égal de patrons et d'ouvriers ou employés ou d'anciens patrons, ouvriers ou employés dont le total ne peut être inférieur à 10. — Un représentant du comité départemental des mutilés. — Le chef de l'office régional de la main-d'œuvre dans la circonscription duquel se trouve l'office ou son délégué quand il n'est pas lui-même directeur de l'office ou chef du bureau municipal. — Le directeur des services agricoles ou son délégué, l'inspecteur départemental du travail, et le directeur de l'office départemental ou le chef du bureau municipal, avec voix consultative seulement. — Pour un bureau municipal qui n'est pas chargé de former l'office départemental, la commission administrative comprend : Un conseiller municipal désigné par le conseil municipal. — Un nombre égal de patrons et d'ouvriers ou employés ou d'anciens patrons, ouvriers ou employés dont le nombre total ne peut être inférieur à 8. — Le chef de l'office régional de la main-d'œuvre dans la circonscription duquel se trouve le bureau ou son délégué et le directeur de l'office départemental ou de la section de l'office départemental dans la circonscription duquel se trouve le bureau. — Le chef du bureau municipal avec voix consultative seulement. — Dans toute commission administrative, le nombre des membres autres que les patrons, ouvriers ou employés ayant voix délibérative ne peut excéder le tiers.

ART. 3. — Les membres de la commission de l'office départemental sont nommés par le préfet, les membres de la commission administrative du bureau municipal par le maire. — Les membres patrons, ouvriers ou employés sont choisis parmi les personnes exerçant depuis trois ans au moins l'une des professions appelées à avoir le plus souvent recours aux services de placement public et, autant que

possible, sur la proposition des syndicats de patrons, d'ouvriers ou d'employés appartenant à ces professions et en ce qui concerne les représentants de l'agriculture sur la proposition des associations agricoles.

ART. 4. — La commission administrative de l'office départemental ou du bureau municipal de placement présente au préfet ou au maire toutes propositions qu'elle juge utiles relativement à l'organisation et au développement de l'office départemental ou du bureau municipal et, le cas échéant, des sections paritaires professionnelles. — Elle fixe le règlement de ces services sous réserve de l'approbation du préfet ou du maire. Elle présente, au cours du premier trimestre de chaque année, au préfet ou au maire, un projet de budget des services et soumet à la session budgétaire du conseil général ou du conseil municipal un rapport sur leur fonctionnement.

ART. 5. — Le budget des offices départementaux et des bureaux municipaux de placement prévoit, notamment, les crédits nécessaires pour assurer la rémunération du personnel, le paiement, s'il y a lieu, du loyer du local, des dépenses d'aménagement et d'entretien, de fonctionnement, du téléphone, de correspondance, de publicité et de déplacement. — Il peut y être inscrit un crédit pour les jetons de présence alloués aux membres des commissions administratives et paritaires.

ART. 6. — La commission administrative peut déléguer tout ou partie de ses attributions de contrôle, pendant l'intervalle de ses sessions, à une délégation composée par moitié de patrons et d'ouvriers.

ART. 7. — La section agricole instituée obligatoirement dans chaque office départemental et les autres sections professionnelles instituées, le cas échéant, au sein des offices départementaux ou des bureaux municipaux, sont placées sous l'autorité du directeur de l'office départemental ou du chef du bureau municipal. — Les commissions adjointes, s'il y a lieu, aux sections professionnelles sont composées d'au moins quatre patrons et ouvriers ou anciens patrons et ouvriers de la profession, désignés par le préfet ou le maire dans les mêmes conditions que les membres patrons et ouvriers de la commission administrative. — Le directeur des services agricoles du département, ou son délégué, a le droit d'assister avec voix consultative aux séances de la commission de la section agricole. Il y est toujours convoqué. — La commission adjointe à une section professionnelle émet son avis sur toutes les questions concernant le placement dans la profession. Ses délibérations et avis sont communiqués à la commission administrative de l'office ou du bureau municipal qui arrête définitivement les propositions à formuler. — Chaque commission de section professionnelle délègue un patron et un ouvrier avec voix délibérative aux séances de la commission administrative de l'office départemental ou du bureau municipal.

ART. 8. — Pour chaque office départemental, l'arrêté préfectoral, prévu par l'article 85 a, § 4 du livre I^{er} du Code du travail, et, pour chaque bureau municipal, un arrêté du maire détermineront le mode de désignation du président de la commission administrative et des commissions paritaires, la durée du mandat des membres de la commission administrative et des commissions paritaires, qui ne peut excéder trois ans, la périodicité des séances, à raison d'une au moins par trimestre, la procédure du contrôle de la gestion du bureau et, s'il y a lieu, les indemnités à allouer aux membres à titre de jetons de présence. — Dans toute délibération, les patrons et ouvriers ou employés ne doivent prendre part au vote qu'en nombre égal. — Dans le cas où les patrons et ouvriers ou employés ne sont pas présents en nombre égal, un tirage au sort détermine le ou les membres qui ne prennent pas part au vote. — Les décisions sont prises à la majorité des membres présents. Au sein de la commission administrative, cette majorité doit, dans les questions d'ordre professionnel, comprendre la majorité des membres patrons, ouvriers et employés. Le président de la commission administrative ou d'une commission paritaire ne doit être ni un des membres employeurs ou employés, ni l'agent ayant la direction de l'office départemental ou du bureau municipal, ni le préposé d'une section professionnelle. Il ne vote pas. — Le règlement intérieur détermine, en outre, le mode de nomination et les fonctions du ou des agents préposés au placement et les conditions générales du fonctionnement des bureaux et, notamment, leurs heures d'ouverture.

ART. 9. — Dans le cas où un service d'orientation professionnelle n'est pas adjoint à l'office départemental de placement, celui-ci doit se tenir en relations avec le ou les services voisins d'orientation professionnelle existant en dehors de lui.

ART. 10. — Dans les salles où le public a accès, est apposée une affiche rappelant que le placement est rigoureusement gratuit, et que, l'article 87 du livre I^{er} du Code du travail interdisant à tout gérant ou employé du service de percevoir une rétribution ou récompense quelconque à l'occasion du placement d'un ouvrier ou employé, il est formellement défendu aux employeurs et aux ouvriers ou employés d'offrir une rétribution quelconque au personnel des bureaux. — Sont également affichés ou tenus à la disposition des intéressés, les conventions collectives de travail et les bordereaux de salaire, qui auront été portés à la connaissance des services par les organisations intéressées.

ART. 11. — Ne doivent être considérées comme placements que les opérations d'embauchage pour lesquelles il peut être apporté la preuve que l'employeur a accepté l'ouvrier présenté par le bureau. Ces preuves, qui sont à conserver pendant une année au moins, doivent être tenues à la disposition des agents des offices régionaux

de la main-d'œuvre, chargés par le Ministre du Travail de vérifier le fonctionnement des bureaux de placement. — Elles doivent permettre de faire la ventilation entre les placements à demeure et les placements en extra. — Par placements en extra, il faut entendre ceux qui sont faits pour une durée déterminée, ne dépassant pas une semaine ou ceux dont la durée, quoique indéterminée, ne doit pas normalement dépasser une semaine en raison de la nature des travaux ou des usages de la profession. Sont considérés comme placements à demeure, les placements à durée indéterminée non visés ci-dessus, ainsi que les placements à durée déterminée, dépassant une semaine.

ART. 12. — En cas de conflit collectif ayant entraîné une cessation du travail, le service de placement continue de fonctionner. Mais si ce conflit est de notoriété publique ou a été porté à la connaissance du service, celui-ci est tenu d'en avertir tout demandeur auquel est offert un emploi dans une entreprise atteinte, directement ou indirectement, par le conflit ou tout employeur de la profession intéressée demandant du personnel. — La liste desdites entreprises est, en outre, affichée dans la salle réservée aux demandeurs et aux offreurs.

ART. 13. — Les offices départementaux et les bureaux municipaux sont tenus de renvoyer, dûment remplis, dans les délais qui leur sont impartis, les états périodiques concernant la situation du marché du travail de leur circonscription qui leur sont adressés par l'office central de la main-d'œuvre nationale. La même obligation s'impose aux bureaux municipaux pour les états périodiques qui leur sont adressés par le bureau départemental de leur département. — Les bureaux départementaux et municipaux doivent également fournir sur toutes les questions intéressant le placement de la main-d'œuvre et la situation du marché du travail, notamment sur la compensation des offres et des demandes d'emploi entre les divers bureaux, sur les demandes d'introduction et de régularisation de situation de main-d'œuvre étrangère, sur la délivrance des bons de transport aux chômeurs, tous renseignements qui leur sont demandés par l'office central ou les offices régionaux de la main-d'œuvre chargés d'assurer la coordination de leurs opérations et l'exécution des instructions ministérielles.

Offices départementaux de placement des travailleurs.

La guerre a troublé profondément le marché du travail.

Au chômage absolu du fait de la guerre a succédé une reprise progressive du travail, mais très variable suivant les régions. Alors que, dans telle région, il y avait pénurie de main-d'œuvre, dans la région voisine, le nombre des chômeurs était très élevé.

Cet état de choses fit ressortir les lacunes d'une organisation de placement pratiquée en dehors des bureaux de placement privés, par

quelques syndicats professionnels. De plus, très peu de villes de plus de 10.000 habitants avaient ouvert des bureaux de placement.

Le Ministre du Travail a alors invité les Préfets à créer, dans chaque département, un office départemental de placement.

Pour assurer la liaison entre les offices départementaux de placement, il a été institué au Ministère du Travail un office central de placement. Les offices départementaux de placement bénéficient des subventions de l'État s'ils répondent aux conditions imposées par le décret du 12 mars 1916.

Office National des mutilés et réformés de guerre. (*Loi du 2 janvier 1918*).

Au placement on peut rattacher la question de la rééducation professionnelle et de l'Office national des mutilés et réformés de guerre.

L'Office national des mutilés et réformés de guerre est un agent de liaison entre les œuvres privées ayant pour objet la protection des intérêts généraux des mutilés et invalides de la guerre, leur rééducation professionnelle et leur placement. Il leur assure aussi le patronage et l'appui permanents qui sont dus par la reconnaissance de la nation.

Dans chaque département, il est institué des comités locaux de mutilés et réformés de guerre ayant des attributions semblables à celles de l'office.

Aux termes de l'art. 1 de la loi du 2 janvier 1918, tout militaire ou ancien militaire des armées de terre et de mer atteint d'infirmités résultant de blessures reçues ou de maladies contractées ou aggravées pendant la guerre de 1914-1918 peut demander son inscription à une école de rééducation professionnelle.

D. — TAXE D'APPRENTISSAGE

L'article 25 de la loi de finances du 13 juillet 1925, qui crée une taxe d'apprentissage, prévoit qu'un règlement d'administration publique devra intervenir pour fixer les modalités d'applications de cette nouvelle contribution.

Le législateur a spécifié que cette taxe ne serait pas établie dans les conditions ordinaires de la réglementation fiscale. Si le service de recouvrement de la taxe doit demeurer le même qu'en matière de contributions directes et taxes assimilées, une innovation profonde est apportée dans le service de l'assiette. C'est, en effet, au comité départemental de l'enseignement technique, institué par la loi du 25 juillet 1919, qu'est dévolu le soin d'établir les états matriciels de la taxe dont il s'agit et de fixer annuellement, pour chacun des assujettis, le montant de son imposition.

En faisant intervenir ainsi le comité départemental de l'enseignement technique dans l'application de la taxe d'apprentissage, le législateur a tenu

dont le produit doit servir exclusivement à des dépenses en faveur de l'enseignement technique et de l'apprentissage, ainsi qu'au développement des laboratoires scientifiques.

Le souci d'exonérer les assujettis qui auraient déjà consenti à assumer les charges d'œuvres d'enseignement technique et d'apprentissage devait entraîner une procédure complexe dans l'application de la taxe. Pour chaque cas particulier, le calcul de l'imposition allait se faire à l'aide d'un élément certain, formé par les déclarations des chefs d'entreprises, du montant des salaires, traitements et rétributions quelconques, payés au cours de l'année précédente, et aussi, en tenant compte d'un élément à caractère contingent, constitué par les demandes d'exonérations qui pourraient se produire dans un certain nombre de cas limitativement énumérés par la loi.

Le premier élément est destiné à faire ressortir la taxe brute ; aucune difficulté n'apparaît pour arriver à révéler cet élément ; les assujettis seront astreints à faire une déclaration des salaires, traitements et rétributions quelconques, analogue à celle prévue par l'article 26 de la loi du 31 juillet 1917, complétée par l'article 6 de la loi de finances de 1925. Cette déclaration sera l'élément de base des états matrices.

Le deuxième élément n'interviendra que si l'assujetti a déjà effectué des dépenses pour l'enseignement technique et l'apprentissage, et qu'il entend s'en prévaloir ; ces dépenses viendraient en déduction de la taxe d'apprentissage, permettant de chiffrer la véritable imposition du contribuable, c'est-à-dire la taxe nette.

Le législateur ne pouvait se contenter de l'affirmation des assujettis, qui demandaient décharge de la taxe. Si l'on ne voulait organiser « l'évasion » de la taxe d'apprentissage, il convenait d'instituer un contrôle sévère des faits allégués à l'appui des demandes d'exonération.

Un seul organisme était apte à exercer ce contrôle, c'était le comité départemental de l'enseignement technique, assemblée qui, en conformité de la loi du 25 juillet 1919, centralise toutes les questions relatives aux écoles et aux cours professionnels du département, qui s'occupe du développement de l'enseignement technique et possède l'expérience des choses de cet enseignement, puisque l'administration ne traite aucune affaire sans que le comité n'ait été invité à formuler son avis.

Si le comité départemental apparaissait compétent pour être le juge des exonérations et établir la taxe nette pour chaque contribuable, il se trouvait démuné de tous moyens de réunir les éléments d'appréciation nécessaires. Cette assemblée a été, en effet, jusqu'alors une assemblée purement consultative, n'ayant pas de budget, ne disposant d'aucun service. Pour que le comité pût jouer son rôle, il importait donc

être chargées de réunir les éléments d'information, de procéder à l'instruction des demandes d'exonération. C'est dans ce but que le projet a prévu l'intervention de l'inspection de l'enseignement technique, de l'inspection du travail, pour l'application de la taxe d'apprentissage.

Les autres dispositions du projet sont inspirées, d'une part, par la nécessité de procurer aux agents chargés de l'instruction des demandes, des moyens d'information qui les mettent à même de se rendre compte de la matérialité des faits déclarés; d'autre part, par le désir d'accorder toutes facilités aux contribuables pour effectuer le dépôt de leurs déclarations; pour les guider, le cas échéant, dans l'énumération des charges relatives à l'enseignement technique et à l'apprentissage, qu'ils supportent et qui sont susceptibles d'ouvrir un droit à l'exonération. Enfin le projet s'est efforcé de donner aux assujettis toute latitude dans le choix des moyens pour faire la preuve devant le comité départemental de l'enseignement technique comme devant la commission permanente du conseil supérieur jugeant en appel des faits qu'ils invoquent.

Tels sont les principes qui ont présidé à l'élaboration du projet de règlement que nous avons l'honneur, après avoir recueilli l'avis du Conseil d'Etat, de soumettre à votre haute sanction.

CHAPITRE PREMIER

Des déclarations et des demandes d'exonération.

ART. 1^{er}. — Avant le 1^{er} mars de chaque année, le chef d'entreprise assujetti à la taxe adresse au préfet du département où est situé le siège social de son entreprise une déclaration globale, établie en double exemplaire et contenant les indications suivantes : — 1^o Ses nom, prénoms et, le cas échéant, la raison sociale de l'entreprise, la nature de l'entreprise, le siège social, le lieu où est situé l'établissement et, s'il y a lieu, celui de chacun des établissements exploités par l'entreprise; — 2^o Le montant total des appointements, salaires, rétributions quelconques, payés l'année précédente. — Lorsque l'entreprise comprend des établissements situés dans des départements autres que celui du siège social, il est annexé à la déclaration un état dressé pour chacun des départements où sont situés ces établissements et contenant pour chacun de ces derniers les indications prévues au précédent paragraphe.

ART. 2. — S'il y a lieu, l'assujetti joint à sa déclaration une demande d'exonération partielle ou totale de la taxe, en raison des dépenses qu'il a effectuées, au cours de l'année précédente, en vue de favoriser l'enseignement technique et l'apprentissage.

Il indique dans cette demande : — 1^o Le nombre des ouvriers et employés âgés de plus de 18 ans. — 2^o Le nombre des ouvriers et

employés âgés de moins de 18 ans ; — 3° Le nombre des apprentis. Sont considérés comme apprentis pour l'application de la loi du 13 juillet 1925, les jeunes gens, jeunes femmes et filles, sans distinction de nationalité, âgés de moins de 18 ans, munis d'un contrat d'apprentissage et, à défaut, occupés dans le commerce ou l'industrie en vue d'une formation professionnelle méthodique et complète ; — 1° S'il y a lieu, les conditions dans lesquelles l'assujetti assure l'apprentissage de son personnel et organise, pour lui, l'enseignement technique avec l'énumération des charges qu'il supporte du fait de l'apprentissage et de l'enseignement technique et qui rentrent dans une des catégories suivantes : — *a.* Les frais de premier établissement et de fonctionnement des cours professionnels et techniques de degrés divers, lorsque ces cours sont reconnus suffisants, après avis de la commission locale professionnelle dans les conditions prévues par la loi du 25 juillet 1919 ou après avis de l'inspection de l'enseignement technique, — Les frais de premier établissement ne comprennent que ceux qui ont été assumés depuis la promulgation de la loi de finances du 13 juillet 1925 ; — *b.* Les salaires des techniciens qui sont chargés, à l'exclusion de tout autre travail, de la formation et de la direction des apprentis isolés ou en groupe, dans la limite maximum d'un technicien pour dix apprentis ; — *c.* Les salaires payés aux apprentis pendant les dix premiers mois de l'apprentissage, lorsqu'ils sont soumis à un programme d'apprentissage méthodique complet pendant toute la durée de l'apprentissage, ainsi que les salaires payés pour les heures de présence aux cours professionnels, contrôlées par l'usage du livret prévu à l'article 45 de la loi du 25 juillet 1919 ; — *d.* Les subventions en espèces ou en nature aux écoles techniques publiques ou reconnues par l'Etat, ou aux écoles dont l'enseignement aura été reconnu suffisant par l'inspection générale de l'enseignement technique après consultation, s'il y a lieu, de l'administration publique plus spécialement intéressée ; les bourses et allocations d'études dans lesdites écoles, avec le nom et l'adresse des bénéficiaires, ainsi que toutes indications sur l'utilisation de ces sommes ; — *e.* La participation aux frais des œuvres complémentaires de l'enseignement technique et de l'apprentissage, la nature desdites œuvres et toutes indications utiles s'y rapportant ; — *f.* Les subventions pour le développement et le fonctionnement des laboratoires de sciences pures et appliquées ; — 5° S'il y a lieu, le montant des subventions, allocations, cotisations, centimes additionnels à l'imposition des patentes, ou autres contributions spéciales versées à des groupements professionnels ou bien à des chambres de commerce, ainsi qu'à toute personne morale publique ou privée, à titre de participation dans les dépenses relatives à l'apprentissage ou à l'enseignement technique, comprises dans l'énumération qui figure aux paragraphes précédents.

ART. 3. — Les déclarations et les demandes d'exonération sont signées, soit par l'assujetti lui-même, soit par un mandataire, en vertu d'une procuration, soit, s'il s'agit d'une société, par ses représentants légaux ou leur mandataire.

ART. 4. — Le préfet délivre récépissé de la déclaration et de la demande d'exonération.

ART. 5. — Tout assujetti qui cesse d'être soumis à la taxe comme se trouvant dans un des cas d'exception prévus par le paragraphe 5 de l'article 25 de la loi, doit en faire la déclaration au préfet avant le 1^{er} mars de chaque année,

CHAPITRE II

Contrôle des déclarations et examen des demandes d'exonération.

ART. 6. — Le préfet, président du comité départemental, fait procéder au contrôle des déclarations qui lui sont parvenues avant l'expiration du délai fixé par l'article 1^{er} du présent décret. — Il transmet aux préfets des départements intéressés les déclarations qui concernent des établissements situés dans d'autres départements. Ces déclarations sont retournées avant le 20 mai avec les propositions du préfet qui a procédé au contrôle.

ART. 7. — Lorsque l'instruction fait ressortir que la déclaration comporte des rectifications, le préfet en avise l'assujetti et lui impartit un délai de dix jours pour présenter, avec toutes justifications utiles, des observations écrites ou orales.

ART. 8. — Le préfet fait rechercher, en vue de la taxation d'office, les entreprises assujetties à la taxe, pour lesquelles il n'a pas été souscrit de déclaration.

ART. 9. — Le préfet soumet les demandes d'exonération qui lui sont parvenues dans le délai fixé, à l'article 1^{er} du présent décret au comité départemental de l'enseignement technique. — Celui-ci examine le bien-fondé de la demande, tant au point de vue de la réalité de la dépense qu'à celui de l'utilisation qui lui a été donnée et il fixe le montant de l'exonération.

ART. 10. — Les assujettis devront, lorsque la demande leur en sera faite par le comité départemental, fournir la preuve des charges qu'ils ont déclaré supporter et produire toutes justifications nécessaires.

ART. 11. — En vue d'apprécier si, par leur caractère et leur utilisation, les dépenses dont il est fait état par le chef d'entreprise justifient une exonération, il sera procédé, sur la demande du comité départemental à des enquêtes soit par des inspecteurs de l'enseignement technique, soit par des inspecteurs du travail ou des ingénieurs des mines, soit par des délégués désignés sur la proposition du comité

départemental de l'enseignement technique par le Ministre chargé de l'enseignement technique. — Ces inspecteurs ou délégués vérifieront les conditions dans lesquelles l'apprentissage est réalisé à l'atelier ; ils auront le droit de prendre connaissance sur place des livres ou feuilles de paye constatant les salaires ou traitements payés aux techniciens chargés de la formation des apprentis, ainsi qu'aux apprentis eux-mêmes. Ils auront la faculté de visiter les cours et écoles d'enseignement technique ainsi que les laboratoires, de demander communication des budgets des cours ou des écoles, de se rendre compte de l'utilisation des dépenses, réellement effectuées.

ART. 12. — Lorsque le comité départemental contestera le bien-fondé de la demande d'exonération, il devra en aviser l'intéressé qui pourra, dans un délai de dix jours, demander à être entendu par lui ou à présenter, par écrit, des explications complémentaires.

ART. 13. — La décision par laquelle le comité départemental aura rejeté, soit totalement, soit partiellement, la demande d'exonération sera notifiée par le préfet à l'intéressé. Celui-ci pourra, conformément au paragraphe 12 de l'article 25 de la loi, faire appel, dans le délai de quinze jours de la notification, auprès de la commission permanente du conseil supérieur de l'enseignement technique. Il devra adresser un mémoire contenant tous moyens à l'appui de son pourvoi et indiquer s'il demande à être entendu par la commission. — La commission statuera, après avoir entendu, à la date fixée par elle, l'intéressé qui en aurait fait la demande. Ses décisions doivent être motivées. Elles sont notifiées par l'intermédiaire du préfet.

ART. 14. — Le préfet, président du comité départemental, pourra dans les mêmes conditions, faire appel des décisions du comité départemental statuant sur les demandes d'exonération.

ART. 15. — Le pourvoi formé devant la commission permanente du conseil supérieur n'est pas suspensif.

CHAPITRE III

Établissement des états matriciels.

ART. 16. — Le comité départemental de l'enseignement technique est convoqué obligatoirement chaque année, avant le 1^{er} juin, en session extraordinaire, en vue de l'établissement des états matriciels. — Le comité départemental s'adjoindra pour cette session des représentants dûment qualifiés des professions intéressées. Le préfet appellera à cet effet des délégués, en nombre égal, des groupements professionnels patronaux et ouvriers ; s'il n'existe pas dans le département de groupements professionnels, il appellera des personnes désignées, d'une part, par les chambres de commerce, d'autre part, par les conseils de prud'hommes. Il devra également prendre l'avis des personnes qualifiées qui auront demandé à être entendues.

ART. 17. — Tous les renseignements et communications fournis au comité départemental sont confidentiels. Toutes les communications adressées par le comité aux contribuables doivent être transmises sous enveloppes fermées.

ART. 18. — Le comité départemental, après examen des renseignements fournis par le préfet, détermine la taxe due par chaque assujetti, et statue sur l'imposition du double droit sur la partie omise dans le cas où la déclaration a été reconnue inexacte. Il opère ensuite la déduction de l'exonération qu'il a antérieurement fixée. — L'assujetti qui s'est abstenu de faire sa déclaration, ou de répondre à la demande d'éclaircissement du préfet est taxé d'office. — Les états matriciels ainsi établis sont adressés par le préfet au directeur des contributions directes chargé de la confection des rôles.

CHAPITRE IV

Mesures transitoires.

ART. 19. — En vue de l'établissement des rôles de l'exercice 1925 et par dérogation aux dispositions de l'article 1^{er} du présent décret, les chefs d'entreprise devront adresser leur déclaration et leur demande d'exonération au préfet dans un délai d'un mois à dater de la publication du présent décret.

ART. 20. — Le Ministre de l'Instruction publique et des Beaux-Arts et le Ministre des Finances sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent décret, qui sera publié au *Journal officiel* et inséré au *Bulletin des lois*.

CHAPITRE II

DES GROUPEMENTS PROFESSIONNELS

Loi du 21 mars 1884, sur les syndicats professionnels, modifiée par la loi du 12 mars 1920.

ART. 1^{er}. — Sont abrogés la loi des 14-17 juin 1791 et l'article 416 du Code pénal. — Les art. 291, 292, 293, 294 du Code pénal et la loi du 10 avril 1834 ne sont pas applicables aux syndicats professionnels.

ART. 2. — Les syndicats ou associations professionnelles, même de plus de vingt personnes exerçant la même profession, des métiers similaires ou des professions connexes concourant à l'établissement de produits déterminés pourront se constituer librement sans l'autorisation du gouvernement.

ART. 3. — Les syndicats professionnels ont exclusivement pour objet l'étude et la défense des intérêts économiques, industriels, commerciaux et agricoles.

ART. 4. — Les fondateurs de tout syndicat professionnel devront déposer les statuts et les noms de ceux qui, à un titre quelconque seront chargés de l'administration ou de la direction. — Ce dépôt aura lieu à la mairie de la localité où le syndicat est établi et, à Paris, à la préfecture de la Seine. — Ce dépôt sera renouvelé à chaque changement de la direction ou des statuts. — Communication des statuts devra être donnée par le maire ou le préfet de la Seine au procureur de la République. — Les membres de tout syndicat professionnel chargés de l'administration ou de la direction de ce syndicat devront être Français et jouir de leurs droits civils. — Les femmes mariées exerçant une profession ou un métier peuvent, sans l'autorisation de leur mari, adhérer aux syndicats professionnels et participer à leur administration et à leur direction. — Les mineurs âgés de plus de seize ans peuvent adhérer aux syndicats, sauf opposition de leurs père, mère ou tuteur. Ils ne peuvent participer à l'administration ou à la direction. — Pourront continuer à faire partie d'un syndicat professionnel les personnes qui auront quitté l'exercice de leur fonction ou de leur profession, si elles l'ont exercée au moins un an.

ART. 5. — Les syndicats professionnels jouissent de la personnalité civile. Ils ont le droit d'ester en justice et d'acquérir sans autorisation, à titre gratuit ou à titre onéreux, des biens meubles ou immeubles. — Ils peuvent, devant toutes les juridictions, exercer tous les droits réservés à la partie civile relativement aux faits portant un préjudice direct ou indirect à l'intérêt collectif de la profession qu'ils représentent. — Ils peuvent, en se conformant aux autres dispositions des lois en vigueur, constituer entre leurs membres des caisses spéciales de secours mutuels et de retraites. — Ils peuvent, en outre, affecter une partie de leurs ressources à la création d'habitations à bon marché et à l'acquisition de terrains pour jardins ouvriers, éducation physique et hygiène. — Ils peuvent librement créer et administrer des offices de renseignements pour les offres et les demandes de travail. — Ils peuvent créer, administrer ou subventionner des œuvres professionnelles telles que : institutions professionnelles de prévoyance, laboratoires, champs d'expériences, œuvres d'éducation scientifique, agricole ou sociale, cours et publications intéressant la profession. — Ils peuvent subventionner des sociétés coopératives de production ou de consommation. — Ils peuvent, s'ils y sont autorisés par leurs statuts et à condition de ne pas distribuer de bénéfices, même sous forme de ristourne, à leurs membres : 1° Acheter pour les louer, prêter ou répartir entre leurs membres tous les objets nécessaires à l'exercice de leur profession, matières premières, outils, instruments, machines, engrais, semences, plants, animaux et matières alimentaires pour le bétail; — 2° Prêter leur entremise gratuite pour la vente des produits provenant exclusivement du travail des syndiqués, facilit-

ter cette vente par expositions, annonces, publications, groupements de commandes et d'expéditions, sans pouvoir l'opérer sous leur nom et sous leur responsabilité. Ils peuvent passer des contrats ou conventions avec tous autres syndicats, sociétés ou entreprises. Tout contrat ou convention, visant les conditions collectives du travail, est passé dans les conditions déterminées par la loi du 25 mars 1919.

— Les syndicats, peuvent déposer, en remplissant les formalités prévues par l'article 2 de la loi du 23 juin 1857, modifiée par la loi du 3 mai 1890, leurs marques ou labels. Ils peuvent, dès lors, en revendiquer la propriété exclusive dans les conditions de ladite loi. — Ces marques ou labels peuvent être apposés sur tout produit ou objet de commerce pour en certifier l'origine et les conditions de fabrication. Ils peuvent être utilisés pour tous individus ou entreprises mettant en vente ces produits. — Les peines prévues par les articles 7 à 11 de la loi du 23 juin 1857, contre les auteurs de contrefaçons, apparition, imitation ou usage frauduleux des marques de commerce seront applicables, en matière de contrefaçons, opposition, imitation ou usages frauduleux des marques syndicales ou labels, l'article 163 du Code pénal pourra toujours être appliqué. — Ces syndicats peuvent être consultés sur tous les différends et toutes les questions se rattachant à leur spécialité. — Dans les affaires contentieuses, les avis du Syndicat seront tenus à la disposition des parties qui pourront en prendre communication et copie. — Il n'est dérogé, en aucune façon, aux dispositions des lois spéciales qui auraient accordé aux syndicats des droits non visés dans la présente loi. — Les immeubles et objets mobiliers nécessaires à leurs réunions, à leurs bibliothèques et à leurs cours d'institution professionnelle seront insaisissables. Il en sera de même des fonds de leurs caisses spéciales de secours mutuels et de retraites dans les limites déterminées par l'article 12 de la loi du 1^{er} avril 1898 sur les sociétés de secours mutuels.

ART. 6. — Les syndicats professionnels régulièrement constitués d'après les prescriptions de la présente loi, peuvent librement se concerter pour l'étude et la défense de leurs intérêts économiques, industriels, commerciaux et agricoles. — Les dispositions des articles 3 et 4 sont applicables aux unions de Syndicats qui doivent, d'autre part, faire connaître dans les conditions prévues audit article 4, le nom et le siège social des syndicats qui les composent. — Les unions jouissent, en outre, de tous les droits conférés par l'article 5 aux syndicats professionnels. — Leurs statuts doivent déterminer les règles selon lesquelles les syndicats adhérents à l'union sont représentés dans le conseil d'administration et dans les assemblées générales.

ART. 7. — Tout membre d'un syndicat professionnel peut se retirer à tout instant de l'association, nonobstant toute clause contraire sans préjudice du droit pour le syndicat de réclamer la cotisation

afférente aux six mois qui suivent le retrait de l'adhésion. — Toute personne qui se retire d'un syndicat conserve le droit d'être membre des sociétés de secours mutuels et de retraite pour la vieillesse à l'actif desquelles elle a contribué par des cotisations ou versements de fonds. — En cas de dissolution volontaire, statutaire ou prononcée par justice, les biens de l'association sont dévolus conformément aux statuts, ou, à défaut de dispositions statutaires, suivant les règles déterminées par l'Assemblée générale. En aucun cas, ils ne peuvent être répartis entre les membres adhérents.

ART. 8. — Les infractions aux dispositions des art. 2, 3, 4, 5 et 6 de la présente loi seront poursuivies contre les directeurs ou administrateurs des syndicats et punis d'une amende de 16 à 200 francs. Les tribunaux pourront, en outre, à la diligence du procureur de la République, prononcer la dissolution du syndicat et la nullité des acquisitions d'immeubles faites en violation des dispositions de l'art. 6. — En cas de fausse déclaration relative aux statuts et aux noms et qualités des administrateurs ou directeurs, l'amende pourra être portée à 500 francs.

ART. 9. — La présente loi est applicable aux professions libérales. Une loi spéciale fixera le statut des fonctionnaires.

ART. 10. — La présente loi est applicable à l'Algérie et aux colonies. Toutefois, les travailleurs étrangers et engagés sous le nom d'immigrants ne pourront faire partie des syndicats.

CHAPITRE III

DES CONFLITS DU TRAVAIL

Le nombre des grèves croît de plus en plus.

Il n'est pas facile de dégager avec certitude les causes de ces grèves, mais on peut dire, sans crainte d'être démenti, que c'est surtout pour maintenir ou améliorer leur situation que les ouvriers font grève.

En France, de nombreux arrangements directs aplanissent tous les jours les différends qui surgissent entre patrons et ouvriers.

Il semble que c'est dans la création d'organes d'arbitrage que git la solution du problème et que de leur fonctionnement résultera avec la disparition d'un grand nombre de grèves celle des privations et des souffrances qui atteignent l'ouvrier gréviste et sa famille.

L'État n'intervient que lorsque le conflit est déclaré. Il serait plus efficace qu'il intervint avant la grève en vue de provoquer le rapprochement des adversaires et de trouver un terrain d'entente. C'est l'œuvre des tribunaux d'arbitrage et de conciliation.

A. — CONCILIATION ET ARBITRAGE.

Loi du 27 décembre 1892.

ART. 1^{er}. — Les patrons, ouvriers ou employés entre lesquels s'est produit un différend d'ordre collectif portant sur les conditions du travail peuvent soumettre les questions qui les divisent à un comité de conciliation et, à défaut d'entente dans ce comité, à un conseil d'arbitrage, lesquels seront constitués dans les formes suivantes :

ART. 2. — Les patrons, ouvriers ou employés adressent, soit ensemble, soit séparément, en personne ou par mandataires, au juge de paix du canton ou de l'un des cantons où existe le différend, une déclaration écrite contenant : 1^o Les noms, qualités et domiciles des demandeurs ou de ceux qui les représentent; — 2^o L'objet du différend, avec l'exposé succinct des motifs allégués par la partie; — 3^o Les noms, qualités et domiciles des personnes auxquelles la proposition de conciliation ou d'arbitrage doit être notifiée; — 4^o Les noms, qualités et domiciles des délégués choisis parmi les intéressés par les demandeurs pour les assister ou les représenter, sans que le nombre de personnes désignées puisse être supérieur à cinq.

ART. 3. — Le juge de paix délivre récépissé de cette déclaration, avec indication de la date et de l'heure du dépôt, et la notifie sans frais, dans les vingt-quatre heures, à la partie adverse ou à ses représentants, par lettre recommandée ou au besoin par affiches apposées aux portes de la justice de paix des cantons et à celles de la mairie des communes sur le territoire desquelles s'est produit le différend.

ART. 4. — Au reçu de cette notification et au plus tard dans les trois jours, les intéressés doivent faire parvenir leur réponse au juge de paix. Passé ce délai, leur silence est tenu pour refus. S'ils acceptent, ils désignent dans leur réponse les noms, qualités et domiciles des délégués choisis pour les assister ou les représenter, sans que le nombre des personnes désignées puisse être supérieur à cinq. — Si l'éloignement ou l'absence des personnes auxquelles la proposition est notifiée, ou la nécessité de consulter des mandants, des associés ou un conseil d'administration, ne permettent pas de donner une réponse dans les trois jours, les représentants desdites personnes doivent, dans ce délai de trois jours, déclarer quel est le délai nécessaire pour donner cette réponse. — Cette déclaration est transmise par le juge de paix aux demandeurs dans les vingt-quatre heures.

ART. 5. — Si la proposition est acceptée, le juge de paix invite d'urgence les parties ou les délégués désignés par elles à se réunir en comité de conciliation. Les réunions ont lieu en présence du juge de paix, qui est à la disposition du comité pour diriger les débats.

ART. 6. — Si l'accord s'établit, dans ce comité, sur les conditions de la conciliation, ces conditions sont consignées dans un procès-verbal

dressé par le juge de paix et signé par les parties ou leurs délégués.

ART. 7. — Si l'accord ne s'établit pas, le juge de paix invite les parties à désigner, soit chacune un ou plusieurs arbitres, soit un arbitre commun. — Si les arbitres ne s'entendent pas sur la solution à donner au différend, ils pourront choisir un nouvel arbitre pour les départager.

ART. 8. — Si les arbitres n'arrivent à s'entendre ni sur la solution à donner au différend, ni pour le choix de l'arbitre répartiteur, ils le déclareront sur le procès-verbal, et cet arbitre sera nommé par le président du tribunal civil, sur le vu du procès-verbal qui lui sera transmis d'urgence par le juge de paix.

ART. 9. — La décision sur le fond, prise, rédigée et signée par les arbitres, est remise au juge de paix.

ART. 10. — En cas de grève, à défaut d'initiative de la part des intéressés, le juge de paix invite d'office, et par les moyens indiqués à l'art. 3, les patrons, ouvriers ou employés, ou leurs représentants, à lui faire connaître dans les trois jours : 1° L'objet du différend avec l'exposé succinct des motifs allégués ; — 2° Leur acceptation ou refus de recourir à la conciliation et à l'arbitrage ; — 3° Les noms, qualités et domiciles des délégués choisis, le cas échéant, par les parties sans que le nombre des personnes désignées de chaque côté puisse être supérieur à cinq. — Le délai de trois jours pourra être augmenté pour les causes et dans les conditions indiquées à l'art. 4. — Si la proposition est acceptée, il sera procédé conformément aux art. 5 et suivants.

ART. 11. — Les procès-verbaux et décisions mentionnés aux art. 6, 8 et 9 ci-dessus sont conservés en minute au greffe de la justice de paix, qui en délivre gratuitement une expédition à chacune des parties et en adresse une autre au Ministre du Commerce et de l'Industrie par l'entremise du Préfet.

ART. 12. — La demande de conciliation et d'arbitrage, le refus ou l'absence de réponse de la partie adverse, la décision du comité de conciliation ou celle des arbitres, notifiés par le juge de paix au maire de chacune des communes où s'étendait le différend, sont, par chacun de ces maires, rendus publics par affichage à la place réservée aux publications officielles. — L'affichage de ces décisions pourra, en outre, se faire par les parties intéressées. Les affiches seront dispensées de timbre.

ART. 13. — Les locaux nécessaires à la tenue des comités de conciliation et aux réunions des arbitres sont fournis, chauffés et éclairés par les communes où ils siègent. — Les frais qui en résultent sont compris dans les dépenses obligatoires des communes. — Les dépenses des comités de conciliation et d'arbitrage seront fixées par arrêté du préfet du département et portées au budget départemental comme dépenses obligatoires.

ART. 14. — Tous actes faits en exécution de la présente loi seront dispensés du timbre et enregistrés gratis.

ART. 15. — Les arbitres et les délégués nommés en exécution de la présente loi devront être citoyens français. — Dans les professions ou industries où les femmes sont employées, elles pourront être désignées comme déléguées à la condition d'appartenir à la nationalité française.

B. — CONSEILS CONSULTATIFS DU TRAVAIL.

Loi du 17 juillet 1908.

ART. 1^{er}. — Il peut être institué par décret-rendu en Conseil d'Etat, sous le nom de *Conseils consultatifs du travail*, partout où l'utilité en sera reconnue, soit à la demande des intéressés, soit d'office, après avis du conseil général, des chambres de commerce et des chambres consultatives des Arts et Manufactures du département, des conseils composés en nombre égal de patrons et d'ouvriers. — Leur mission est d'être les organes des intérêts matériels et moraux de leurs commettants; — de donner, soit d'office, soit sur la demande du Gouvernement, des avis sur toutes les questions qui concernent ces intérêts; — de répondre aux demandes d'enquête ordonnées par le Gouvernement.

ART. 2. — Chaque conseil est divisé en deux sections comprenant, l'une les patrons, l'autre les ouvriers. — Les sections nomment chacune, pour la durée de chaque session, un président et un secrétaire pris dans leur sein. Elles peuvent délibérer séparément. Les réunions du conseil sont alternativement présidées: pour la durée de la délibération, par le président de chaque section, en commençant par le plus âgé des deux. Le secrétaire de l'autre section devient celui du conseil. — En cas de partage des voix dans le conseil, les sections peuvent désigner un ou plusieurs membres choisis d'accord entre elles, et qui auront voix délibérative.

ART. 3. — Il y a autant de conseils que de professions. Toutefois, lorsque le nombre des professions de même nature est insuffisant, un certain nombre de professions similaires peuvent, sur l'avis conforme des intéressés, être réunies en un même groupe. — Le ressort de chaque conseil est déterminé par le décret qui l'institue.

ART. 4. — Le décret d'institution fixe le nombre des membres du conseil. Il varie de six à douze par section, suivant l'importance des industries représentées. — Des délégués suppléants seront nommés dans chaque section en nombre égal à la moitié des titulaires. — La durée des pouvoirs des délégués et des suppléants est de quatre ans. — Sera considéré comme démissionnaire celui qui, sans excuse valable, ne répond pas à trois convocations successives, qui quittera

la région ou qui cessera d'être éligible par le collège électoral qu'il représente.

ART. 5. — Sont électeurs à la condition d'être inscrits sur la liste électorale politique : Pour la section patronale : — 1° Tous les patrons exerçant une des professions fixées par le décret d'institution ; — 2° Les directeurs et les chefs de service appartenant à la même profession et l'exerçant effectivement depuis deux ans. — Pour la section ouvrière : Tous les ouvriers et contremaîtres appartenant à la même profession et l'exerçant effectivement depuis deux ans. — Sont éligibles les électeurs de la section âgés de vingt-cinq ans accomplis. Les femmes françaises, ayant l'exercice de leurs droits civils, non frappées de condamnations entraînant la perte des droits politiques et résidant dans la commune depuis six mois au moins, sont électeurs à vingt et un ans et éligibles à vingt-cinq ans accomplis, après deux ans d'exercice effectif de la même profession. — L'élection a lieu au scrutin de liste. — Pour la composition des listes, les opérations électorales et les recours dont elles peuvent être l'objet, il sera procédé conformément aux règles en vigueur pour les conseils de prud'hommes.

ART. 6. — Dans le cas où les électeurs patrons sont en nombre égal à celui qui est fixé pour la composition des conseils, tous en sont membres. — S'ils sont en nombre inférieur, ils désignent entre eux, pour se compléter, des électeurs appartenant à la même profession ou à des professions similaires dans les circonscriptions voisines. — Dans les circonscriptions où la profession est représentée par des sociétés par actions, les membres du conseil d'administration ayant la capacité électorale politique sont électeurs patronaux.

ART. 7. — Chaque section se réunit au moins une fois par trimestre à la mairie de la commune de son siège, et à la convocation de son bureau, chaque fois qu'il y aura lieu de lui soumettre un objet de sa compétence.

ART. 8. — Toutes discussions politiques ou religieuses sont interdites.

ART. 9. — Toute délibération excédant la limite des attributions fixées par la loi est annulée par le ministre. — Si le conseil ou la section, une fois averti, persiste à sortir de son rôle, sa dissolution peut être prononcée.

ART. 10. — Un décret rendu en la forme d'administration publique déterminera les conditions de fonctionnement de la présente loi.

CHAPITRE IV

DE LA PRÉVOYANCE SOCIALE

A. — ACCIDENTS DU TRAVAIL

Loi du 5 avril 1898 concernant les responsabilités des accidents dont les ouvriers sont victimes dans leur travail. (*Modifiée par la loi du 22 mars 1902 et par la loi du 31 mars 1905.*)

TITRE I. — Indemnités en cas d'accidents. — **ART. 1^{er}.** — Les accidents survenus par le fait du travail, ou à l'occasion du travail, aux ouvriers et employés occupés dans l'industrie du bâtiment, les usines, manufactures, chantiers, les entreprises de transport par terre et par eau, de chargement ou de déchargement, les magasins publics, mines, minières, carrières et, en outre, dans toute exploitation ou partie d'exploitation dans laquelle sont fabriquées ou mises en œuvre des matières explosibles, ou dans laquelle il est fait usage d'une machine mue par une force autre que celle de l'homme ou des animaux, donnent droit, au profit de la victime ou de ses représentants, à une indemnité à la charge du chef d'entreprise, à la condition que l'interruption de travail ait duré plus de quatre jours. — Les ouvriers qui travaillent seuls d'ordinaire ne pourront être assujettis à la présente loi par le fait de la collaboration accidentelle d'un ou de plusieurs de leurs camarades.

ART. 2 (texte nouveau). — Les ouvriers et employés désignés à l'article précédent ne peuvent se prévaloir, à raison des accidents dont ils sont victimes dans leur travail, d'aucunes dispositions autres que celles de la présente loi. — Ceux dont le salaire annuel dépasse deux mille quatre cents francs (2.400 francs) ne bénéficient de ces dispositions que jusqu'à concurrence de cette somme. Pour le surplus, ils n'ont droit qu'au quart des rentes stipulées à l'article 3, à moins de conventions contraires élevant le chiffre de la quotité.

ART. 3 (texte nouveau). — Dans les cas prévus à l'article premier, l'ouvrier ou employé a droit : pour l'incapacité absolue et permanente, à une rente égale aux deux tiers de son salaire annuel ; — pour l'incapacité partielle et permanente, à une rente égale à la moitié de la réduction que l'accident aura fait subir au salaire ; — pour l'incapacité temporaire, si l'incapacité de travail a duré plus de quatre jours, à une indemnité journalière, sans distinction entre les jours ouvrables et les dimanches et jours fériés, égale à la moitié du salaire touché au moment de l'accident, à moins que le salaire ne soit variable ; dans ce dernier cas, l'indemnité journalière est égale à la moitié du salaire

moyen des journées de travail pendant le mois qui a précédé l'accident. L'indemnité est due à partir du cinquième jour après celui de l'accident ; toutefois elle est due à partir du premier jour si l'incapacité de travail a duré plus de dix jours. L'indemnité journalière est payable aux époques et lieux de paye usités dans l'entreprise, sans que l'intervalle puisse excéder seize jours. — Lorsque l'accident est suivi de mort, une pension est servie aux personnes ci-après désignées, à partir du décès, dans les conditions suivantes : a) Une rente viagère égale à 20 0/0 du salaire annuel de la victime pour le conjoint survivant non divorcé ou séparé de corps, à la condition que le mariage ait été contracté antérieurement à l'accident. — En cas de nouveau mariage, le conjoint cesse d'avoir droit à la rente mentionnée ci-dessus ; il lui sera alloué, dans ce cas, le triple de cette rente à titre d'indemnité totale. — b) Pour les enfants, légitimes ou naturels, reconnus avant l'accident, orphelins de père ou de mère, âgés de moins de seize ans, une rente calculée sur le salaire annuel de la victime à raison de 15 0/0 de ce salaire s'il n'y a qu'un enfant, de 25 0/0 s'il y en a deux, de 35 0/0 s'il y en a trois et de 40 0/0 s'il y en a quatre ou un plus grand nombre. — Pour les enfants, orphelins de père et de mère, la rente est portée pour chacun d'eux à 20 0/0 du salaire. — L'ensemble de ces rentes ne peut, dans le premier cas, dépasser 40 0/0 du salaire, ni 60 0/0 dans le second. — c) Si la victime n'a ni conjoint ni enfant dans les termes des paragraphes a et b, chacun des ascendants et descendants qui étaient à sa charge recevra une rente viagère pour les ascendants et payable jusqu'à seize ans pour les descendants. Cette rente sera égale à 10 0/0 du salaire annuel de la victime, sans que le montant total des rentes ainsi allouées puisse dépasser 30 0/0. — Chacune des rentes prévues par le paragraphe c est, le cas échéant, réduite proportionnellement. — Les rentes constituées en vertu de la présente loi sont payables à la résidence du titulaire, ou au chef-lieu de canton de cette résidence, et, si elles sont servies par la Caisse nationale des retraites, chez le préposé de cet établissement désigné par le titulaire. — Elles sont payables par trimestre et à terme échu ; toutefois le tribunal peut ordonner le paiement d'avance de la moitié du premier arrérage. — Ces rentes sont incessibles et insaisissables. — Les ouvriers étrangers, victimes d'accidents, qui cesseraient de résider sur le territoire français, recevront, pour toute indemnité, un capital égal à trois fois la rente qui leur avait été allouée. — Il en sera de même pour leurs ayants droit étrangers cessant de résider sur le territoire français, sans que toutefois le capital puisse alors dépasser la valeur actuelle de la rente d'après le tarif visé à l'art. 28. — Les représentants étrangers d'un ouvrier étranger ne recevront aucune indemnité si, au moment de l'accident, ils ne résidaient pas sur le territoire français. — Les dispositions des trois alinéas précédents pourront, toutefois, être modifiées par traités dans

la limite des indemnités prévues au présent article, pour les étrangers dont les pays d'origine garantiraient à nos nationaux des avantages équivalents.

ART. 4. — Le chef d'entreprise supporte, en outre, les frais médicaux et pharmaceutiques et les frais funéraires. Ces derniers sont évalués à la somme de 100 francs au maximum. — La victime peut toujours faire choix elle-même de son médecin et de son pharmacien. Dans ce cas, le chef d'entreprise ne peut être tenu des frais médicaux et pharmaceutiques que jusqu'à concurrence de la somme fixée par le juge de paix du canton où est survenu l'accident, conformément à un tarif qui sera établi par arrêt du Ministre du Commerce, après avis d'une Commission spéciale comprenant des représentants de syndicats de médecins et de pharmaciens, de syndicats professionnels ouvriers et patronaux, de sociétés d'assurances contre les accidents du travail et de syndicats de garantie, et qui ne pourra être modifié qu'à intervalles de deux ans. — Le chef d'entreprise est seul tenu dans tous les cas, en outre des obligations contenues en l'article 3, des frais d'hospitalisation qui, tout compris, ne pourront dépasser le tarif établi pour l'application de l'art. 24 de la loi du 15 juillet 1898 majoré de 50 0/0, ni excéder jamais quatre francs par jour pour Paris ou trois francs cinquante centimes partout ailleurs. — Les médecins et pharmaciens ou les établissements hospitaliers peuvent actionner directement le chef d'entreprise. — Au cours du traitement, le chef d'entreprise pourra désigner au juge de paix un médecin chargé de le renseigner sur l'état de la victime. Cette désignation, dûment visée par le juge de paix, donnera audit médecin accès hebdomadaire auprès de la victime en présence du médecin traitant, prévenu deux jours à l'avance par lettre recommandée. — Faute par la victime de se prêter à cette visite, le paiement de l'indemnité journalière sera suspendu par décision du juge de paix, qui convoquera la victime par une simple lettre recommandée. — Si le médecin certifie que la victime est en état de reprendre son travail et que celle-ci le conteste, le chef d'entreprise peut, lorsqu'il s'agit d'une incapacité temporaire, requérir du juge de paix une expertise médicale qui devra avoir lieu dans les cinq jours.

ART. 5. — Les chefs d'entreprise peuvent se décharger pendant les trente, soixante ou quatre-vingt-dix premiers jours, à partir de l'accident, de l'obligation de payer aux victimes les frais de maladie et l'indemnité temporaire, ou une partie seulement de cette indemnité, comme il est spécifié ci-après, s'ils justifient : 1° qu'ils ont affilié leurs ouvriers à des Sociétés de secours mutuels et pris à leur charge une quote-part de la cotisation qui aura été déterminée d'un commun accord et en se conformant aux statuts types approuvés par le ministre compétent, mais qui ne devra pas être inférieure au tiers de cette cotisation ; — 2° que ces sociétés assurent à leurs membres, en cas de

blessures, pendant trente, soixante ou quatre-vingt-dix jours, les soins médicaux et pharmaceutiques et une indemnité journalière. — Si l'indemnité journalière servie par la Société est inférieure à la moitié du salaire quotidien de la victime, le chef d'entreprise est tenu de lui verser la différence.

ART. 6. — Les exploitants de mines, minières et carrières peuvent se décharger des frais et indemnités mentionnés à l'article précédent moyennant une subvention annuelle versée aux Caisses ou Sociétés de secours constituées dans ces entreprises, en vertu de la loi du 29 juin 1894. — Le montant et les conditions de cette subvention devront être acceptés par la Société et approuvés par le Ministre des Travaux publics. — Ces deux dispositions seront applicables à tous autres chefs d'industrie qui auront créé en faveur de leurs ouvriers des Caisses particulières de secours en conformité du titre III de la loi du 29 juin 1894. L'approbation prévue ci-dessus sera, en ce qui les concerne, donnée par le Ministre du Commerce et de l'Industrie.

ART. 7 (*texte nouveau*). — Indépendamment de l'action résultant de la présente loi, la victime ou ses représentants conservent, contre les auteurs de l'accident, autres que le patron ou ses ouvriers et préposés, le droit de réclamer la réparation du préjudice causé, conformément aux règles du droit commun. — L'indemnité qui leur sera allouée exonérera à due concurrence le chef de l'entreprise des obligations mises à sa charge. Dans le cas où l'accident a entraîné une incapacité permanente ou la mort, cette indemnité devra être attribuée sous forme de rentes servies par la Caisse nationale des retraites. — En outre de cette allocation sous forme de rente, le tiers reconnu responsable pourra être condamné, soit envers la victime, soit envers le chef de l'entreprise, si celui-ci intervient dans l'instance, au paiement des autres indemnités et frais prévus aux articles 3 et 4 ci-dessus. — Cette action contre les tiers responsables pourra même être exercée par le chef d'entreprise, à ses risques et périls, aux lieu et place de la victime ou de ses ayants droit, si ceux-ci négligent d'en faire usage.

ART. 8. — Le salaire qui servira de base à la fixation de l'indemnité allouée à l'ouvrier, âgé de moins de seize ans, ou à l'apprenti victime d'un accident, ne sera pas inférieur au salaire le plus bas des ouvriers valides de la même catégorie occupés dans l'entreprise. — Toutefois, dans le cas d'incapacité temporaire, l'indemnité de l'ouvrier âgé de moins de seize ans ne pourra pas dépasser le montant de son salaire.

ART. 9. — Lors du règlement définitif de la rente viagère, après le délai de révision prévu à l'art. 19, la victime peut demander que le quart au plus du capital nécessaire à l'établissement de cette rente, calculé d'après les tarifs dressés pour les victimes d'accidents par la Caisse des retraites pour la vieillesse, lui soit attribué en espèces. —

Elle peut aussi demander que ce capital, ou ce capital réduit du quart au plus, comme il vient d'être dit, serve à constituer sur sa tête une rente viagère réversible, pour moitié au plus, sur la tête de son conjoint. Dans ce cas, la rente viagère sera diminuée de façon qu'il ne résulte de la réversibilité aucune augmentation de charges pour le chef d'entreprise. — Le tribunal, en chambre du Conseil, statuera sur ces demandes.

ART. 10 (*texte nouveau*). — Le salaire servant de base à la fixation des rentes s'entend, pour l'ouvrier occupé dans l'entreprise, pendant les douze mois avant l'accident, de la rémunération effective qui lui a été allouée pendant ce temps, soit en argent, soit en nature. — Pour les ouvriers occupés pendant moins de douze mois avant l'accident, il doit s'entendre de la rémunération effective qu'ils ont reçue depuis leur entrée dans l'entreprise, augmentée de la rémunération qu'ils auraient pu recevoir pendant la période de travail nécessaire pour compléter les douze mois, d'après la rémunération moyenne des ouvriers de la même catégorie pendant ladite période. — Si le travail n'est pas continu, le salaire annuel est calculé, tant d'après la rémunération reçue pendant la période d'activité que d'après le gain de l'ouvrier pendant le reste de l'année. — Si, pendant les périodes visées aux alinéas précédents, l'ouvrier a chômé exceptionnellement et pour des causes indépendantes de sa volonté, il est fait état du salaire moyen qui eût correspondu à ces chômages.

TITRE II. — *Déclaration des accidents et enquêtes*. — ART. 11 (*texte nouveau*). — Tout accident ayant occasionné une incapacité de travail doit être déclaré dans les quarante-huit heures, non compris les dimanches et jours fériés, par le chef d'entreprise ou ses préposés, au maire de la commune qui en dresse procès-verbal et en délivre immédiatement un récépissé. — La déclaration et le procès-verbal doivent indiquer, dans la forme réglée par décret, les nom, qualité et adresse du chef d'entreprise, le lieu précis, l'heure et la nature de l'accident, les circonstances dans lesquelles il s'est produit, la nature des blessures, les noms et adresses des témoins. — Dans les quatre jours qui suivent l'accident, si la victime n'a pas repris son travail, le chef d'entreprise doit déposer à la mairie, qui lui en délivre immédiatement récépissé, un certificat de médecin indiquant l'état de la victime, les suites probables de l'accident, et l'époque à laquelle il sera possible d'en connaître le résultat définitif. — La déclaration d'accident pourra être faite dans les mêmes conditions par la victime ou ses représentants jusqu'à l'expiration de l'année qui suit l'accident. — Avis de l'accident, dans les formes réglées par décret, est donné immédiatement par le maire à l'inspecteur départemental du travail ou à l'ingénieur ordinaire des Mines chargé de la surveillance de l'entreprise. — L'art. 15 de la loi du 2 novembre 1892 et l'art. 11 de la loi du 12 juin 1893 cessent d'être applicables dans les cas visés par la présente loi.

ART. 12 (*texte nouveau*). — Dans les vingt-quatre heures qui suivent le dépôt du certificat, et au plus tard dans les cinq jours qui suivent la déclaration de l'accident, le maire transmet au juge de paix du canton où l'accident s'est produit la déclaration et soit le certificat médical, soit l'attestation qu'il n'a pas été produit de certificat. — Lorsque, d'après le certificat médical, produit en exécution du paragraphe précédent ou transmis ultérieurement par la victime à la justice de paix, la blessure paraît devoir entraîner la mort ou une incapacité permanente, absolue ou partielle de travail, ou lorsque la victime est décédée, le juge de paix, dans les vingt-quatre heures, procède à une enquête à l'effet de rechercher : 1° La cause, la nature et les circonstances de l'accident ; — 2° Les personnes victimes et le lieu où elles se trouvent, le lieu et la date de leur naissance ; — 3° La nature des lésions ; — 4° Les ayants droit pouvant, le cas échéant, prétendre à une indemnité, le lieu et la date de leur naissance ; — 5° Le salaire quotidien et le salaire annuel des victimes ; — 6° La Société d'assurance à laquelle le chef d'entreprise était assuré, ou le Syndicat de garantie auquel il était affilié. — Les allocations tarifées par le juge de paix et son greffier, en exécution de l'art. 29 de la présente loi et de l'art. 31 de la loi de finances du 13 avril 1900, seront avancées par le Trésor.

ART. 13. — L'enquête a lieu contradictoirement dans les formes prescrites par les art. 35, 36, 37, 38 et 39 du Code de procédure civile, en présence des parties intéressées ou celles-ci convoquées d'urgence par lettre recommandée. — Le juge de paix doit se transporter auprès de la victime de l'accident qui se trouve dans l'impossibilité d'assister à l'enquête. — Lorsque le certificat médical ne lui paraît pas suffisant, le juge de paix pourra désigner un médecin pour examiner le blessé. — Il peut aussi commettre un expert pour l'assister dans l'enquête. — Il n'y a pas lieu, toutefois, à nomination d'expert dans les entreprises administrativement surveillées ni dans celles de l'État placées sous le contrôle d'un service distinct du service de gestion, ni dans les établissements nationaux où s'effectuent des travaux que la sécurité publique oblige à tenir secrets. Dans ces divers cas, les fonctionnaires chargés de la surveillance ou du contrôle de ces établissements ou entreprises, et, en ce qui concerne les exploitations minières, les délégués à la sécurité des ouvriers mineurs, transmettent au juge de paix, pour être joint au procès-verbal d'enquête, un exemplaire de leur rapport. — Sauf les cas d'impossibilité matérielle dûment constatés dans le procès-verbal, l'enquête doit être close dans le plus bref délai et, au plus tard, dans les dix jours à partir de l'accident. Le juge de paix avertit, par lettre recommandée, les parties de la clôture de l'enquête et du dépôt de la minute au greffe, où elles pourront, pendant un délai de cinq jours, en prendre connaissance et s'en faire délivrer une copie. — Le procès-verbal est soumis, en outre, à l'obligation de l'enregistrement.

A l'expiration de ce délai de cinq jours, le dossier de l'enquête est transmis au président du tribunal civil de l'arrondissement.

ART. 14. — Sont punis d'une amende de un à quinze francs (1 à 15 francs) les chefs d'industrie ou leurs préposés qui auront contrevenu aux dispositions de l'art. 11. — En cas de récidive dans l'année, l'amende peut être élevée de seize à trois cents francs (16 à 300 francs). — L'art. 463 du Code pénal est applicable aux contraventions prévues par le présent article.

TITRE III. — *Compétence. — Juridictions. — Procédure. — Revision.*
— ART. 15 (*texte nouveau*). — Sont jugées en dernier ressort par le juge de paix du canton où l'accident s'est produit, à quelque chiffre que la demande puisse s'élever et dans les quinze jours de la demande, les contestations relatives, tant aux frais funéraires qu'aux indemnités temporaires. — Les indemnités temporaires sont dues jusqu'au jour du décès ou jusqu'à la consolidation de la blessure, c'est-à-dire jusqu'au jour où la victime se trouve, soit complètement guérie, soit définitivement atteinte d'une incapacité permanente ; elles continuent, dans ce dernier cas, à être servies jusqu'à décision définitive prévue à l'article suivant, sous réserve des dispositions du quatrième alinéa dudit article. — Si l'une des parties soutient, avec un certificat médical à l'appui, que l'incapacité est permanente, le juge de paix doit se déclarer incompétent par une décision dont il transmet, dans les trois jours, expédition au président du tribunal civil. Il fixe en même temps, s'il ne l'a fait antérieurement, l'indemnité journalière. — Le juge de paix connaît des demandes relatives au paiement des frais médicaux et pharmaceutiques jusqu'à trois cents francs en dernier ressort et à quelque chiffre que ces demandes s'élèvent, à charge d'appel dans la quinzaine de la décision. — Les décisions du juge de paix relatives à l'indemnité journalière sont exécutoires nonobstant opposition. Ces décisions sont susceptibles de recours en cassation pour violation de la loi. — Lorsque l'accident s'est produit en territoire étranger, le juge de paix compétent, dans les termes de l'art. 12 et du présent article, est celui du canton où est situé l'établissement ou le dépôt auquel est attachée la victime. — Lorsque l'accident s'est produit en territoire français, hors du canton où est situé l'établissement ou le dépôt auquel est attachée la victime, le juge de paix de ce dernier canton devient exceptionnellement compétent, à la requête de la victime ou de ses ayants droit adressée, sous forme de lettre recommandée, au juge de paix du canton où l'accident s'est produit, avant qu'il n'ait été saisi dans les termes du présent article ou bien qu'il n'ait clos l'enquête prévue à l'art. 13. Un récépissé est immédiatement envoyé au requérant par le greffe, qui avise, en même temps que le chef d'entreprise, le juge de paix devenu compétent et, s'il y a lieu, transmet à ce dernier le dossier de l'enquête. — Les parties, conformément à l'art. 12, peuvent, à l'expiration du délai de cinq jours, confor-

mément à l'art. 13. — Si, après transmission du dossier de l'enquête au président du tribunal du lieu de l'accident, et avant convocation des parties, la victime ou ses ayants droit justifient qu'ils n'ont pu, avant la clôture de l'enquête, user de la faculté prévue à l'alinéa précédent, le président peut, les parties entendues, se dessaisir du dossier et le transmettre au président du tribunal de l'arrondissement où est situé l'établissement ou le dépôt auquel est attachée la victime.

ART. 16 (*texte nouveau*). — En ce qui touche les autres indemnités prévues par la présente loi, le président du tribunal de l'arrondissement, dans les cinq jours de la transmission du dossier, si la victime est décédée avant la clôture de l'enquête, ou, dans le cas contraire, dans les cinq jours de la production par la partie la plus diligente, soit de l'acte de décès, soit d'un accord écrit des parties reconnaissant le caractère permanent de l'incapacité, ou bien de la réception de la décision du juge de paix visée au troisième alinéa de l'article précédent, ou enfin, s'il n'a été saisi d'aucune de ces pièces, dans les cinq jours précédant l'expiration du délai de prescription prévu à l'art. 18, lorsque la date de cette expiration lui est connue, convoque la victime ou ses ayants droit, le chef d'entreprise, qui peut se faire représenter et, s'il y a assurance, l'assureur. Il peut, du consentement des parties, commettre un expert dont le rapport doit être déposé dans le délai de huitaine. — En cas d'accord entre les parties, conforme aux prescriptions de la présente loi, l'indemnité est définitivement fixée par l'ordonnance du président qui en donne acte en indiquant, sous peine de nullité, le salaire de base et la réduction que l'accident aura fait subir au salaire. — En cas de désaccord, les parties sont renvoyées à se pourvoir devant le tribunal, qui est saisi par la partie la plus diligente et statue comme en matière sommaire, conformément au titre XXIV du livre II du Code de procédure civile. Son jugement est exécutoire par provision. — En ce cas, le président, par son ordonnance de renvoi et sans appel, peut substituer à l'indemnité journalière une provision inférieure au demi-salaire ou, dans la même limite, allouer une provision aux ayants droit. Ces provisions peuvent être allouées ou modifiées en cours d'instance par voie de référé sans appel. Elles sont incessibles ou insaisissables et payables dans les mêmes conditions que l'indemnité journalière. — Les arrérages des rentes courent à partir du jour du décès ou de la consolidation de la blessure, sans se cumuler avec l'indemnité journalière ou la provision. — Dans le cas où le montant de l'indemnité ou de la provision excède les arrérages dus jusqu'à la date de la fixation de la rente, le tribunal peut ordonner que le surplus sera précompté sur les arrérages ultérieurs dans la proportion qu'il déterminera. — S'il y a assurance, l'ordonnance du président ou le jugement fixant la rente allouée spécifie que l'assureur est substi-

tué au chef d'entreprise dans les termes du titre IV, de façon à supprimer tout recours de la victime contre ledit chef d'entreprise.

ART. 17 (*texte nouveau*). — Les jugements rendus en vertu de la présente loi sont susceptibles d'appel selon les règles du droit commun. Toutefois, l'appel sous réserve des dispositions de l'article 449 du Code de procédure civile, devra être interjeté dans les trente jours de la date du jugement s'il est contradictoire, et, s'il est par défaut, dans la quinzaine à partir du jour où l'opposition ne sera plus recevable. — L'opposition ne sera plus recevable en cas de jugement par défaut contre partie, lorsque le jugement aura été signifié à personne, passé le délai de quinze jours à partir de cette signification. — La Cour statuera d'urgence dans le mois de l'acte d'appel. Les parties pourront se pourvoir en cassation. — Toutes les fois qu'une expertise médicale sera ordonnée, soit par le juge de paix, soit par le tribunal ou par la Cour d'appel, l'expert ne pourra être le médecin qui a soigné le blessé, ni un médecin attaché à l'entreprise ou à la Société d'assurance à laquelle le chef d'entreprise est affilié.

ART. 18 (*texte nouveau*). — L'action en indemnité prévue par la présente loi se prescrit par un an à dater du jour de l'accident ou de la clôture de l'enquête du juge de paix, ou de la cessation du paiement de l'indemnité temporaire. — L'art. 55 de la loi du 10 août 1871 et l'art. 124 de la loi du 5 avril 1884 ne sont pas applicables aux instances suivies contre les départements ou les communes, en exécution de la présente loi.

ART. 19 (*texte nouveau*). — La demande en revision de l'indemnité, fondée sur une aggravation ou une atténuation de l'infirmité de la victime, ou son décès par suite des conséquences de l'accident, est ouverte pendant trois ans à compter, soit de la date à laquelle cesse d'être due l'indemnité journalière, s'il n'y a point eu attribution de rente, soit de l'accord intervenu entre les parties ou de la décision judiciaire passée en force de chose jugée, même si la pension a été remplacée par un capital en conformité de l'art. 21. — Dans tous les cas, sont applicables à la revision les conditions de compétence et de procédure fixées par les art. 16, 17 et 22. Le président du tribunal est saisi par voie de simple déclaration au greffe. — S'il y a accord entre les parties, conforme aux prescriptions de la présente loi, le chiffre de la rente révisée est fixé par ordonnance du président, qui donne acte de cet accord en spécifiant, sous peine de nullité, l'aggravation ou l'atténuation de l'infirmité. — En cas de désaccord, l'affaire est renvoyée devant le tribunal, qui est saisi par la partie la plus diligente et qui statue comme en matière sommaire et ainsi qu'il est dit à l'art. 16. — Au cours des trois années pendant lesquelles peut s'exercer l'action en revision, le chef d'entreprise pourra désigner au président du tribunal un médecin chargé de le renseigner sur l'état de la victime. — Le Code de procédure civile, tel qu'il est visé par le

président, donnera audit médecin accès trimestriel auprès de la victime. Faute par la victime de se prêter à cette visite, tout paiement d'arrérages sera suspendu par décision du président qui convoquera la victime par simple lettre recommandée. — Les demandes prévues à l'art. 9 doivent être portées devant le tribunal au plus tard dans le mois qui suit l'expiration du délai imparti pour l'action en revision.

ART. 20 (*texte nouveau*). — Aucune des indemnités déterminées par la présente loi ne peut être attribuée à la victime qui a intentionnellement provoqué l'accident. — Le tribunal a le droit, s'il est prouvé que l'accident est dû à une faute inexcusable de l'ouvrier, de diminuer la pension fixée au titre premier. — Lorsqu'il est prouvé que l'accident est dû à la faute inexcusable du patron ou de ceux qu'il s'est substitués dans la direction, l'indemnité pourra être majorée, mais sans que la rente ou le total des rentes allouées puisse dépasser soit la réduction, soit le montant du salaire annuel. — En cas de poursuites criminelles, les pièces de procédure seront communiquées à la victime ou à ses ayants droit. — Le même droit appartiendra au patron ou à ses ayants droit.

ART. 21 (*texte nouveau*). — Les parties peuvent toujours, après détermination du chiffre de l'indemnité due à la victime de l'accident, décider que le service de la pension sera suspendu et remplacé, tant que l'accord subsistera, par tout autre mode de réparation. — En dehors des cas prévus à l'art. 3, la pension ne pourra être remplacée par le paiement d'un capital que si elle n'est pas supérieure à cent francs et si le titulaire est majeur. Ce rachat ne pourra être effectué qu'après le tarif spécifié à l'art. 28.

ART. 22 (*texte nouveau*). — Le bénéfice de l'assistance judiciaire est accordé de plein droit, sur le visa du procureur de la République, à la victime de l'accident ou à ses ayants droit devant le président du tribunal civil et devant le tribunal. — Le procureur de la République procède comme il est prescrit à l'art. 13 (paragraphes 2 et suivants) de la loi du 22 janvier 1851, modifiée par la loi du 10 juillet 1901. — Le bénéfice de l'assistance judiciaire s'applique de plein droit à l'acte d'appel. Le premier président de la cour, sur la demande qui lui sera adressée à cet effet, désignera l'avoué près la cour dont la constitution figurera dans l'acte d'appel, et commettra un huissier pour le signifier. — Si la victime de l'accident se pourvoit devant le bureau d'assistance judiciaire pour en obtenir le bénéfice en vue de toute la procédure d'appel, elle sera dispensée de fournir les pièces justificatives de son indigence. — Le bénéfice de l'assistance judiciaire s'étend de plein droit aux instances devant le juge de paix, à tous les actes d'exécution mobilière et immobilière et à toute contestation incidente à l'exécution des décisions judiciaires. — L'assisté devra faire déterminer l'IRIS et LILLIAD - Université Lille 1 aire de son domicile

la nature des actes et procédure d'exécution auxquels l'assistance s'appliquera.

TITRE IV. — *Garanties.* — ART. 23. — La créance de la victime de l'accident ou de ses ayants droit relative aux frais médicaux, pharmaceutiques et funéraires, ainsi qu'aux indemnités allouées à la suite de l'incapacité temporaire de travail, est garantie par le privilège de l'art. 2101 du Code civil et y sera inscrite sous le n° 6. — Le paiement des indemnités pour incapacité permanente de travail ou accident suivi de mort est garanti conformément aux dispositions des articles suivants.

ART. 24. — A défaut, soit par les chefs d'entreprise débiteurs, soit par les Sociétés d'assurances à primes fixes ou mutuelles, ou les Syndicats de garantie liant solidairement tous leurs adhérents, de s'acquitter, au moment de leur exigibilité, des indemnités mises à leur charge à la suite d'accident ayant entraîné la mort ou une incapacité permanente de travail, le paiement en sera assuré aux intéressés par les soins de la Caisse nationale des retraites pour la vieillesse, au moyen d'un fonds spécial de garantie constitué, comme il va être dit, et dont la gestion sera confiée à ladite Caisse.

ART. 25. — Le fonds de garantie institué par l'article 24 de la loi du 9 avril 1924 ainsi que le fonds spécial de prévoyance dit des blessés de la guerre seront alimentés par le produit des taxes ci-après : 1° Une contribution des exploitants assurés perçue sur toutes les primes d'assurance acquittées au titre de la législation des accidents du travail. Cette contribution sera recouvrée en même temps que les primes par les organismes d'assurances et de la caisse nationale d'assurances et versée au fonds de garantie ou au fonds spécial de prévoyance ; — 2° Une contribution des exploitants non assurés, autres que l'État employeur, perçue sur les capitaux constitutifs des rentes mises à leur charge. Cette contribution sera liquidée lors de l'enregistrement des ordonnances, jugements et arrêts allouant lesdites rentes et recouvrée comme en matière d'assistance judiciaire, pour le compte du fonds de garantie et du fonds spécial de prévoyance dit « des blessés de la guerre », par l'administration de l'enregistrement ; le capital constitutif sera déterminé, pour la perception de la contribution, d'après un barème et dans les conditions fixées par un règlement d'administration publique. — Un règlement d'administration publique déterminera les conditions dans lesquelles seront effectués les versements des sociétés d'assurances, des syndicats de garantie et de la caisse nationale d'assurances en cas d'accidents, ainsi que toutes les mesures nécessaires pour assurer l'exécution du présent article. — Toute contravention aux prescriptions de ce règlement sera punie d'une amende de cent à mille francs (100 à 1.000 francs). — Les ordonnances, jugements et arrêts allouant des rentes, en ex

du 25 septembre 1919, devront indiquer si le chef d'entreprise est ou non assuré. — Les organismes d'assurances devront, en outre, acquitter pour la constitution du fonds spécial de prévoyance une contribution fixée suivant les modalités prévues à l'article 27, dernier alinéa, de la loi du 9 avril 1898, modifié par l'article 53 de la loi de finances du 31 juillet 1920; elle devra rester exclusivement à leur charge. — La quotité des taxes prévues à l'article 1^{er} sera modifiée chaque année, par décret, dans les conditions fixées par la loi du 29 mai 1909, sauf pour les deux premières années d'application de la présente loi. Pour ces deux années, le montant des contributions sera de 2 0/0, sur les primes d'assurances et de 4 0/00 sur les capitaux constitutifs, en ce qui concerne le « fonds spécial de prévoyance ». — Pour les deux années visées à l'alinéa précédent, la contribution des organismes d'assurances au fonds spécial de prévoyance est fixée à un vingtième des taxes établies par l'arrêté du Ministre du Travail déterminant les frais de contrôle et de surveillance desdits organismes pour l'année 1920.

ART. 26. — La Caisse nationale des retraites exercera un recours contre les chefs d'entreprise débiteurs, pour le compte desquels des sommes auront été payées par elle, conformément aux dispositions qui précèdent. — En cas d'assurance du chef d'entreprise, elle jouira, pour le remboursement de ses avances, du privilège de l'article 2102 du Code civil sur l'indemnité due par l'assureur et n'aura plus de recours contre le chef d'entreprise. — Un règlement d'administration publique déterminera les conditions d'organisation et de fonctionnement du service conféré par les dispositions précédentes à la Caisse nationale des retraites et, notamment, les formes du recours à exercer contre les chefs d'entreprise débiteurs ou les Sociétés d'assurances et les Syndicats de garantie, ainsi que les conditions dans lesquelles les victimes d'accident ou leurs ayants droit seront admis à réclamer à la Caisse le paiement de leurs indemnités. — Les décisions judiciaires n'emporteront hypothèque que si elles sont rendues au profit de la Caisse des retraites exerçant son recours contre les chefs d'entreprise ou les Compagnies d'assurances.

ART. 27 (*texte nouveau*). — Les Compagnies d'assurances mutuelles ou à primes fixes contre les accidents, françaises ou étrangères, sont soumises à la surveillance et au contrôle de l'État et astreintes à constituer des réserves ou cautionnements dans les conditions déterminées par un règlement d'administration publique. — Le montant des réserves mathématiques et des cautionnements sera affecté par privilège au paiement des pensions et indemnités. — Les Syndicats de garantie seront soumis à la même surveillance, et un règlement d'administration publique déterminera les conditions de leur création et de leur fonctionnement. A toute époque, un arrêté du Ministre du Commerce et de l'Industrie, en vertu de l'article 17 de la loi du 23 mai 1913, pourra être pris, en ce qui concerne l'assureur qui ne remplit pas les conditions prévues par la présente loi ou dont la

situation financière ne donne pas des garanties suffisantes pour lui permettre de remplir ses engagements. Cet arrêté est pris après avis conforme du Comité consultatif des assurances contre les accidents du travail, l'assureur ayant été mis en demeure de fournir ses observations par écrit dans un délai de quinzaine. Le Comité doit émettre son avis dans la quinzaine suivante. — Le dixième jour, à midi, à compter de la publication de l'arrêté au *Journal officiel*, tous les contrats contre les risques régis par la présente loi cessent de plein droit d'avoir effet, les primes restant à payer ou les primes payées d'avance n'étant acquises à l'assureur qu'en proportion de la période d'assurance réalisée, sauf stipulation contraire dans les polices. — Le Comité consultatif des assurances contre les accidents du travail est composé de vingt-quatre membres, savoir : deux sénateurs et trois députés élus par leurs collègues ; le directeur de l'assurance et de la prévoyance sociales ; le directeur du travail ; le directeur général de la Caisse des dépôts et consignations ; trois membres agrégés de l'Institut des actuaires français ; le président du Tribunal de commerce de la Seine ou un président de section délégué par lui ; le président de la Chambre de commerce de Paris ou un membre délégué par lui ; deux ouvriers membres du Conseil supérieur du travail ; un professeur de la Faculté de droit de Paris ; deux directeurs ou administrateurs de Sociétés mutuelles d'assurances contre les accidents du travail ou Syndicats de garantie ; deux directeurs ou administrateurs de Sociétés anonymes ou en commandite d'assurances contre les accidents du travail ; quatre personnes spécialement compétentes en matière d'assurances contre les accidents du travail. Un décret détermine le mode de nomination et de renouvellement des membres ainsi que la désignation du président, du vice-président et du secrétaire. — Les frais de toute nature résultant de la surveillance et du contrôle seront couverts au moyen de contributions proportionnelles au montant des réserves ou cautionnements et fixés annuellement pour chaque Compagnie ou Association par arrêté du Ministre du Commerce.

ART. 28. — Le versement du capital représentatif des pensions allouées en vertu de la présente loi ne peut être exigé des débiteurs. — Toutefois, les débiteurs qui désireront se libérer en une fois pourront verser le capital représentatif de ces pensions à la Caisse nationale des retraites, qui établira à cet effet, dans les six mois de la promulgation de la présente loi, un tarif tenant compte de la mortalité des victimes d'accidents et de leurs ayants droit. — Lorsqu'un chef d'entreprise cesse son industrie, soit volontairement, soit par décès, liquidation judiciaire ou faillite, soit par cession d'établissement, le capital représentatif des pensions à sa charge devient exigible de plein droit et sera versé à la Caisse nationale des retraites. Ce capital sera déterminé au jour de son exigibilité, d'après le tarif visé au

paragraphe précédent. — Toutefois, le chef d'entreprise ou ses ayants droit peuvent être exonérés du versement de ce capital, s'ils fournissent des garanties qui seront à déterminer par un règlement d'administration publique.

TITRE V. — *Dispositions générales.* — ART. 29. — Les procès-verbaux, certificats, actes de notoriété, significations, jugements et autres actes faits ou rendus en vertu et pour l'exécution de la présente loi, sont délivrés gratuitement, visés pour timbre et enregistrés gratis lorsqu'il y a lieu à la formalité de l'enregistrement. — Dans les six mois de la promulgation de la présente loi, un décret déterminera les émoluments des greffiers de justice de paix pour leur assistance et la rédaction des actes de notoriété, procès-verbaux, certificats, significations, jugements, envois de lettres recommandées, extraits, dépôts de la minute d'enquête au greffe, et pour tous les actes nécessités par l'application de la présente loi, ainsi que les frais de transport auprès des victimes et d'enquête sur place.

ART. 30 (*texte nouveau*). — Toute convention contraire à la présente loi est nulle de plein droit. Cette nullité, comme la nullité prévue au deuxième alinéa de l'art. 16 et au troisième alinéa de l'art. 19, peut être poursuivie par tout intéressé devant le tribunal visé auxdits articles. — Toutefois, dans ce cas, l'assistance judiciaire n'est accordée que dans les conditions du droit commun. — La décision qui prononce la nullité fait courir à nouveau, du jour où elle devient définitive, les délais impartis, soit pour la prescription, soit pour la revision. — Sont nulles de plein droit et de nul effet les obligations contractées, pour rémunération de leurs services, envers les intermédiaires qui se chargent, moyennant émoluments convenus à l'avance, d'assurer aux victimes d'accidents ou à leurs ayants droit le bénéfice des instances ou des accords prévus aux art. 15, 16, 17 et 19. — Est passible d'une amende de seize francs à trois cents francs et, en cas de récidive dans l'année de la condamnation, d'une amende de cinq cents francs à deux mille francs, sous réserve de l'application de l'art. 463 du Code pénal : 1° tout intermédiaire convaincu d'avoir offert les services spécifiés à l'alinéa précédent ; 2° tout chef d'entreprise ayant opéré, sur le salaire de ses ouvriers ou employés, des retenues pour l'assurance des risques mis à sa charge par la présente loi ; 3° toute personne qui, soit par menace de renvoi, soit par refus ou menace de refus des indemnités dues en vertu de la présente loi, aura porté atteinte ou tenté de porter atteinte au droit de la victime de choisir son médecin ; 4° tout médecin ayant, dans des certificats délivrés pour l'application de la présente loi, sciemment dénaturé les conséquences des accidents.

ART. 31. — Les chefs d'entreprise sont tenus, sous peine d'une amende de un à quinze francs (1 à 15 francs), de faire afficher dans chaque atelier

tifs à son exécution. — En cas de récidive dans la même année, l'amende sera de seize à cent francs (16 à 100 francs). — Les infractions aux dispositions des articles 11 et 31 pourront être constatées par les inspecteurs du travail.

ART. 32. — Il n'est point dérogé aux lois, ordonnances et règlements concernant les pensions des ouvriers, apprentis et journaliers appartenant aux ateliers de la Marine et celles des ouvriers immatriculés des manufactures d'armes dépendant du Ministère de la Guerre.

ART. 33. — La présente loi ne sera applicable que trois mois après la publication officielle des décrets d'administration publique qui doivent en régler l'exécution.

ART. 34. — Un règlement d'administration publique déterminera les conditions dans lesquelles la présente loi pourra être appliquée à l'Algérie et aux colonies. — La présente loi, délibérée et adoptée par le Sénat et par la Chambre des députés, sera exécutée comme loi de l'État.

Loi du 2 août 1923 étendant le régime de la législation sur les accidents du travail aux gens de maison, domestiques, concierges et serviteurs à gages.

ART. 1^{er}. — Dans le délai de six mois à compter de la promulgation de la présente loi, la législation sur les accidents du travail résultant de la loi du 9 avril 1898 et des lois ultérieures qui l'ont complétée et modifiée, notamment des articles 2, 3 et 6 de la loi du 12 avril 1906, ainsi que des dispositions de la loi du 30 décembre 1922, est étendue aux domestiques, gens de maison, serviteurs à gages, concierges et salariés du même genre à un titre quelconque, attachés ou non à la personne.

ART. 2. — Le salaire servant de base à fixation des indemnités s'entend uniquement, à l'exclusion de tous autres profits en argent, de la rémunération et des prestations en nature directement allouées par le maître, en exécution du contrat de louage de services. — Toutefois, les rétributions accessoires et habituelles concourant à former la rémunération effective, notamment sous forme d'étrennes, devront être ajoutées au salaire de base pour le calcul de l'indemnité en cas d'incapacité permanente ou de mort.

B. — RETRAITES OUVRIÈRES.

Lois des 5 avril 1910, — 27 février 1912, — 27 décembre 1912, — 17 août 1915, — 31 décembre 1915, — 7 avril 1918, — 28 décembre 1918, — 6 août 1920, — 19 avril 1921, — 18 avril 1922).

Énumération des assurés.

Assurés obligatoires. — Les assurés obligatoires sont les salariés des deux sexes âgés de moins de soixante ans et dont le salaire annuel ne dépasse pas 10 000 francs.

Par salariés, il faut entendre les ouvriers et employés de l'industrie, du commerce, des professions libérales et de l'agriculture et les serviteurs à gages.

La loi est applicable également aux salariés français qui, bien que résidant en France, travaillent habituellement à l'étranger (communes frontalières) ainsi qu'aux Français qui résident à l'étranger ou aux colonies et y travaillent pour le compte d'une entreprise dont le siège social est en France.

Ne sont pas placés sous le régime de la loi des retraites ouvrières et continuent à bénéficier de leurs retraites spéciales : les fonctionnaires de l'État, les employés des chemins de fer, les ouvriers et employés des mines, les inscrits maritimes.

Assurés facultatifs. — Peuvent prétendre au bénéfice de l'assurance facultative : 1° les fermiers, métayers, propriétaires exploitants, artisans et petits patrons qui, habituellement, travaillent seuls ou avec un seul ouvrier ou avec des membres de leur famille, salariés ou non, habitant avec eux ; — 2° les membres non salariés de la famille des assurés obligatoires ou facultatifs, travaillant et habitant avec eux ; — 3° les salariés dont le salaire annuel est supérieur à 10.000 francs, mais inférieur à 12.000 francs ; — 4° les femmes ou veuves non salariées des assurés obligatoires ou facultatifs ou retraités ; — 5° les femmes ou veuves des personnes susceptibles de bénéficier de l'assurance facultative qui n'y avaient pas adhéré ; — 6° les femmes ou veuves non salariées des agents, employés ou ouvriers placés soit sous le régime des pensions civiles ou militaires, soit sous un régime spécial de retraites, lorsque l'ensemble des salaire et pension du mari ou leur propre pension n'excède pas 5.000 francs.

Constitution des pensions.

Assurés obligatoires. — Les pensions sont constituées par une triple participation des assurés, des employeurs et de l'État.

Le versement obligatoire de l'assuré est fixé comme suit : pour les hommes : 0 fr. 03 par jour ; 0 fr. 75 par mois ; 9 francs par an ; pour les femmes : 0 fr. 02 par jour ; 0 fr. 50 par mois ; 6 francs par an ; pour les mineurs au-dessous de 18 ans : 0 fr. 015 par jour, soit 0 fr. 375 par mois ; soit 4 fr. 50 par an.

La contribution patronale est entièrement à la charge du patron. Elle est égale au versement obligatoire de l'assuré. — La cotisation est calculée lors de chaque paye en se conformant au tarif ci-dessus d'après la période de travail représentée par cette paye.

En cas de travail à domicile, le montant de la contribution patronale est fixé à 1 0/0 de la rémunération et la cotisation ouvrière à une somme égale.

L'État ajoute aux rentes produites par les versements de l'assuré et de son patron une allocation viagère de 100 francs, à condition de justifier d'un

de la double cotisation réglementaire. Cette allocation est augmentée d'une bonification d'un dixième pour tout assuré de l'un ou l'autre sexe ayant élevé au moins trois enfants jusqu'à seize ans. Cette bonification est également accordée à l'assuré, si le nombre total des enfants élevés jusqu'à seize ans, vivants ou décédés, ajouté à celui des enfants vivants au jour de la demande de liquidation de retraite, quel que soit l'âge de ces derniers, est de trois ans au moins. La durée du service militaire obligatoire, le temps de mobilisation comptent comme années d'assurance. Pour les femmes, chaque naissance d'enfant survenue depuis le 3 juillet 1914 compte pour une année d'assurance. Si le nombre des années de versement est inférieur à trente et supérieur à quinze, l'allocation de l'Etat est calculée à raison de 3 fr. 33 par année de versement réglementaire. Si l'assuré ne justifie pas de plus de quinze versements annuels réglementaires, l'Etat ne lui accorde aucune allocation viagère.

Assurés facultatifs. — Pour tous les assurés facultatifs, autres que les métayers, les cotisations intégralement à leur charge sont fixées au minimum à 9 francs et au maximum à 18 francs.

L'Etat accorde aux assurés facultatifs une majoration de versement. Cette majoration est égale à la moitié des versements effectués, mais ne peut dépasser 9 francs par an.

Lorsque les majorations allouées à un assuré sont suffisantes pour lui procurer, à soixante ans, une rente de 100 francs, elles cessent d'être accordées.

La rente est augmentée : 1° d'un dixième pour les assurés ayant élevé trois enfants jusqu'à seize ans ; 2° de la rente qu'eût produite à soixante ans un versement de 9 francs effectué à capital aliéné pour chaque année de service militaire obligatoire pour les hommes et pour chaque naissance d'enfant pour les femmes.

En ce qui concerne les métayers, leur cotisation annuelle a été fixée au minimum à 6 francs et au maximum à 9 francs.

Versements supplémentaires. — L'assuré, en dehors de ses versements obligatoires, a toujours le droit de faire sans limitation de valeur des versements facultatifs qui auront pour effet d'augmenter le montant de sa retraite ou de lui réserver le bénéfice de l'allocation viagère de l'Etat.

Réserve ou aliénation du capital. — La retraite peut être constituée à capital aliéné ou à capital réservé selon le choix fait par l'assuré. Lorsque la retraite est dite « à capital aliéné », la famille de l'assuré ne peut prétendre, lors de son décès, au remboursement des cotisations versées.

Lorsque la retraite est constituée à capital réservé, la somme des cotisations versées par l'assuré est, à son décès, remboursée à ses héritiers sans intérêts.

Seul, le capital constitué par les versements ouvriers peut être

réservé. Les contributions patronales sont, de droit, versées à capital aliéné.

Lorsque l'assuré demandera la réserve de son capital, sa pension sera naturellement inférieure à celle qu'il aurait obtenue avec les mêmes versements faits à capital aliéné.

Modes de perception des cotisations.

Perception des cotisations. — Chaque assuré reçoit une carte destinée à l'apposition des timbres-retraite. Lors de chaque paie, en réglant le salaire, le patron retient la somme correspondante à la cotisation de l'assuré. Il y ajoute une somme égale qui constitue sa contribution personnelle et colle sur la carte annuelle que lui présente l'assuré un timbre-retraite représentant le total de ces deux sommes.

Lorsque l'assuré fait partie d'une société de secours mutuels autorisée à encaisser les cotisations, il peut faire ses versements à sa société. Il n'a plus alors à subir de retenue sur son salaire. Il devra seulement, à chaque paie, présenter sa carte annuelle à son patron pour que celui-ci y colle les timbres représentant la contribution patronale.

L'encaissement des cotisations des assurés peut être effectué, dans les mêmes conditions, par les caisses d'assurance où leurs comptes individuels sont ouverts. Les employeurs qui occupent des salariés adhérents à des organismes admis à faire l'encaissement peuvent faire encaisser, par lesdits organismes, leur contribution patronale. Les employeurs autorisés à cet effet peuvent n'apposer que quatre fois par an, dans les quinze premiers jours de chaque trimestre, les timbres représentant les contributions ouvrière et patronale pour la période trimestrielle précédente. Lorsque l'ouvrier quitte l'établissement avant l'expiration du trimestre, l'employeur est tenu de procéder sans retard à l'apposition des timbres exigibles.

Enfin, certaines caisses de retraite patronales ou syndicales patronales peuvent être autorisées à ne pas faire usage de timbres. L'employeur effectue les retenues sur le salaire et les verse directement, ainsi que ses contributions, à la Caisse nationale des retraites. Il fait simplement mention de ce versement sur la carte du salarié.

Lorsqu'un assuré obligatoire ne possède pas de carte annuelle ou omet de la présenter, son employeur a la faculté de déposer au greffe de la justice de paix le montant de la contribution patronale afférente à cet assuré. Ladite somme est alors attribuée au fonds de réserve des retraites ouvrières et paysannes, géré par la Caisse des dépôts et consignations.

Timbres-retraite. — C'est au moyen de timbres spéciaux, dits timbres-retraite, que sont constatés les versements des assurés et les contributions des employeurs. Ces timbres sont d'un type uniforme.

Les 11 figures IRIS et LILLIAD de Université Lille 1 correspondent aux

valeurs les plus usuelles ainsi qu'aux versements périodiques les plus courants pour les assurés de l'un et l'autre sexe. Un cartouche libre est réservé sur les figurines pour l'indication de la date d'apposition par l'employeur, l'assuré ne devant pas dater les timbres qu'il appose lui-même. Les timbres-retraite sont mis en vente dans les bureaux de poste, dans les recettes buralistes et dans les débits de tabac.

Formalités à remplir pour bénéficiaire de l'assurance.

Bulletin de renseignements. — La seule formalité demandée à un assuré obligatoire est de remplir un bulletin de renseignements qui lui est fourni par la mairie. Les bulletins sont déposés à la mairie par les assurés dans un délai de huitaine.

Réception des cartes. — Lorsque l'inscription sur la liste d'assurés aura été prononcée par le Préfet, l'assuré reçoit gratuitement deux cartes. L'une est sa carte d'identité qu'il conserve pendant toute sa carrière d'assuré. L'autre est sa carte annuelle destinée à recevoir les timbres représentant soit ensemble, soit séparément, les versements de son patron et ses versements personnels.

Les cartes annuelles sont échangées par les soins de l'administration des Postes, sauf dans les chefs-lieux de département et dans un certain nombre de communes fixées par arrêtés ministériels. Les assurés ont le plus grand intérêt à ne jamais négliger cette formalité essentielle. Autrement ils risqueraient de perdre tout ou partie de l'allocation de l'État, de voir leur retraite diminuer, et, le cas échéant, de priver leur famille de l'allocation au décès. — Dans le cas où la carte annuelle serait perdue ou détruite, l'assuré peut en obtenir un duplicata en produisant sa carte d'identité. S'il prouve que la carte annuelle a été détruite et justifie de la valeur des timbres apposés, il peut obtenir que cette somme soit portée à son compte.

Il peut également être délivré duplicata de la carte d'identité perdue ou détruite.

Caisses d'assurances.

Le compte de chaque assuré est ouvert dans une caisse d'assurance autorisée par l'État et choisie par l'assuré.

Les caisses autorisées sont : la Caisse nationale des retraites pour la vieillesse ; — les Caisses départementales ou régionales ; — les Sociétés de Secours mutuels ; — les Unions de Sociétés de secours mutuels agréées par l'État ; — les Caisses patronales ; — les Caisses syndicales patronales ou ouvrières ; — les Caisses de Syndicats de garantie solidaire.

L'assuré a le libre choix de sa Caisse. Il ne peut être contraint à adhérer à une Caisse plutôt qu'à une autre. Il a même le droit de changer de caisse chaque année.

Quand un assuré ne choisit pas de caisse, il est inscrit d'office à la Caisse nationale des retraites pour la vieillesse.

Liquidation de la pension de retraite.

Liquidation normale. — La liquidation normale de la retraite a lieu à soixante ans avec faculté d'ajournement à soixante-cinq ans. Dans le cas où l'assuré ne demande la liquidation de sa retraite qu'après soixante ans, l'allocation de l'État lui est versée chaque année directement ou à l'une des caisses autorisées par la loi à son choix. Ce versement se continuera jusqu'à l'époque de la liquidation.

Pour obtenir la liquidation de sa pension, l'assuré doit faire sa demande sur une formule spéciale, à la mairie de sa résidence et produire, à l'appui de cette demande, sa carte d'identité, sa dernière carte annuelle et un extrait de son acte de naissance.

La pension, ainsi que les allocations et bonifications de l'État, sont payées, trimestriellement et à terme échu, par les soins de la dernière caisse d'assurance à laquelle il a adhéré. Quelle que soit sa situation, l'assuré recevra intégralement la pension qui résultera de ses versements, de la contribution patronale et de la participation de l'État.

Les retraites et allocations viagères acquises sont incessibles et insaisissables, si ce n'est au profit des établissements publics hospitaliers pour le paiement du prix de journée du bénéficiaire de la retraite admis à l'hospitalisation.

Liquidation anticipée. — L'assuré obligatoire peut toujours demander à jour de sa pension de retraite à partir de cinquante-cinq ans. Toute pension servie par anticipation sera naturellement plus faible que celle obtenue à soixante ans et à plus forte raison à soixante-cinq ans.

Un assuré obligatoire qui fait liquider sa retraite entre cinquante-cinq et soixante ans ne perd pas, s'il a effectué au moins 15 versements, son droit à une allocation de l'État.

Retraite anticipée d'invalidité. — Lorsqu'un assuré, en dehors du cas d'accident de travail et à l'exclusion de toute faute intentionnelle, sera atteint d'incapacité absolue de travail, il pourra, quel que soit son âge, demander la liquidation anticipée de sa pension.

Il devra faire sa demande à la mairie de sa commune. Cette demande sera examinée par une Commission spéciale instituée auprès du Ministre du travail.

Si la Commission reconnaît le bien-fondé de la demande, la pension est liquidée et elle est majorée par l'État. La bonification de l'État ne peut dépasser 100 francs et la retraite totale de l'invalidé ne peut ni être supérieure au triple de la rente qu'il s'est constituée, ni dépasser 360 francs.

Si un assuré est victime d'un accident de travail, il reçoit la pension allouée par application de la loi sur les accidents du travail et il pourra demander la liquidation de sa pension de retraite à partir de cinquante-cinq ans.

Allocations au décès. — Si un assuré décède avant la date d'échéance du premier terme de sa pension, il y a lieu à une allocation de l'État accordée :

a) A ses enfants âgés de moins de seize ans, s'ils sont au nombre de trois au plus, 50 francs par mois pendant six mois; — s'ils sont au nombre de deux : 50 francs par mois pendant cinq mois; — s'il n'y en a qu'un : 50 francs par mois pendant quatre mois.

b) A sa veuve sans enfant de moins de seize ans : 50 francs par mois pendant trois mois.

Deux conditions essentielles doivent être réunies pour bénéficier de cette allocation : 1° Il faut qu'il s'agisse d'un assuré obligatoire. Toutefois ces dispositions sont applicables aux veuves et enfants des assurés facultatifs qui ont fait depuis 1911 ou depuis l'âge de dix-huit ans des versements annuels de 9 francs; — 2° Cet assuré obligatoire doit avoir effectué, avant son décès, les trois cinquièmes des versements obligatoires prévus par la loi.

CHAPITRE V

DE LA DURÉE DU TRAVAIL

Loi du 23 avril 1919, art. 6 du livre II du Code du travail.

Dans les établissements industriels et commerciaux ou dans leurs dépendances, de quelque nature qu'ils soient, publics ou privés, laïques ou religieux, même s'ils ont un caractère d'enseignement professionnel ou de bienfaisance, la durée du travail effectif des ouvriers ou employés de l'un ou de l'autre sexe et de tout âge ne peut excéder soit huit heures par jour, soit quarante-huit heures par semaine, soit une limitation équivalente établie sur une période de temps autre que la semaine.

Des règlements d'administration publique déterminent par profession, par industrie, par commerce ou par catégorie professionnelle les délais et conditions d'application de la loi (Voir 2^e partie).

CHAPITRE VI

DU REPOS HEBDOMADAIRE ET DES JOURS FÉRIÉS

Extrait du livre II du Code du Travail.

ART. 30. — Les dispositions de la présente section s'appliquent aux employés ou ouvriers occupés dans un établissement industriel ou commercial ou dans ses dépendances, de quelque nature qu'il soit, public ou privé, laïque ou religieux, même s'il a un caractère d'enseignement professionnel ou de bienfaisance. — Toutefois, ces dispositions ne s'appliquent pas aux employés des entre-

prises de transport par eau, non plus qu'à ceux des chemins de fer, dont les repos sont réglés par des dispositions spéciales.

ART. 31. — Il est interdit d'occuper plus de six jours par semaine un même employé ou ouvrier.

ART. 32. — Le repos hebdomadaire doit avoir une durée minimum de vingt-quatre heures consécutives.

ART. 33. — Le repos hebdomadaire doit être donné le dimanche.

ART. 34. — Toutefois, lorsqu'il est établi que le repos simultané, le dimanche, de tout le personnel d'un établissement serait préjudiciable au public ou compromettrait le fonctionnement normal de cet établissement, le repos peut être donné, soit constamment, soit à certaines époques de l'année seulement, ou bien : a) un autre jour que le dimanche à tout le personnel de l'établissement ; b) du dimanche midi au lundi midi ; — c) le dimanche après-midi avec un repos compensateur d'une journée par roulement et par quinzaine ; — d) par roulement à tout ou partie du personnel. -- Des autorisations nécessaires doivent être demandées et obtenues conformément aux prescriptions des articles ci-après.

ART. 35. — Lorsqu'un établissement quelconque veut bénéficier de l'une des exceptions prévues à l'article précédent, il est tenu d'adresser une demande au préfet du département. Celui-ci doit demander d'urgence les avis du conseil municipal, de la chambre de commerce de la région et des syndicats patronaux et ouvriers intéressés de la commune. Ces avis doivent être donnés dans le délai d'un mois. Le préfet statue ensuite par un arrêté motivé qu'il notifie dans la huitaine.

ART. 36. — L'autorisation accordée à un établissement doit être étendue aux établissements de la même ville faisant le même genre d'affaires et s'adressant à la même clientèle.

ART. 37. — L'arrêté préfectoral peut être déféré au Conseil d'État, dans la quinzaine de sa notification aux intéressés. Le Conseil d'État statue dans le mois qui suit la date du recours, qui est suspensif.

CHAPITRE VII

HYGIÈNE ET SÉCURITÉ DES TRAVAILLEURS

(Extrait du décret du 10 juillet 1913.)

Cabinets d'aisances. — Ils seront nettoyés au moins une fois par jour. Ils seront convenablement éclairés. Ils seront aménagés de manière à ne dégager aucune odeur. Ils ne communiqueront pas avec les locaux fermés où le personnel est appelé à séjourner. Il y aura un cabinet pour cinquante personnes et des urinoirs en nombre suffisant.

Vestiaires avec lavabos. — Les chefs d'établissements doivent mettre à la disposition de leur personnel les moyens d'assurer la propreté individuelle, vestiaires avec lavabos.

Aération. — L'atmosphère des ateliers doit être tenue constamment à l'abri de toute émanation provenant d'égouts, fosses, puisards, fosses d'aisances ou de toute autre source d'infection.

Les locaux fermés affectés au travail seront largement aérés. Ils seront munis de fenêtres ou autres ouvertures à châssis mobiles donnant directement sur le dehors. L'aération doit être suffisante pour empêcher une élévation exagérée de température.

Pendant les interruptions de travail, l'air des locaux doit être entièrement renouvelé.

Eclairage. — Les locaux affectés au travail, leurs dépendances, les passages, les escaliers doivent être convenablement éclairés.

Chauffage. — En hiver, les locaux doivent être convenablement chauffés.

Repas. — *Boissons.* — Les ouvriers et employés ne peuvent prendre leurs repas dans les locaux affectés au travail qu'en cas de besoin et après enquête par l'Inspecteur divisionnaire sous les justifications suivantes :

Que les opérations effectuées ne comportent point l'emploi de substances toxiques ;

Qu'elles ne donnent lieu à aucun dégagement de gaz incommodes, insalubres ou toxiques, ni de poussières ;

Que les autres conditions d'hygiène soient satisfaisantes.

Un règlement intérieur doit limiter les quantités de vin, de bière, de cidre, de poiré, d'hydromel non additionnées d'alcool qui peuvent être introduites et déterminer les heures et conditions auxquelles la consommation reste autorisée.

Propreté. — Les établissements doivent être tenus dans un état constant de propreté.

Machines. — Les machines, mécanismes, appareils de transmission, outils et engins doivent être installés et tenus dans les meilleures conditions possibles de sécurité. Les pièces mobiles des machines et transmissions doivent être munies d'un dispositif protecteur ou séparées des ouvriers, à moins qu'elles ne soient hors de portée de la main.

Il en est de même des courroies ou câbles traversant le sol d'un atelier ou fonctionnant sur des poulies de transmission placées à moins de 2 mètres du sol.

Le maniement à la main des courroies en marche doit être évité par des appareils adaptés aux machines ou mis à la disposition du personnel.

CHAPITRE VIII

RELATIONS AVEC L'INSPECTION DU TRAVAIL

REGISTRES

- 1° Registre d'inscription des enfants de moins de dix-huit ans;
- 2° Registre destiné à l'inscription des mises en demeure ou des observations faites par l'inspecteur du travail;
- 3° Registre indiquant la composition nominative des équipes.

AFFICHES

- 1° Loi de 1898 sur les accidents dont les ouvriers sont victimes dans leur travail;
- 2° Décret du 28 décembre 1909 sur les charges qui peuvent être trainées, portées ou poussées par les enfants et les femmes;
- 3° Décret du 21 mars 1914 sur les travaux dangereux pour les enfants et les femmes;
- 4° Noms et adresses des inspecteurs divisionnaire et départemental du travail;
- 5° Horaire du travail;
- 6° Tableau d'envoi à l'Inspecteur du Travail des avis de dérogations;
- 7° Tableau indiquant le personnel auquel s'appliquent les dérogations permanentes;
- 8° Affiche indiquant le jour du repos hebdomadaire ou la fraction de jour lorsque ce repos est donné collectivement à tout ou partie du personnel;
- 9° Avis indiquant la capacité en mètres cubes de chaque local de travail;
- 10° Consigne pour le cas d'incendie.

DOCUMENTS A ENVOYER A L'INSPECTEUR DU TRAVAIL

- 1° Duplicata de l'horaire affiché;
- 2° Demande de récupération d'heures perdues par suite de chômage collectif;
- 3° Tableau des dérogations permanentes;
- 4° Avis de récupération d'heures perdues par suite d'accidents, de cas de force majeure : accidents au matériel, interruption de force motrice, sinistres, etc.
- 5° Consignés en cas d'incendie;
- 6° Liste des chantiers temporaires occupant au moins dix ouvriers pendant plus d'une semaine.

DEUXIÈME PARTIE. — LÉGISLATION SPÉCIALE

DURÉE DU TRAVAIL

(Décret du 9 août 1920, modifié le 2 avril 1926.)

ART. 1^{er}. — Les dispositions du présent décret sont applicables dans tous les établissements ou parties d'établissements où s'exercent les industries ci-après énumérées: Métallurgie; — Hauts fourneaux, aciéries; — Fonderies de cuivre, plomb, zinc, nickel, aluminium, antimoine, étain, argent, or, platine, bronze, maillechort, laiton, ferro-alliages et autres alliages; — Electro-métallurgie et électrochimie; — Laminoirs, forges, étirage, emboutissage, estampage des métaux, taillanderie, tréfilerie; — Fabriques de quincaillerie, tôlerie, boulonnerie, serrurerie, coutellerie et de tous objets en fer et en acier; — Découpage, décolletage de tous métaux; — Polissage et repoussage de tous métaux; — Fonderies de deuxième fusion; — Construction de navires, de bateaux en fer et en acier, de machines marines; — Construction mécanique et métallique, chaudronnerie, soudure autogène; — Construction automobile; — Construction aéronautique; — Construction de matériel roulant de voies ferrées; — Construction, montage de matériel et d'appareils électriques; — Fabriques de tous instruments de précision, d'optique, de chirurgie, d'appareils orthopédiques; — Fabriques de tous appareils et articles en fer-blanc, cuivre, plomb, zinc, nickel, aluminium, antimoine, étain, maillechort, laiton, ferro-alliages et autres alliages; — Traitement des résidus métalliques. Les dispositions du présent décret sont également applicables aux ouvriers et employés occupés par les établissements où s'exercent les industries ci-dessus énumérées, même dans le cas où leurs professions ne ressortissent pas à ces industries, lorsque le travail de ces ouvriers et employés a pour objet exclusif l'entretien ou le fonctionnement desdits établissements et de leurs dépendances. — Les dispositions du présent décret sont également applicables au personnel des stations centrales (force, lumière, eau, gaz, air comprimé) annexées et appartenant aux établissements où s'exercent les industries ci-dessus énumérées. — Les établissements de forge et serrurerie occupant moins de cinq ouvriers ne sont pas visés par les dispositions du présent décret.

ART. 2. — Les établissements ou parties d'établissement visés à l'article 1^{er} devront, pour l'application de la loi du 23 avril 1919, choisir l'un des modes de limitation du travail effectif à raison de

huit heures par chaque jour ouvrable de la semaine ; — 2° Répartition inégale entre les jours ouvrables des quarante-huit heures de travail effectif de la semaine, avec maximum de neuf heures par jour, afin de permettre le repos de l'après-midi du samedi ou toute autre modalité équivalente. En cas d'organisation du travail par équipes successives, le travail de chaque équipe sera continu, sauf l'interruption pour les repos. L'organisation du travail par relais est interdite. Toutefois elle pourra être autorisée par arrêté ministériel, après consultation des organisations patronales et ouvrières intéressées, dans les industries ou les fabrications où cette organisation sera justifiée par des raisons techniques. — A la demande d'organisations patronales ou ouvrières de la profession, de la localité ou de la région, des arrêtés ministériels pourront, après consultation de toutes les organisations intéressées, et en se référant là où il en existe aux accords intervenus entre elles, autoriser, par dérogation aux régimes visés aux 1^{er} et 2^o du premier alinéa et à titre provisoire, un régime équivalent basé sur une autre période de temps à la condition que la durée du travail ne dépasse pas dix heures, ou remplacer le repos de l'après-midi du samedi par un repos d'une demi-journée un autre jour de la semaine. Ledit régime ne pourra être établi à titre définitif que par voie de règlement d'administration publique — Si des organisations patronales ou ouvrières de la profession, dans une localité ou dans une région, demandent qu'il soit fixé un régime uniforme de répartition du travail pour tous les établissements de la profession dans la localité ou dans la région, il sera statué sur la demande, par décret portant règlement d'administration publique après consultation de toutes les organisations intéressées et en se référant aux accords intervenus entre elles s'il en existe.

ART. 3. — En cas d'interruption collective du travail résultant de causes accidentelles ou de force majeure (accidents survenus au matériel, interruption de force motrice, sinistres), une prolongation de la journée de travail pourra être pratiquée à titre de récupération des heures de travail perdues dans les conditions ci-après :

a) En cas d'interruption d'une journée au plus, la récupération pourra s'effectuer dans un délai maximum de quinze jours à dater du jour de la reprise du travail ; — b) En cas d'interruption d'une semaine au plus, la récupération pourra s'effectuer dans un délai maximum de cinquante jours à dater du jour de la reprise du travail ; — c) En cas d'interruption excédant une semaine, la récupération ne pourra s'effectuer au delà de la limite indiquée à l'alinéa précédent sans autorisation écrite de l'inspecteur départemental du travail, donnée après consultation des organisations patronales et ouvrières intéressées. — En cas d'interruption collective de travail un autre jour que celui du repos hebdomadaire, en raison des jours fériés légaux, IRIS - LILLIAD - Université Lille 1 événements locaux,

la récupération des heures de travail perdues pourra être autorisée par l'inspecteur départemental du travail après consultation des organisations patronales et ouvrières intéressées. — Dans les ateliers et chantiers de constructions navales, et de constructions métalliques où les intempéries provoquent des chômages, la récupération des heures perdues pour cette cause pourra être autorisée par l'inspecteur départemental du travail après consultation des organisations patronales et ouvrières intéressées. — La récupération des heures de travail perdues par suite des mortes-saisons dans l'industrie de la construction et de la réparation des machines agricoles pourra être autorisée par l'inspecteur départemental du travail jusqu'à concurrence de cent heures par an, après consultation des organisations patronales et ouvrières intéressées. — La faculté de récupération prévue aux deux alinéas précédents pourra être étendue, à titre provisoire, par arrêtés ministériels, à d'autres industries soumises à des intempéries ou à des mortes-saisons, lorsqu'un accord sera intervenu à ce sujet entre les organisations patronales et ouvrières intéressées. Ledit régime ne pourra être établi à titre définitif que par voie de règlement d'administration publique. — L'augmentation exceptionnelle prévue à titre de récupération ne peut avoir en aucun cas pour effet de porter la durée journalière du travail à plus de dix heures. — Dans les établissements où le régime hebdomadaire de travail comporte un repos d'une demi-journée par semaine, soit le samedi, soit tout autre jour de la semaine, comme il est prévu au paragraphe 4 de l'art. 2, la récupération pourra se faire par suspension de ce repos d'une demi-journée. — Le chef d'établissement qui veut faire usage des facultés de récupération prévues dans le présent article doit, soit dans l'avis, soit dans la demande d'autorisation qu'il devra adresser à l'inspecteur départemental du travail, indiquer la nature, la cause et la date de l'interruption collective de travail, le nombre d'heures de travail perdues, les modifications qu'il se propose d'apporter temporairement à l'horaire en vue de récupérer les heures perdues ainsi que le nombre de personnes auxquelles s'applique cette modification.

ART. 4. — Dans chaque établissement ou partie d'établissement, les ouvriers et employés ne pourront être occupés que conformément aux indications d'un horaire précisant pour chaque journée et éventuellement pour chaque semaine, ou pour toute autre période de temps dans le cas d'application du paragraphe 3 de l'art. 2, la répartition des heures de travail. — Cet horaire, établi suivant l'heure légale, fixera les heures auxquelles commencera et finira chaque période de travail, et en dehors desquelles aucun ouvrier ou employé ne pourra être occupé, ainsi que la durée des repos. Le total des heures comprises dans les périodes de travail ne devra pas excéder les limites fixées par l'art. 2. — Des heures différentes de travail et

de repos pourront être prévues pour les catégories de travailleurs auxquelles s'appliquent des dérogations prévues par l'art. 5. — Cet horaire daté et signé par le chef d'entreprise ou sous la responsabilité de celui-ci par la personne à laquelle il aura délégué ses pouvoirs à cet effet sera affiché en caractères lisibles et apposé de façon apparente dans chacun des lieux de travail auxquels il s'applique. — Un double de l'horaire et des rectifications qui y seraient apportées éventuellement devra être préalablement adressé à l'Inspecteur départemental du travail. — En cas d'organisation du travail par équipes, la composition nominative de chaque équipe sera indiquée soit par un tableau affiché, soit par un registre spécial tenu constamment à jour et mis à la disposition du Service de l'Inspection du travail.

ART. 5. — La durée du travail effectif journalier peut, pour les travaux désignés au tableau ci-dessous et conformément à ses indications, être prolongée au delà des limites fixées pour le travail de l'ensemble de l'établissement :

1^o Travail des ouvriers spécialement employés à la conduite des fours, fourneaux, étuves, sécheries, ou chaudières autres que les générateurs pour machines motrices, à la préparation des bains de décapage, au chauffage des cuves et bacs, sous la condition que ce travail ait un caractère purement préparatoire ou complémentaire et ne constitue pas un travail fondamental de l'établissement.

Travail des mécaniciens, des électriciens, des chauffeurs employés au service de la force motrice, de l'éclairage, du chauffage et du matériel de levage ;

2^o Dans les fonderies de deuxième fusion, sous la condition que le travail ait, comme il est dit à l'alinéa précédent, un caractère purement préparatoire ou complémentaire ;

a) Démoulage des pièces le soir de la coulée ou le lendemain matin, quand ce travail est indispensable pour libérer le matériel nécessaire à la reprise du moulage ou pour obtenir la réussite d'une pièce ;

b) Remoulage des pièces pour la coulée du jour quand techniquement il a été impossible de le faire la veille ;

Une heure et demie au maximum.

Deux heures le lendemain de chaque journée de chômage.

Une heure au maximum.

3° Travail des ouvriers employés d'une façon courante ou exceptionnelle pendant l'arrêt de la production à l'entretien et au nettoyage des machines, fours, métiers et tous autres appareils que la connexité des travaux ne permettrait pas de mettre isolément au repos pendant la marche générale de l'établissement;

4° Travail d'un chef d'équipe ou d'un ouvrier spécialiste dont la présence est indispensable à la marche d'un atelier ou au fonctionnement d'une équipe dans le cas d'absence inattendue de son remplaçant et en attendant l'arrivée d'un autre remplaçant;

5° Travail d'un chef d'équipe ou d'un ouvrier spécialiste dont la présence est indispensable pour coordonner le travail de deux équipes qui se succèdent;

6° Travail des ouvriers spécialement employés, soit au service des fours, soit au service du mouvement et de la traction, soit à d'autres travaux, quand le service ou les travaux doivent rester continus pendant plus d'une semaine;

7° Travail des ouvriers spécialement employés soit à des opérations de métallurgie (1^{re} et 2^e fusions, forgeage, laminage des métaux et opérations connexes), soit à d'autres opérations qui, techniquement, ne peuvent être arrêtées à volonté lorsque les unes et les autres n'ont pu être terminées dans les délais réglementaires par suite de leur nature ou de circonstances exceptionnelles;

8° Travail des ouvriers de deuxième fusion spécialement affectés au service de l'allumage des appareils de fusion les jours de coulée;

9° Travail du personnel de maîtrise et des chefs d'équipe pour la préparation des travaux exécutés par l'établissement;

10° Travail du personnel de maîtrise, des chefs d'équipe et des ouvriers affectés spécialement aux études, aux essais, à la

Une heure au maximum avec faculté de faire travailler ces ouvriers dix heures les jours de chômage normal de l'établissement et les veilles desdits jours.

Durée de l'absence du remplaçant.

Une demie-heure au maximum.

Faculté illimitée le jour où s'opère le décalage destiné à permettre l'alternance des équipes, cette alternance ne pouvant avoir lieu qu'à une semaine d'intervalle au moins.

Deux heures au maximum; pour la métallurgie six heures la veille de tout jour de chômage.

Deux heures au maximum.

Deux heures au maximum.

Deux heures au maximum.

mise au point de nouveaux types et à la réception de tous appareils ;

11° Dans l'industrie de la soudure autogène, travail des ouvriers préposés au service des appareils à acétylène :

Une heure par jour

12° Travail du personnel occupé aux travaux de chargement et de déchargement des wagons ou bateaux dans le cas où la dérogation serait nécessaire et suffisante pour permettre l'achèvement desdits travaux dans les délais de rigueur.

Deux heures au maximum.

13° Travail des surveillants, gardiens, personnel d'aérodromes, aiguilleurs, personnel occupé au service des chemins de fer dans les établissements ne travaillant pas de façon continue, conducteurs d'automobile, charretiers, livreurs, magasiniers, service d'incendie, basculeurs, préposés au pesage des wagons, camions et voitures.

Quatre heures au maximum sans que l'usage de cette dérogation puisse avoir pour effet de réduire à moins de douze heures la durée du repos ininterrompu entre deux journées de travail.

Préposés au service médical et autres institutions créées en faveur des ouvriers et employés de l'établissement et de leurs familles ;

14° Pointeurs, garçons de bureau et agents similaires ;

15° Personnel affecté au nettoyage des locaux.

Une heure au maximum.

Pour les spécialistes travaillant dans les usines à feu continu et appartenant aux catégories énumérées dans le décret du 31 août 1910, ainsi que pour le personnel des stations centrales, visées à l'avant-dernier alinéa de l'art. 1^{er} du présent décret, la durée hebdomadaire moyenne du travail sera de cinquante-six heures. — Les ouvriers spécialement affectés, dans les services énumérés audit décret du 31 août 1910, aux travaux d'entretien des appareils seront assimilés, pour l'application du présent décret, aux spécialistes de ces services. — Les dérogations énumérées dans le présent article sont applicables exclusivement aux hommes adultes, à l'exception de celles visées sous les nos 4, 5, 9, 10, 13, 14 et 15 du premier alinéa, qui sont applicables au personnel adulte de l'un et l'autre sexe.

ART. 6. — La durée du travail effectif peut être, à titre temporaire, prolongée au delà des limites fixées par l'art. 2 du présent décret, dans les conditions suivantes :

1° Travaux urgents dont l'exécution immédiate est nécessaire pour prévenir des accidents imminents, organiser des mesures de sauvetage ou réparer des accidents survenus soit au matériel, soit aux installations, soit aux bâtiments de l'établissement, soit aux navires en partance dans un délai de quarante-huit heures ;

2° Travaux exécutés dans l'intérêt de la sûreté et de la défense nationales ou d'un service public sur un ordre du Gouvernement constatant la nécessité de la dérogation ;

3° Travaux urgents auxquels l'établissement doit faire face (surcroît extraordinaire de travail).

Faculté illimitée pendant un jour au choix de l'industriel ; les jours suivants, deux heures au delà de la limite assignée au travail général de l'établissement.

Limite à fixer dans chaque cas de concert entre le Ministère du Travail et le Ministère qui ordonne les travaux.

Maximum : cent heures par an.

Toutefois, l'Inspecteur départemental du travail pourra après consultation des organisations patronales et ouvrières intéressées, autoriser des heures supplémentaires dont le nombre total ne pourra excéder quarante par an, en compensation des heures perdues par suite de chômage collectif résultant de l'observation des fêtes locales ou autres événements locaux consacrés par l'usage.

Pour les années 1926 et 1927, les établissements de serrurerie, forge et charronnage ne comptant pas plus de cinq ouvriers et établis dans des communes comptant moins de 5.000 habitants bénéficieront, en outre, d'un crédit exceptionnel de cinquante heures supplémentaires.

En aucun cas, la durée du travail journalier ne pourra dépasser dix heures.

ART. 7. — Le bénéfice des dérogations permanentes est acquis de plein droit aux chefs d'établissement, sous réserve d'accomplissement des formalités prévues à l'art. 4 du présent décret. Tout chef d'établissement qui veut user des facultés prévues à l'art. 6 du présent décret sera tenu d'adresser préalablement à l'inspecteur départemen-

tal du travail une déclaration datée spécifiant la nature et la cause de la dérogation, le nombre d'ouvriers (enfants, femmes, hommes) pour lesquels la durée du travail sera prolongée, les heures de travail et de repos prévues pour ces ouvriers, la durée évaluée en jours et en heures de la dérogation. — Le chef d'établissement doit, en outre, tenir à jour un tableau sur lequel seront inscrites, au fur et à mesure de l'envoi des avis à l'inspecteur du travail, les dates des jours où il sera fait usage des dérogations, avec indication de la durée de ces dérogations. Ce tableau sera affiché dans l'établissement, dans les conditions déterminées à l'art. 4 du présent décret au sujet de l'horaire, et il y restera apposé du 1^{er} janvier de l'année courante au 15 janvier de l'année suivante.

ART. 8. — Les heures de travail effectuées par application des dérogations prévues au 3^e de l'article 6 du présent décret sont considérées comme heures supplémentaires et payées conformément aux usages en vigueur pour les heures de travail effectuées en dehors de la durée normale.

ART. 9. — Les dispositions du présent règlement s'appliqueront à l'ensemble du territoire français et entreront en vigueur quinze jours après sa publication au *Journal officiel*.

REPOS HEBDOMADAIRE

(Extrait du livre II du Code du travail.)

ART. 40. — En cas de travaux urgents, dont l'exécution immédiate est nécessaire pour organiser des mesures de sauvetage, pour prévenir des accidents imminents ou réparer des accidents survenus au matériel, aux installations ou aux bâtiments de l'établissement, le repos hebdomadaire peut être suspendu pour le personnel nécessaire à l'exécution des travaux urgents. — Cette faculté de suspension s'applique non seulement aux ouvriers de l'entreprise où les travaux urgents sont nécessaires, mais aussi à ceux d'une autre entreprise faisant les réparations pour le compte de la première. Dans cette seconde entreprise, chaque ouvrier doit jouir d'un repos compensateur d'une durée égale au repos supprimé. Ces dérogations prévues par le présent article ne s'appliquent pas aux enfants de moins de dix-huit ans et aux filles mineures.

ART. 41. — Dans tout établissement qui a le repos hebdomadaire au même jour pour tout le personnel, ce repos peut être réduit à une demi-journée pour les personnes employées à la conduite des générateurs et des machines motrices, au graissage et à la visite des transmissions, des appareils de levage, des appareils de transport, des ateliers, magasins ou bu-

reaux ainsi que pour les gardiens et concierges. Cette dérogation n'est pas applicable aux enfants de moins de dix-huit ans et aux filles mineures.

ART. 47. — Les industries qui ont à répondre, à certains moments, à un surcroît extraordinaire de travail et qui ont fixé le repos hebdomadaire au même jour pour tout le personnel peuvent suspendre ce repos quinze fois par an ; mais l'employé ou l'ouvrier doit jouir au moins de deux jours de repos par mois.

ART. 52. — Les enfants, ouvriers ou apprentis âgés de moins de dix-huit ans et les femmes ne peuvent être employés dans les établissements qui nous concernent les jours de fête reconnus par la loi, même pour rangement d'atelier.

ART. 54. — Les enfants placés en apprentissage chez un fabricant, un chef d'atelier ou un ouvrier ne peuvent être tenus dans aucun cas, vis-à-vis de leur maître, à aucun travail de leur profession, les dimanches et jours de fêtes reconnues ou légales.

Repos par roulement.

Sont admis à donner le repos hebdomadaire par roulement dans les établissements industriels :

Le service de transport pour livraisons ;

Le service préventif contre l'incendie ;

Le service des soins aux chevaux et animaux de trait ;

Le service des travaux de désinfection ;

— Les établissements qui, fonctionnant de jour et de nuit à l'aide d'équipes alternantes, auront suspendu pendant douze heures consécutives au moins chaque dimanche les travaux autres que ceux visés à l'art. 4 et à l'art. 5, paragraphe 1^{er} de la loi du 13 juillet 1906.

EMPLOI DES ENFANTS ET DES FEMMES

(Extrait du Décret du 21 mars 1914).

Il est interdit d'employer les enfants âgés de moins de dix-huit ans et les femmes au graissage, au nettoyage, à la visite ou à la réparation des machines ou mécanismes en marche.

Il est interdit d'employer les enfants âgés de moins de dix-huit ans et les femmes dans les locaux où se trouvent des machines actionnées à la main ou par un moteur mécanique, dont les parties dangereuses ne sont point couvertes de couvre-engrenages, garde-mains et autres organes protecteurs.

Les enfants âgés de moins de dix-huit ans ne peuvent faire tourner des appareils en sautillant sur une pédale. Ils ne peuvent également être employés à faire tourner des roues horizontales.

Ceux de moins de seize ans ne peuvent être :

Employés à actionner au moyen de pédales les métiers dits à la main ;

Employés au travail des cisailles et autres lames tranchantes mécaniques ;

Employés à tourner des roues verticales que pendant une durée d'une demi-journée de travail divisée par un repos d'une demi-heure au moins ;

Employés au service des robinets à vapeur.

Travaux interdits aux enfants âgés de moins de dix-huit ans et aux femmes.

Aiguisage et polissage des métaux.

Travaux autorisés sous certaines conditions aux enfants âgés de moins de dix-huit ans et aux femmes.

Enfants âgés de moins de dix-huit ans. — Cuivre (trituration des composés du).

Enfants âgés de moins de dix-huit ans et les femmes. — Cuivre (dérochage du) par les acides ; — Email (application de l') sur les métaux ; — Emaux (fabrication d') avec fours non fumivores ; — fer (dérochage du) ; — fer (galvanisation du).

Pour que ces travaux soient autorisés, il faut que les poussières et les vapeurs ne se dégagent pas librement dans les ateliers.

Limite des charges qui peuvent être portées, traînées ou poussées par les enfants et les femmes. (*Extrait du Décret du 28 décembre 1909.*)

1° Port des fardeaux.

Garçons ou hommes :

Au-dessous de 14 ans.....	10 kilogrammes
De 14 ou 15 ans.....	15 —
De 16 ou 17 ans.....	20 —

Filles ou femmes :

Au-dessous de 14 ans.....	5 —
De 14 ou 15 ans.....	8 —
De 16 ou 17 ans.....	10 —
De 18 ans et au-dessus.....	25 —

2° Transport par wagonnets circulant sur voie ferrée.

Garçons ou hommes :

Au-dessous de 14 ans.....	300 kilogrammes (véhicule compris)
De 14, 15, 16 ou 17 ans.....	500 — —

Filles ou femmes :

Au-dessous de 16 ans.....	150 — —
De 16 ou 17 ans.....	300 — —
De 18 ans et au-dessus.....	600 — —

3° *Transport sur brouettes.*

Garçons ou hommes :

De 14, 15, 16 ou 17 ans..... 40 kilogrammes (véhicule compris)

Filles ou femmes :

De 18 ans et au-dessus 40 — —

4° *Transport sur véhicules à 3 ou 4 roues, dits « placières, pousseuses, pousse-à-main », etc.*

Garçons ou hommes :

Au-dessous de 14 ans..... 35 kilogrammes (véhicule compris)

De 14, 15, 16 ou 17 ans..... 60 — —

Filles ou femmes :

Au-dessous de 16 ans..... 35 — —

De 16 ans et au-dessus..... 60 — —

5° *Transport sur charrettes à bras à 2 roues, dites « haquets, brancards, charretons, voitures à bras », etc.*

Garçons ou hommes :

De 14, 15 16 ou 17 ans..... 130 kilogrammes (véhicule compris)

Filles ou femmes :

De 18 ans et au-dessus..... 30 — —

6° *Transport sur tricycles porteurs à pédales.*

Garçons ou hommes :

De 14 ou 15 ans..... 50 kilogrammes (véhicule compris)

De 16 à 17 ans..... 75 — —

Il est interdit de faire porter, pousser ou traîner une charge quelconque [par des femmes dans les trois semaines qui suivent leurs couches. L'interdiction ne s'applique que lorsque l'intéressée a fait connaître au chef de l'établissement la date de ses couches.

Le transport sur brouettes et sur charrettes à bras à deux roues est interdit aux garçons de moins de quatorze ans ainsi qu'aux filles et femmes de moins de dix-huit ans.

Le transport sur tricycles porteur à pédales est interdit aux garçons de moins de quatorze ans et aux femmes de tout âge.

HYGIÈNE ET SÉCURITÉ DES TRAVAILLEURS*(Extrait du décret du 10 juillet 1913).*

ART. 1^{er}. — Les emplacements affectés au travail dans les établissements visés par l'art. 1^{er} de la loi du 12 juin 1893, modifiée par la loi du 11 juillet 1903, seront tenus en un état constant de propreté. — Le sol sera nettoyé à fond au moins une fois par jour avant l'ouverture

ou après la clôture du travail, mais jamais pendant le travail. — Ce nettoyage sera fait soit par un lavage, soit à l'aide de brosses ou de linges humides si les conditions de l'exploitation ou de la nature du revêtement du sol s'opposent au lavage. Les murs et les plafonds seront l'objet de fréquents nettoyages; les enduits seront refaits toutes les fois qu'il sera nécessaire.

ART. 3. — L'atmosphère des ateliers et de tous les autres locaux affectés au travail sera tenue constamment à l'abri de toute émanation provenant d'égouts, fosses, puisards, fosses d'aisances ou de toute autre source d'infection. — Dans les établissements qui déverseront les eaux résiduaires ou de lavage dans un égout public ou privé, toute communication entre l'égout et l'établissement sera munie d'un intercepteur hydraulique fréquemment nettoyé et abondamment lavé au moins une fois par jour. — Les éviers seront formés de matériaux imperméables et bien joints; ils présenteront une pente dans la direction du tuyau d'écoulement et seront aménagés de façon à ne dégager aucune odeur. Les travaux dans les puits, conduites de gaz, canaux de fumée, fosses d'aisances, cuves ou appareils quelconques pouvant contenir des gaz délétères ne seront entrepris qu'après que l'atmosphère aura été assainie par une ventilation efficace. Les ouvriers appelés à travailler dans ces conditions seront attachés par une ceinture de sûreté.

ART. 5. — Les locaux fermés affectés au travail ne seront jamais encombrés. Le cube d'air par personne employée ne pourra être inférieur à 7 mètres cubes. Pendant un délai de trois ans, à dater de la promulgation du présent décret, ce cube pourra n'être que de 6 mètres. — Le cube d'air sera de 10 mètres au moins par personne employée dans les laboratoires, cuisines, chais; il en sera de même dans les magasins, boutiques et bureaux ouverts au public. — Un avis affiché dans chaque local de travail indiquera sa capacité en mètres cubes. — Les locaux fermés affectés au travail seront largement aérés et, en hiver, convenablement chauffés. — Ils seront munis de fenêtres ou autres ouvertures à châssis mobiles donnant directement sur le dehors. L'aération sera suffisante pour empêcher une élévation exagérée de température. Ces locaux, leurs dépendances et notamment les passages et escaliers seront convenablement éclairés. — Les gardiens de chantiers devront disposer d'un abri et, pendant l'hiver, de moyens de chauffage.

ART. 6. — Les poussières ainsi que les gaz incommodes, insalubres ou toxiques seront évacués directement au dehors des locaux de travail au fur et à mesure de leur production. — Pour les buées, vapeurs, gaz, poussières légères, il sera installé des hottes avec cheminées d'appel ou tout autre appareil d'élimination efficace. — Pour les poussières déterminées par les meules, les batteurs, les broyeurs et tous autres appareils mécaniques, il sera installé, autour des appa-

reils, des tambours en communication avec une ventilation aspirante énergique. — Pour les gaz lourds, tels que les vapeurs de mercure, de sulfure de carbone, la ventilation aura lieu *per descensum*; les tables ou appareils de travail seront mis en communication directe avec le ventilateur. — La pulvérisation des matières irritantes et toxiques ou autres opérations telles que le tamisage et l'embarillage de ces matières se feront mécaniquement en appareils clos. — L'air des ateliers sera renouvelé de façon à rester dans l'état de pureté nécessaire à la santé des ouvriers.

ART. 7. — Pour les industries désignées par arrêté ministériel, après avis du Comité consultatif des arts et manufactures, les vapeurs, les gaz incommodes et insalubres et les poussières seront condensés ou détruits.

ART. 9. — Pendant les interruptions de travail, l'air des locaux sera entièrement renouvelé.

ART. 10. — Les moteurs à vapeur, à gaz, les moteurs électriques, les roues hydrauliques, les turbines, ne seront accessibles qu'aux ouvriers affectés à leur surveillance. Ils seront isolés par des cloisons ou barrières de protection. — Les passages entre les machines, mécanismes, outils mus par ces moteurs auront une largeur d'au moins 80 centimètres : le sol des intervalles sera nivelé. — Les escaliers seront solides et munis de fortes rampes.

ART. 11. — Les monte-charges, ascenseurs, élévateurs seront guidés et disposés de manière que la voie de la cage du monte-charge et des contrepoids soit fermée; que la fermeture du puits à l'entrée des divers étages ou galeries s'effectue automatiquement; que rien ne puisse tomber du monte-charge dans le puits. — Pour les monte-charges destinés à transporter le personnel, la charge devra être calculée au tiers de la charge admise pour le transport des marchandises, et les monte-charges seront pourvus de freins, chapeaux, parachutes ou autres appareils préservateurs. — Les appareils de levage porteront l'indication du maximum de poids qu'ils peuvent soulever.

ART. 12. — Toutes les pièces saillantes mobiles et autres parties dangereuses des machines, et notamment les bielles, roues, volants, les courroies et câbles, les engrenages, les cylindres et cônes de friction ou tous autres organes de transmission qui seraient reconnus dangereux seront munis de dispositifs protecteurs, tels que gaines et chéneaux de bois ou de fer, tambours pour les courroies et les bielles, ou de couvre-engrenages, garde-mains, grillages. — Les machines-outils à instruments tranchants, tournant à grande vitesse, telles que machines à scier, fraiser, raboter, découper, hacher, les cisailles, coupe-chiffons et autres engins semblables seront disposés de telle sorte que les ouvriers ne puissent, de leur poste de travail, toucher involontairement les instruments tranchants. — Sauf le cas d'arrêt du moteur, le maniement des courroies sera toujours fait par le moyen de systèmes

telé que monte-courroie, porte-courroie, évitant l'emploi direct de la main. — On devra prendre autant que possible des dispositions telles qu'aucun ouvrier ne soit habituellement occupé à un travail quelconque dans le plan de rotation ou aux abords immédiats d'un volant, d'une meule ou de tout autre engin pesant et tournant à grande vitesse. — Toute meule tournant à grande vitesse devra être montée ou enveloppée de telle sorte qu'en cas de rupture, ses fragments soient retenus, soit par les organes de montage, soit par l'enveloppe. — Une inscription très apparente, placée auprès des volants, des meules et de tout autre engin pesant et tournant à grande vitesse, indiquera le nombre de tours par minute qui ne doit pas être dépassé.

ART. 13. — La mise en train et l'arrêt des machines devront être toujours précédés d'un signal convenu.

ART. 14. — L'appareil d'arrêt des machines motrices sera toujours placé sous la main des conducteurs qui dirigent ces machines, et en dehors de la zone dangereuse. — Les contremaîtres ou chefs d'atelier, les conducteurs de machines-outils, métiers, etc., auront à leur portée le moyen de demander l'arrêt des moteurs. — Chaque machine-outil, métier, etc., sera en outre installé et entretenu de manière à pouvoir être isolé par son conducteur de la commande qui l'actionne.

ART. 15. — Des dispositifs de sûreté devront être installés dans la mesure du possible pour le nettoyage et le graissage des transmissions et mécanismes en marche. — En cas de réparation d'un organe mécanique quelconque, son arrêt devra être assuré par un calage convenable de l'embrayage ou du volant; il en sera de même pour les opérations de nettoyage qui exigent l'arrêt des organes mécaniques.

ART. 16. — § a (*Sorties*). — Les portes des ateliers, bureaux et magasins de dépôt, où séjournent plus de dix employés ou ouvriers et, quelle que soit l'importance du personnel, les portes des ateliers, magasins, bureaux où sont manipulées des matières inflammables, celles des magasins de vente, doivent s'ouvrir de dedans en dehors, soit qu'elles assurent la sortie sur les cours, vestibules, couloirs, escaliers et autres dégagements intérieurs, soit qu'elles donnent accès à l'extérieur. Dans ce dernier cas, la mesure n'est obligatoire que lorsqu'elle est jugée indispensable à la sécurité. En cas de différend entre les chefs d'établissement et l'inspection du travail, il est statué par décision du Ministre du Travail. — Si les portes s'ouvrent sur un couloir ou un escalier, elles doivent être disposées de façon qu'une fois développées, elles ne soient en saillie sur ce dégagement que de leur épaisseur même. — Les sorties doivent être assez nombreuses pour permettre l'évacuation rapide de l'établissement, elles doivent être toujours libres et n'être jamais encombrées de marchandises, de matières en dépôts, ni d'objets quelconques. — Dans les établissements importants, des inscriptions bien visibles doivent indiquer le chemin vers la sortie la plus rapprochée. En outre, s'ils sont éclairés à la lumière électrique,

ils doivent comporter, en même temps, un éclairage de secours. — Dans les ateliers, magasins ou bureaux où sont manipulées des matières inflammables, aucun poste habituel de travail ne doit se trouver à plus de 10 mètres d'une sortie. Les portes de sortie qui ne servent pas habituellement de passages doivent, pendant les périodes de travail, pouvoir s'ouvrir très facilement de l'intérieur et être signalées par la mention « sortie de secours » inscrite en caractères bien visibles. — Dans les ateliers, magasins ou bureaux où sont manipulées des matières inflammables, si les fenêtres sont munies de grilles ou grillages, ces grilles ou grillages doivent pouvoir s'ouvrir très facilement de l'intérieur.

ART. 16. — § b (*Escaliers*). — Les escaliers desservant les locaux de travail sont construits en matériaux incombustibles, soit en bois hourdé de plâtre sur 3 centimètres au moins d'épaisseur, ou protégés par un revêtement d'une efficacité équivalente. — Le nombre de ces escaliers est calculé de manière que l'évacuation de tous les étages d'un corps de bâtiment contenant des ateliers puisse se faire immédiatement. — Tout escalier pouvant servir à assurer la sortie simultanée de vingt personnes au plus doit avoir une largeur minimum de 1 mètre ; cette largeur doit s'accroître de 15 centimètres pour chaque nouveau groupe du personnel employé, variant d'une à cinquante unités. — Une décision du Ministre du travail et de la prévoyance sociale, prise après avis du Comité consultatif des Arts et Manufactures, peut toujours, si la sécurité l'exige, prescrire un nombre minimum de deux escaliers. — La largeur minimum des passages ménagés à l'intérieur des pièces et celle des couloirs conduisant aux escaliers doivent être déterminées d'après la règle établie ci-dessus pour les escaliers. — Ces passages et ces couloirs doivent être libres de tout encombrement de meubles, sièges, marchandises ou matériel.

ART. 17. — § a (*Eclairage et chauffage*). — Il est interdit d'employer, pour l'éclairage et le chauffage, aucun liquide émettant, au-dessous de 35°, des vapeurs inflammables, à moins que l'appareil contenant le liquide ne soit solidement fixé pendant le travail ; la partie de cet appareil contenant le liquide doit être étanche, de manière à éviter tout suintement du liquide. Aux heures de présence du personnel, le remplissage des appareils d'éclairage ainsi que des appareils de chauffage à combustible liquide, soit dans les locaux de travail, soit dans les passages ou escaliers servant à la circulation, ne peut se faire qu'à la lumière du jour et à la condition qu'aucun foyer n'y soit allumé. — Les tuyaux de conduite amenant le gaz aux appareils d'éclairage et de chauffage doivent être soit en métal, soit enveloppés de métal, soit protégés efficacement par une matière incombustible. — Les flammes des appareils d'éclairage ou des appareils de chauffage portatifs devront être distantes de toute partie combustible de la construction, du mobilier ou des marchandises en dépôt d'au moins 1 mètre verti-

calement et d'au moins 30 centimètres latéralement ; des distances moindres pourront être tolérées en cas de nécessité en ce qui concerne les murs et plafonds, moyennant l'interposition d'un écran incombustible qui ne doit pas toucher la paroi à protéger. — Les appareils d'éclairage portatifs doivent avoir un support stable et solide. — Les appareils d'éclairage fixes ou portatifs doivent, si la nécessité en est reconnue, être pourvus d'un verre, d'un globe, d'un réseau de toile métallique ou de tout autre dispositif propre à empêcher la flamme d'entrer en contact avec des matières inflammables. — Tous les liquides inflammables, ainsi que les chiffons et cotons imprégnés de ces substances ou de substances grasses, doivent être enfermés dans des récipients métalliques, clos et étanches. — Ces récipients, ainsi que les gazomètres et les récipients pour l'huile, les essences et le pétrole lampant, doivent être placés dans des locaux séparés et jamais au voisinage des passages ou des escaliers. — Dans les établissements qui mettent en œuvre des courants électriques, les chefs d'établissement doivent, en outre, se conformer à toutes les prescriptions qui sont ou pourront être édictées par application de l'art. 3 (1) de la loi du 12 juin 1893, modifiée par la loi du 11 juillet 1903, pour la sécurité dans les établissements visés par le présent alinéa.

§ b (*Consignes pour le cas d'incendie*). — Les chefs d'établissement doivent prendre les précautions nécessaires pour que tout commencement d'incendie puisse être rapidement et efficacement combattu, dans l'intérêt du sauvetage du personnel. — Une consigne affichée dans chaque local de travail indique le matériel d'extinction et de sauvetage qui doit s'y trouver et les manœuvres à exécuter en cas d'incendie, avec le nom des personnes désignées pour y prendre part. — La consigne doit prescrire des visites et essais périodiques destinés à constater que le matériel est en bon état et que le personnel est préparé à en faire usage. — Cette consigne sera communiquée à l'inspecteur du travail ; le chef d'établissement veillera à son exécution.

ART. 18. — Les ouvriers et ouvrières qui ont à se tenir près des machines doivent porter des vêtements ajustés et non flottants.

(1) Article codifié dans l'art. 67 du livre II du Code du travail.

PARTIE COMMERCIALE

Liste, par spécialités, des principaux fournisseurs
de la Physique industrielle
(Voir les annonces aux pages indiquées.)

	Pages.
Air comprimé.	
C ^{ie} PARISIENNE DE L'AIR COMPRIMÉ, 3, rue de Liège, Paris-IX ^e	2
Appareils enregistreurs.	
MORIN (H.), 11, rue Dulong, Paris-XVII ^e	catalogue LXIV
Appareils de levage et de manutention.	
MORIN (H.), 11, rue Dulong, Paris-XVII ^e	catalogue LXIV
C ^{ie} PARISIENNE DE L'AIR COMPRIMÉ, 5, rue de Liège, Paris-IX ^e	2
Appareils de mesures.	
MAISON BRÉGUET, 19, rue Didot, Paris-XIV ^e . — <i>Service commercial</i> :	
34, rue de Châteaudun, Paris-IX ^e	4
MORIN (H.), 11, rue Dulong, Paris-XVII ^e	catalogue LXIV
SOCIÉTÉ ANONYME INTEGRA, 20, rue de la Vieille- Montagne, Liège (Belgique).....	garde IV et couv. 2
Bascules.	
MORIN (H.), 11, rue Dulong, Paris-XVII ^e	catalogue LXIV
Bâtiments industriels.	
DOUCE ET MOULIN, 64, rue Petit, Paris-XIX ^e	1
Calibres de précision.	
MORIN (H.), 11, rue Dulong, Paris-XVII ^e	catalogue LXIV
Camions automobiles.	
C. A. M. COMPAGNIE D'APPLICATIONS MÉCANIQUES, 15, avenue de la Grande-Armée, Paris-XVI ^e	garde I

Canalisation d'eau, gaz, air comprimé.C^{ie} PARISIENNE DE L'AIR COMPRIMÉ, 5, rue de Liège, Paris-IX^e..... 2**Compresseurs.**C^{ie} PARISIENNE DE L'AIR COMPRIMÉ, 5, rue de Liège, Paris-IX^e..... 2**Compteurs de tours.**MORIN (H.), 11, rue Dulong, Paris-XVII^e catalogue LXIV**Condenseurs.**MAISON BRÉGUET, 19, rue Didot, Paris-XIV^e. — *Service commercial* :
34, rue de Châteaudun, Paris-IX^e..... 4**Contrôle scientifique dans l'industrie**

ÉTABLISSEMENTS IZART à Sannois (S.-et-O.)..... 3

Dynamos.MAISON BRÉGUET, 19, rue Didot, Paris-XIV^e. — *Service commercial* :
34, rue de Châteaudun, Paris-IX^e..... 4**Écoles Industrielles.**DOUCE ET MOULIN, 64, rue Petit, Paris-XIX^e..... 1ÉCOLE DU GÉNIE CIVIL ET DE NAVIGATION, 152, avenue Wagram,
Paris-XVII^e couvert. 1**Éjecteurs.**C^{ie} PARISIENNE DE L'AIR COMPRIMÉ, 5, rue de Liège, Paris-IX^e..... 2**Ejectair.**MAISON BRÉGUET, 19, rue Didot, Paris-XIV^e. — *Service commercial* :
34, rue de Châteaudun, Paris-IX^e..... 4**Élévation des eaux.**C^{ie} PARISIENNE DE L'AIR COMPRIMÉ, 5, rue de Liège, Paris-IX^e..... 2**Enregistreurs**

ÉTABLISSEMENTS IZART à Sannois (S.-et-O.)..... 3

SOCIÉTÉ ANONYME INTEGRA, 20, rue de la Vieille-
Montagne, Liège (Belgique)..... garde IV et couv. 2

Fournitures générales pour usines.

MORIN (H.), 11, rue Dulong, Paris-XVII^e catalogue LXIV

Indicateur de niveau.

MORIN (H.), 11, rue Dulong, Paris-XVII^e catalogue LXIV

Indicateur de tirage.

SOCIÉTÉ ANONYME INTEGRA, 20 rue de la Vieille-Montagne, Liège (Belgique)..... \ garde IV et couv. 2

Ingénieurs.

ÉCOLE DU GÉNIE CIVIL ET DE NAVIGATION, 152, avenue Wagram, Paris-XVII^e couvert. 1

Installations d'ateliers et d'usines.

DOUCE ET MOULIN, 64, rue Petit, Paris-XIX^e..... 1
MORIN (H.), 11, rue Dulong, Paris-XVII^e LXIV

Instruments de dessin.

MORIN (H.), 11, rue Dulong, Paris-XVII^e catalogue LXIV

Manomètres.

MORIN (H.), 11, rue Dulong, Paris-XVII^e catalogue LXIV

Moteurs électriques.

MAISON BRÉGUET, 19, rue Didot, Paris-XIV^e. — *Service commercial* :
34, rue de Châteaudun, Paris-IX^e 4

Niveaux d'eau.

MORIN (H.), 11, rue Dulong, Paris-XVII^e catalogue LXIV

Outillage.

C^{te} PARISIENNE DE L'AIR COMPRIMÉ, 6, rue de Liège, Paris-IX^e..... 2

Pompes.

C^{te} PARISIENNE DE L'AIR COMPRIMÉ, 5, rue de Liège, Paris-IX^e..... 2

Pulsomètres.

MORIN (H.), 11, rue Dulong, Paris-XVII^e catalogue LXIV

Pyromètres

MORIN (H.), 11, rue Dulong, Paris-XVII^e catalogue LXIV

Règles à calcul.

MORIN (H.), 11, rue Dulong, Paris-XVII^e catalogue LXIV

Réservoirs d'eau.

C^{ie} PARISIENNE DE L'AIR COMPRIMÉ, 5, rue de Liège, Paris-IX^e..... 2

Robinetterie.

C^{ie} PARISIENNE DE L'AIR COMPRIMÉ, 5, rue de Liège, Paris-IX^e..... 2

Roulements à billes.

C. A. M. COMPAGNIE D'APPLICATIONS MÉCANIQUES, 15, avenue
de la Grande-Armée, Paris-XVI^e..... garde I

Transformateurs.

MAISON BRÉGUET, 19, rue Didot, Paris-XIV^e. — *Service commercial* :
34, rue de Châteaudun, Paris-IX^e..... 4

Trompes à vide.

C^{ie} PARISIENNE DE L'AIR COMPRIMÉ, 5, rue de Liège, Paris-IX^e..... 2

Turbines à vapeur.

MAISON BRÉGUET, 19, rue Didot, Paris-XIV^e. — *Service commercial* :
34, rue de Châteaudun, Paris-IX^e..... 4

Ventilateurs.

C^{ie} PARISIENNE DE L'AIR COMPRIMÉ, 5, rue de Liège, Paris-IX^e..... 2

Voitures automobiles.

C. A. M. COMPAGNIE D'APPLICATIONS MÉCANIQUES, 15, avenue
de la Grande-Armée, Paris-XVI^e..... garde I

ARITHMÉTIQUE.

Proportions.

$$a : b :: c : d, \frac{a}{b} = \frac{c}{d}, a = \frac{b \times c}{d}, ad = bc, \frac{a \pm b}{b} = \frac{c \pm d}{d},$$

$$\frac{a \pm c}{b \pm d} = \frac{a}{b} = \frac{c}{d}, \frac{a^n}{b^n} = \frac{c^n}{d^n}, \frac{\sqrt{a}}{\sqrt{b}} = \frac{\sqrt{c}}{\sqrt{d}}.$$

Progressions.

Progression arithmétique ou par différence. — La différence d'un terme quelconque avec le précédent est constante; cette différence prend le nom de *raison*. Soient a le premier terme; r , la raison; n , le nombre de termes.

On a : $a . a + r . a + 2r . a + 3r \dots a + (n - 1)r$
la valeur du dernier terme est : $t = a + (n - 1)r$,

$$\text{la somme des } n \text{ premiers termes, } s = \frac{a + t}{2} n$$

la raison de la progression formée en insérant m moyennes entre a et t :

$$r = \frac{t - a}{m + 1}.$$

Progression géométrique ou par quotient. — Le rapport d'un terme quelconque au précédent est constant; ce rapport prend le nom de *raison*. Soient a le premier terme; q , la raison; n , le nombre de termes.

On a :

$$a . aq . aq^2 . aq^3 \dots aq^{n-1}$$

la valeur du dernier terme est $t = aq^{n-1}$

$$\text{la somme des } n \text{ premiers termes, } s = a \frac{q^n - 1}{q - 1}$$

si la progression est croissante, et

$$s = a \frac{1 - q^n}{1 - q} \text{ si la progression est décroissante;}$$

la raison de la progression formée en insérant m moyennes entre a et t ,

$$q = \sqrt[m+1]{\frac{t}{a}}.$$

Sommes de quelques progressions. — La somme des n premiers nombres de 1 à n .

$$1 + 2 + 3 + 4 + \dots + (n - 1) + n = \frac{(1 + n)n}{2}.$$

La somme des n premiers nombres impairs de 1 à $(2n - 1)$,

$$1 + 3 + 5 + 7 + \dots + (2n - 3) + (2n - 1) = n^2.$$

La somme des n premiers nombres pairs jusqu'à $2n$,

$$2 + 4 + 6 + 8 + \dots + (2n - 2) + 2n = (1 + n)n,$$

La somme des carrés des n premiers nombres,

$$1^2 + 2^2 + 3^2 + 4^2 + \dots + (n - 1)^2 + n^2 = \frac{n(n + 1)(2n + 1)}{6}.$$

(C'est la formule qui permet de calculer les piles de boulets en forme de pyramide à base quadrangulaire.)

— II — TRIGONOMÉTRIE

FORMULES GÉNÉRALES

$$\sin^2 a + \cos^2 a = 1.$$

$$\operatorname{tg} a = \frac{\sin a}{\cos a}$$

$$\operatorname{cotg} a = \frac{\cos a}{\sin a}$$

$$\sin(a+b) = \sin a \cos b + \sin b \cos a$$

$$\sin(a-b) = \sin a \cos b - \sin b \cos a$$

$$\cos(a+b) = \cos a \cos b - \sin a \sin b$$

$$\cos(a-b) = \cos a \cos b + \sin a \sin b$$

$$\operatorname{tg}(a+b) = \frac{\operatorname{tg} a + \operatorname{tg} b}{1 - \operatorname{tg} a \operatorname{tg} b}$$

$$\operatorname{tg}(a-b) = \frac{\operatorname{tg} a - \operatorname{tg} b}{1 + \operatorname{tg} a \operatorname{tg} b}$$

$$\sin 2a = 2 \sin a \cos a$$

$$\cos 2a = \cos^2 a - \sin^2 a$$

$$\operatorname{tg} 2a = \frac{2 \operatorname{tg} a}{1 - \operatorname{tg}^2 a}$$

$$\sin \frac{a}{2} = \sqrt{\frac{1 - \cos a}{2}}$$

$$\cos \frac{a}{2} = \sqrt{\frac{1 + \cos a}{2}}$$

$$\cos a + \cos b = 2 \cos \frac{a+b}{2} \cos \frac{a-b}{2},$$

$$\cos a - \cos b = -2 \sin \frac{a+b}{2} \sin \frac{a-b}{2},$$

$$\sin a + \sin b = 2 \sin \frac{a+b}{2} \cos \frac{a-b}{2},$$

$$\sin a - \sin b = 2 \cos \frac{a+b}{2} \sin \frac{a-b}{2}.$$

RÉSOLUTION DES TRIANGLES

Triangles rectangles

Données :

$$A = 90^\circ$$

$$b = a \sin B$$

$$c = a \sin C$$

$$a = \sqrt{b^2 + c^2}.$$

Premier cas. — On donne a et C .

$$\log b = \log a + \log \sin B$$

$$\log c = \log a + \log \sin C$$

$$B = 90^\circ - C.$$

Deuxième cas. — On donne a et c

Troisième cas. — On donne b et C .

Quatrième cas. — On donne b et c

Triangles obliques

$$a = \frac{b \sin A}{\sin B} = \frac{c \sin A}{\sin C}, \quad b = \frac{a \sin B}{\sin A} = \frac{c \sin B}{\sin C}, \quad c = \frac{a \sin C}{\sin A} = \frac{b \sin C}{\sin B}.$$

Premier cas. — On donne a , B et A .

$$\log c = \log a + \log \sin C - \log \sin A.$$

$$C = 180 - (A + B)$$

$$\log b = \log a + \log \sin B - \log \sin A.$$

Deuxième cas. — On donne a, b et C : $\frac{A+B}{2} = 90^\circ - \frac{C}{2}$

$$\log \operatorname{tg} \frac{(A-B)}{2} = \log(a-b) + \log \cot \frac{C}{2} - \log(a+b),$$

$$\log c = \log a + \log \sin C - \log \sin A.$$

Troisième cas. — On donne a, b et c [$a+b+c=2p$]

$$\log \operatorname{tg} \frac{A}{2} = \frac{1}{2} [\log(p-b) + \log(p-c) - \log p - \log(p-a)]$$

$$\log \operatorname{tg} \frac{B}{2} = \frac{1}{2} [\log(p-a) + \log(p-c) - \log p - \log(p-b)]$$

$$\log \operatorname{tg} \frac{C}{2} = \frac{1}{2} [\log(p-a) + \log(p-b) - \log p - \log(p-c)]$$

Facteurs usuels

e = base des logarithmes népériens.

$$Lx = \frac{\log x}{\log e}$$

$$e = 2,718282, \quad \log e = 0,43429, \quad \frac{1}{e} = 0,367879, \quad \frac{1}{\log e} = 2,30259$$

π , rapport de la circonférence au diamètre.

$\pi = 3,141592$	$\log \pi = 0,49715$	$\frac{1}{\pi} = 0,318310$	$\log \frac{1}{\pi} = \bar{1},50285$
$\pi^2 = 9,869604$	$\log \pi^2 = 0,99430$	$\frac{1}{\pi^2} = 0,101321$	$\log \frac{1}{\pi^2} = \bar{1},00570$
$\pi^3 = 31,006276$	$\log \pi^3 = 1,49145$	$\frac{1}{\pi^3} = 0,032252$	$\log \frac{1}{\pi^3} = \bar{2},50855$
$\sqrt{\pi} = 1,772454$	$\log \sqrt{\pi} = 0,24857$	$\sqrt[3]{\pi} = 1,464592$	$\log \sqrt[3]{\pi} = 0,16572$
$\frac{2}{\pi} = 0,636620$	$\frac{\pi}{2} = 1,570796$	$\frac{3}{\pi} = 0,954929$	$\frac{\pi}{3} = 1,047197$

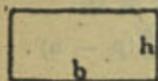
g , accélération d'un corps qui tombe dans le vide.

Valeur de g à Paris 9,80896 ou plus simplement 9,809; au pôle, 9,831; à l'équateur, 9,781; à Rome, 9,803.

$g = 9,80896$	$\log g = 0,99162$	$g^2 = 96,21569$	$\log g^2 = 1,98324$
$\frac{1}{g} = 0,10194$	$\log \frac{1}{g} = \bar{1},00838$	$\frac{1}{g^2} = 0,01039$	$\log \frac{1}{g^2} = \bar{2},01675$
$2g = 19,61792$	$\log 2g = 1,29265$	$\sqrt{g} = 3,13193$	$\log \sqrt{g} = 0,49581$
$\frac{1}{2g} = 0,05097$	$\log \frac{1}{2g} = \bar{2},70735$	$\frac{1}{\sqrt{g}} = 0,31929$	$\log \frac{1}{\sqrt{g}} = \bar{1},50419$
$2\sqrt{g} = 6,26386$	$\log 2\sqrt{g} = 0,79684$	$\sqrt{2g} = 4,42921$	$\log \sqrt{2g} = 0,64633$

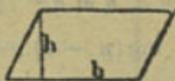
GÉOMÉTRIE

SURFACES



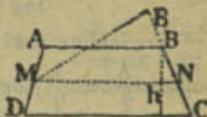
Rectangle

$$bh$$



Parallélogramme

$$bh$$



Trapeze

$$\frac{AB+CD}{2} \times h = MN \times h$$

ou bien

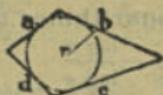
$$BC \times ME$$



Quadrilatère
inscriptible

$$\sqrt{(p-a)(p-b)(p-c)(p-d)} \quad pr$$

$$p = \frac{a+b+c+d}{2}$$

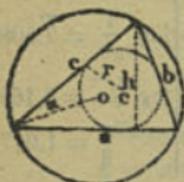


Quadrilatère
circonscriptible



Quadrilatère
quelconque

$$\frac{1}{2} mn \sin \alpha$$



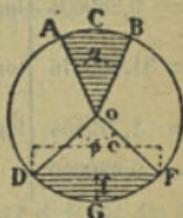
Triangle

$$p = \left(\frac{a+b+c}{2} \right)$$



Ellipse

$$\pi ab$$



Cercle

$$\pi R^2 = \frac{\pi D^2}{4} = 0,785 D^2$$

Secteur circulaire

$$\frac{\text{arc } ACB \times R}{2} \quad \text{ou} \quad \frac{\pi R^2 \alpha}{360}$$

α = nombre de degrés de l'arc ABC

Segment circulaire

$$\frac{\pi R^2 \beta}{360} - \frac{c}{2} (R - f)$$

β = nombre de degrés de l'arc DGF

1° $\frac{ah}{2}$

2° $\sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)}$

3° $\frac{abc}{4\alpha}$

4° pr

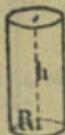
SURFACES (suite)

Polygones réguliers.

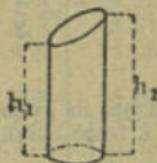


c , côté; R , rayon du cercle circonscrit; n , nombre de côtés;
 r , rayon du cercle inscrit; S , surface du polygone.
 Somme des angles d'un polygone: $2(n - 2)$ droits.

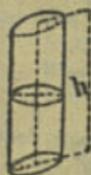
POLYGONES	R	r	c	S
Triangle.....	0.577 c	0.289 c	1.732 R ou 3.463 r	0.433 c ² ou 1.299 R ²
Carré.....	0.707 c	0.300 c	1.414 R » 2.000 r	1.000 c ² » 2.000 R ²
Pentagone...	0.851 c	0.688 c	1.176 R » 1.453 r	1.721 c ² » 2.378 R ²
Hexagone....	1.000 c	0.866 c	1.000 R » 1.155 r	2.598 c ² » 2.598 R ²
Heptagone...	1.152 c	1.038 c	0.868 R » 0.963 r	3.634 c ² » 2.736 R ²
Octogone....	1.307 c	1.207 c	0.765 R » 0.828 r	4.828 c ² » 2.828 R ²
Ennéagone...	1.462 c	1.374 c	0.684 R » 0.728 r	6.182 c ² » 2.892 R ²
Décagone....	1.618 c	1.530 c	0.618 R » 0.649 r	7.694 c ² » 2.939 R ²
Endécagone...	1.775 c	1.710 c	0.563 R » 0.587 r	9.366 c ² » 2.973 R ²
Dodécagone...	1.932 c	1.866 c	0.518 R » 0.536 r	11.19 c ² » 3.000 R ²



Cylindre droit à base circulaire
 aire latérale = $2\pi R h$
 aire totale = $2\pi R (R + h)$



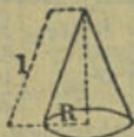
Cylindre droit à section oblique
 $S = \pi R (h_1 + h_2)$



Cylindre quelconque
 $S = Ch$
 C = circonférence de la section droite
 h = longueur des génératrices



Tronc de cône circulaire droit à bases parallèles
 Aire latérale = $\pi l (R + r)$.

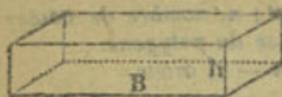


Cône droit à base circulaire
 Aire latérale = $\pi R l$
 Aire totale = $\pi R (R + l)$

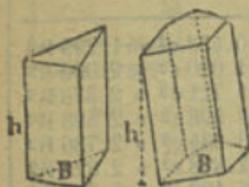


Sphère $4\pi R^2 = \pi D^2$
 Zone sphérique = $2\pi R h$

VOLUMES



Parallé-
pède rec-
tangle
 $V = B \times h$



Prisme droit -
ou oblique
 $V = B \times h$

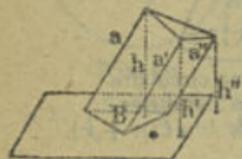


Pyramide
 $V = \frac{1}{3} Bh$



Tronc de pyramide
à bases parallèles
1° $V = \frac{1}{3} H(B + b + \sqrt{Bb})$
2° $V = \frac{BH}{3} (1 + k + k^2)$

(*k*, rapport d'un côté de la petite base au côté homologue de la grande)

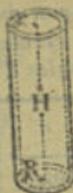


Tronc de
prisme
triangulaire

1° $V = \frac{B}{3} (h + h' + h'')$
2° $V = S \left(\frac{a + a' + a''}{3} \right) = Sz$

S, section droite

z, droite joignant les centres de gravité des deux bases



Cylindre droit à base
circulaire
 $V = \pi R^2 H = BH$



Cylindre creux
 $V = \pi H (R^2 - r^2)$

Onglet cylindrique
 $V = \frac{2}{3} R^2 h$



Cône
 $V = \frac{\pi R^2 H}{3}$
Tronc de cône
 $V = \frac{\pi H}{3} (R^2 + r^2 + Rr)$



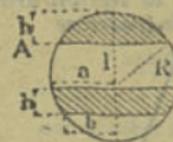
Tronc de cône de seconde
espèce
 $V = \frac{\pi H}{3} (R^2 + r^2 - Rr)$

Sphère = $\frac{4}{3} \pi R^3 = 4,189R^3$

Sphère creuse $V = \frac{4}{3} \pi (R^3 - r^3)$



Secteur sphérique
 $V = \frac{2}{3} \pi R^2 h$



Segment sphérique
à une base de rayon *a*
1° $V = \frac{1}{6} \pi h (h^2 + 3a^2)$
2° $V = \frac{1}{3} \pi h^2 (3R - h)$

Segment sphérique à deux bases
de rayons *a* et *b*

$V = \frac{1}{6} \pi h (3a^2 + 3b^2 + h^2)$

**Carrés, Cubes, Racines carrées, Racines cubiques
Circonférences, Surfaces
et Logarithmes des nombres ou diamètres de 1 à 105.**

Nombres <i>d</i>	Carrés	Cubes	Racine carrée	Racine cubique	Circon- férence	Surface	Logarith
	d^2	d^3	\sqrt{d}	$\sqrt[3]{d}$	πd	$\frac{1}{4} \pi d^2$	Log <i>d</i>
1	1	1	1.	1.	3,142	0,7854	0.0000
2	4	8	1.4142	1.2599	6,283	3,1416	0.3010
3	9	27	1.7321	1.4422	9,426	7,0686	0.4771
4	16	64	2.0000	1.5874	12,566	12,5664	0.6021
5	25	125	2.2361	1.7100	15,708	19,6350	0.6990
6	36	216	2.4495	1.8171	18,850	28,2743	0.7781
7	49	343	2.6458	1.9129	21,991	38,4845	0.8451
8	64	512	2.8284	2.0000	25,133	50,2655	0.9031
9	81	729	3.0000	2.0801	28,274	63,6173	0.9542
10	100	1000	3.1623	2.1544	31,416	78,5398	1.0000
11	121	1331	3.3166	2.2240	34,558	95,0332	1.0414
12	144	1728	3.4641	2.2894	37,699	113,097	1.0792
13	169	2197	3.6056	2.3513	40,841	132,732	1.1139
14	196	2744	3.7417	2.4101	43,982	153,938	1.1461
15	225	3375	3.8730	2.4662	47,124	176,715	1.1761
16	256	4096	4.0000	2.5198	50,265	201,062	1.2041
17	289	4913	4.1231	2.5713	53,407	226,980	1.2304
18	324	5832	4.2426	2.6207	56,549	254,469	1.2553
19	361	6859	4.3589	2.6684	59,690	283,529	1.2788
20	400	8000	4.4721	2.7144	62,832	314,159	1.3010
21	441	9261	4.5826	2.7589	65,973	346,361	1.3222
22	484	10648	4.6904	2.8020	69,115	380,133	1.3424
23	529	12167	4.7958	2.8439	72,257	415,476	1.3617
24	576	13824	4.8990	2.8845	75,398	452,389	1.3802
25	625	15625	5.0000	2.9240	78,540	490,874	1.3979
26	676	17576	5.0990	2.9625	81,681	530,929	1.4150
27	729	19683	5.1962	3.0000	84,823	572,555	1.4314
28	784	21952	5.2915	3.0366	87,965	615,752	1.4472
29	841	24389	5.3852	3.0723	91,106	660,520	1.4624
30	900	27000	5.4772	3.1072	94,248	706,858	1.4771
31	961	29791	5.5678	3.1414	97,389	754,768	1.4914
32	1024	32768	5.6569	3.1748	100,531	804,248	1.5051
33	1089	35937	5.7446	3.2075	103,673	855,299	1.5185
34	1156	39304	5.8310	3.2396	106,814	907,920	1.5315
35	1225	42875	5.9161	3.2711	109,956	962,113	1.5441

Nombres <i>d</i>	Carrés	Cubes	Racine carrée	Racine cubique	Circon- férence	Surface	Logarith Log <i>d</i>
	<i>d</i> ²	<i>d</i> ³	\sqrt{d}	$\sqrt[3]{d}$	πd	$\frac{1}{4} \pi d^2$	
36	1296	46656	6.0000	3.3019	113,097	1017,88	1.5563
37	1369	50653	6.0828	3.3322	116,239	1075,21	1.5682
38	1444	54872	6.1644	3.3620	119,381	1134,11	1.5798
39	1521	59319	6.2450	3.3912	122,522	1194,59	1.5911
40	1600	64000	6.3246	3.4200	125,66	1256,64	1.6021
41	1681	68921	6.4031	3.4482	128,81	1320,25	1.6128
42	1764	74088	6.4807	3.4760	131,95	1385,44	1.6232
43	1849	79507	6.5574	3.5034	135,09	1452,20	1.6335
44	1936	85184	6.6332	3.5303	138,23	1520,53	1.6434
45	2025	91125	6.7082	3.5569	141,37	1590,43	1.6532
46	2116	97336	6.7823	3.5830	144,51	1661,90	1.6628
47	2209	103823	6.8557	3.6088	147,65	1734,94	1.6721
48	2304	110592	6.9282	3.6342	150,80	1809,56	1.6812
49	2401	117649	7.0000	3.6593	153,94	1885,74	1.6902
50	2500	125000	7.0711	3.6840	157,08	1963,50	1.6990
51	2601	132651	7.1414	3.7084	160,22	2042,82	1.7076
52	2704	140608	7.2111	3.7325	163,36	2123,72	1.7160
53	2809	148877	7.2801	3.7563	166,50	2206,18	1.7243
54	2916	157464	7.3485	3.7798	169,65	2290,22	1.7324
55	3025	166375	7.4162	3.8030	172,79	2375,83	1.7404
56	3136	175616	7.4833	3.8259	175,93	2463,01	1.7482
57	3249	185193	7.5498	3.8485	179,07	2551,76	1.7559
58	3364	195112	7.6158	3.8709	182,21	2642,08	1.7634
59	3481	205379	7.6811	3.8930	185,35	2733,97	1.7708
60	3600	216000	7.7460	3.9149	188,50	2827,43	1.7781
61	3721	226981	7.8102	3.9365	191,64	2922,47	1.7853
62	3844	238328	7.8740	3.9579	194,78	3019,07	1.7924
63	3969	250047	7.9373	3.9791	197,92	3117,25	1.7993
64	4096	262144	8.0000	4.0000	201,06	3216,99	1.8062
65	4225	274625	8.0623	4.0207	204,20	3318,31	1.8129
66	4356	287496	8.1240	4.0412	207,35	3421,19	1.8195
67	4489	300763	8.1854	4.0615	210,49	3525,65	1.8261
68	4624	314432	8.2462	4.0817	213,63	3631,68	1.8325
69	4761	328509	8.3066	4.1016	216,77	3739,28	1.8388
70	4900	343000	8.3666	4.1213	219,91	3848,45	1.8451

Nombres <i>d</i>	Carrés d^2	Cubes d^3	Racine carrée \sqrt{d}	Racine cubique $\sqrt[3]{d}$	Circon- férence πd	Surface $\frac{1}{4} \pi d^2$	Logarith Log <i>d</i>
71	5041	357911	8.4261	4.1408	223,05	3959,19	1.8513
72	5184	373248	8.4853	4.1602	226,19	4071,50	1.8573
73	5329	389017	8.5440	4.1793	229,34	4185,39	1.8633
74	5476	405224	8.6023	4.1983	232,48	4300,84	1.8692
75	5625	421875	8.6603	4.2172	235,62	4417,86	1.8751
76	5776	438976	8.7178	4.2358	238,76	4536,46	1.8808
77	5929	456533	8.7750	4.2543	241,90	4656,63	1.8865
78	6084	474552	8.8318	4.2727	245,04	4778,36	1.8921
79	6241	493039	8.8882	4.2908	248,19	4901,67	1.8976
80	6400	512000	8.9443	4.3089	251,33	5026,55	1.9031
81	6561	531441	9.0000	4.3267	254,47	5153,00	1.9085
82	6724	551368	9.0554	4.3445	257,61	5281,02	1.9138
83	6889	571787	9.1104	4.3621	260,75	5410,61	1.9191
84	7056	592704	9.1652	4.3795	263,89	5541,77	1.9243
85	7225	614125	9.2195	4.3968	267,04	5674,50	1.9294
86	7396	636056	9.2736	4.4140	270,18	5808,80	1.9345
87	7569	658503	9.3274	4.4310	273,32	5944,68	1.9395
88	7744	681472	9.3808	4.4480	276,46	6082,12	1.9445
89	7921	704969	9.4340	4.4647	279,60	6221,14	1.9494
90	8100	729000	9.4868	4.4814	282,74	6361,73	1.9542
91	8281	753571	9.5394	4.4979	285,88	6503,88	1.9590
92	8464	778688	9.5917	4.5144	289,03	6647,61	1.9638
93	8649	804357	9.6437	4.5307	292,17	6792,91	1.9685
94	8836	830584	9.6954	4.5468	295,31	6939,78	1.9731
95	9025	857375	9.7468	4.5629	298,45	7088,22	1.9777
96	9216	884736	9.7980	4.5789	301,59	7238,23	1.9823
97	9409	912673	9.8489	4.5947	304,73	7389,81	1.9868
98	9604	941192	9.8995	4.6104	307,88	7542,96	1.9912
99	9801	970299	9.9499	4.6261	311,02	7697,69	1.9956
100	10000	1000000	10.0000	4.6416	314,16	7853,98	2.0000
101	10201	1030301	10.0498	4.6570	317,30	8011,85	2.0043
102	10404	1061208	10.0995	4.6723	320,44	8171,28	2.0086
103	10609	1092727	10.1488	4.6875	323,58	8332,29	2.0128
104	10816	1124864	10.1980	4.7026	326,73	8494,87	2.0170
105	11025	1157625	10.2469	4.7176	329,87	8659,01	2.0212

Arcs, Cordes, Flèches et Surfaces des segments pour $R = 1$.

Si $R = r$, la surface est proportionnelle à r^2 .

Degrés	Arcs	Cordes	Flèches	Surfaces des segments	Degrés	Arcs	Cordes	Flèches	Surfaces des segments
1	0.0175	0.0175	0.00004	0.00000	46	0.8029	0.7815	0.0793	0.04176
2	0.0349	0.0349	0.00015	0.00000	47	0.8303	0.7975	0.0829	0.04448
3	0.0524	0.0524	0.00034	0.00001	48	0.8378	0.8135	0.0865	0.04731
4	0.0698	0.0698	0.00061	0.00003	49	0.8552	0.8294	0.0900	0.05025
5	0.0873	0.0872	0.00095	0.00006	50	0.8727	0.8452	0.0937	0.05331
6	0.1047	0.1047	0.00137	0.00010	51	0.8901	0.8610	0.0974	0.05649
7	0.1222	0.1221	0.00187	0.00015	52	0.9076	0.8767	0.1012	0.05978
8	0.1396	0.1395	0.00244	0.00023	53	0.9250	0.8924	0.1051	0.06319
9	0.1571	0.1569	0.00308	0.00032	54	0.9425	0.9080	0.1090	0.06673
10	0.1745	0.1743	0.00381	0.00044	55	0.9599	0.9235	0.1130	0.07039
11	0.1920	0.1917	0.00460	0.00059	56	0.9774	0.9389	0.1171	0.07417
12	0.2094	0.2091	0.00548	0.00076	57	0.9948	0.9543	0.1212	0.07808
13	0.2269	0.2264	0.00643	0.00097	58	1.0123	0.9696	0.1254	0.08212
14	0.2443	0.2437	0.00745	0.00121	59	1.0297	0.9848	0.1296	0.08629
15	0.2618	0.2611	0.00856	0.00149	60	1.0472	1.0000	0.1340	0.09059
16	0.2793	0.2783	0.00973	0.00181	61	1.0647	1.0151	0.1384	0.09502
17	0.2967	0.2956	0.01098	0.00217	62	1.0821	1.0301	0.1428	0.09958
18	0.3142	0.3129	0.01231	0.00257	63	1.0996	1.0450	0.1474	0.10428
19	0.3316	0.3301	0.01371	0.00302	64	1.1170	1.0598	0.1520	0.10911
20	0.3491	0.3473	0.01519	0.00352	65	1.1345	1.0746	0.1566	0.11408
21	0.3665	0.3645	0.01675	0.00408	66	1.1519	1.0893	0.1613	0.11919
22	0.3840	0.3816	0.01837	0.00468	67	1.1694	1.1039	0.1661	0.12443
23	0.4015	0.3987	0.02008	0.00535	68	1.1868	1.1184	0.1710	0.12982
24	0.4189	0.4158	0.02185	0.00607	69	1.2043	1.1328	0.1759	0.13535
25	0.4363	0.4329	0.02376	0.00686	70	1.2217	1.1472	0.1808	0.14103
26	0.4538	0.4499	0.02563	0.00771	71	1.2392	1.1614	0.1859	0.14683
27	0.4712	0.4669	0.02763	0.00862	72	1.2566	1.1756	0.1910	0.15279
28	0.4887	0.4838	0.02969	0.00961	73	1.2741	1.1896	0.1961	0.15889
29	0.5061	0.5008	0.03185	0.01067	74	1.2915	1.2036	0.2014	0.16514
30	0.5236	0.5176	0.03407	0.01180	75	1.3090	1.2175	0.2066	0.17154
31	0.5411	0.5345	0.03637	0.01301	76	1.3265	1.2313	0.2120	0.17808
32	0.5585	0.5512	0.03874	0.01429	77	1.3439	1.2450	0.2174	0.18477
33	0.5760	0.5680	0.04118	0.01566	78	1.3614	1.2586	0.2229	0.19160
34	0.5934	0.5847	0.04370	0.01711	79	1.3788	1.2722	0.2284	0.19859
35	0.6109	0.6014	0.04628	0.01864	80	1.3963	1.2856	0.2340	0.20573
36	0.6283	0.6180	0.04894	0.02027	81	1.4137	1.2989	0.2396	0.21301
37	0.6458	0.6346	0.05168	0.02198	82	1.4312	1.3121	0.2453	0.22045
38	0.6632	0.6511	0.05448	0.02378	83	1.4486	1.3252	0.2510	0.22804
39	0.6807	0.6676	0.05736	0.02568	84	1.4661	1.3383	0.2569	0.23578
40	0.6981	0.6840	0.06031	0.02767	85	1.4835	1.3512	0.2627	0.24367
41	0.7156	0.7004	0.06333	0.02975	86	1.5010	1.3640	0.2686	0.25171
42	0.7330	0.7167	0.06642	0.03195	87	1.5184	1.3767	0.2746	0.25990
43	0.7505	0.7330	0.06958	0.03425	88	1.5359	1.3893	0.2807	0.26825
44	0.7679	0.7493	0.07281	0.03664	89	1.5533	1.4018	0.2867	0.27675
45	0.7854	0.7656	0.07611	0.03915	90	1.5708	1.4142	0.2929	0.28540

Degrés	Arcs	Cordes	Flèches	Surfaces des segments	Degrés	Arcs	Cordes	Flèches	Surfaces des segments
91	1.5882	1.4265	0.2991	0.29426	136	2.3736	1.8544	0.6254	0.83949
92	1.6057	1.4387	0.3053	0.30315	137	2.3911	1.8608	0.6335	0.84555
93	1.6232	1.4507	0.3116	0.31225	138	2.4086	1.8672	0.6416	0.85971
94	1.6406	1.4627	0.3180	0.32152	139	2.4260	1.8733	0.6498	0.87497
95	1.6580	1.4746	0.3244	0.33093	140	2.4435	1.8794	0.6580	0.90034
96	1.6755	1.4863	0.3309	0.34050	141	2.4609	1.8853	0.6662	0.91580
97	1.6930	1.4979	0.3374	0.35021	142	2.4784	1.8910	0.6744	0.93135
98	1.7104	1.5094	0.3439	0.36008	143	2.4958	1.8966	0.6827	0.94700
99	1.7279	1.5208	0.3506	0.37009	144	2.5133	1.9021	0.6910	0.96274
100	1.7453	1.5321	0.3572	0.38026	145	2.5307	1.9074	0.6993	0.97858
101	1.7628	1.5432	0.3639	0.39058	146	2.5482	1.9126	0.7076	0.99449
102	1.7802	1.5543	0.3707	0.40104	147	2.5656	1.9176	0.7159	1.01050
103	1.7977	1.5652	0.3775	0.41166	148	2.5831	1.9225	0.7244	1.02653
104	1.8151	1.5760	0.3843	0.42242	149	2.6005	1.9273	0.7328	1.04275
105	1.8326	1.5867	0.3912	0.43334	150	2.6180	1.9319	0.7412	1.05900
106	1.8500	1.5973	0.3982	0.44439	151	2.6354	1.9363	0.7496	1.07532
107	1.8675	1.6077	0.4052	0.45560	152	2.6529	1.9406	0.7581	1.09171
108	1.8850	1.6180	0.4122	0.46695	153	2.6704	1.9447	0.7666	1.10818
109	1.9024	1.6282	0.4193	0.47844	154	2.6878	1.9487	0.7750	1.12473
110	1.9199	1.6383	0.4264	0.49008	155	2.7053	1.9526	0.7836	1.14133
111	1.9373	1.6483	0.4336	0.50187	156	2.7227	1.9563	0.7921	1.15799
112	1.9548	1.6581	0.4408	0.51379	157	2.7402	1.9598	0.8006	1.17472
113	1.9722	1.6678	0.4481	0.52585	158	2.7576	1.9632	0.8092	1.19151
114	1.9897	1.6773	0.4554	0.53807	159	2.7751	1.9665	0.8178	1.20835
115	2.0071	1.6868	0.4627	0.55044	160	2.7925	1.9696	0.8264	1.22525
116	2.0246	1.6961	0.4701	0.56289	161	2.8100	1.9726	0.8350	1.24221
117	2.0420	1.7053	0.4775	0.57551	162	2.8274	1.9754	0.8436	1.25921
118	2.0595	1.7143	0.4850	0.58827	163	2.8449	1.9780	0.8522	1.27626
119	2.0769	1.7233	0.4925	0.60116	164	2.8623	1.9805	0.8608	1.29335
120	2.0944	1.7321	0.5000	0.61418	165	2.8798	1.9829	0.8695	1.31049
121	2.1118	1.7407	0.5076	0.62734	166	2.8972	1.9851	0.8781	1.32766
122	2.1293	1.7492	0.5152	0.64063	167	2.9147	1.9871	0.8868	1.34487
123	2.1468	1.7576	0.5228	0.65404	168	2.9322	1.9890	0.8955	1.36212
124	2.1642	1.7659	0.5305	0.66759	169	2.9496	1.9908	0.9042	1.37940
125	2.1817	1.7740	0.5388	0.68126	170	2.9671	1.9924	0.9128	1.39671
126	2.1991	1.7820	0.5460	0.69506	171	2.9845	1.9938	0.9215	1.41404
127	2.2166	1.7899	0.5533	0.70897	172	3.0020	1.9951	0.9302	1.43140
128	2.2340	1.7976	0.5616	0.72301	173	3.0194	1.9963	0.9390	1.44878
129	2.2515	1.8052	0.5695	0.73716	174	3.0369	1.9973	0.9477	1.46617
130	2.2689	1.8126	0.5774	0.75144	175	3.0543	1.9981	0.9564	1.48359
131	2.2864	1.8199	0.5853	0.76584	176	3.0718	1.9988	0.9651	1.50101
132	2.3038	1.8271	0.5933	0.78034	177	3.0892	1.9993	0.9738	1.51845
133	2.3213	1.8341	0.6013	0.79497	178	3.1067	1.9997	0.9825	1.53592
134	2.3387	1.8410	0.6093	0.80970	179	3.1241	1.9999	0.9912	1.55334
135	2.3562	1.8478	0.6173	0.82454	180	3.1416	2.0000	1.0000	1.57080

**Tangentes et cotangentes
des angles de 0° à 90°.**

**Sinus et cosinus
des angles de 0° à 90°.**

Angle (1)	Tangente de (1) et cotangente de (3)	Angle (3)	Angle (1)	Tangente de (1) et cotangente de (3)	Angle (3)
0°	0,0000	90°	46°	1,0355	44
1	0,0174	89	47	1,0724	43
2	0,0349	88	48	1,1106	42
3	0,0524	87	49	1,1504	41
4	0,0699	86	50	1,1918	40
5	0,0875	85	51	1,2349	39
6	0,1051	84	52	1,2799	38
7	0,1228	83	53	1,3270	37
8	0,1405	82	54	1,3761	36
9	0,1584	81	55	1,4281	35
10	0,1763	80	56	1,4826	34
11	0,1944	79	57	1,5399	33
12	0,2126	78	58	1,6003	32
13	0,2309	77	59	1,6643	31
14	0,2493	76	60	1,7321	30
15	0,2679	75	61	1,8040	29
16	0,2867	74	62	1,8807	28
17	0,3057	73	63	1,9626	27
18	0,3249	72	64	2,0503	26
19	0,3443	71	65	2,1445	25
20	0,3640	70	66	2,2460	24
21	0,3839	69	67	2,3559	23
22	0,4040	68	68	2,4751	22
23	0,4245	67	69	2,6051	21
24	0,4452	66	70	2,7475	20
25	0,4663	65	71	2,9042	19
26	0,4877	64	72	3,0777	18
27	0,5095	63	73	3,2709	17
28	0,5317	62	74	3,4874	16
29	0,5543	61	75	3,7321	15
30	0,5774	60	76	4,0108	14
31	0,6009	59	77	4,3315	13
32	0,6249	58	78	4,7046	12
33	0,6494	57	79	5,1445	11
34	0,6745	56	80	5,6713	10
35	0,7002	55	81	6,3138	9
36	0,7265	54	82	7,1154	8
37	0,7536	53	83	8,1443	7
38	0,7813	52	84	9,5144	6
39	0,8098	51	85	11,4301	5
40	0,8391	50	86	14,3007	4
41	0,8693	49	87	19,0811	3
42	0,9004	48	88	28,6362	2
43	0,9325	47	89	57,2900	1
44	0,9657	46	90	infini	0
45	1,0000	45			

Angle (1)	Sinus de (1) et cosinus de (3)	Angle (3)	Angle (1)	Sinus de (1) et cosinus de (3)	Angle (3)
0°	0,0000	90°	46°	0,7193	44°
1	0,0174	89	47	0,7314	43
2	0,0349	88	48	0,7431	42
3	0,0523	87	49	0,7547	41
4	0,0698	86	50	0,7660	40
5	0,0872	85	51	0,7771	39
6	0,1045	84	52	0,7880	38
7	0,1219	83	53	0,7986	37
8	0,1392	82	54	0,8090	36
9	0,1564	81	55	0,8192	35
10	0,1736	80	56	0,8290	34
11	0,1908	79	57	0,8387	33
12	0,2079	78	58	0,8480	32
13	0,2250	77	59	0,8572	31
14	0,2419	76	60	0,8660	30
15	0,2588	75	61	0,8746	29
16	0,2756	74	62	0,8829	28
17	0,2924	73	63	0,8910	27
18	0,3090	72	64	0,8988	26
19	0,3256	71	65	0,9063	25
20	0,3420	70	66	0,9135	24
21	0,3584	69	67	0,9205	23
22	0,3746	68	68	0,9272	22
23	0,3907	67	69	0,9336	21
24	0,4067	66	70	0,9397	20
25	0,4226	65	71	0,9455	19
26	0,4384	64	72	0,9511	18
27	0,4540	63	73	0,9563	17
28	0,4695	62	74	0,9613	16
29	0,4848	61	75	0,9659	15
30	0,5000	60	76	0,9703	14
31	0,5150	59	77	0,9744	13
32	0,5299	58	78	0,9781	12
33	0,5446	57	79	0,9816	11
34	0,5592	56	80	0,9848	10
35	0,5736	55	81	0,9877	9
36	0,5878	54	82	0,9903	8
37	0,6018	53	83	0,9925	7
38	0,6157	52	84	0,9945	6
39	0,6293	51	85	0,9962	5
40	0,6428	50	86	0,9976	4
41	0,6561	49	87	0,9986	3
42	0,6691	48	88	0,9994	2
43	0,6820	47	89	0,9998	1
44	0,6947	46	90	1,0000	0
45	0,7071	45			

Intérêts composés.

Valeur, à la fin de n années, de 1 franc placé à intérêt composé.

Nombre d'années n	TAUX DE L'INTÉRÊT					
	T = 4	T = 5	T = 6	T = 7	T = 8	T = 10
	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.
1	1,040	1,050	1,060	1,070	1,080	1,100
2	1,081	1,102	1,123	1,144	1,166	1,210
3	1,124	1,157	1,191	1,225	1,259	1,331
4	1,169	1,215	1,262	1,310	1,360	1,464
5	1,216	1,276	1,338	1,402	1,469	1,610
6	1,265	1,340	1,418	1,500	1,586	1,771
7	1,315	1,407	1,503	1,605	1,713	1,948
8	1,368	1,477	1,593	1,718	1,850	2,143
9	1,423	1,551	1,689	1,838	1,999	2,357
10	1,480	1,628	1,790	1,967	2,158	2,593
11	1,539	1,710	1,898	2,104	2,331	2,853
12	1,601	1,795	2,012	2,252	2,518	3,138
13	1,665	1,885	2,132	2,409	2,719	3,452
14	1,731	1,979	2,260	2,578	2,937	3,797
15	1,800	2,078	2,396	2,759	3,172	4,177
16	1,872	2,182	2,540	2,952	3,425	4,954
17	1,947	2,292	2,692	3,158	3,700	5,054
18	2,025	2,406	2,854	3,379	3,996	5,559
19	2,106	2,526	3,025	3,616	4,315	6,115
20	2,191	2,653	3,207	3,869	4,660	6,727
21	2,278	2,785	3,399	4,140	5,033	7,400
22	2,369	2,9 5	3,603	4,430	5,436	8,140
23	2,464	3,071	3,819	4,740	5,871	8,954
24	2,563	3,225	4,048	5,072	6,341	9,849
25	2,665	3,386	4,291	5,247	6,848	10,834
26	2,772	3,555	4,559	5,807	7,396	11,918
27	2,883	3,733	4,822	6,213	7,988	13,109
28	2,998	3,920	5,111	6,648	8,627	14,420
29	3,118	4,116	5,418	7,114	9,317	15,863
30	3,243	4,321	5,743	7,612	10,062	17,449
31	3,373	4,538	6,088	8,145	10,867	19,194
32	3,508	4,764	6,453	8,715	11,737	21,113
33	3,648	5,003	6,840	9,328	12,676	23,225
34	3,794	5,253	7,251	9,978	13,690	25,547

EXEMPLE. — Quel est, au bout de 22 ans, le capital produit par 1.200 francs placés à intérêts composés au taux de 4 0/0 par an ?

Le nombre 2.369, qui correspond à $n = 22$ et à $T = 4$, est la valeur de 1 franc au bout de 22 ans. En le multipliant par 1.200, on trouve 2.842 fr. 80, qui est la valeur de 1.200 francs au bout de 22 ans.

Amortissement

Temps nécessaire pour opérer l'amortissement d'un capital.

TAUX t de l'amortissement	TAUX DE L'INTÉRÊT									
	T = 5		T = 6		T = 7		T = 8		T = 10	
	Ans	Jours	Ans	Jours	Ans	Jours	Ans	Jours	Ans	Jours
0.001	80	214	70	201	63	1	57	36	48	152
0.002	66	284	58	341	52	347	48	91	41	91
0.0025	62	146	55	88	49	277	45	156	38	347
0.003	58	317	52	91	47	63	43	51	37	36
0.004	53	126	47	213	43	45	39	201	34	66
0.005	49	54	44	7	40	9	36	293	31	340
0.006	45	285	41	56	37	190	34	215	30	47
0.007	42	359	38	279	35	159	32	268	28	220
0.0075	41	273	37	259	34	186	31	322	27	337
0.008	40	220	36	266	33	237	31	57	27	110
0.009	38	197	34	350	32	38	29	278	26	61
0.01	36	265	33	144	30	268	28	201	25	58
0.011	35	40	32	1	29	183	27	164	24	92
0.012	33	241	30	274	28	146	26	169	23	156
0.0125	32	361	30	61	27	321	26	2	23	19
0.013	32	126	29	224	27	154	25	120	22	257
0.014	31	55	28	210	26	182	24	182	22	12
0.015	30	20	27	227	25	230	23	354	21	134
0.016	29	16	26	271	24	309	23	101	20	281
0.017	28	40	25	338	24	30	22	228	20	90
0.0175	27	244	25	197	23	284	22	115	19	352
0.018	27	88	25	60	23	164	22	7	19	262
0.019	26	158	24	167	22	305	21	164	19	85
0.02	25	247	23	289	22	83	20	329	18	288
0.0225	23	359	22	109	20	322	19	253	17	281
0.025	22	189	21	1	19	264	18	233	16	319
0.0275	21	86	19	316	18	254	17	257	16	34
0.03	20	38	18	312	17	288	16	318	15	139
0.0325	19	34	17	347	17	36	16	82	14	296
0.035	18	68	17	50	16	144	15	208	14	95
0.0375	17	133	16	145	15	252	14	334	13	254
0.04	16	227	15	265	14	348	14	100	13	52

EXEMPLE. — Quel est le temps nécessaire pour amortir un capital, le taux de l'amortissement t étant de 2 0/0 ou 0,02, et le taux de l'intérêt T , 5 0/0 ?
 En lisant sur la table le nombre qui se trouve dans la colonne verticale $T = 5$ et dans IRIS - LILLIAD - Université Lille 125 ans 247 jours.

Valeur actuelle de 1 franc payable à la fin de n années.

Nombre d'années n	TAUX DE L'INTÉRÊT				
	T = 5	T = 6	T = 7	T = 8	T = 10
	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.
1	0,952	0,934	0,925	0,925	0,909
2	0,907	0,889	0,873	0,877	0,826
3	0,863	0,839	0,816	0,793	0,751
4	0,822	0,792	0,762	0,735	0,683
5	0,783	0,747	0,712	0,680	0,620
6	0,746	0,704	0,666	0,630	0,564
7	0,710	0,665	0,622	0,583	0,513
8	0,676	0,627	0,582	0,540	0,466
9	0,644	0,591	0,543	0,500	0,424
10	0,613	0,558	0,508	0,463	0,385
11	0,584	0,526	0,475	0,428	0,350
12	0,556	0,496	0,444	0,397	0,318
13	0,530	0,468	0,414	0,367	0,289
14	0,505	0,442	0,387	0,340	0,263
15	0,481	0,417	0,362	0,315	0,239
16	0,458	0,393	0,338	0,291	0,217
17	0,436	0,371	0,316	0,270	0,197
18	0,415	0,350	0,295	0,250	0,179
19	0,395	0,330	0,276	0,231	0,163
20	0,376	0,311	0,258	0,214	0,148
21	0,358	0,294	0,241	0,198	0,135
22	0,341	0,277	0,225	0,183	0,122
23	0,325	0,261	0,210	0,170	0,111
24	0,310	0,246	0,197	0,157	0,101
25	0,295	0,232	0,184	0,146	0,092
26	0,281	0,219	0,172	0,135	0,083
27	0,267	0,207	0,160	0,125	0,076
28	0,255	0,195	0,150	0,115	0,069
29	0,242	0,184	0,140	0,107	0,063
30	0,231	0,174	0,131	0,099	0,057
31	0,220	0,164	0,122	0,092	0,052
32	0,209	0,154	0,114	0,085	0,047
33	0,199	0,146	0,107	0,078	0,043
34	0,190	0,137	0,100	0,073	0,039
35	0,181	0,130	0,093	0,067	0,035

Exemple : Somme à payer actuellement pour se libérer de 4.000 francs exigibles dans 25 ans (taux 4 0/0).

0,375 est la valeur de 1 franc payable dans 25 ans, la somme cherchée est :

$$4.000 \times 0,375 = 1.500 \text{ francs.}$$

Taux de l'amortissement nécessaire pour amortir un capital dans un nombre n d'années.

Nombre d'années n	TAUX DE L'INTÉRÊT				
	T = 5	T = 6	T = 7	T = 8	T = 10
	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.
1	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
2	0,487	0,485	0,583	0,480	0,476
3	0,347	0,344	0,311	0,308	0,302
4	0,232	0,228	0,225	0,221	0,215
5	0,180	0,177	0,173	0,170	0,163
6	0,147	0,143	0,139	0,136	0,129
7	0,122	0,119	0,115	0,112	0,105
8	0,104	0,101	0,097	0,094	0,087
9	0,090	0,087	0,083	0,080	0,073
10	0,079	0,075	0,072	0,069	0,062
11	0,070	0,066	0,063	0,060	0,053
12	0,062	0,059	0,055	0,052	0,048
13	0,056	0,052	0,049	0,046	0,040
14	0,051	0,047	0,044	0,041	0,035
15	0,046	0,042	0,039	0,036	0,031
16	0,042	0,038	0,035	0,032	0,027
17	0,038	0,035	0,032	0,029	0,024
18	0,035	0,032	0,029	0,026	0,021
19	0,032	0,029	0,026	0,024	0,019
20	0,030	0,027	0,024	0,021	0,017
21	0,027	0,025	0,022	0,019	0,015
22	0,025	0,023	0,020	0,018	0,014
23	0,024	0,021	0,018	0,016	0,012
24	0,022	0,019	0,017	0,015	0,011
25	0,020	0,018	0,015	0,013	0,010
26	0,019	0,016	0,014	0,012	0,009
27	0,018	0,015	0,013	0,011	0,008
28	0,017	0,014	0,012	0,010	0,007
29	0,016	0,013	0,011	0,009	0,006
30	0,015	0,012	0,010	0,008	0,006
31	0,014	0,011	0,009	0,008	0,005
32	0,013	0,011	0,009	0,007	0,005
33	0,012	0,010	0,008	0,006	0,004
34	0,011	0,009	0,007	0,006	0,004
35	0,011	0,008	0,007	0,005	0,003

Exemple : Taux d'amortissement nécessaire pour amortir un capital dans 30 ans au taux de 3 0/0.

Pour $n = 30$, et $T = 3$ on trouve 0,021, le taux cherché est donc 2,10 0/0 du capital.

Annuités au moyen desquelles l'on peut amortir un capital de 1 franc.

Nombre d'années <i>n</i>	TAUX DE L'INTÉRÊT									
	3	3 1/2	4	4 1/2	5	5 1/2	6	7	8	10
1	1.030	1.035	1.040	1.045	1.050	1.055	1.060	1.070	1.080	1.100
2	0.522	0.526	0.530	0.533	0.537	0.541	0.545	0.553	0.560	0.576
3	0.354	0.356	0.360	0.363	0.367	0.370	0.374	0.381	0.388	0.402
4	0.269	0.272	0.275	0.278	0.282	0.285	0.288	0.295	0.301	0.315
5	0.218	0.221	0.224	0.227	0.230	0.232	0.237	0.243	0.250	0.263
6	0.184	0.187	0.190	0.193	0.197	0.200	0.203	0.209	0.216	0.229
7	0.160	0.163	0.166	0.169	0.172	0.175	0.179	0.185	0.192	0.205
8	0.142	0.145	0.148	0.151	0.154	0.157	0.161	0.167	0.174	0.187
9	0.128	0.131	0.134	0.137	0.140	0.143	0.147	0.153	0.160	0.173
10	0.117	0.120	0.123	0.126	0.129	0.132	0.135	0.142	0.149	0.162
11	0.108	0.111	0.114	0.117	0.120	0.123	0.126	0.133	0.140	0.153
12	0.100	0.103	0.105	0.109	0.112	0.116	0.119	0.125	0.132	0.146
13	0.0940	0.0970	0.100	0.103	0.106	0.109	0.112	0.119	0.126	0.140
15	0.0885	0.0915	0.0946	0.0978	0.101	0.104	0.107	0.114	0.121	0.135
15	0.0837	0.0868	0.0899	0.0931	0.0963	0.0996	0.102	0.109	0.116	0.131
16	0.0795	0.0826	0.0858	0.0890	0.0922	0.0955	0.0989	0.105	0.112	0.127
17	0.0759	0.0790	0.0821	0.0854	0.0886	0.0920	0.0954	0.102	0.109	0.124
18	0.0727	0.0758	0.0789	0.0822	0.0855	0.0889	0.0923	0.099	0.106	0.121
19	0.0698	0.0729	0.0761	0.0794	0.0827	0.0861	0.0896	0.0967	0.104	0.119
20	0.0672	0.0703	0.0735	0.0768	0.0802	0.0836	0.0871	0.0943	0.101	0.117
21	0.0648	0.0680	0.0712	0.0746	0.0779	0.0814	0.0850	0.0922	0.099	0.115
22	0.0627	0.0659	0.0691	0.0725	0.0759	0.0794	0.0830	0.0901	0.0970	0.114
23	0.0608	0.0640	0.0673	0.0706	0.0741	0.0776	0.0812	0.0887	0.0964	0.112
24	0.0590	0.0622	0.0655	0.0689	0.0724	0.0760	0.0796	0.0876	0.0949	0.111
25	0.0574	0.0606	0.0640	0.0674	0.0709	0.0745	0.0782	0.0858	0.0936	0.110
26	0.0559	0.0592	0.0625	0.0660	0.0695	0.0731	0.0769	0.0845	0.0925	0.109
27	0.0544	0.0578	0.0612	0.0647	0.0682	0.0719	0.0756	0.0834	0.0914	0.108
28	0.0532	0.0566	0.0600	0.0635	0.0671	0.0708	0.0745	0.0823	0.0904	0.107
29	0.0521	0.0554	0.0588	0.0624	0.0660	0.0697	0.0735	0.0814	0.0896	0.106
30	0.0510	0.0543	0.0578	0.0613	0.0650	0.0688	0.0725	0.0805	0.0888	0.106
31	0.0499	0.0533	0.0568	0.0604	0.0641	0.0679	0.0717	0.0797	0.0881	0.105
32	0.0490	0.0524	0.0559	0.0595	0.0632	0.0670	0.0710	0.0790	0.0874	0.104
33	0.0481	0.0515	0.0551	0.0587	0.0624	0.0663	0.0702	0.0784	0.0868	0.104
34	0.0473	0.0507	0.0543	0.0579	0.0617	0.0656	0.0695	0.0777	0.0863	0.104
35	0.0465	0.0499	0.0535	0.0572	0.0610	0.0649	0.0689	0.0772	0.0858	0.103

EXEMPLE. — Avec quelle annuité pourra-t-on amortir en 30 ans un capital placé à 3 0/0 ?

Le nombre qui correspond à $n = 30$ et à $T = 3$ dans le tableau précédent est 0,051; donc on devra payer 0,051 du capital pour l'amortir en 30 ans. Ce nombre correspond exactement à celui du deuxième exemple de la page précédente.

Tables de transformation.

Pentes métriques en degrés d'inclinaison.

Pente métrique	Degrés d'inclinaison	Pente métrique	Degrés d'inclinaison
0 ^m ,005	0°17' 10"	0 ^m ,080	4°34' 30"
0 010	0 35 0	0,085	4 51 30
0 015	0 51 30	0,090	5 8 30
0 020	1 8 40	0,095	5 25 30
0 025	1 25 0	0,100	5 42 30
0 030	1 41 01	0,105	5 50 30
0 035	2 0 20	0,110	6 16 30
0 040	2 17 30	0,115	6 33 40
0 045	2 34 40	0,120	6 50 30
0 050	2 51 40	0,125	7 7 30
0 055	3 8 50	0,130	7 24 20
0 060	3 26 0	0,135	7 41 20
0 065	3 43 10	0,140	7 58 10
0 070	4 0 20	0,145	8 15 5
0 075	4 17 20	0,150	8 31 50

Fractions ordinaires en fractions décimales (racines carrées et cubiques).

Fractions ordinaires	Fractions décimales	Racines carrées	Racines cubiques	Fractions ordinaires	Fractions décimales	Racines carrées	Racines cubiques
1/3	0,333	0,577	0,693	1/8	0,125	0,354	0,500
2/3	0,666	0,816	0,874	3/8	0,375	0,612	0,721
1/4	0,250	0,500	0,630	5/8	0,625	0,791	0,855
3/4	0,750	0,866	0,909	7/8	0,875	0,935	0,956
1/6	0,166	0,408	0,550	1/9	0,111	0,333	0,481
5/6	0,833	0,913	0,941	2/9	0,222	0,471	0,606
1/7	0,143	0,378	0,523	4/9	0,444	0,667	0,762
2/7	0,286	0,535	0,650	5/9	0,555	0,745	0,822
3/7	0,428	0,653	0,754	7/9	0,777	0,882	0,920
4/7	0,571	0,756	0,830	1/12	0,083	0,289	0,437
5/7	0,714	0,845	0,894	5/12	0,416	0,645	0,747
6/7	0,857	0,926	0,950	7/12	0,583	0,764	0,836

Degrés d'inclinaison en pentes métriques.

Degrés d'inclinaison	Pente métrique	Degrés d'inclinaison	Pente métrique
0°15'	0,00436	10°	0,17633
0 30	0,00873	12	0,21266
0 45	0,01309	14	0,24933
0 60	0,01746	16	0,28675
1 30	0,02618	18	0,32492
2 0	0,03492	20	0,36397
2 30	0,04366	22	0,40303
3 0	0,05241	24	0,44323
3 30	0,06116	26	0,48373
4 0	0,06993	28	0,52471
4 30	0,07870	30	0,57735
5 0	0,08749	32	0,63247
5 30	0,09630	34	0,67451
6 0	0,10510	36	0,72654
6 30	0,11393	38	0,78120
7 0	0,12278	40	0,83970
7 30	0,13165		
8 0	0,14054		
8 30	0,14945		
9 0	0,15838		

Litres par seconde en litres par minute, en mètres cubes par heure et réciproquement.

Litres par seconde	Litres par minute	Mètres cubes par heure	Litres par minute	Litres par seconde	Mètres cubes par heure	Mètres cubes par heure	Litres par minute	Litres par seconde
1	60	3,600	1	0,016	0,060	1	16,66	0,277
2	120	7,200	2	0,033	0,120	1	33,33	0,555
3	180	10,800	3	0,050	0,180	3	50,00	0,833
4	240	14,400	4	0,066	0,240	4	66,66	1,111
5	300	18,000	5	0,083	0,300	5	83,33	1,388
6	360	21,600	6	0,100	0,360	6	100,00	1,666
7	420	25,200	7	0,116	0,420	7	116,66	1,944
8	480	28,800	8	0,133	0,480	8	133,33	2,222
9	540	32,400	9	0,150	0,540	9	150,00	2,500

MESURES

Décret pris en vertu de la loi du 2 avril 1919.

LE PRÉSIDENT DE LA RÉPUBLIQUE FRANÇAISE,

Sur le rapport du Ministre du Commerce, de l'Industrie, des Postes et des Télégraphes, du Ministre des Affaires Étrangères, du Ministre de l'Intérieur et du Ministre des Colonies; Vu la loi du 2 avril 1919 sur les unités de mesure, et notamment les paragraphes 3, 4 et 5 de l'article 2 de ladite loi décrète :

Article 1. — Les unités secondaires de mesure se subdivisent en unités géométriques, de masse, de temps, mécaniques, électriques, calorifiques, optiques; ces unités sont énumérées et définies au tableau qui suit.

Art. 2. — Sont autorisés à titre provisoire l'emploi et la dénomination des unités géométriques et mécaniques ci-après :

Longueur : le mille marin = 1.852 m. — *Force* : kilogramme-poids ou kilogramme force = 0,98 centisthène. — *Energie* : le kilogrammètre = 9,8 joules. — *Puissance* : cheval-vapeur = 75 kilogrammètres par seconde ou 0,735 kilowatt et poncelet = 100 kilogrammètres par seconde ou 0,98 kilowatt. — *Pression* : kilogramme force par centimètre carré = 0,98 hectopièze.

Art. 3. — Pour la France, les Colonies et pays français de protectorat, les étalons légaux du mètre et du kilogramme sont la copie n° 8 du mètre international et la copie n° 35 du kilogramme international déposées au Conservatoire national des Arts et Métiers.

Art. 4. — Un arrêté ministériel fixera les règles à suivre pour la conservation des étalons des unités principales et secondaires.

Art. 5. — Est approuvé, pour être annexé au présent décret, le tableau général des unités légales de mesure, dressé en exécution de la loi du 2 avril 1919.

Art. 6. — Est approuvée, pour être annexée au présent décret, la table de correspondance des degrés Baumé et des densités dressée par la Commission de Métrologie usuelle et approuvée par le Bureau National des Poids et Mesures et l'Académie des Sciences.

Art. 7. — Le Ministre du Commerce, de l'Industrie, des Postes et des Télégraphes, le Ministre des Affaires Étrangères, le Ministre de l'Intérieur, le Ministre des Colonies sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent décret.

Fait à Paris, le 26 juillet 1919.

R. POINGARÉ.

ANNEXE I

Tableau général des unités commerciales et industrielles

Tableau des multiples et sous-multiples décimaux

Puissance de 10 par laquelle est multipliée l'unité.	Préfixe à mettre avant le nom de l'unité.	Symbole à mettre avant celui de l'unité.
10 ⁶ ou 1.000.000	méga.	M.
10 ⁵ 100.000	héctokilo.	hk.
10 ⁴ 10.000	myria.	ma.
10 ³ 1.000	kilo.	k.
10 ² 100	hecto.	h.
10 ¹ 10	déca.	da.
10 ⁰ 1	"	"
10 ⁻¹ 0,1	déci.	d.
10 ⁻² 0,01	centi.	c.
10 ⁻³ 0,001	milli.	m.
10 ⁻⁴ 0,000.1	décimilli.	dm.
10 ⁻⁵ 0,000.01	centimilli.	cm.
10 ⁻⁶ 0,000.001	micro.	μ.

Nota. — Le système dit C. G. S. est basé sur le centimètre, le gramme (masse) et seconde comme unités principales. — Le système dit M. T. S. est basé sur le mètre, la tonne (masse) et la

UNITÉS COMMERCIELLES et INDUSTRIELLES		MULTIPLIÉS et MULTIPLES USUÉS		OBSERVATIONS		
UNITÉ	DÉFINITION	ÉTALON et REPRÉSENTATION	VALEUR (Système M.T.S.)	DÉNOMINATION (Système C.G.S.)	VALEUR	
Unités géométriques						
Longueur	MÈTRE	Étalon Copie N°5 du mètre prototype international, déposé au Conservatoire national des arts et métiers	10 ³	Mètre	m	Base du système M.T.S. Unité principale
			10 ⁻²	Centimètre	cm	
Longueur	Mille marin	longueur moyenne de la minute sexagésimale de latitude terrestre			1 852 m	Simple pour la mesure des longueurs marines
Superficie	Mètre carré	Superficie contenue dans un carré de longueur de côté	10 ⁴	Kilomètre carré	km ²	Simple pour la mesure des surfaces agricoles
				Hectare	ha	
				Decamètre carré	dam ²	
				Mètre carré	m ²	
				Decimètre carré	dm ²	
				Centimètre carré	cm ²	
				Millimètre carré	mm ²	
	Are	a	100 m ²			
	Centiare	ca	1/100 m ²			
Volume	Mètre cube	Volume contenu dans un cube de longueur de côté	10 ⁶	Kilomètre cube	km ³	Mesures de capacité pour les liquides, solides et matières pulvérisables Le litre, défini par les métrologistes comme étant le volume d'une masse de 1 kilogramme d'eau à 4°C et sous la pression de 76 centimètres de mercure, excède de moins de 1/100000 le décimètre cube
				Mètre cube	m ³	
				Decamètre cube	dam ³	
				Centimètre cube	cm ³	
				Millimètre cube	mm ³	
				Hectolitre	hl	
				Decalitre	dal	
				Litre	l	
				Decilitre	dl	
				Centilitre	cl	
	Millilitre	ml				
	Stère	st	1 m ³			
	Decistère	dst	1/10 st			
Angle droit	Angle droit	Angle formé par deux droites se coupant sous des angles adjacents égaux		Degré	°	Le symbole ° peut être employé quand la nature de l'unité considérée ne fait pas doute, notamment lorsqu'il s'agit des angles exprimés en minutes et secondes au même sens que des degrés
				Grade	gr	
				Décigrade	dgr	
				Centigrade	cgr	
				Milligrade	mgr	
				Degré	°	
				Milligrade	°	

(1) Comme le mètre que l'on trouve sur l'échelle il a été divisé en dix parties égales, le prototype international du mètre est divisé en dix parties égales de dixième de mètre.

UNITES COMMERCIALES et INDUSTRIELLES		MULTIPLIÉS ET MULTIPLIÉS USUELS		OBSERVATIONS	
DEFINITION	ETALON ET REPRESENTATION	VAL. NUM. C.G.S.	VALEUR		
II - Unités de masse					
Masse KILOGRAMME	Masse du prototype international en platine irridié, qui a été sanctionné par la conférence générale des Poids et Mesures tenue à Paris en 1889, et qui est déposée au pavillon de Breteuil, à Sèvres (1)	Etalon Copie N°35 du kilogramme prototype international, déposée au Conservatoire national des Arts et Métiers	10 ³ TONNE t	1 t ou 1000 kg	Base du système M.T.S. Unité principale
			10 ¹ Quintal q	1 q ou 100 kg	
Masse GRAMME			10 ² Hectogr ^e hg	1 hg ou 100 g	Base du système C.G.S.
			10 ¹ Décagr ^e dag	1 dag ou 10 g	
			10 ⁰ Gramme g	1 g	
			10 ⁻¹ Décigr ^e dy	1 dy ou 0,1 g	
			10 ⁻² Centigr ^e cg	1 cg ou 0,01 g	
			10 ⁻³ Milligr ^e mg	1 mg ou 0,001 g	
			Carat	2 dg	Employé dans le commerce des pierres précieuses
Densité Degré densimétrique	La densité des corps s'exprime en nombres décimaux, celle du mercure qui a une masse de 100 grammes dans le volume de 100 centimètres cubes étant prise comme unité *				L'eau pure à 4°C sous la pression d'une colonne de mercure de 76 centimètres de hauteur, a une densité égale à 1 (moins 30 environ)
Degré altérométrique centésimal	Dans les transmissions commerciales, le nombre de degrés altérométriques d'un mélange d'alcool et d'eau pure à la température de 15°C correspond à une mesure volumétrique centésimale de 100 litres de vin purissimum de France (décret du 27 déc 1884)				Les densités correspondent aux anciens de grés (laissant dénotés dans un la même sens) ne sont pas identiques * La graduation des alcoolimètres se fait sur la base de la densité des densités des mélanges d'alcool et d'eau pure à 15°C au point de détermination
III Unités de temps					
Temps Seconde	1/86400 du jour solaire moyen		Jour J	86 400 s	Le symbole peut être employé lorsque l'on veut éviter l'usage du mot jour, par exemple dans les calculs de durée, mais ne s'applique pas au jour civil * Base des systèmes M.T.S. et C.G.S. Unité principale
			Heure h	3 600 s	
			1 SECONDE s	1 s	
IV Unités mécaniques					
Force Stène	force qui, communiquée à une masse égale à 1 tonne un accroissement de vitesse de 1 mètre par seconde	10 ³ Kilostène ksn	1000 sn	1000 sn	Megastène
			10 ² Hectostène hsn	100 sn	
Force Kilopond	force avec laquelle une masse égale à 1 kilogramme est attirée par la terre	10 ³ Kilopond kp	1000 kp	1000 kp	Unité C.G.S.
			10 ² Hectopond hp	100 kp	
Energie Travail	Travail produit par 1 stène dans le point d'application se déplace de 1 mètre dans la direction de la force	10 ¹⁰ Erg	Mégastène	1000 kJ	1 Mégastène correspond à 36 mégajoules
			10 ⁷ Joule J	10 ⁷ J	
Energie Mégajoule	Travail produit par 1 kilogramme force dans le point d'application se déplace de 1 mètre dans la direction de la force	10 ⁷ Erg	Kilopond	9,8 J	Le Kilopond international diffère numériquement très peu du kilogramme
			10 ⁴ Joule J	10 ⁴ J	
Puissance Watt	Puissance qui produit 1 Kilopond par seconde	10 ⁴ Erg	Kilowatt	1 kW	Le Kilowatt international diffère numériquement très peu du Kilowatt
			10 ⁷ Watt W	10 ⁷ W	
Puissance Cheval	Puissance correspondant à 75 Kilogrammes par seconde	10 ⁷ Erg	Poiselet	0,33 kW	Le cheval vapeur international diffère numériquement très peu du cheval
			10 ⁴ Watt W	10 ⁴ W	

(1) Comme le kilogramme des Archives, le prototype international du kilogramme excède d'environ 27 milligrammes la masse du décimètre cube d'eau prise à son maximum de densité, définition première du kilogramme

UNITÉS COMMERCIALES et INDUSTRIELLES		MULTI ^{PL} et S/MULTI ^{PL} USUELS		OBSERVATIONS
UNITÉ	DEFINITION	ÉTALON et REPRÉSENTATION	VALEUR	
Pression Pdyse Kilogramme-force unité gravimétrique	Pression uniforme qui, ré partie sur la surface de l'aire carrée, produit un effort total de 1 Kilobars	10 ⁸ dynes/cm ²	Mégapascals MPa 10 000 pz	L'ectopascal est employé parfois aussi, sous le nom de bar, pour la mesure des pressions atmosphériques
	Pression uniforme qui, ré partie sur la surface pesée pour unité, produit un effort total de 1 Kilogramme poids		Kilopascals kPa 1000 pz	

A titre transitoire

UNITÉS COMMERCIALES et INDUSTRIELLES		MULTI ^{PL} et S/MULTI ^{PL} USUELS		OBSERVATIONS
UNITÉ	DEFINITION	ÉTALON et REPRÉSENTATION	VALEUR	
Résistance électrique Ohm	1 millième d'unités de résistance du système électromagnétique CGS	10 ⁻³ 10 ⁹ Ohm international, résistance offerte à un courant invariable par une colonne de mercure, de section uniforme, pesée à la température de 0° C, ayant une longueur de 106,300 m et une masse de 16,4571 g	Mégohm MΩ 1 000 000 Ω	Nominations d'unités de résistance du système électromagnétique M.T.S. Unité principale
	1 dixième de l'unité de courant du système électromagnétique C.G.S.		Ohm Ω 1 Ω	
Intensité de courant Ampère	Différence de potentiel existant entre les extrémités d'un conducteur dont la résistance est 1 ohm traversé par un courant invariable égal à 1 ampère	Représentation Ampère international, intensité du courant uniforme qui dépose par seconde 0,001118 g d'argent par électrolyse d'une solution aqueuse de sulfate d'argent	Kilampère kA 1 000 A	1 centi-unité de l'unité de courant du système électromagnétique M.T.S. Unité principale
			AMPÈRE A 1 A	
Capacité Coulomb	Quantité d'électricité transportée, pendant une seconde, par un courant invariable de 1 ampère	Représentation Volt international par équation égal à 1/1000 de la force électromotrice à la température de 20° C de la pile au sulfate de cadmium	Kilovolt kV 1 000 V	L'ampère-heure vaut 3600 coulombs
			Millivolt mV 1/1000 V	
Capacité Coulomb	Quantité d'électricité transportée, pendant une seconde, par un courant invariable de 1 ampère	Représentation Volt international par équation égal à 1/1000 de la force électromotrice à la température de 20° C de la pile au sulfate de cadmium	Kilocoulomb kC 1 000 C	L'ampère-heure vaut 3600 coulombs
			Coulomb C 1 C	

UNITÉS COMMERCIALES et INDUSTRIELLES		MULTI ^{PL} et S/MULTI ^{PL} USUELS		OBSERVATIONS
UNITÉ	DEFINITION	ÉTALON et REPRÉSENTATION	VALEUR	

VI - Unités caloriques

UNITÉ	DEFINITION	ÉTALON et REPRÉSENTATION	DÉNOMINATION	VALEUR	OBSERVATIONS
Température Degré Centésimal	Pour les températures supérieures à 240° Formation de température produisant la centième partie de l'accroissement de pression que subit une masse d'un gaz parfait quand, le volume étant constant, la température passe de celle de la glace pure fondante (0°) à celle de la vapeur d'eau distillée en équilibre à 100° sous la pression atmosphérique normale. La pression atmosphérique normale est représentée par la pression d'une colonne de 760 mm de hauteur ayant la densité de 0,125353 et soumise à l'intensité normale de la pesanteur mesurée par une accélération égale à 9,80665 m/sec ² et en secondes	Représentation Variation de température qui produit, la centième partie de l'accroissement de pression que subit une masse d'hydrogène, quand, le volume étant constant, la température passe de celle de la glace pure fondante (0°) à celle de la vapeur d'eau distillée en équilibre à 100° sous la pression atmosphérique normale. La pression atmosphérique normale est représentée par la pression d'une colonne de 760 mm de hauteur ayant la densité de 0,125353 et soumise à l'intensité normale de la pesanteur mesurée par une accélération égale à 9,80665 m/sec ² et en secondes	DEGRÉ CENTÉSIMAL °C	1°	Unité principale
			Thermie	Quantité de chaleur nécessaire pour élever de 1 degré centésimal la température d'une masse de 1000 g d'eau dans la chaleur spécifique que suit celle de l'eau à 15° sous la pression de 1013 hectopascals (pression atmosphérique normale)	
Quantité de chaleur Thermie	Quantité de chaleur nécessaire pour élever de 1 degré centésimal la température d'une masse de 1000 g d'eau dans la chaleur spécifique que suit celle de l'eau à 15° sous la pression de 1013 hectopascals (pression atmosphérique normale)	Quantité de chaleur nécessaire pour élever de 1 degré centésimal la température d'une masse de 1000 g d'eau dans la chaleur spécifique que suit celle de l'eau à 15° sous la pression de 1013 hectopascals (pression atmosphérique normale)	Méthermie mTh 1/1000 Th	1/1000 Th	Pratiquement le microthermie correspond à 4,18 joules (voir à 102 Kilogramme force dans l'intensité de pesanteur M.T.S.)
			Kilothermie kTh 1000 Th	1000 Th	
			Thermie Th 1 Th	1 Th	

UNITES COMMERCIALES et INDUSTRIELLES		MULTI ET S/MULT USUELS		OBSERVATIONS	
UNITÉ	DÉFINITION	ÉTALON et REPRÉSENTATION	DÉNOMINATION		VALEUR
VII - Unités optiques					
Intensité lumineuse	Bougie décimale	Étalon (Flux lumineux, source lumineuse consistant par son axe, égale à celle d'un carré de 10 cm de côté, prise à la surface d'un bain de platine récemment normalisé, à la température de la solidification, conformément aux décisions de la conférence internationale de 1957, tenu à Genève en 1955, et représenté par la figure ci-dessous.) Représentation La bougie décimale est représentée schématiquement et d'une manière normalisée par une flèche qui détermine de la moyenne des intensités moyennes, mesurées perpendiculairement à l'axe, d'un moins cinq des 100 pesantimètres déposés au Conservatoire national des arts et métiers.	Bougie décimale	cd	Unité principale
		Source lumineuse égale à un vingtième de celle de l'étalon vuelle			
Flux lumineux	Lumen	Flux lumineux, émane d'une source uniforme, de dimensions infiniment petites et d'intensité égale à 1 bougie décimale et rayonne, en l'espace, dans l'angle solide qui détermine une aire égale à 1 m ² sur la sphère de 1 m. de rayon, ayant pour centre la source	Lumen	lm	
Éclairement	Lux	Éclairement d'une surface de 1 m ² recevant un flux de 1 lumen, uniformément réparti	Phot Lux	Lx	10.000 Lf 1 Lx
Puissance lumineuse	Dioptrie	Puissance d'un système optique dont la distance focale est de 1 mètre	Dioptrie	δ	

ANNEXE II
CORRESPONDANCE DES DEGRÉS BAUMÉ¹⁾ ET DES DENSITÉS
TABLE I

Aréomètres pour liquides moins denses que l'eau

Degrés Baumé	DENSITÉS										
10 B	1,0000	24 B	0,9118	38 B	0,8375	52 B	0,7720	66 B	0,7204	80 B	0,6775
11	0,9831	25	0,9005	39	0,8327	53	0,7706	67	0,7188	81	0,6757
12	0,9663	26	0,8900	40	0,8279	54	0,7693	68	0,7173	82	0,6742
13	0,9495	27	0,8794	41	0,8231	55	0,7680	69	0,7158	83	0,6727
14	0,9327	28	0,8689	42	0,8183	56	0,7667	70	0,7143	84	0,6712
15	0,9159	29	0,8583	43	0,8135	57	0,7654	71	0,7128	85	0,6697
16	0,8991	30	0,8478	44	0,8087	58	0,7641	72	0,7113	86	0,6682
17	0,8823	31	0,8373	45	0,8039	59	0,7628	73	0,7098	87	0,6667
18	0,8655	32	0,8267	46	0,8004	60	0,7615	74	0,7083	88	0,6652
19	0,8487	33	0,8162	47	0,7956	61	0,7602	75	0,7068	89	0,6637
20	0,8319	34	0,8057	48	0,7911	62	0,7589	76	0,7053	90	0,6622
21	0,8151	35	0,7952	49	0,7863	63	0,7576	77	0,7038		
22	0,7983	36	0,7847	50	0,7815	64	0,7563	78	0,7023		
23	0,7815	37	0,7742	51	0,7767	65	0,7550	79	0,7008		

Densités calculées, avec le module 154 32 par la formule $D = \frac{144,32}{24 - 2n}$ ou $D = \frac{144,32}{24 - 2n}$ où $D =$ densité et $n =$ degré Baumé.

TABLE II
Aréomètres pour liquides plus denses que l'eau

Degrés Baumé	DENSITÉS										
0 B	1,0000	12 B	1,0902	24 B	1,1995	36 B	1,3224	48 B	1,4583	60 B	1,7115
1	1,0070	13	1,0990	25	1,2055	37	1,3348	49	1,4741	61	1,7251
2	1,0141	14	1,1074	26	1,2127	38	1,3474	50	1,4901	62	1,7387
3	1,0212	15	1,1160	27	1,2201	39	1,3703	51	1,5065	63	1,7523
4	1,0285	16	1,1247	28	1,2277	40	1,3934	52	1,5233	64	1,7659
5	1,0359	17	1,1335	29	1,2355	41	1,3985	53	1,5404	65	1,7795
6	1,0434	18	1,1425	30	1,2434	42	1,4105	54	1,5578	66	1,7931
7	1,0510	19	1,1516	31	1,2516	43	1,4244	55	1,5758	67	1,8067
8	1,0587	20	1,1609	32	1,2599	44	1,4388	56	1,5941	68	1,8203
9	1,0665	21	1,1703	33	1,2684	45	1,4531	57	1,6128	69	1,8340
10	1,0745	22	1,1799	34	1,2782	46	1,4679	58	1,6319	70	1,8479
11	1,0825	23	1,1898	35	1,2707	47	1,4829	59	1,6515		

Densités calculées, avec le module 154 32, par la formule $D = \frac{144,32}{24 - 2n}$ ou $D = \frac{144,32}{24 - 2n}$ où $D =$ densité et $n =$ degré Baumé.

⁽¹⁾ Ces degrés, couramment employés pour les liquides plus denses que l'eau, ne sont plus admis désormais dans les transactions commerciales. Ils sont remplacés par les degrés Baumé pour les liquides moins denses que l'eau. Pour plus de détails, voir le rapport de l'Union internationale de Poids et Mesures et l'ouvrage de CLÉMENTEL.

Mesures spéciales usitées dans la marine.

Mesures de longueur.

Mille géographique de 15 au degré de l'équateur.....	7.420
Lieue de 18 au degré du méridien.....	6.173
Lieue de 25 au degré du méridien.....	4.445
Lieue marine ou géographique de 20 au degré.....	5.556
Mille marin de 60 au degré, ou arc du méridien d'une minute, ou tiers de lieue marine.....	1.852
Brasse, 5 pieds.....	1 ^m ,624
Encâblure nouvelle.....	200 ^m ,000
Encâblure ancienne, 100 toises.....	194 ^m ,904.
Nœud (mesure de vitesse).....	1.852 mètres ou 1 mille à l'heure ou 0 ^m ,5144 par seconde.

Mesures topographiques.

	Kilomètres carrés.
Lieue marine carrée de 20 au degré.....	30.8642
Mille marin carré de 60 au degré.....	3.4203
Mille anglais carré.....	2.5899
Kilomètre carré.....	{ 0,03240 lieue marine carrés. { 0,29157 mille marin carré. { 0,38612 mille anglais carré.

Mesures de volume.

Tonneau de jauge..... 2,83 mètres cubes.

Mesures spéciales d'un usage général pour certaines substances.

Carat. — Les diamants, pierres précieuses et perles sont évalués par *carats*. Le carat vaut :

En France.....	g.	0,200
En Angleterre et en Allemagne. —		0,2055
En Hollande.....		0,205894
Au Brésil.....		0,1922

Il y a lieu de distinguer le *carat poids* et le *carat titre*. Ce dernier représente le 24^e d'une unité d'or : ainsi l'or à 23 carats contient 23 parties d'or fin et 1 partie d'alliage.

Once. — Pour l'or et l'argent, on compte par *onces* (oz) de g. 31,103496 *deniers* (dwt) de 1^r,55 et *grains* (grn) de 0^r,0647.

Baril. — Le pétrole est compté officiellement, en Amérique, par *barils* de 42 gallons (159 litres). Pratiquement, il arrive dans des barils de 50 à 52 gallons.

Bouteille. — Le mercure est généralement évalué en *bouteilles* (bottles, flasks, frascos) de kg. 34,65.

Mesures anglaises.

Abréviations usuelles	Noms systématiques	Valeurs relatives	Valeurs en mesures françaises
<i>Mesures de longueur.</i>			Mètres
In.	Inch ou pouce		0.02540
Ft.	Foot ou pied	12 In	0.30479
Yd.	YARD	3 Ft.	0.91438
Fih.	Fathom (brasse)	2 Yds	1.82877
"	Pole Rod ou perch	5,5 Yds	5.02909
"	Chain	4 poles	20.11636
"	Furlong	220 Yds	201.1636
Mi.	Mile	1760 Yds	1.609.3088
"	Lieue marine	3,45 mi.	5.558.5525
<i>Mesures de superficie.</i>			Mètres carrés
"	Square inch ou pouce carré	"	0.000645
"	Square foot ou pied carré	144 pouces carrés	0.929
"	Square yard	9 pieds carrés	0.8361
"	Square pole	30 yards carrés	25.292
"	Square rood	1210 yards carrés	1.011.68
"	Square acre	4840 yards carrés	4.046.72
<i>Mesures de capacité.</i>			Litres
"	Gill	"	0.1420
Pt.	Pint	4 Gills	0.5679
Qt.	Quart	2 Pts	1.1359
Gal.	GALLON	4 Qts	4.5435
Pek.	Peck	2 Gals	9.0869
Bo.	Bushel	4 Peks	36.3477
"	Quarter	8 bushels	230.7813
"	Load	5 quarters	1.453.9065
"	Chaldron	36 bushels	1.308.5160
<i>Mesures cubiques.</i>			Mètres cubes
"	Cubic inch, pouce cube	"	0.000015
"	Cubic foot, pied cube	1728 pouces cubes	0.028315
"	CUBIC YARD	27 pieds cubes	0.764505
"	Tonnau de mer	40 pieds cubes	1.1326
<i>Poids.</i>			
1° Mesures dites <i>Troy Weight</i> (non usitées, sauf pour les métaux précieux et la pharmacie).			Grammes
"	Grain	"	0.065
"	Penny weight	24 Grains	1.555
"	Ounce	30 Pennyweights	31.103
"	TROY POUND	12 Ounces	373.233
2° Mesures dites <i>Avoir du poids Weight</i> (mesures usuelles).			Grammes
Dr.	Dram	"	1.772
Oz.	Ounce	16 Dr	28.350
Lb.	AVOIR DU POIDS POUND	16 Oz	453.593
St.	Stone	14 Lb	6.350.297
Qr.	Quarter	2 St.	12.700.594
Cwt.	Hundred weight	4 Qr	50.802.377
Ton.	Ton	20 Cwt.	1.016.047.541

Outre cette tonne de 1.016 kg (2.240 pounds), il existe une tonne de 907 kg (2.000 pounds), dite short ton, peu usitée en Angleterre, mais d'un emploi général aux Etats-Unis, où elle sert pour exprimer des poids de charbon : pour les autres masses lourdes (locomotives par exemple), les poids sont généralement exprimés en livres, et non en tonnes.

Principales mesures des pays étrangers n'employant pas le Système métrique.

Pays	Noms	Valeur
Mesures de longueur.		
Bulgarie	<i>archine</i>	0 ^m ,67
	<i>ped</i>	0,304
Russie	<i>archine</i> (unité).....	0,711
	<i>sagène</i>	2,133
	<i>versie</i>	1 ^{km} ,066
	<i>archine</i>	0 ^m ,757
Turquie	<i>pic archene halebi</i> (soieries et laines).....	0,685
	<i>pic archene indasé</i> (étouffes de coton).....	0,652
Chine	<i>ying</i>	35,80
Indes anglaises	<i>cubit ou hant</i>	1,828
Japon	<i>shaku</i> (unité).....	0,303
Perse	<i>guèze ordinaire</i>	0,63
	<i>diraa baladi</i> (tissus).....	0,58
Egypte	<i>diraa minari</i> (architectes).....	0,75
	<i>kassalah</i>	3,55
Haiti	<i>aunc</i>	1,188
Mesures de poids.		
Bulgarie	<i>oka</i>	1 ^{kg} ,284
	<i>fount</i> (unité).....	0,409
Russie	<i>poud</i>	16,380
	<i>oke</i>	1,283
Turquie	<i>kantar</i>	56,450
Chine	<i>picul</i> (100 catties).....	60,480
Indes anglaises	<i>bazar Maund</i>	37,251
	<i>bazar de factorerie</i>	33,865
Japon	<i>kan</i> (unité).....	3,750
Perse	<i>batman</i>	2,970
Egypte	<i>kantar</i>	44,928
Haiti	<i>livre</i>	0,489

Anciennes mesures françaises.

L'unité de longueur était la *toise*, qui valait 6 *pieds* ; le *ped*, 12 *pouces* ; le *pouce* valait 12 *lignes*, et la *ligne*, 12 *points*.

<i>Mesures de longueur.</i>	
Toise.....	1 ^m ,94903
Pied, 1/6 de toise.....	0 ^m ,32483
Pouce, 1/12 de pied.....	0 ^m ,02706
Ligne, 1/12 de pouce.....	0 ^m ,00225

<i>Inversement.</i>	
1 mètre vaut.....	0,513073 toise.
1 mètre vaut :	3 pieds et 11,296 lig.

<i>Mesures de superficie.</i>	
Toise carrée.....	3 ^m 1,7987
Pied carré.....	0 ^m 4,1055

Poids et diamètre des monnaies.

Le franc pèse 5 grammes, 100 francs en monnaie d'argent pèsent 500 grammes.
 Les pièces en argent sont de : 5, 2, 1 franc, 0 fr. 50, et ont pour diamètre : 37, 27, 23, 18 millimètres.
 Les pièces en bronze sont de : 10, 5, 2, 1 centimes, pèsent : 10, 5, 2, 1 grammes, et ont pour diamètre : 30, 25, 20, 15 millimètres.
 Les pièces en or sont de : 100, 50, 20, 10 francs, pèsent : 32,26, 16,13, 6,45, 3,22 gr., et ont pour diamètre : 35, 28, 21, 19 millimètres.
 Les pièces de 5 francs en argent et les pièces d'or sont au titre de 900 millièmes de métal précieux.
 Les pièces divisionnaires en argent (2 francs, 1 franc et 50 centimes) contiennent 835 millièmes d'argent pur. Les pièces de nickel de 0 fr. 25 sont de deux types : de forme ronde ou polygonale.
 Enfin les pièces en bronze contiennent 95 parties de cuivre, 4 d'étain et 1 de zinc.

Monnaies des pays étrangers.

Valeur au pair

Allemagne.....	Mark (100 pfennigs).....	1,234
Angleterre.....	Livre sterling (20 shillings)...	25,20
—	Shilling (12 pence).....	1,26
Autriche et Hongrie....	Krone (100 hellers).....	1,05
Belgique.....	Franc (100 centimes).....	1,00
Bulgarie.....	Leva (100 stotinki).....	1,00
Danemark.....	Krone (100 ore).....	1,38
Espagne.....	Peseta (100 centimos).....	1,00
Finlande.....	Markkaas (100 pennis).....	1,00
Grèce.....	Drachme (100 lepta).....	1,00
Italie.....	Lire (100 centesimi).....	1,00
Norvège.....	Krone (100 ore).....	1,38
Pays-Bas.....	Gulden (100 cents).....	2,10
Portugal.....	Milreis.....	5,60
Roumanie.....	Leu (100 bani).....	1,00
Russie.....	Rouble (100 kopecks).....	2,666
Serbie.....	Dinar (100 paras).....	1,00
Suède.....	Krona (100 ore).....	1,37
Suisse.....	Franc (100 centimes).....	1,00
Turquie.....	Livre turque (100 piastres).....	22,78
Chine.....	Tael (100 candaréens).....	3,50
Indes anglaises.....	Roupie (16 annas).....	2,38
Japon.....	Yen (100 sen).....	2,58
Perse.....	Kran (20 schahis).....	0,48
Siam.....	Piastre (100 cents).....	2,58
Egypte.....	Livre égyptienne (100 piastres).....	25,618
Erythrée.....	Thaler (100 centièmes).....	5,00
Ethiopie.....	Talari (100 centièmes).....	2,75
Argentine.....	Peso (100 centavos).....	5,00
Bolivie.....	Boliviano (100 centavos).....	5,00
Bésil.....	Milreis.....	2,60
Chili.....	Peso (100 centavos).....	1,80
Colombie.....	Peso (100 centavos).....	5,00
Costa-Rica.....	Colón (100 centimos).....	2,405
Dominicaine.....	Piastre (100 centavos).....	5,00
Equateur.....	Sucre (100 centavos).....	5,00
Etats-Unis.....	Dollar (100 cents).....	5,18
Guatemala.....	Peso (100 centavos).....	5,00
Haiti.....	Piastre ou Gourde (100 centièmes).....	5,33
Honduras.....	Peso (100 centavos).....	5,00
Mexique.....	Peso (100 centavos).....	2,57
Nicaragua.....	Peso (100 centavos).....	5,00
Panama.....	Balboa (100 centièmes).....	5,00
Paraguay.....	Peso (100 centavos).....	5,60
Pérou.....	Livre péruvienne (100 dineros).....	25,32
Salvador.....	Peso (100 centavos).....	5,00
Uruguay.....	Piastre (100 centesimos).....	5,36
Vénézuéla.....	Bolivar (100 centesimos).....	1,00
Philippines.....	Peso (100 centavos).....	2,59

Mesures agraires.

MESURES AGRAIRES	côté du carré corres- pondant	VALEUR EN		
		Pieds carrés	Toises carrées	Mètres carrés
Perche des eaux et forêts....	22 pieds	484	13,44	51,07
Arpent des eaux et forêts....	220 pieds	48400	1344,44	5107,20
Perche de Paris.....	18 pieds	324	9,00	34,19
Arpent de Paris.....	180 pieds	32400	900,00	3418,87
Are.....	10 mètres	917,7	26,32	100,00
Hectare.....	100 mètres	94768,2	2632,45	10000,00

DENSITÉS ET POIDS

Densités des gaz par rapport à l'air.

Air.....	1,00	Cyanogène.....	1,806
Hydrogène.....	0,0692	Ammoniaque.....	0,59
Oxygène.....	1,1056	Protoxyde d'azote.....	1,614
Azote.....	0,972	Bioxyde d'azote.....	1,037
Chlore.....	2,450	Oxyde de carbone.....	0,968
Gaz des marais, CH ⁴	0,558	Acide carbonique.....	1,53
Gaz d'éclairage.....	0,399	Acide sulfureux.....	2,27
Hydrogène bicarboné, C ² H ⁴	0,98	Acide sulphydrique.....	1,19

Densités des vapeurs par rapport à l'air.

Eau.....	0,6235	Chlorhydrate d'ammoniaque..	0,93
Alcool.....	0,794	Brome.....	5,52
Ether.....	0,736	Iode.....	8,71
Acide cyanhydrique.....	0,948	Soufre.....	2,21
Chlore.....	2,45	Phosphore.....	4,42
Chlorure de méthyl.....	1,73	Mercure.....	6,92

Densités des liquides par rapport à l'eau prise à 4°.

Mercure.....	13,596	Alcool absolu.....	0,794
Brome.....	3,18	Ether.....	0,73
Acidesulfuriqu. monohydraté.	1,84	Esprit-de-bois.....	0,798
Acide azotique fumant.....	1,52	Acide acétique.....	1,06
Acide azotique (NO ³ H).....	1,42	Eau de la mer.....	1,026
Ac.chlorhydrique(HCl,3H ² O)	1,21	Lait.....	1,03
Sulfure de carbone.....	1,26	Vin.....	0,99
Benzine.....	0,899	Huile d'olive.....	0,917
Essence de térébenthine....	0,86	Glycérine.....	1,264

Densités des solides.

Métaux.

Aluminium, Al.....	2,56
Argent, Ag.....	10,53
Cuivre, Cu.....	8,92
Etain, Sn.....	7,9
Fer, Fe.....	7,84
Nickel, Ni.....	8,9
Or, Au.....	19,32
Platine, Pt.....	21,50
Plomb, Pb.....	11,37
Zinc, Zn.....	7,19

Alliages.

Acier.....	7,8
Bronze.....	8,4 à 9,2
Bronze d'aluminium.....	7,45
Ferro-nickel.....	8,4
Fonte blanche.....	7,4 à 7,8
Fonte grise.....	6,7 à 7,1
Laiton.....	7,3 à 8,4
Maillechort.....	8,3 à 8,6

Substances diverses.

Glace à 0°, H ² O.....	0,918
Acide sulfurique.....	1,97
Chaux, CaO.....	3,15
Chlorure de potassium, CaCl ²	1,98
Chlorure de sodium, NaCl.....	2,10
Acide arsénieux, As ² O ³	3,7
Sel ammoniac, NO ³ NH ⁴	1,52
Nitrate de potasse, NO ³ K.....	2,09
Nitrate de soude, NO ³ Na.....	2,24
Peroxyde de fer, Fe ² O ³	5,12
Oxyde de zinc, ZnO.....	5,6
Litharge, PbO.....	9,25
Minium, Pb ² O ³	9,07
Céruse PbCO ³	6,43
Oxyde rouge de merc., PbO ²	11,14
Quartz.....	2,65
Soufre, S.....	2,07
Charbon de cornue.....	1,88
Granit, porphyre, tra- chyte.....	2,6 à 2,8
Grès.....	2,20 à 2,65
Anthracite.....	1,4
Houille.....	1,3
Asphalte.....	1,06
Naphte liquide.....	0,70 à 0,84
Albâtre et marbres.....	2,7
Calcaires compacts.....	2,7

Gypse en poudre.....	2,27
Verre (moyenne).....	2,5
Cristal.....	3,33
Kaolin.....	2,26
Porcelaine.....	2,2 à 2,5
Ardoise.....	2,9
Diamant.....	3,52
Charbon de bois en poudre.....	1,5
Charbon de chêne (morceaux).....	0,45
Charbon de peuplier.....	0,24
Poudre à canon.....	0,84
Caoutchouc, gutta-percha.....	0,98
Gomme.....	1,3
Amidon, fécule.....	1,5
Graisse, beurre.....	0,94
Cire.....	0,96
Corps humain (moyenne).....	1,07

Bois.

Acajou.....	0,560 à 0,850
Acacia.....	0,780 à 0,820
Aune.....	0,460 à 0,550
Bouleau.....	0,620 à 0,750
Buis de France.....	910
Buis de Hollande.....	1,320
Cèdre du Liban, sec.....	490
Charme.....	0,759 à 0,900
Châtaignier.....	0,550 à 0,740
Chêne de démolition.....	0,850
Chêne blanc.....	610
Cœur de chêne (60 ans).....	1,170
Chêne vert.....	983
Cormier.....	819
Ebène.....	1,120 à 1,18
Erable.....	0,560 à 0,640
Frêne.....	840
Gaïac.....	1,339
Hêtre.....	800
Hêtre (un an de coupe).....	660
Mélèze.....	540 à 600
Orme.....	540 à 630
Peuplier.....	390
Pin rouge.....	660
Pin du Nord.....	740
Platane.....	650
Poirier.....	700 à 840
Pommier.....	730 à 800
Sapin.....	450
Teak.....	860
Liège.....	240

**Table du poids d'un mètre carré de feuille de tôle en fer laminé,
cuivre rouge, plomb, zinc, étain, argent et aluminium.**

Épaisseur des feuilles	TÔLE	CUIVRE rouge	PLOMB	ZINC	ÉTAÏN	ARGENT	ALU- MINIUM
millim.	kil.	kil.	kit.	kil.	kil.	kil.	kil.
1/4	1,947	2,197	2,838	1,715	1,825	2,652	0,675
1/2	3,894	4,394	5,676	3,430	3,650	5,305	1,350
1	7,788	8,788	11,352	6,861	7,300	10,610	2,700
2	15,576	17,576	22,704	13,722	14,600	21,220	5,400
3	23,364	26,364	34,056	20,583	21,900	31,830	8,100
4	31,154	35,152	45,408	27,444	29,200	42,440	10,800
5	38,940	43,940	56,760	34,305	36,500	53,050	13,500
6	46,728	52,728	68,112	41,166	43,800	63,660	16,200
7	54,516	61,516	79,464	48,027	51,100	74,270	18,900
8	62,304	70,304	90,816	54,888	58,400	84,880	21,600
9	70,092	79,092	102,168	61,749	65,700	95,490	24,300
10	77,880	87,880	113,520	68,610	73,000	106,100	27,000
11	85,668	96,668	124,872	75,471	80,300	116,710	29,700
12	93,456	105,456	136,224	82,332	87,600	127,320	32,400
13	101,244	114,244	147,576	89,193	94,900	137,930	35,100
14	109,032	123,032	158,928	96,054	102,200	148,540	37,800
15	116,820	131,820	170,280	102,915	109,500	159,150	40,500
16	124,608	140,608	181,632	109,776	116,800	169,760	43,200
17	132,396	149,396	192,984	116,637	124,100	180,370	45,900
18	140,184	158,184	204,336	123,498	131,400	190,980	48,600
19	147,972	166,972	215,688	130,359	138,700	201,590	51,300
20	155,760	175,760	227,040	137,220	146,000	212,200	54,000

Numéros et poids des feuilles de zinc laminé.

NUMÉROS	ÉPAISSEUR en millim.	POIDS au mèt. carr.	NUMÉROS	ÉPAISSEUR en millim.	POIDS au mèt. carr.
	millim.	kilogr.		millim.	kilogr.
10	0,50	3,50	18	1,34	9,38
11	0,58	4,06	19	1,47	10,29
12	0,66	4,62	20	1,60	11,20
13	0,74	5,18	21	1,78	12,46
14	0,82	5,74	22	1,96	13,72
15	0,95	6,65	23	2,14	14,98
16	1,08	7,56	24	2,32	16,24
17	1,21	8,47	25	2,50	17,50

Les feuilles se vendent par longueurs de 2 mètres et par largeurs de 0^m,50, 0^m,65, 0^m,80 et 1 mètre.

**Poids des fers carrés, ronds, depuis 1 millimètre jusqu'à
105 millimètres de grosseur pour 1 mètre de longueur.**

DIMEN- SIONS	FERS carrés	FERS ronds	DIMEN- SIONS	FERS carrés	FERS ronds	DIMEN- SIONS	FERS carrés	FERS ronds
mill.	kil. gr.	kil. gr.	mil.	kil. gr.	kil. gr.	mil.	kil. gr.	kil. gr.
1	0 008	0 006	36	10 093	7 930	71	39 259	30 846
2	0 031	0 024	37	10 662	8 377	72	40 373	31 721
3	0 070	0 055	38	11 246	8 836	73	41 502	32 548
4	0 125	0 098	39	11 806	9 307	74	42 647	33 508
5	0 195	0 158	40	12 461	9 791	75	43 806	34 119
6	0 280	0 220	41	13 092	10 280	76	44 983	35 343
7	0 382	0 300	42	13 738	10 794	77	46 176	36 280
8	0 498	0 392	43	14 400	11 314	78	47 382	37 228
9	0 631	0 496	44	15 078	11 846	79	48 605	38 189
10	0 779	0 612	45	15 771	12 391	80	49 843	39 162
11	0 942	0 740	46	16 479	12 948	81	51 097	40 147
12	1 121	0 881	47	17 204	13 517	82	52 367	41 144
13	1 316	1 034	48	17 944	14 098	83	53 632	42 154
14	1 526	1 199	49	18 699	14 692	84	54 952	43 176
15	1 752	1 377	50	19 470	15 296	85	56 208	44 210
16	1 994	1 566	51	20 257	15 916	86	57 600	45 256
17	2 251	1 768	52	21 059	16 546	87	58 947	46 315
18	2 523	1 983	53	21 876	17 183	88	60 310	47 386
19	2 811	2 209	54	22 710	17 843	89	61 689	48 469
20	3 115	2 448	55	23 559	18 510	90	63 088	49 563
21	3 435	2 698	56	24 423	19 189	91	64 486	50 671
22	3 769	2 962	57	25 303	19 881	92	65 918	51 791
23	4 120	3 237	58	26 199	20 584	93	67 358	52 923
24	4 486	3 525	59	27 110	21 300	94	68 815	54 067
25	4 868	3 824	60	28 036	22 028	95	70 287	55 224
26	5 265	4 136	61	28 979	22 769	96	71 774	56 393
27	5 677	4 461	62	29 937	23 521	97	73 262	57 574
28	6 106	4 797	63	30 911	24 286	98	74 776	58 644
29	6 550	5 140	64	31 900	25 063	99	76 330	59 972
30	7 009	5 507	65	32 884	25 853	100	77 880	61 190
31	7 484	5 880	66	33 925	26 654	101	79 445	62 420
32	7 975	6 266	67	34 960	27 468	102	81 026	63 662
33	8 481	6 664	68	36 012	28 294	103	82 623	64 916
34	9 003	7 074	69	37 079	29 133	104	84 235	66 133
35	9 540	7 496	70	38 161	29 983	105	85 863	67 462

TABLES DIVERSES.

Météorologie.

Hauteur moyenne de la colonne barométrique aux diverses altitudes.

Altitude.	Hauteur barométr.	Altitude.	Hauteur barométr.
0 mètres	762 millimètres	1.147 mètres	660 millimètres
21 mètres	760	1.269	650
127	750	1.393	640
234	740	1.519	630
342	730	1.647	620
453	720	1.777	610
564	710	1.909	600
678	700	2.043	590
793	690	2.180	580
909	680	2.318	570
1.027	670	2.460	560

Températures.

Température moyenne de Paris, 10°, 7.

La plus basse température connue à Paris a été de — 23°, 5 le 25 janvier 1795.

A 0^m, 30, de profondeur dans le sol, les oscillations de température se font peu sentir et, à 1 mètre, elles sont insensibles.

Thermomètre Réaumur : le 0° correspond au 0° du centigrade, et le 80° correspond à 100° centigrades; les nombres de degrés sont donc dans le rapport de 4 à 5.

Thermomètre Fahrenheit : le 32° correspond au 0° du centigrade, et le 212° à 100° centigrades; en retranchant 32 d'un nombre de degrés Fahrenheit, le nombre restant sera au nombre correspondant de degrés centigrades dans le rapport de 9 à 5.

Vitesses du son et de la lumière.

Vitesse du son à la seconde : 337 mètres dans l'air, 1.435 mètres dans l'eau, 3.500 mètres dans la fonte.

Vitesse de la lumière à la seconde : 300.000 kilomètres.

Pression des vents par mètre carré.

	A la seconde par m. carré.	
Vent frais convenable pour les moulins, vitesse.	7 ^m	6 ^k
Vent très fort.....	15 ^m	30 ^k
Tempête.....	24 ^m	78 ^k
Grand ouragan.....	45 ^m	275 ^k

Neige.

Une hauteur de neige est l'équivalent en poids d'une hauteur d'eau 10 fois moindre. — Pour 0^m, 25 de neige, c'est donc une surcharge de 25 kilogrammes par mètre carré pour les couvertures.

Points de fusion.

Acier	1400°	Fer doux.....	1600°
Alcool absolu.....	—90°	Fonte de fer.....	1250 à 1275°
<i>Alliages :</i>			
1 plomb, 1 étain.....	241°	— aciérée.....	1200 à 1300°
1 plomb, 3 étain.....	186°	— blanche.....	1100°
1 plomb, 5 étain.....	194°	— grise.....	1230°
2 plomb, 9 étain, 1 zinc....	168°	— malléable.....	1300°
<i>Alliage de Darcet :</i>			
1 plomb, 1 étain, 2 bismuth.	93°	Huile d'olive.....	2°, 5
Aluminium.....	650°	Huile de palme.....	29°
Antimoine.....	440°	Iode.....	113°, 5
Argent.....	1040°	Mercure.....	—38°, 5
Arsenic.....	410°	Nickel.....	1452°
Beurre.....	30°	Or.....	1035°
Bismuth.....	265°	Phosphore.....	44°
Bronze.....	900°	Platine.....	1775°
Camphre.....	195°	Plomb.....	335°
Cire blanche.....	68°	Soufre.....	114°
Cobalt.....	1478°	Stéarine.....	61°
Chrome.....	1520°	Sucre de canne.....	160°
Cuivre.....	1093°	Suif.....	33°
Étain.....	226°	Vanadium.....	1720°
		Zinc.....	412°

Points d'ébullition.

Acide acétique.....	120°	Essence de térébenthine...	157°
— azotique ordinaire...	86°	Ether sulfurique.....	35°, 5
— carbonique.....	—78°	Huile de lin.....	387°
— chlorhydrique.....	110°	Iode.....	200°
— sulfureux.....	—10°	Mercure.....	357°, 2
— sulfurique (monohyd.)	338°	Nitrobenzine.....	213°
Alcool.....	78°	Pétrole.....	106°
Benzine.....	80°, 4	Phosphore.....	290°
Brome.....	63°	Potasse caustique.....	175°
Camphre.....	215°	Soufre.....	448°
Sel marin saturé.....	108°	Sulfure de carbone.....	46°
Créosote.....	203°	Zinc.....	929°
Eau de mer.....	103°, 7		

Coefficients de dilatation linéaire.

Acier.....	0,000012	Fer.....	0,000012
Aluminium.....	0,000023	Fil de fer.....	0,000014
Argent.....	0,000020	Fonte.....	0,000011
Bois de sapin.....	0,000005	Granit.....	0,000008
Briques.....	0,000005	Gypse.....	0,000014
Bronze à canons.....	0,000018	Nickel.....	0,000013
Charbon de bois.....	0,000011	Pierre calcaire à bâtir...	0,000005
Ciment romain.....	0,000014	Plomb.....	0,000029
Cuivre.....	0,000017	Terre cuite.....	0,000005
Cuivre jaune.....	0,000019	Verre.....	0,000009
Étain.....	0,000023		0,000029

EXTRAIT DU CATALOGUE



CONDITIONS GÉNÉRALES DE VENTE

EXPÉDITIONS. — Les ordres sont exécutés, en principe, contre remise de valeur sur Paris, mandat-poste, versement au compte de chèques postaux PARIS 7545 ou bien, sur le désir du client, contre remboursement lorsque ce mode de recouvrement est possible. Sauf avis contraire du destinataire, l'envoi est fait par poste ou colis postal à ses risques et périls; il est toujours recommandé pour l'étranger, mais ne l'est que sur demande pour la France et ses Colonies.

Les frais de port et d'emballage, de remboursement, de recommandation ou d'assurance sont à la charge du client. Le poids net indiqué au catalogue pour chaque ouvrage permet d'évaluer les frais de port en se reportant à un barème envoyé franco sur demande.

COMPTES COURANTS. — Un compte peut être ouvert lorsque l'importance des commandes et surtout leur fréquence le justifient; les clients en compte reçoivent en février, mai, août et novembre, pour les trois mois précédents, un relevé dont ils effectuent le paiement dans les conditions indiquées ci-après.

REGLEMENT. — France et Afrique du Nord. — Valeur sur Paris, mandat-poste ou versement au compte de chèques postaux PARIS 7545. Les clients en compte peuvent, s'ils le désirent, s'acquitter sur le vu d'une traite présentée à leur domicile les 5 mars, 5 juin, 5 septembre et 5 décembre, avec majoration de 1 fr. 50 en France, 2 fr. 50 en Afrique du Nord, pour frais de recouvrement.

Étranger. — Les factures sont établies en dollars, livres sterling, francs suisses, pesetas ou florins, en convertissant les prix du *Catalogue de base 1926* en l'une de ces monnaies à raison de \$ 4,80, £ 1, francs suisses : 24; pesetas : 34,28, ou florins : 12 pour 120 francs français. Leur règlement — qui doit être obligatoirement effectué dans l'une de ces cinq monnaies — peut l'être en un chèque sur Paris ou mandat-poste.

Indépendamment des livres indiqués dans son catalogue, la librairie Dunod fournit tous les ouvrages français et étrangers.

La fourniture d'ouvrages étrangers, de livraisons séparées, spécimens et collections de revues françaises et étrangères, ainsi que de renseignements sur les mêmes catégories de publications font l'objet de conditions spéciales qui sont communiquées sur demande affranchie et figurent dans chaque livraison de la *Bibliographie des sciences et de l'industrie*. — Le service de cette publication — dont le prix d'abonnement est fixé à 10 fr. pour la France, \$ 0,6 pour l'étranger — est fait *gratuitement* aux clients de la librairie Dunod qui en font la demande.

Les fascicules du catalogue général correspondant aux divisions ci-après, et comportant les sommaires des ouvrages, sont envoyés franco sur demande.

— 1927 —

Pour la France, la Belgique, le Grand-Duché de Luxembourg et la Suisse, les prix ci-après (prix de base 1926) subissent, pour chaque commande, la hausse en vigueur à la date de celle-ci. — Pour les autres pays, se reporter au texte ci-dessus "Règlement. — Étranger".

ORGANISATION INDUSTRIELLE ET COMMERCIALE

I. — ORGANISATION INDUSTRIELLE

- La Technique moderne**, publication bimensuelle illustrée. Ab. annuel France, 80 fr. ; Etr., \$ 5,60 (\$ 4,90 pour les pays ayant accepté l'échange du tarif postal réduit). — Le n° Etranger \$ 0,25. France, 4 fr.
- La Pratique des Industries mécaniques**, publication mensuelle illustrée. Ab. annuel : France, 42 fr. ; Etr., \$ 2,95 (\$ 2,70 pour les pays ayant accepté l'échange du tarif postal réduit). — Le n° Etranger \$ 0,25. France..... 4 fr.
- Les Nouveaux livres scientifiques et industriels**, publication trimestrielle. Abonnement annuel. Etranger \$ 0,60. France.... 9 fr.
- La direction des ateliers**, TAYLOR. *Nouv. tir.* (510 gr.)..... 20 fr.
- Création, organisation et direction des usines**, MATTERN. In-8° avec figures. 2° édition (590 gr.)..... 35 fr.
- Organisation industrielle**, CHARPENTIER. In-8°, (970 gr.).. 36 fr.
- Organisation des ateliers de mécanique**, JAQUIN. (240 gr.). 11 fr.
- Organisation scientifique de l'usinage**, DENIS. I. 2° édit. in-8°, avec 107 fig. (430 gr.), 20 fr. — II. in-8°, avec 41 fig. (250 gr.). 14 fr.
- L'atelier moderne de construction mécanique**, O. PERRIGO et VARINOIS. In-8°, avec 219 figures. (970 gr.)..... 42 fr.
- Construction et installation modernes des ateliers et usines**, RAZOUS. 5° édition. In-8°, avec 303 figures. (1210 gr.)..... 52 fr.
- Etude des mouvements**, méthode d'accroissement de la capacité productive d'un ouvrier, GILBRETH. In-16. (190 gr.)..... 12 fr.
- Etude des mouvements appliqués**, GILBRETH. (260 gr.). 14 fr. 50
- Administration industrielle et générale**, FAYOL. (530 gr.) 13 fr. 50
- L'incapacité industrielle de l'Etat : les P. T. T.**, FAYOL. (290 g.). 6 fr.
- Le contrôle technique à l'usine**, ROUET et COTTO. (180 gr.). 12 fr.
- Organisation technique et commerciale des usines**, NÉGRIER. In-8°, avec figures. (550 gr.)..... 22 fr.
- Organisation économique du travail dans les usines**, MASUI. 3° édition. In-8°, avec 155 figures (710 gr.)..... 30 fr.
- Méthodes économiques d'organisation dans les usines**, IZART. In-8°, avec 15 figures (420 gr.)..... 18 fr.
- Etude sur l'organisation rationnelle des usines**, SIMONET. *Nouv.* édition. In-8°, avec figures. (440 gr.)..... 19 fr.
- Organisation rationnelle d'une usine**, PETITET. In-4°, avec 227 fig. et 5 pl. (640 gr.)..... 36 fr.
- La production industrielle intensive**, DE FLEURY. (160 gr.). 9 fr.
- Le moteur humain et les bases scientifiques du travail professionnel**, AMAR, 2° édit., in-8°. (810 gr.)..... 56 fr.
- Organisation physiologique du travail**, AMAR. (1060 gr.). 43 fr.
- L'orientation professionnelle**, AMAR. In-8°. (220 gr.)... 12 fr. 50
- Les lois scientifiques de l'éducation respiratoire**, AMAR. (430 gr.). 20 fr.
- Les déchets et sous-produits industriels**, RAZOUS. (128 gr.). 58 fr.
- Formules, recettes, procédés à l'usage des Ingénieurs**, FRANÇOIS. In-16. (570 gr.)..... 24 fr.

II. — ORGANISATION COMMERCIALE

- La technique des affaires**, CHAMBONNAUD. I : *Affaires nouvelles*. 3^e éd. (590 gr.), 17 fr. ; II : *Affaires et méthode scientifique*, 2^e éd. (650 gr.), 18 fr. ; III : *Affaires et personnel*, 2^e éd. (860 gr.), 28 fr. ; IV : *Affaires et art de traiter*, (610 gr.), 17 fr. ; V : *Affaires par correspondance* (680 gr.), 20 fr. ; VI : *Affaires et l'imprimé* (600 gr.), 19 fr. ; VII : *Affaires et l'annonce*, (940 gr.), 45 fr. ; VIII : *Affaires et l'affiche*. (720 gr.), 32 fr. ; IX : *Affaires et leur lancement*, (620 gr.)... 23 fr.
 Prix de la collection entière (9 vol.)..... 185 fr.
- La statistique appliquée aux affaires**, ISABEL. (200 gr.)... 15 fr.
- Ce qu'il faut savoir pour exporter**, HORSIN-DÉON. (250 gr.) 18 fr.
- Notions de commerce**, COUDRAY et CUXAC, 2^e éd. (480 gr.). 15 fr.
- L'art de vendre**, CODY et MIS. In-8^o. (420 gr.)..... 17 fr.
- La représentation commerciale**, SABATHÉ. In-8^o (360 gr.). 17 fr. 50
- Traité pratique des sociétés commerciales** (aux points de vue P^o comptable, juridique et fiscal). BATARDON. 3^e éd. (1610 gr.). 70 fr.
- Les Sociétés à responsabilité limitée**, POTTIER. (650 gr.). 38 fr.
- Précis intégral de publicité**, GÉRIN. In-8^o, (440 gr.)..... 25 fr.
- L'art de faire des affaires par lettre et par annonce**, CODY et CHAMBONNAUD. 2^e éd. In-16. (370 gr.)..... 16 fr.
- Pour tirer le meilleur parti des affaires**, LEWIS et B. MAYRA. In-8^o. (970 gr.)..... 20 fr.
- Le gouvernement des entreprises commerciales et industrielles**, CARLIOZ. In-8^o, avec 47 figures. (770 gr.)..... 36 fr.
- Organisation rationnelle des entreprises commerciales**, GUTJAHR. In-8^o. (640 gr.)..... 28 fr.
- Memento des fondateurs de sociétés**, BATARDON. 5^e éd. I : *Sociétés en nom collectif et associations en participation*. (100 gr.), 6 fr. ; II : *Sociétés en commandite simple et en commandite par actions*, (130 gr.), 7 fr. ; III : *Sociétés anonymes*. (110 gr.)..... 6 fr. 50
- L'enregistrement des actes de sociétés**, JANNIOT. (410 gr.). 15 fr.
- Le crédit industriel et commercial**, LANDRY. (470 gr.)... 12 fr.
- Le style commercial**, MIS, 2^e éd. In-8^o. (320 gr.)..... 13 fr.
- Manuel pratique de correspondance commerciale et industrielle**, ANSOTTE et DEFRISE. In-16. (230 gr.)..... 8 fr.
- Dictionnaire français-anglais de la correspondance commerciale**, BOMPAS et METTÉE. In-8^o. (810 gr.)..... 45 fr.

III. — COMPTABILITÉ ET FINANCES

- Cours de comptabilité**, DUFAYEL. 2^e éd. In-8^o. (600 gr.)... 22 fr.
- Cours pratique de Comptabilité**, BATARDON. I : In-16, (520 gr.), 16 fr. ; II : 2^e éd. In-16. (420 gr.)..... 16 fr.
- La comptabilité à la portée de tous**, BATARDON (320 gr.). 12 fr.
- Comptabilité commerciale : les procédés modernes, la méthode centralisatrice**, BATARDON. 3^e éd. (270 gr.)..... 9 fr.
- Comptabilité commerciale : la tenue des livres sur feuillets mobiles**, BATARDON. 3^e éd. In-16, avec 14 fig. (180 gr.)..... 7 fr.

Notions sommaires de comptabilité industrielle, BATARDON.	
In-16, 2 ^e édit. (170 gr.).....	8 fr.
Traité pratique de comptabilité industrielle, ANSOTTE et DEPRISE.	
In-4 ^e , 5 ^e édition. (470 gr.).....	18 fr.
Précis de comptabilité industrielle, TEXIER. In-8 ^e . (210 gr.)...	6 fr.
Enoncés et solutions de questions de comptabilité posées au diplôme de Comptable de la Société de Comptabilité de France de 1887 à 1924, REMONDIN et LINGER. In-8 ^e . (1010 gr.)....	30 fr.
Précis de comptabilité industrielle appliquée à la métallurgie, BOURNISIEN. In-8 ^e . 2 ^e édit. (450 gr.).....	20 fr.
Monographie comptable de sucrerie, ANSOTTE. (390 gr.)..	10 fr.
Comptabilité des entreprises du bâtiment, TEXIER. (160 gr.)..	5 fr.
Comptabilité des entreprises électriques, DELAVELLE. (70 g.)..	2 50
L'inventaire et le bilan, BATARDON. 3 ^e édit. In-8 ^e . (890 gr.)..	36 fr.
La Gestion des affaires, EDM. In-8 ^e , 4 ^e édit. (450 gr.).....	20 fr.
Précis d'un cours de banque, DESCHAMPS. 4 ^e édit. (240 gr.)..	7 50
Administration financière, QUESNOT. In-8 ^e . (970 gr.).....	36 fr.
L'organisation du contrôle et la technique des vérifications comptables, J. REISER. In-8 ^e . (440 gr.).....	35 fr.
Simple notions sur les changes étrangers, FAURE. (190 gr.)..	9 fr.
Comptabilité départementale, vicinale, communale et commerciale, DARDART, BONNAL et ORRIER. In-16. (960 gr.)....	36 fr.
Comptes faits. Tables des produits, CLAUDEL. (250 gr.)... ..	12 fr.
Tables des carrés et des cubes, des nombres entiers, des longueurs, des circonférences, des surfaces, des cercles et des expressions trigonométriques, CLAUDEL. In-8 ^e . (220 gr.)..	14 fr.
Le barème pratique, MORVAN. In-8 ^e . (270 gr.).....	12 fr.
Barème Morin pour le calcul des salaires. (1120 gr.).....	15 fr.
Tarif usuel selon le système métrique pour la réduction des bois carrés et en grume, CORDOIN. 25 ^e édit. (150 gr.).....	9 fr.

IV. — ÉCONOMIE. — LÉGISLATION

Economie politique et statistique, LORDIER. (730 gr.)....	30 fr.
Economie industrielle, MARGUERY. (410 gr.).....	12 fr.
Précis de législation usuelle et commerciale, ANGLÈS et DUPONT.	
In-16, 2 ^e édit. (590 gr.).....	13 fr.
Droit commercial et législation industrielle, MARTIN. (870 g.)..	30 fr.
Précis de législation ouvrière et industrielle, DURIN et DESVAUX.	
In-16, 2 ^e édit. PENCIOLELLI. (510 gr.).....	18 fr.
La législation sur les accidents du travail, BENOIT. (130 gr.)..	6 fr.
La protection légale des dessins et modèles, CHABAUD. (790 gr.)..	18 fr.
Les clauses du travail dans le traité de Versailles, GODART. In-8 ^e . (320 gr.).....	18 fr.
La Ruhr et l'Allemagne, COUPAYE. In-16. (360 gr.).....	15 fr.
Le statut des Familles nombreuses, DEQUIDT. (190 gr.)... ..	9 fr.
Ce qu'il faut savoir de la Russie économique, WELTER. (250 g.)..	12 fr.
Les Associations diocésaines, Abbé RENAUD. (240 gr.)....	12 fr.
La politique française en 1922. (290 gr.).....	12 fr.
Code de l'assistance, PENCIOLELLI. (220 gr.).....	12 fr.

La reconstruction du monde, A. MILHAUD. (430 gr.).....	18 fr.
La politique française en 1923. (270 gr.).....	12 fr.
Les assurances sociales, DEGAS. (270 gr.).....	15 fr.
L'avenir du franc, WERNLÉ. (110 gr.).....	8 fr.
La bataille des réparations, VERÉÉ. (110 gr.).....	7 50.
Ce que peut la France vivante, BITTARD et MORTIER. (220 gr.)	12 fr.
Les salaires ouvriers et la richesse nationale, BAYLE. (570 g.)	14 fr.
Formules de salaires, PAINVIN. (80 gr.).....	4 fr.
Comment établir les salaires de demain, DANTY-LAFRANCE. (120 gr.).....	7 fr.

V. — HYGIÈNE

Cours d'hygiène générale et industrielle, BATAILLER et TRESPONT. In-16, avec 148 figures. (610 gr.).....	10 fr.
Applications de la biologie à l'art de l'ingénieur, IMBEAUX. In-8°. (400 gr.).....	17 fr.
Pratique de l'hygiène industrielle, FROIS et RAZOUS. (450 gr.)	15 fr.
Les maladies professionnelles, BRETON. In-8°. (530 gr.)...	12 fr.
Le mouvement d'hygiène industrielle, XARDEL. (590 gr.)..	28 fr.
Hygiène et secours et premiers soins à donner aux malades et aux blessés, NOIR. In-16, avec 79 fig. (590 gr.).....	24 fr.

ENSEIGNEMENT GÉNÉRAL et PROFESSIONNEL

L'enseignement technique, industriel et commercial en France et à l'étranger, ASTIER et CUMINAL. 2 ^e édit. (1110 gr.)....	15 fr.
Pour l'ouvrier moderne, Ecoles, classes, cours, examens professionnels, CAILLARD. In-8°, avec fig. (510 gr.).....	12 fr.
Une Université du travail, BUYSE. (1190 gr.).....	30 fr.

I. — MATHÉMATIQUES

Cours d'arithmétique, PHILIPPE et DAUCHY. 2 ^e édit. (540 gr.)	19 50
Problèmes et exercices d'arithmétique, avec solutions, PHILIPPE et DAUCHY. 3 ^e édit. (500 gr.).....	15 fr.
Éléments d'algèbre, PHILIPPE et DAUCHY, 3 ^e éd. (440 gr.)	15 fr.
Cours de géométrie, PHILIPPE et FROUMENTY. I : in-16 avec 374 fig. 2 ^e édit. (360 gr.), 12 fr. ; II : In-16, avec fig., 2 ^e édit. (490 gr.)	16 50
Notions élémentaires de géométrie descriptive appliquée au dessin, HARANG et BEAUFILS. 4 ^e édit., avec 142 fig. (290 gr.)	9 fr.
Géométrie descriptive (candidats A. et M.), HARANG. (190 g.).	6 fr.
Trigonométrie, HARANG. In-16, avec 111 fig. (220 gr.)....	9 fr.
Trigonométrie rectiligne, par DORGEOT. (290 gr.).....	15 fr.
Cours préparatoire de mathématiques spéciales, Algèbre et trigonométrie, WEBER. In-8°. (1010 gr.).....	45 fr.
Mathématiques, DARIÈS, 2 ^e édit., avec 310 fig. (660 gr.)....	33 fr.

- Les mathématiques après l'école primaire**, TRIPARD. (460 g.). 12 fr.
Les mathématiques de l'ouvrier moderne, VEZO. In-16. 2 vol.
 Tome I : *Arithmétique, Algèbre*, 71 fig. (350 gr.), 13 fr. — Tome II :
Géométrie, avec 530 fig. (380 gr.)..... 14 fr.
Connaissances scientifiques utiles aux aviateurs, MARCOTTE et BÉRÉ-
 HARE. In-8°, avec 412 fig. (1510 gr.)..... 32 fr.
Le calcul intégral et différentiel à la portée de tout le monde
 THOMSON et GÉRARD. In-16, 2° édit. (470 gr.)..... 25 fr.
La pratique des abaques, JAMIN. Gr. in-8°. (650 gr.)..... 20 fr.
Le calcul des probabilités à la portée de tous, HALBWACHS et FRÉ-
 CHET. In-16, avec fig. (500 gr.)..... 21 fr.

II. — DESSIN

- Travaux graphiques**, JAULIN, avec 739 fig. et 8 pl. (650 gr.). 33 fr.
Traité de dessin géométrique, RAULT. Tome I : *Perspective conique*
 (partie élémentaire), avec atlas de 11 pl. (310 gr.), 12 fr.; Tome II :
Perspective conique, avec atlas de 21 pl. (540 gr.)..... 20 fr.
Cours de dessin industriel, DUPUIS et LOMBARD. I : *Introduction*
 avec 395 fig. et 3 pl. (480 gr.), 12 fr.; II : *Technique* avec 280 fig. et
 20 pl. (440 g.), 11 fr.; III : *Planches d'exécution* de 32 pl. (420 g.). 14 fr.
Technique du croquis et du dessin industriel, MAREC. 2° édit.
 In-4°, avec 260 fig. et 4 pl. (420 gr.)..... 22 fr.
Traité pratique de dessin industriel, MARTIN. (330 gr.)... 22 fr.
Pour le dessinateur, DE THELLESME. (240 gr.)..... 12 fr.
**Nouveau traité pratique de projections orthogonales avec appli-
 cations à la tôlerie et à la chaudronnerie**, J. MARTIN. 1^{re} partie,
 (630 gr.), 25 fr.; 2^e partie (340 gr.)..... 20 fr.
**Le dessin et la composition décorative appliqués aux industries
 d'art**, COUTY. In-16, avec 462 fig. (420 gr.)..... 18 fr.
L'art appliqué aux métiers, MAGNE. I : *Décor de la pierre*. (770 gr.),
 20 fr.; II : *Décor de la terre*. In-8°, avec 130 fig. (réimpr.); III : *Décor
 du verre*. (920 gr.), 20 fr.; IV : *Décor du fer*. (750 gr.), 20 fr.; V : *Décor
 du cuivre et du bronze*. (760 gr.), 20 fr.; VI : *Décor du plomb, étain,
 argent, or*. (700 gr.)..... 20 fr.

III. — PHYSIQUE

- Précis de physique**, BOLL. In-16, 248 fig. (820 gr.)..... 36 fr.
Cours de physique générale, OLLIVIER, 2° édition. I : In-8°, avec
 408 fig. (réimpr.); II : In-8°, avec 146 fig. (730 gr.), 28 fr.; III : In-8°
 avec fig. (1.400 gr.)..... 45 fr.
Physique à l'usage des candidats aux écoles d'Arts et Métiers,
 avec supplément (*Optique*) : GOUARD et HIERNAUX. In-16, avec fig.
 (620 gr.)..... 18 fr.
Notions de physique (section commerciale), CHAPPUIS et JACQUET.
 In-16, avec 271 fig., 2° édit. (350 gr.)..... 12 fr.
Éléments de physique (section industrielle), CHAPPUIS et JACQUET,
 In-16, avec 376 fig., 6° édit. (390 gr.)..... 13 fr.

IV. — CHIMIE

(voir pages XLIX et suivantes.)

V. — MÉCANIQUE

(voir pages XL et suivantes.)

VI. — ÉLECTRICITÉ

(voir pages XLVI et suivantes.)

VII. — FRANÇAIS, HISTOIRE ET GÉOGRAPHIE

- Les lectures de la profession, A. et L. FRANCHET. (340 gr.). 9 fr.
 La culture générale des jeunes gens se destinant à l'industrie,
 A. FRANCHET et L. FRANCHET. In-16, av. 21 cartes. (370 gr.). 10 fr.
 Morceaux choisis des meilleurs auteurs français des XVII^e, XVIII^e
 et XIX^e siècles, PÉRIÉ et CRÉPIN. 2^e édit. In-16. (460 gr.)... 16 fr.
 Le français, l'histoire et la géographie, GRIGAUT. (290 gr.). 6 fr.
 La composition française, l'histoire et la géographie, aux examens des Ecoles d'A. et M. GRIGAUT. (110 gr.)... 4 50
 Cours d'histoire contemporaine, RISSON et MOUSSET. I : *La France de 1789 à 1848*. 2^e édit. (230 gr.), 10 fr.; II : *La France et le monde de 1848 à 1920. Instruction civique*. 4^e édit. (420 gr.)... 15 fr.
 Cours de Géographie Commerciale, BERTRAND, 2^e édit. mise à jour d'après les derniers traités. (450 gr.)... 18 fr.
 Géographie générale et économique, GRIGAUT. (432 gr.). 18 fr.
 Collection des grands ports français (voir p. LIX).

VIII. — STÉNOGRAPHIE

- Sténographie (système Prévost-Delaunay), JULIEN. (450 gr.). 11 fr.
 Cours progressif de sténographie, ZRYD. 2^e édit. (420 gr.). 10 fr.
 Sténographie, 20 dev. (syst. Prévost-Delaunay), DEROUIN. (270 g.). 8 fr.
 Adaptation phonétique à l'anglais, THIÉBAULT. (100 gr.).. 4 fr.
 Adaptation phonétique à l'espagnol, POSTIF. (130 gr.)... 6 fr.

IX. — LANGUES ÉTRANGÈRES

- Je lis l'anglais, CHAMBONNAUD. In-8^o. (230 gr.)... 8 fr.
 Fred and Maud (1^{er} livre d'anglais), CHAMBONNAUD et TEXIER. (370 gr.)... 15 fr.
 Across the Channel (2^e livre d'anglais), CHAMBONNAUD et TEXIER. (350 gr.)... 12 fr.
 Round the World (cours supérieur d'anglais usuel), CHAMBONNAUD et TEXIER. In-16, avec fig. (380 gr.)... 10 fr.
 Business english (*anglais commercial*), CHAMBONNAUD et TEXIER, (*en préparation*).
 L'anglais commercial et industriel, DELOGE et VAN GORP. (410 gr.) 15 fr.
 Primer curso de lengua castellana, LOURTAU. (250 gr.).. 9 fr.
 Segundo curso de lengua castellana, LOURTAU. (540 gr.). 11 fr.
 Vade-mecum espanol del comerciante, LOURTAU et ARIZMENDI. In-16, avec fig. et pl. (390 gr.)... 16 fr.
 Cours d'allemand commercial, MÉRÉSSE. (230 gr.)... 14 fr.

MÉCANIQUE ET MACHINES

I. — GÉNÉRALITÉS

- Cours de machines**, HATON DE LA GOUPIILLIÈRE. 2 vol. (3200 g.). 125 fr.
Cours de résistance des matériaux: Application au calcul des éléments de machines, BONHOMME. In-8°, 461 fig. (1.510 gr.)... 70 fr.
Construction des machines, HENROTTE. 2 vol. (2.680 gr.)... 120 fr.
Les machines motrices, DAUCHY et JACQUET. (480 gr.)... 17 fr.
Comment tenir compte des chocs dans les calculs pratiques de résistance des matériaux, par JANNIN. In-8°. (490 gr.)... 35 fr.
La mécanique appliquée, théorique, numérique et graphique, DORGEOT. In-4°, avec 617 fig. (1.740 gr.)... 70 fr.
Cinématique théorique et appliquée, DORGEOT. (1.020 gr.) 55 fr.
Mécanique à l'usage des candidats aux Ecoles d'Arts et Métiers, GOUARD et HIERNAUX. In-16, avec fig. (210 gr.)... 12 fr.
Cours élémentaire de mécanique industrielle, GOUARD et HIERNAUX. 2^e édit.; I : avec 367 fig. (480 gr.), 15 fr.; II : avec 327 fig. (440 gr.), 15 fr.; III : avec 196 fig. (320 gr.)... 12 fr.
Mécanique, hydraulique, thermodynamique, DARIÈS. (920 g.). 42 fr.
Précis de technologie mécanique, FLEURY. 351 fig. (590 gr.). 38 fr.
Des mécanismes élémentaires, LOCHE. 395 fig. (320 gr.)... 22 fr.
Théorie simplifiée des mécanismes élémentaires, LOCHE. (270 gr.)... 15 fr.
Les essais de machines, ROYDS, trad. par B. GIRAUD. (1.310 gr.). 70 fr.
Aide-mémoire de l'ingénieur-mécanicien, IZART. 4^e édition. (1.110 gr.)... 55 fr.
Guide pratique d'atelier, PERDRIAT. (170 gr.)... 15 fr.
Manuel du mécanicien, MAILLOT. 3^e édit. (240 gr.)... 11 fr.
Pour l'ajusteur mécanicien, A. LEFÈVRE. 96 fig. (260 gr.)... 13 50
Le travail manuel des métaux : forge, chaudronnerie, ajustage, HOUA. In-16, 192 fig. (220 gr.)... 9 fr.
Manuel de traçage dans la chaudronnerie et la charpente en fer, HERMANN et DEYSINE. (210 gr.)... 14 fr.
Traçage des constructions métalliques et de chaudronnerie, BOTTIEAU. 2 vol. (770 gr.)... 46 fr.
Aide-mémoire de l'ouvrier mécanicien, JACQUET. (300 gr.). 16 fr.
Recueil d'essais d'ajustage, LE COZLER. (360 gr.)... 16 fr.
Le petit outillage moderne du mécanicien, JACQUET. (190 g.). 7 fr.
Le contremaître mécanicien, LOMBARD et CAEN. (660 gr.). 30 fr.
Les ressorts, REYNAL. In-16, avec 25 fig. (160 gr.)... 11 fr.
La vérification des pièces interchangeables, NÉGRIER. (160 g.). 9 fr.
Recueil de graphiques, C. RAYNAL, 16 planches. (430 gr.)... 25 fr.
Étude sur les courroies de transmission, CARLIER. (130 gr.). 10 fr.
La pratique du graissage, THOMSÉN, et CHAILLOU. (1.500 g.). 85 fr.

II. — CHAUDIÈRES ET MACHINES A VAPEUR

- Principes généraux de thermodynamique**, MONTEIL. (410 g.). 18 fr.
Études sur la vapeur d'eau, par J. B. L. ... 36 fr.

Chaudières à vapeur, DEJUST et TURIN. 2° édit. (960 gr.)...	57 fr.
Cours pratique de chauffe et de chaudières industrielles, JOLLY. In-16, avec 276 fig. (470 gr.).....	25 fr.
La chaufferie moderne. Alimentation des chaudières et tuyauteries à vapeur, GUILLAUME et TURIN. 2° édit. (860 gr.)...	38 fr.
La chaufferie moderne. Les foyers de chaudières, TURIN. 2° édition. Avec 484 fig. (1.060 gr.).....	65 fr.
Méthodes économiques de combustion dans les chaudières à vapeur, IZART 4° édit. Avec 115 fig. (1.000 gr.).....	40 fr.
L'économie de combustible dans les usines de force motrice utilisant le chauffage à la main, VARINOIS. (320 gr.)....	16 fr.
Le gaspillage des combustibles, BERGER. 2° édit. (350 gr.)	17 fr.
Machines à vapeur et machines thermiques diverses, DEJUST. 2° édit. DOZOUL, avec 440 fig. (810 gr.).....	54 fr.
Cours de machines à vapeur, JOLLY. (470 gr.).....	36 fr.
Les régulateurs des machines à vapeur, LECORNU. (990 gr.)	25 fr.
Traité de la condensation, WEISS. (1.420 gr.).....	40 fr.
Législation et contrôle des appareils à vapeur, CUVILLIER. (690 gr.)	24 fr.
Turbines à vapeur et à gaz, A. STODOLA, trad. par E. HAHN. 2 vol. avec 1.138 fig. et 6 planches. (4.500 gr.).....	320 fr.
Diagramme de Mollier, STODOLA et HAHN 3 pl. (210 gr.)	18 fr.
Les turbines à vapeur, GOUDIE et GIRAUD. (1.550 gr.).....	60 fr.
Incidents de fonctionnement des machines à vapeur, HAMKENS. In-16, avec 276 figures. (400 gr.).....	25 fr.

III. — MACHINES ET TURBINES HYDRAULIQUES

Cours d'hydraulique théorique. (310 gr.).....	15 fr.
Machines hydrauliques, CHAUDY. In-16, 2° édit. (<i>en préparation</i>).	
Les turbines hydrauliques et les turbo-pompes, R. THOMANN. Traduit par P. ILLIS. In-8° avec 147 fig. (790 gr.).....	35 fr.
Nouvelle théorie et calcul des roues-turbines, LORENZ, ESPITALIER et STREHLER. In-8°, avec 121 fig. (850 gr.).....	32 fr.
Les turbines hydrauliques à grand débit, DE MORSIER. (220 gr.)	12 fr.
Les pompes, MASSE. In-4°, avec 957 fig. (1.820 gr.).....	66 fr.

IV. — MOTEURS A GAZ, DIESEL, etc.

Les moteurs à gaz, HAEDER et VARINOIS, tome I, 4° édit. (590 gr.)	40 fr. ;
tome II, 4° édit. (820 gr.).....	50 fr.
Les moteurs à gaz, RICHARD. In-8° et atlas, 70 pl. (2170 gr.)	150 fr.
Cours élémentaire à l'usage des monteurs et conducteurs de moteurs à gaz, GUILLOU. In-16 avec 27 fig. (900 gr.).....	16 fr.
Moteurs à combustion interne et gazogènes, LETOMBE. (420 gr.)	14 fr.
Cours de moteurs industriels à combustion interne, JOLLY. In-16, avec 184 fig. (390 gr.).....	18 fr.

Théorie succincte, conduite et entretien du moteur Diesel , LE GALLOU. 2 ^e édit. In-4 ^o avec 145 fig. (1.090 gr.).....	38 fr.
Les moteurs à huile lourde, à injection directe (semi-Diesel) , LE GALLOU. In-8 ^o , 113 fig. (920 gr.).....	38 fr.
Les moteurs Diesel et les moteurs semi-Diesel , VAILLOT, 2 vol. In-4 ^o , avec 1.050 fig. et 29 pl. (4.290 gr.).....	220 fr.

V. — MACHINES-OUTILS ET APPAREILS DE LEVAGE

Les machines-outils pour le travail des métaux , JACQUET. In-8 ^o , avec 173 fig. (220 gr.).....	43 fr.
Expériences sur le travail des machines-outils , CODRON. I : <i>Ajustage</i> . In-4 ^o . (920 gr.), 34 fr. ; II : <i>Forage</i> . In-4 ^o . (1.670 gr.), 65 fr. ; III : <i>Aldsage</i> . In-4 ^o . (410 gr.).....	16 fr.
Le sciage des métaux , CODRON. In-4 ^o . (1870 gr.).....	90 fr.
Méthodes rationnelles d'usinage : Abaques , GUYOT. (220 g.).	15 fr.
La taille des métaux , TAYLOR et DESCROIX. (920 gr.).....	32 fr.
La taille des métaux, d'après les expériences de F.-W. Taylor et la forme rationnelle des outils , MASSOT. (310 gr.).....	12 fr.
Les tours, construction, essais, emplois , PERRIGO et VARINOIS. In-8 ^o , avec 341 fig. (980 gr.).....	55 fr.
Les outils de tours , DARNAY et LENOUVEL. In-4 ^o . (520 gr.).	15 fr.
Les broches à mandriner et le mandrinage à la broche , VIALLET et VARINOIS. In-8 ^o . (520 gr.).....	30 fr.
Montages d'usinage et outils spéciaux , COLVIN et HAAS. In-8 ^o , avec 39 fig. (420 gr.).....	28 fr.
Manuel de l'ouvrier tourneur et fileteur , LOMBARD. (250 gr.).	13 fr.
Manuel du tourneur-mécanicien , ADAM. In-8 ^o . (150 gr.).	6 75
Le fraisage , VARINOIS. In-8 ^o , avec 586 fig., 2 ^e édit. (1.560 gr.).	90 fr.
Le fraisage , HANEN. In-8 ^o , avec 82 fig. (210 gr.).....	12 fr.
L'emboutissage , GIANOLI. In-8 ^o , avec 224 fig. et 3 pl. (570 gr.).	35 fr.
Poinçons et matrices , STANLEY et VARINOIS. (1.020 gr.)...	55 fr.
Découpage, matriçage, poinçonnage et emboutissage , WOODWORTH et RICHARD. In-8 ^o , avec 685 fig. (780 gr.).....	40 fr.
Outils à découper et à emboutir , V. RICORDEL. (220 gr.).	15 fr.
L'outillage américain pour la fabrication en série , WOODWORTH et VARINOIS. 2 ^e édit. In-8 ^o , avec 601 fig. (910 gr.).....	50 fr.
Le travail à la meule dans la construction mécanique , COLVIN et VARINOIS. In-8 ^o , avec 286 fig. (970 gr.).....	48 fr.
Graphique pour le tracé des engrenages et la détermination des dentures , GATEAU. 2 pl. in-plano (130 gr.).....	6 fr.
Notes sur les frappeurs pneumatiques , BARIL. (610 gr.).	15 fr.
Mécanique, électricité et construction appliquées aux appareils de levage , ROUSSELET. I : <i>Les ponts roulants actuels</i> . Gr. in-8 ^o , 286 fig. et 11 pl. 2 ^e édit. (2.220 gr.), 95 fr. ; II : <i>Les ponts roulants à treillis et les grues à portiques actuels</i> . Gr. in-8 ^o , 673 fig. et 13 pl. (2.590 gr.).....	110 fr.
Appareils de levage , PACORET. 2 vol. I. (450 gr.), 26 fr. ; II. (1.500 gr.).....	82 fr.
Les matériaux des constructions mécaniques , MARCOTTE et BÉRHARE. In-4 ^o , avec 1510 fig. (4.200 gr.).....	52 fr.

VI. — MACHINES MARINES

Cours élémentaire de machines marines, OUDOT. (360 gr.).	16 fr.
L'hélice propulsive, LORAIN, avec 92 fig. (430 gr.).	25 fr.
Les turbines à vapeur marines, SOTHERN. In-8°. (620 gr.).	16 fr.
Turbines à vapeur, STODOLA, (voir page XLI).	
Les bateaux sous-marins, FOREST et NOALHAT. 2 vol. in-8°, avec 663 fig. et 2 pl. (2.070 gr.).	50 fr.
Sous-marin et submersible à la portée de tout le monde, FOREST. In-4°, avec 80 fig. et 2 pl. démontable en couleurs. (520 gr.).	25 fr.

VII. — DIVERS

Notice pratique sur les instruments de pesage-types (Construction, ajustage, vérification), RAMBAUD. In-8°. (280 gr.).	15 fr.
Réparation, montage et entretien des instruments de pesage usuels, GUEIDON. In-8° avec 171 fig. (270 gr.).	18 fr.
Le tissage mécanique moderne, SCHLUMBERGER. (350 gr.).	25 fr.
A. B. C. de l'appareil horloger, BOURDAIS et GRALL. (190 gr.).	6 50
Guide manuel de l'apprenti horloger, FIGNET. (650 gr.).	20 fr.

AUTOMOBILISME. — AÉRONAUTIQUE

I. — AUTOMOBILISME

La Vie automobile, publication bi-mensuelle illustrée. Ab. annuel : France, 52 fr. ; Etr. \$ 3.85 (\$ 3.45 pour les pays ayant accepté l'échange du tarif postal réduit), le n° ordinaire Étranger \$ 0,18, France 3 fr.	
La technique automobile et aérienne, publication trimestrielle illustrée. Ab. annuel : France, 20 fr. ; Etr. : \$ 1.35 (\$ 1.20 pour les pays ayant accepté l'échange du tarif postal réduit), le n° Étranger \$ 0,36 ; France	6 fr.
Cours d'Automobile, (1924-25) de la Vie Automobile. (290 gr.).	15 fr.
Pour le Chauffeur d'Auto, ROUSSET. (200 gr.).	11 fr.
Traité élémentaire d'automobile, PETIT. In-8°. (1520 gr.).	56 fr.
Organisation et fonctionnement des véhicules automobiles, P. PRÉVOST. In-8° avec 653 fig. (1540 gr.).	60 fr.
J'achète une automobile, FAROUX. In-8°, 74 fig. (470 gr.).	12 fr.
Pourriez-vous me dire (The man who knows). I : Le moteur (épuisé), II : Le châssis. In-16. (660 gr.).	12 fr.
L'acier dans la construction automobile. Le fer et ses dérivés, DELESTRADE. In-8° (490 gr.).	25 fr.
Le châssis automobile, MARRET. In-8°, avec 88 fig. (340 gr.).	12 fr.
Le moteur à essence adapté à l'automobile et à l'aviation, BOILEAU. In-4°, avec 163 fig. et 5 pl. (1.010 gr.).	25 fr.
Le moteur à explosion, DEVILLERS. 2° édit. 2 vol. (3.100 gr.).	150 fr.
Le moteur à essence, CARLÈS. In-8°. (960 gr.).	50 fr.
Construction des moteurs à explosions, CASALONGA. (1.210 gr.).	40 fr.

La voiture à essence, HELDT et PETIT. In-8°. I. Le moteur, 391 fig.,	
A (1.270 gr.), 65 fr. — II. Le châssis, 421 fig. (1.220 gr.).....	65 fr.
Les moteurs à deux temps, VENTOU-DUCLAUX. (320 gr.)..	22 fr.
L'allumage des moteurs d'automobile, SAUR et MARTENOT DE	
CORDOUX. In-16, avec 34 fig. (200 gr.).....	10 fr.
La bicyclette à moteur, P. CARRÉ. In-16. (180 gr.).....	8 fr.
Le tourisme en automobile, AUSCHER. In-8°. (1.000 gr.)... 	15 fr.
Carnet de route de « La Vie automobile », PÉRISSÉ. (150 gr.).	10 fr.
Le pétrole lampant dans les moteurs d'automobiles, FERRUS,	
LOREAU et LUMET. In-8°, avec fig. (170 gr.).....	5 fr.
Vade-mecum des transports par omnibus automobiles, LE	
GRAND. In-16. (190 gr.).....	6 fr.
Organisation et comptabilité des transports automobiles, CA-	
QUAS. In-4°. (150 gr.).....	8 fr.
Les bateaux automobiles, FOREST. In-8°. (1.820 gr.).....	44 fr.
Les litiges de l'automobile, IMBRECQ et PÉRISSÉ. (550 gr.).	13 fr.
Les excès de vitesse en automobile et leur répression, IMBRECQ.	
In-8°. (150 gr.).....	4 fr.
Le mécanicien-wattman, GUÉDON et LIOT. In-8°. (1.020 gr.).	20 fr.

BIBLIOTHÈQUE DU CHAUFFEUR

Éléments de mécanique et d'électricité, DE VALBREUZE et LA-	
VILLE. In-16, avec 122 fig. (540 gr.).....	15 fr.
Principes et recettes, RAVIGNEAUX et IZART. In-16. (470 gr.).	12 fr.
Précis d'automobile, CONTET. In-16, 2^e édit. (510 gr.).....	22 fr.
Choix, dépenses, conduite d'une voiture automobile, P. PRÉ-	
VOST. In-16. (370 gr.).....	16 50
Le moteur, PETIT, 6^e édit. In-16, avec 197 fig. (730 gr.).....	40 fr.
L'équipement électrique des voitures automobiles, P. PRÉVOST.	
In-16. (310 gr.).....	20 fr.
Allumage électrique des moteurs, SAINTURAT. I : Allumage par	
batteries et transformateurs. In-16, avec 149 fig. (520 gr.), 15 fr. ;	
II : Allumage par magnétos (épuisé).	
Transmission, embrayage, changement de vitesse et cardan,	
RUTISHAUSER. 2^e édit. In-16, avec 203 fig. (540 gr.).....	18 fr.
Le pneumatique, PETIT. In-16, avec 76 fig. (600 gr.).....	16 50
Voiturettes et voitures légères, LAVILLE et GATOUX. (780 gr.).	15 fr.
Les occasions dans le commerce automobile, LAVILLE. (480g.).	15 fr.
L'hygiène du chauffeur, BOMMIER. In-16, avec 67 fig. (340 gr.).	12 fr.
Le code de l'automobile industrielle et de tourisme, IMBRECQ.	
2^e édit. In-16. (790 gr.).....	15 fr.

II. — AÉRONAUTIQUE

Le bréviaire de l'aviateur, LEFORT. In-8°. (1.000 gr.).....	52 fr.
Cours d'aéronautique, MARCHIS. I : Statique et dynamique des bal-	
lons. Résistance de l'air. In-8°. (1.100 gr.), 38 fr. ; II : Aérostation	
(étoffes, soupapes, filets de ballons). Aviation. Lois expérimentales.	
In-8°. (710 gr.) 22 fr. ; III : Dynamique expérimentale des fluides.	
Hélices. In-8°. (750 gr.).....	24 fr.

Bases et méthodes d'études aérotechniques, VENTOU-DUCLAUX et ROBERT. In-8°, avec 138 fig. (1070 gr.).....	28 fr.
Connaissances scientifiques utiles aux aviateurs, MARCOTTE et BÉRÉHARE. In-8°, avec 412 fig. (850 gr.).....	32 fr.
L'aviation de transport, HIRSCHAUER. In-4°. (1.270 gr.)...	38 fr.
L'année aéronautique, 1919-20. HIRSCHAUER et DOLLFUS (640 g.)	25 fr.
L'année aéronautique, 1920-21, id. (980 gr.)	35 fr.
L'année aéronautique, 1921-22, id. (690 gr.)	30 fr.
L'année aéronautique, 1922-23, id. (490 gr.)	30 fr.
L'année aéronautique, 1923-24, id. (épuisé).	
L'année aéronautique, 1924-25. id. (780 gr.)	30 fr.
L'année aéronautique, 1925-26. id. (750 gr.)	30 fr.
Manuel élémentaire du mécanicien d'aviation, FOURCAULT. (210 gr.).....	12 fr.
L'aviation, RENARD. In-4°, avec 73 fig. (750 gr.).....	12 fr.
Le vol naturel et le vol artificiel, MAXIM. 2 ^e édit. (660 gr.)..	14 fr.
Les oiseaux artificiels, PEYREY. In-8°. (1.000 gr.).....	28 fr.
Nos maîtres les oiseaux, OEHMICHEN. In-8°. (480 gr.).....	18 fr.
Comment volent les oiseaux, DESMONS. In-8°. (300 gr.)....	10 fr.
Nos avions. L'essor et l'atterrissage (ou l'amerrissage), PERCHERON. In-8°, avec 116 fig. (320 gr.).....	10 fr.
Le vol plané, BRETONNIÈRE. In-8°, avec 3 pl. (120 gr.).....	4 fr.
L'épopée aérienne, MARCHIS. In-4°, avec 227 fig. (2.010 gr.)	18 fr.
Le même, avec 5 planches démontables en couleurs.....	60 fr.
Les moteurs à explosions dans l'aviation, MASMÉJEAN et BÉRÉHARE. I : In-8°. (570 gr.), 36 fr.; II : In-8°. (550 gr.), 36 fr.; III : In-8°. (860 gr.).....	54 fr.
Réglage des moteurs d'aviation, R. BARRAU. In-16. (140 gr.)	10 fr.
Traité pratique du moteur Gnome, PREYNAT. (200 gr.)...	8 fr.
Etude générale du moteur rotatif, VIDALIE. In-8°. (300 gr.)	12 fr.
Etude dynamique des moteurs à cylindres rotatifs, MAYER et POMILIO. In-8°, avec 68 fig. (280 gr.).....	10 fr.
Les hydroaéroplanes, PETIT. In-8°, avec 52 fig. (200 gr.)....	7 fr.
L'aéronautique navale militaire moderne, LAFON. (670 gr.)	14 fr.
Etude sur les surfaces portantes en aéroplanie, TARIEL. (150 gr.)	5 fr.
Guide de l'aéronaute-pilote, RENARD. In-16. (420 gr.)....	10 fr.
La résistance de l'air et l'aviation, EIFFEL. (2.900 gr.)....	40 fr.
Notions pratiques d'électricité appliquées à l'aviation, GOURDOU. In-8°, avec 83 fig. (280 gr.).....	10 fr.
Les matériaux des constructions mécaniques et aéronautiques, MARCOTTE et BÉRÉHARE. In-4° (1.510 gr.).....	52 fr.

ÉLECTRICITÉ, TÉLÉGRAPHIE, TÉLÉPHONIE

I. — ÉLECTRICITÉ

L'Electricien, bi-mensuel Abt. France, 42 fr.; Etr., \$ 2,95 (\$ 2,70 pour le pays ayant accepté l'échange du tarif postal réduit), le n° Etr. \$ 0,12, France.....	2 50
Notions d'électricité générale, FLEURY. In-16. (640 gr.)..	30 fr.
Théorie générale de l'électromagnétisme, PINEAU. (30 gr.)	6 fr.

- Précis d'électricité industrielle.** *Les appareils à courants alternatifs*, SOUBRIER. In-8°. (230 gr.)..... 12 fr.
- Traité d'électricité** (*prép. à l'Ec. sup. d'El.*), J. CARVALLO. (1.110 gr.). 50 fr.
- Electricité**, GRININGER. I : *Théorie et production*. 2° édit. (850 gr.), 48 fr. ; II : *Applications industrielles*, 2° édit. 2 vol. (1.550 g.) 84 fr.
- L'électrotechnique**, *exposée à l'aide des mathématiques élémentaires*, PACQUE, DOCQUIER et MONTPELLIER. I : *L'énergie et ses transformations. Phénomènes magnétiques, électriques et électromagnétiques. Mesures usuelles*. In-8°. (860 gr.), 22 fr. ; II : *Production de l'énergie électrique*. In-8°. (1.350 gr.)..... 36 fr.
- Les lois fondamentales de l'électrotechnique**, DEPREZ et SOUBRIER. In-16, avec 301 fig. (820 gr.)..... 40 fr.
- Cours pratique d'électricité**, ROBERJOT. In-16. (410 gr.).. 16 fr.
- Cours élémentaire d'électricité industrielle**, ROBERJOT. 2° édit. (*Nouv. tir.*). In-16 avec 448 fig. (640 gr.)..... 18 fr.
- Principes d'électrotechnie**, E. PIERARD. *Tome I*, in-8°. (810 gr.), 46 fr. ; — *Tome II*, in-8°. (1.020 gr.), 46 fr. ; — *Tome III*, in-8°. (560 gr.)..... 32 fr.
- Electricité industrielle. Recueil de problèmes élémentaires avec schémas**, F. HARANG. In-16, avec 167 fig. (330 gr.)..... 14 fr.
- Travaux pratiques d'électricité industrielle**, ROBERJOT. I : *Mesures industrielles*. In-16. (410 gr.), 14 fr. ; II : *Etude des machines électriques. Propriétés. Essais*. In-16. (420 gr.), 14 fr. ; III : *Installations intérieures*. In-16. (460 gr.), 15 fr. ; IV : *Usines génératrices*. In-16. (340 gr.)..... 13 fr.
- Cours d'électrotechnique, courants altern.**, GILLON. (560 gr.). 48 fr.
- L'électricité à la portée de tout le monde**, CLAUDE. (1.070 gr.). 16 50
- Pour l'électricien**, DE THELLESME. In-16 avec 119 fig. (330 gr.). 15 fr.
- L'électricité industrielle à la portée de l'ouvrier**, ROSENBERG et MAUDUIT. In-16, avec fig. (660 gr.)..... 33 fr.
- Manuel pratique de l'ouvrier électricien-mécanicien**, SCHULZ, traduit par STERNBERG. In-8°. (420 gr.)..... 18 fr.
- Guide élémentaire du monteur électricien**, GAISBERG et HAPPICH. In-8°, avec 231 fig. (520 gr.)..... 20 fr.
- Aide-mémoire et schémas de l'entrepreneur électricien**, MAURER. In-16, avec 364 fig. (610 gr.)..... 42 fr.
- Technique du métier d'électricien**, GAILLAULT. (350 gr.). 13 fr.
- L'électricité domestique**, MIS. 2° édit. avec 162 fig. (270 gr.). 12 fr.
- Installations électriques de force et lumière. Schémas de connexions**, CURCHOD. 5° édit. In-8°, avec 85 pl. (690 gr.)..... 30 fr.
- Les maladies des machines électriques**, SCHULZ et HAPPICH. 3° édit. In-16, avec 44 fig. (140 gr.)..... 9 fr.
- Recueil de problèmes avec solutions sur l'électricité**, VIEWEGER et CAPART. 5° édit. (960 gr.)..... 48 fr.
- Manipulations et études électrotechniques**, BARBILLION. (820 gr.). 25 fr.
- Mesures électrotechniques**, TURPAIN. In-8°. (590 gr.)..... 20 fr.
- Unités électriques**, DE BAILLEHACHE. In-8°. (620 gr.)..... 15 fr.
- Unités électriques**, SZARVADY. In-8°. (160 gr.)..... 13 fr.
- Génératrices de courant et moteurs électriques**, GUTTON. (810 gr.) 35 fr.

- Machines électriques, électrotechnique appliquée, MAUDUIT.**
In-8°, avec 566 fig. 3^e édit. (*refondue*). In-8°. (1.730 gr.) 92 fr.
- La sollicitation mécanique des roues polaires tournant à grande vitesse, WERNER, traduit par SCHEPSE.** In-8°. (300 gr.) 22 fr.
- La construction économique des machines électriques, VIDMAR et SCHEPSE.** In-8°. (290 gr.) 18 fr.
- Théorie industrielle de l'électricité et des machines électriques, VERDURAND.** In-8°, avec 342 fig. (1.190 gr.) 45 fr.
- Cours d'électricité industrielle. Le courant continu, MAGONETTE.**
In-8°, avec 211 fig. et 41 pl. (660 gr.) 25 fr.
- Dynamos et moteurs électriques, GILLON.** 2 vol. (1.750 gr.) 188 fr.
- Album de plans et croquis de machines électriques, GILLON.**
(850 gr.) 48 fr.
- Générateurs électriques à courant continu, HOBART et ACHARD.**
Gr. in-8°, avec 141 fig. (1.990 gr.) 28 fr.
- Etude résumée des accumulateurs électriques, JUMAU.** (740 gr.) 34 fr.
- Les maladies de l'accumulateur au plomb, KRETSCHMAR et WALTER.** In-16, 82 fig. (300 gr.) 16 fr.
- La technique pratique des courants alternatifs, SARTORI et MONTPELLIER.** I : *Exposé élémentaire et pratique des phénomènes du courant alternatif*, 5^e édit. In-8°. (1.250 gr.), 70 fr. ; II : *Développements théoriques et calculs pratiques*. 3^e édit. (1.520 gr.) 70 fr.
- Théorie des enroulements des machines à courant continu, SZARVADY.** In-8°, avec 40 fig. (240 gr.) 17 fr.
- La construction des bobinages électriques. 2^e édit. CLÉMENT.**
(750 gr.) 43 fr.
- Schémas et règles pratiques de bobinage des machines électriques, TORICES et CURCHOD.** 2^e édit. avec 47 pl. (210 gr.) 16 fr.
- Essais des fils et câbles isolés au caoutchouc, A.-R. MATTHIS.**
In-8°, 18 fig. (300 gr.) 15 fr.
- Stations centrales de production et sous-stations de transformation d'énergie électrique, VELLARD.** 113 fig. (520 gr.) 30 fr.
- Installations électriques à haute et basse tension, MAUDUIT.**
2 vol. in-8° de 1406 p., 578 fig. (3.100 gr.). *Sous presse.*
- La protection des réseaux et des installations électriques contre les surtensions, CAPART.** In-8°, avec 287 fig. (620 gr.) 28 fr.
- Les conducteurs d'électricité en aluminium, DUSAUGEY.** (370 gr.) 17 fr.
- Abaques pratiques pour le calcul des lignes de transport de force. GARNIER.** (380 gr.) 25 fr.
- Les lampes électriques à arc, à incandescence et à luminescence, ESCARD.** In-8°, avec 307 fig. (1180 gr.) 30 fr.
- Production et vente de l'énergie électrique, BOILEAU.** (190 gr.) 9 fr.
- Le chauffage électrique, BOILEAU.** In-8°. (530 gr.) 25 fr.
- Les compteurs d'électricité, FICHTER.** In-8°. (560 gr.) 28 fr.
- Les fours électriques industriels et les fabrications électrothermiques, ESCARD.** In-8°, 250 fig. et 40 pl. 2^e édit. (1.540 gr.) 85 fr.
- Fours électriques de laboratoire, ESCARD.** 2^e édit. (260 gr.) 12 fr.
- La Technique de la houille blanche, PACORET.** Tome I : 4^e édit.
2 vol. (3.050 p., 1.190 fr. ; Tome II : 3^e édit. 270 fig. et 2 pl. (1.040 gr.),

56 fr. ; Tome III : 3 ^e édit. : <i>Utilisation de l'énergie des chutes d'eau</i> , 676 fig. et pl. (1.870 gr.), 140 fr. ; Tome IV : 3 ^e édit. : <i>Electrochimie, électrometallurgie</i> , 253 fig. (1.290 gr.).....	80 fr.
Le rôle de l'utilisation des chutes d'eau , LÉVY-SALVADOR. (270 gr.).....	10 fr.
Les grandes forces hydrauliques des Alpes , 9 vol., avec fig. et pl. Tomes I et II (ensemble). (2.090 gr.), 30 fr. ; III, (1.540 gr.), 40 fr. ; IV, (1.430 gr.), 40 fr. ; V, (1.310 gr.), 40 fr. ; VI, (1.280 gr.), 40 fr. ; VII, (890 g.), 40 fr. ; VIII, (1.290 g.), 60 fr. ; IX, (680 g.).....	100 fr.
Manuel pratique des autorisations de voirie pour les distributions d'énergie électrique , BOUGAULT. In-8°. (740 gr.)..	20 fr.
Dictionnaire juridique de l'industrie électrique , CARPENTIER. (1.120 gr.).....	25 fr.

II. — TÉLÉGRAPHIE

Télégraphie pratique , MONTILLOT. In-8°. (1.540 gr.).....	50 fr.
Le système de télégraphie Baudot et ses applications , MERCY. 3 ^e édit. In-8°, avec 236 fig. (700 gr.).....	36 fr.
Radiotélégraphie, radiotéléphonie , DEJUSSIEU. (410 gr.).....	13 fr.
Manuel pratique de l'amateur de T. S. F. , DUROQUIER. (310 gr.).....	13 50
Théorie simplifiée de la téléphonie et de la télégraphie sans fil , VERDUÏRAND. (130 gr.).....	5 fr.
Radiotélégraphie pratique et radiotéléphonie , MAURER. In-8°, avec 261 fig., 2 ^e édit. (1.050 gr.).....	44 fr.
Les grandes étapes de la Radio , GUINCHANT I. <i>Les premières découvertes</i> . (150 gr.).....	7 fr.
Dictionnaire des termes de télégraphie-téléphonie français-anglais et anglais-français , TISSOT-DUPONT. (190 gr.)...	12 fr.

III. — TÉLÉPHONIE

Téléphonie pratique , MONTILLOT. 2 ^e édit. I ; II. (970 gr.)..	25 fr.
La téléphonie et les autres moyens d'intercommunication dans l'industrie, les mines et les chemins de fer , MAURER. (720 gr.).....	18 fr.
Installations téléphoniques , SCHILS et CORNET. 5 ^e éd. (460 g.).	25 fr.
La téléphonie automatique , MILHAUD, 199 fig. (520 gr.)...	35 fr.

CHIMIE. — ANALYSE CHIMIQUE

I. — CHIMIE GÉNÉRALE ET INDUSTRIELLE

Dictionnaire anglais-français-allemand des mots et locutions intéressant la physique et la chimie , CORNUBERT. (770 gr.).	50 fr.
Dictionnaire de chimie industrielle , VILLON et GUICHARD. 3 vol. in-4°, avec 1.200 fig. (6.250 gr.).....	150 fr.
Encyclopédie chimique , publiée sous la direction de M. FRÉMY. 78 vol. in-8°	2.500 fr.

Chimie générale et industrielle. Tomes I et II : <i>Chimie inorganique</i> (Introduction : métalloïdes), MOLINARI et MONTPELLIER. 2 vol. in-8°, (2.380 gr.), 85 fr. Tome III (<i>métaux</i>). In-8°. (1.350 gr.), 65 fr. Tome IV (<i>Chimie organique, 1^{re} partie</i>). In-8°. (1.380 gr.), 80 fr. Tome V (<i>Chimie organique, 2^e partie</i>), in-8°. (1.500 gr.)..... 100 fr.
Memento du chimiste , CHARON, DUGOUJON, etc. 1 ^{re} partie. In-8°, (470 gr.)..... 32 fr.
Pour le chimiste , CHAPLET. In-16, avec 140 fig. (230 gr.)... 12 fr.
Cours de chimie, Lois générales. Métalloïdes. BOLL. (660 gr.). 34 fr.
Cours de chimie. Métaux et Cations. BOLL. (470 gr.)..... 28 fr.
La chimie des complexes inorganiques , SCHWARZ et JULLIARD. In-16, avec 41 fig. (110 gr.)..... 12 fr.
Traité de chimie générale , NERNST et CORVISOY, I. <i>Propriétés générales des corps. — Atome et molécule.</i> In-8°. (1.170 gr.), 72 fr.; II. <i>Transformations de la matière et de l'énergie.</i> (1.000 gr.).... 72 fr.
La chimie élémentaire des ingénieurs, des industriels et des constructeurs , DUBRISAY. In-8°. (470 gr.)..... 24 fr.
Cours élémentaire de chimie industrielle , TOMBECK et GOUARD. In-16, avec fig. (430 gr.)..... 11 fr.
Cours de chimie (sect. commerc.) , CHARABOT et MILHAU. (480 g.) 13 fr.
Chimie à l'usage des candidats aux Ecoles d'arts et métiers , TOMBECK et GOUARD. In-16, avec 160 fig. et 12 tabl. (430 gr.). 18 fr.
La chimie à la portée de tous , HISKISCH. 41 fig. (600 gr.). 30 fr.
Traité-répertoire général des applications de la chimie , GARÇON. I : <i>Métalloïdes et Composés métalliques.</i> In-8°. (1.290 gr.), 40 fr.; II : <i>Composés du carbone (Chimie organique et métaux).</i> Epuisé.
Les méthodes de la chimie organique , WEYL et CORNUBERT. I. <i>Généralités.</i> In-4°, 280 fig. (1730 gr.), 65 fr.; II : <i>Monographies.</i> In-4°, fig. (1.790 gr.), 65 fr.; III : <i>Monographies.</i> In-4°. (1.750 gr.), 80 fr.; IV : In-4°, avec fig. (2.090 gr.)..... 80 fr.
Travaux pratiques de chimie organique , ULMANN et CORNUBERT. 2 ^e édit. In-8°, avec 26 fig. (340 gr.)..... 20 fr.
Chimie légale , DE FORCRAND. In-8°. (710 gr.)..... 25 fr.
Etude générale des sels , DITTE. I : <i>Sels binaires.</i> In-8°. (710 gr.), 25 fr.; II : <i>Sels ternaires oxygénés.</i> In-8°. (870 gr.)..... 30 fr.
Les colloïdes : leurs gelées, leurs solutions , BARY. In-8°, avec 105 fig. (1.170 gr.)..... 60 fr.
Chimie colloïdale , ZSIGMONDY (1.050 gr.)..... 78 fr.
Les colloïdes métalliques , BARY. In-8°, avec 13 fig. (260 gr.) 12 fr.
L'industrie chimique aux Etats-Unis , MAYER. (410 gr.).. 12 fr.
Éléments de marchandises. I : <i>Bois, matériaux de construction, combustibles, eaux minérales et gazeuses</i> , JACQUET et TOMBECK. In-16. (330 gr.), 12 fr.; II : <i>Métallurgie, métaux</i> , JACQUET et TOMBECK. In-16. (360 gr.), 13 fr.; III : <i>Produits chimiques</i> , SON et MARTIN. In-16, (230 gr.), 6 fr.; IV : <i>Matières alimentaires</i> , BROTTET et LELEU. In-16, (290 gr.), 10 fr.; V : <i>Matières grasses, textiles et diverses</i> , BROTTET et LELEU In-16. (340 gr.)..... 13 fr.
L'appareillage mécanique des industries chimiques , PARNICKE et CAMPAGNE. In-8°, avec 298 fig. (810 gr.)..... 42 fr.
Les métaux des terres rares , SPENCER et DANIEL. (710 gr.). 40 fr.
L'électrochimie et l'électrometallurgie , LEVASSEUR. (330 g.). 18 fr.

II. — ANALYSE CHIMIQUE

Essais et analyses, ROSSET. In-8°, avec figures. (220 gr.)...	8 fr.
Essais chimiques des marchandises, LÉVI. In-16. (310 gr.).	8 fr.
Chimie analytique, TREADWELL et BOLL. I : <i>Analyse qualitative</i> . 2 ^e édit. In-8°, 29 fig. et 3 pl. (760 gr.), 44 fr. ; II : <i>Analyses quantitative</i> . In-8°, 125 fig. et 1 pl. (940 gr.).....	52 fr.
Traité d'analyse des substances minérales, CARNOT. I : <i>Méthodes générales</i> . In-8°, 357 fig. (2.290 gr.), 80 fr. ; II : <i>Métalloïdes</i> . In-8°, 81 fig. (1.970 gr.), 65 fr. ; III : <i>Métaux</i> (1 ^{re} partie). In-8°. (2.050 gr.), 75 fr. ; IV : In-8° (2 ^e partie). (1.840 gr.).....	80 fr.
Analyse des métaux par électrolyse, HOLLARD et BERTIAUX. (710 gr.).....	30 fr.
Manuel pratique d'analyse organique. WESTON. (200 gr.).	14 fr.
Méthodes analytiques appliquées aux substances agricoles, MUNTZ. In-8°, avec 91 fig. (1.010 gr.).....	60 fr.
Traité des fraudes alimentaires, agricoles et médicamenteuses, COURCELLE et RICARD. In-8° (1.310 gr.).....	35 fr.
Traité d'analyses industrielles, GRIFFITHS et LEVI. (1.260 g.).	75 fr.
Expertises chimiques, KLING. In-8°. I : <i>Produits animaux, conservés, sel</i> , av. fig. et pl. en coul. In-8°. (870 gr.), 50 fr. ; II : <i>Matières grasses. Cires et paraffines. Essence de térébenthine. Huiles minérales</i> . In-8°. (800 gr.), 45 fr. ; III : <i>Boissons et dérivés immédiats</i> . In-8°. (690 gr.), 40 fr. ; IV : <i>Produits végétaux et dérivés</i> . In-8°. (1.040 gr.), 55 fr. ; V : <i>Eaux et air</i> . In-8°. (490 g.), 25 fr. ; VI : <i>Etamage, Jouets, Matières colorantes, Toxicologie des aliments</i> . In-8°. (550 gr.).....	28 fr.

INDUSTRIES DIVERSES

Le pain, SÉRAND, 2 ^e édit. In-8°, avec fig. (340 gr.).....	14 fr.
Le lait, VILLAIN et PETIT. In-8°, avec 24 fig. (320 gr.).....	15 fr.
La conservation du lait, du beurre et du fromage, RAZOUS. (210 gr.).....	8 fr.
L'examen des viandes, MARTEL. 100 fig. (830 gr.).....	22 fr.
La conservation par le froid des denrées périssables, MONVOISIN. In-8°, avec 178 fig (1.040 gr.).....	62 fr.
Divers procédés de conservation des viandes, RAZOUS. (190 g.).	7 fr.
Les déchets et sous-produits d'abattoirs, de boucherie et de fabriques de conserves, POHER et RAZOUS. (500 gr.).....	8 fr.
Fabrication des colles et gélatines, V. CAMBON. (360 gr.)..	22 fr.
L'œuf de poule. Sa conservation par le froid, LESCARDÉ. (380 gr.).	9 fr.
La distillation fractionnée et la rectification, MARILLER, 2 ^e édit., avec 144 fig. (1.370 gr.).....	90 fr.
La dénaturation de l'alcool en France et dans les principaux pays d'Europe, DUCHEMIN. In-8°, avec fig. (510 gr.).....	18 fr.
L'emploi et le régime de l'alcool dans les industries chimiques et pharmaceutiques, <i>Conférence</i> , DUCHEMIN. In-4°. (100 gr.).	3 50
La vinerie, BARRET. 2 ^e édit. In-8°, avec 11 fig. (470 gr.).....	18 fr.
Le tissage mécanique moderne, SCHLUMBERGER. (350 gr.).	25 fr.

- Notice explicative sur l'emploi d'un tableau de jauges pour métiers circulaires à bonneterie**, suivie d'une *étude sur l'installation d'une manufacture de bonneterie en métiers Standard*, OBOIS. In-8^o. (170 gr.)..... 10 fr.
- Technologie du bois**, MASVIEL. 2^e édit., *Tome I : Généralités*. 338 fig. (520 gr.), 17 fr.; *Tome II : Travail mécanique*, 286 fig. (510 gr.), 21 fr.
- Exploitations forestières et scieries**, LE BOUTEILLER. (410 g.), 22 fr.
- L'usinage de bois**, PETITPAS. In-8^o, avec 35 fig. (620 gr.)... 28 fr.
- La grande industrie des acides organiques**, ROUX et AUBRY. In-8^o, avec 147 fig. (1.120 gr.)..... 66 fr.
- Acide sulfurique**, SOREL. In-8^o, et atlas, 27 pl. (2.240 gr.)... 50 fr.
- L'acide formique ou méthanoïque**, DUBOSC. In-8^o. (990 gr.). 30 fr.
- Les hydrates de carbone**, TOLLENS. In-8^o, avec fig. (1.780 gr.). 55 fr.
- L'eau dans l'industrie**, DE LA COUX. 2^e édit. In-8^o. (1.230 gr.). 40 fr.
- De l'apprêt des tissus de laine peignée**, LAGACHE. (1.210 gr.). 45 fr.
- Les turgoides. La turgométrie**, JUSTIN MUELLER. In-8^o. (100 gr.). 6 fr.
- La fabrication des matières intermédiaires pour les colorants**, CAIN, et SALLES. In-8^o avec 25 fig. (640 gr.)..... 35 fr.
- Les matières colorantes de synthèse et les produits intermédiaires servant à leur fabrication**, CAIN et THORPE. (1.360 g.). 75 fr.
- Les matières colorantes organiques**, EHRMANN. (2.000 gr.). 75 fr.
- La teinture du coton**, SERRE. In-16, avec 62 fig. et 9 pl. (580 gr.). 14 fr.
- Couleurs et colorants dans l'industrie textile**, VASSART. (350 gr.). 15 fr.
- Traité de la couleur**, ROSENSTIEHL. In-8^o, 14 pl. coul. (990 gr.). 40 fr.
- Traité de la teinture moderne**, SPETEEROOT (2^e édit. en préparation).
- Manuel du teinturier**, GNEHM DE MURALT. In-16. (530 gr.). 52 fr.
- Dictionnaire des matières explosives**, DANIEL. (910 gr.)... 60 fr.
- Traité sur la poudre, les corps explosifs et la pyrotechnie**, URMANN, MEYER et DESORTIAUX, avec fig. et 8 pl. (1.800 gr.). 40 fr.
- Les explosifs et leur fabrication**, MOLINA et MONPELLIER. (520 gr.). 20 fr.
- Le problème des poudres**, BUISSON. In-8^o. (510 gr.)..... 10 fr.
- Les blanchisseries**, FROIS. In-8^o, avec 32 fig. (460 gr.)..... 15 fr.
- La chimie du savonnier et du commerce de corps gras**, EHRSAM. In-8^o, avec figures. (1.000 gr.)..... 48 fr.
- La fabrication des savons industriels**, EHRSAM. (750 gr.)... 40 fr.
- La fabrication moderne des savons, bougies, glycérines, etc.**, LAMBORN et APPERT. In-8^o. (1.360 gr.)..... 68 fr.
- L'air liquide, oxygène, azote, gaz rares**, G. CLAUDE. (1.300 gr.). 32 fr.
- Rectification de l'air liquide**, BARBET. In-8^o. (210 gr.)..... 12 fr.
- Production industrielle synthétique des composés nitrés**, ESCARD. In-8^o, avec figures. (600 gr.)..... 35 fr.
- La technique de la production du froid**, PACQUET. (1.120 gr.). 60 fr.
- Manuel d'essais simples et rapides, à l'usage des tanneurs et mégisiers**, EGLÈNE. In-8^o. (200 gr.)..... 10 fr.
- La chimie du cuir**, EGLÈNE. In-8^o, avec fig. (300 gr.)..... 13 fr.
- Industries des poils et fourrures, cheveux et plumes**, BELTZER. In-8^o, avec 83 fig., 2^e édit. (670 gr.)..... 35 fr.
- Le gantier**, FROUMENTY et BOUVIER. In-8^o, 89 fig. (370 gr.)... 14 fr.
- Guide du tailleur**, MORIN. In-8^o, avec 89 fig. (260 gr.)..... 13 50

La fabrication des celluloses de papeterie autres que celle du bois, DE MONTESSUS. In-8°, avec 110 fig. (200 gr.).....	30 fr.
Alfa et papier d'alfa, DE MONTESSUS. 32 fig. et 8 pl. (210 gr.).	10 fr.
Pour le relieur, ROUX. In-16 avec fig. (170 gr.).....	12 fr.
Les huiles, graisses et cires, <i>Technologie et analyse chimiques</i> , LEWKOWITSCH et BOUTOUX (<i>En réimpression</i>).	
L'industrie des parfums, OTTO. 98 fig. et 9 pl. (1.490 gr.).	95 fr.
Les colloïdes dans l'industrie. Le caoutchouc, BARY. In-8°, avec 50 fig. (300 gr.).....	34 fr.
Technologie de caoutchouc souple, DE FLEURY. (300 gr.)..	22 fr.
Guide de l'acheteur de caoutchouc manufacturé, PELLIER (790 gr.)	22 fr.
Les caoutchoucs artificiels, VENTOU-DUCLAUX. (260 gr.)..	10 fr.
Traité sur la production et l'exploitation de la lumière au gaz de houille. SCHILLING. In-4°, avec 185 fig. et 10 pl. (1.200 gr.).	25 fr.
Gaz et cokes, GREBEL et BOURON. In-8° 324 fig. (1.450 gr.)..	78 fr.
Manuel de chimie gazière, SAINTE-CLAIRE DEVILLE. (320 g.).	17 50
Eclairage : huile, alcools, gaz, électricité, photométrie, GALINE et SAINT-PAUL 2° édit. In-8°, avec 308 fig. (970 gr.).....	34 50
L'éclairage à l'incandescence par le gaz, LÉVY. (760 gr.).	30 fr.
Le goudrop et ses dérivés, MALATESTA. <i>Nouvelle édition sous presse</i> .	
Les fours à coke, LECOQ. In-4°, avec 108 fig. et pl. (1.600 gr.).	70 fr.
Combustibles industriels, COLOMER et LORDIER. (1.470 gr.).	75 fr.
Recherche et exploitation du pétrole, HARDEL. (350 gr.)..	20 fr.
Le pétrole en France, LECOMTE-DENIS. In-16. (200 gr.)....	10 fr.
Le pétrole. <i>Son utilisation comme combustible</i> , MASMEJEAN et BÉRÉHARE. In-8°, avec 92 figures et 30 tableaux. (1.070 gr.)....	40 fr.
Détermination de la provenance d'un naphte, CHERCHEFFSEY. In-8°, avec pl. (1.100 gr.).....	48 fr.
Le carbone et son industrie, ESCARD. In-8°, 129 fig. (1.780 gr.)	52 fr.
La carbonisation des bois, lignites et tourbes, MARILLER. In-8°, avec fig. (930 gr.).....	42 fr.
Exploitation industrielle de la tourbe, VAN ECKE. (730 gr.).	35 fr.
La tourbe et son utilisation, DE MONTGOLFIER. (270 gr.)...	17 fr.
Soufflage du verre, VIGREUX, 2° édit. avec 256 fig. (320 gr.).	25 fr.
Manuel de céramique industrielle, ARNAUD et FRANCHE. (770 gr.).	50 fr.
Les argiles réfractaires, BISCHOF, trad. par SCHUBERT. (750 g.).	55 fr.
Manuel de l'émaillage sur métaux, MILLENET. (200 gr.)..	13 fr.
L'émaillage de la tôle et de la fonte, GRUNWALD. (240 gr.).	15 fr.
Installation et aménagement d'une émaillerie, EYER et THIERS. (160 gr.).....	13 fr.
Photographie, PABST. In-8°, avec 155 fig. (820 gr.).....	40 fr.
Photographie, MIRON. 2° édit., PROMIO. In-16. (730 gr.)....	54 fr.
Le guide de l'opérateur dans la photogravure, VILLEMARE. (250 gr.).....	15 fr.
La technique cinématographique, LOBEL, 2° édit. (880 gr.).	45 fr.
Théorie et pratique du séchage industriel, RAZOUS. (650 gr.).	33 fr.
Pour l'Inventeur, CHAPLET. (230 gr.).....	13 50

AGRICULTURE

- Agriculture**, PRADÈS. In-16, avec 90 fig. (640 gr.)..... 24 fr.
Les industries agricoles et alimentaires, FRANCOIS et VALLIER.
 In-8°, avec 128 fig. (470 gr.)..... 15 fr.
Analyse des matières agricoles, HUBERT. In-16. (120 gr.). 6 fr.
Contribution à l'étude de la chimie agricole, SCHLÆSING. (480 gr.)
 30 fr.
Génie rural. Constructions rurales et machines agricoles, PHILBERT.
 In-8°, avec 331 fig. 2^e édit. en préparation.
Hydraulique agricole, LÉVY-SALVADOR. I : *Cours d'eau. Barrages sur
 cours d'eau non navigables ni flottables. Maintien du libre écoulement
 des eaux*. 2^e édit., avec 217 fig. et 4 pl. (950 gr.), 39 fr.; II : *Irrigations
 avec 459 fig.* 2^e édit. (520 gr.), 36 fr.; III : *Eaux nuisibles*, avec
 239 fig., 2^e édit. (490 gr.)..... 36 fr.
Manuel d'agriculture tropicale, WILLIS, 25 pl. (620 gr.), 22 fr.
Zoologie appliquée en France et aux colonies, PELLEGRIN et CAYLA.
 In-16, avec 282 fig. (1.060 gr.)..... 42 fr.
Code rural, MARTIN et COURCELLE. In-16. (870 gr.)..... 30 fr.
La réforme de l'enseignement agricole, PLISSONNIER. (560 gr.)
 16 50
Comment prévoir le temps ? MOREUX. (350 gr.)..... 13 50
Méthode simple pour prévoir le temps, MOREUX. (50 gr.). 4 50

BIBLIOTHÈQUE PRATIQUE DU COLON, HUBERT

- Ananas**. In-8°, avec 52 fig. (340 gr.)..... 15 fr.
Le palmier à huile. In-8°, avec 100 fig. (570 gr.)..... 22 fr.
Fruits des pays chauds. I : *Etude générale des fruits*. (1.090 gr.). 40 fr.

ARCHITECTURE. — CONSTRUCTION
TRAVAUX PUBLICS

I. — ARCHITECTURE

- Traité d'architecture**, REYNAUD. *Ouvrage couronné par l'Institut*.
 4^e édit. 2 vol. in-4° et 2 atlas in-fol. de 179 pl. (12.100 gr.)... 360 fr.
Architecture, HÉBRARD. In-16, avec 371 fig. (630 gr.)..... 39 fr.
Traité d'architecture théorique et pratique, TUBEUF. I : *Histoire
 de l'architecture*. In-4° (1.280 gr.), 32 fr.; II : *Pratique de l'architecture*.
 In-4° (1.380 gr.), 35 fr.; III : *Types de constructions diverses (Habita-
 tions particulières)*. In-4° (1.440 gr.), 36 fr.; IV : *Types de construc-
 tions diverses (Edifices publics et divers)*. In-4° (2.230 gr.). 60 fr.
**Philosophie des structures dans l'architecture et dans l'art de
 l'ingénieur**, CARDELLACH et JAUSSELY. In-8° (660 gr.)... 20 fr.
Edifices publics, GUILLOT. In-16 avec 615 fig. (2^e édit. en préparation).
Petits édifices communaux CHABANIER, 32 pl. (2.690 gr.), 75 fr.
Comment construire une villa. La construction à la portée de tous.
 GUILLOT. 3 IRIS. (1.114 gr.)..... 32 fr.

- Petites constructions françaises**, par un Comité d'architectes. 4 vol., contenant 400 planches en couleur. (6.470 gr.)..... 180 fr.
Maisons ouvrières récemment construites. 40 pl. (760 gr.). 35 fr.
Petites maisons modernes de ville et de campagne récemment construites, RIVOALEN. In-4° 216 pl., et (1.660 g.).... 80 fr.
L'urbanisme à la portée de tous, RAYMOND. 79 fig. (290 gr.). 16 fr.
Plantations d'alignement, promenades, parcs et jardins publics, LEFEBVRE. In-16, avec 336 fig., et 1 pl. 2° éd. en préparation.
Sanatoriums et hôpitaux, TURIN. In-8°, avec 92 fig. (400 gr.). 11 25
L'hygiène dans la construction et l'habitation. La maison saine, GUILLOT. In-8°, avec 172 fig. (980 gr.)..... 30 fr.

II. — GÉNÉRALITÉS SUR LA CONSTRUCTION

- Annales des Travaux publics de Belgique**, Ab. annuel (6 n°). 65 fr.
Aide-mémoire des ingénieurs, architectes, entrepreneurs, conducteurs, agents-voyers, dessinateurs, CLAUDEL et DARIÈS. Partie théorique : *Introduction à la science de l'ingénieur*. 8° édité. 2 vol. in-8°, avec 1.710 fig. et 2 pl. (2.430 gr.)..... 70 fr. Partie pratique : *Formules, tables et renseignements usuels*. 11° édition. 2 vol. in-8°, avec 1.230 fig. et 1 pl. (2.820 gr.)..... 100 fr.
Formulaire des Centraux, J. BRAIVE, avec fig. (250 gr.)... 24 fr.
Pratique de l'art de construire, CLAUDEL, LAROQUE et DARIÈS. 7° édité. In-8°, avec 1.162 fig. (1520 gr.)..... 95 fr.
Les travaux publics et le bâtiment aux Etats-Unis, ANTOINE. In-8°, avec 123 fig. (330 gr.)..... 26 fr.
Outillage et organisation des chantiers de travaux publics, DEBAUVE. In-8°, avec atlas. (2.350 gr.)..... 63 fr.
Devis et évaluations des travaux publics et des constructions civiles, BONNAL et DARDART. In-16, 2° édité. (960 gr.)..... 57 fr.
Méthodes rapides d'évaluation du prix de construction et série de prix au mètre superficiel, LOUARN. In-4° (430 gr.)... 25 fr.
Législation du bâtiment, COURCELLE et LEMAITRE. (1.150 gr.). 45 fr.

III. — RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX, STABILITÉ DES CONSTRUCTIONS

- Résistance des matériaux appliqués aux constructions**, ARAGON. I : 387 fig. (710 gr.), 37 fr. 50 ; II : 370 fig. (890 gr.), 37 fr. 50 ; III : 252 fig., 2° éd. en préparation.
Cours de résistance des matériaux : Applications au calcul des éléments des machines, BONHOMME. In-8°, avec 461 fig. (1.500 gr.). 70 fr.
Constructions civiles et essais des matériaux, POUTRAIN, GOBLET et ANDRÉ. In-4°, avec 206 fig. (1.400 gr.)..... 60 fr.
Le calcul des colonnes, LEMAIRE. In-8°, avec 92 fig. (470 gr.) 36 fr.
Elasticité et résistance des corps pierreux, MONTEL et DARRAS. In-8°, avec 20 fig. (360 gr.)..... 17 fr.
Statique graphique, BUGAT-PUJOL. In-4°, 46 pl. (1.410 gr.). 48 fr.
Traité de la résistance des matériaux, et de la stabilité des constructions civiles, DE VILLIERS DE L'ISLE-ADAM. (710 gr.). 25 fr.

- Stabilité des constructions usuelles**, ROUSSELET et PETITET. In-4^e, avec 421 fig. 2^e édition. (840 gr.)..... 56 fr.
- Déformations des constructions usuelles**, ROUSSELET et PETITET. In-4^e, avec 493 fig. (1.010 gr.)..... 44 fr.
- Cours de stabilité des constructions**, VIERENDEEL. 3^e édit. I : en réimpr. ; II : 116 fig. et atlas 48 pl. (1.280 gr.), 108 fr. ; III : 160 fig. et 4 pl. (650 gr.), 51 fr. ; IV : 245 fig. et 3 pl. (930 gr.), 66 fr. ; V : 160 fig. et atlas 18 pl. (1.050 gr.), 95 fr. ; collection complète. 370 fr.

IV. — MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION, CIMENT ARMÉ

- Commission des méthodes d'essai des matériaux de construction. Travaux de la deuxième session.** I : *Documents généraux*. (360 gr.), 6 fr. ; II : *Rapports particuliers. Métaux*. 46 pl. (1.930 gr.), 50 fr. ; III : *Rapports particuliers. Autres matériaux*. (1.090 gr.), 34 fr.
- Les matériaux de construction**, DEBAUVE. 30 pl. (2.350 gr.). 74 fr.
- Bois et métaux**, AUCAMUS. In-16 avec 288 fig. (450 gr.).... 21 fr.
- Analyses et essais des matériaux de construction**, MALETTE. In-16. (1.010 gr.)..... 57 fr.
- Recherches industrielles sur les chaux, ciments et mortiers**, BIED. (470 gr.)..... 35 fr.
- Cours de béton armé**, A. MESNAGER. In-4^e. (1.590 gr.)..... 100 fr.
- Aide-mémoire de l'ingénieur-constructeur de béton armé**, BRAIVE. 2^e édit. In-8^e, avec fig. (560 gr.)..... 30 fr.
- Le béton armé à la portée de tous**, MAEPHETTES. (420 gr.). 24 fr.
- Pratique de la construction en béton et mortier de ciment armés ou non armés**, TAYLOR, THOMPSON et DARRAS. (1.360 gr.). 68 fr.
- Le portefeuille du béton armé**, FORESTIER. Fascicules I à IV : 21 fig., 6 pl (680 gr.), 40 fr. ; Fascicules V à VIII. 23 fig., 7 pl. (780 gr.). 40 fr.
- Béton armé. Abaques pratiques pour le calcul des hourdis et des poteaux**, CORSET. 44 planches 32 x 50. (940 gr.)..... 88 fr.
- Calculs graphiques et analytiques du béton armé**, HEIRMAN. In-4^e, avec 141 fig. (670 gr.)..... 30 fr.
- Calcul du béton armé sans formules algébriques**, DE TEDESCO. In-8^e. (330 gr.)..... 22 fr.
- Application de la résistance des matériaux au calcul des ouvrages en béton armé**, DÉVÉDEC, avec 201 fig. (830 gr.). 48 fr.
- Règle à calcul pour construction en béton armé, système RIEGER.** (avec 3 réglettes)..... 800 fr.

V. — TERRASSEMENTS, FONDATIONS, MAÇONNERIE

- Tracé et terrassements**, FRICK et GUILLEMONT. In-16, avec fig. 2^e édit. (950 gr.)..... 56 fr.
- Sondages, terrassements, dragages**, DEBAUVE. In-8^e, avec 141 fig. et atlas de 27 pl. (1.840 gr.)..... 50 fr.
- Fouilles et fondations**, FRICK et LÉVY-SALVADOR. In-16, avec 2^e éd. (720 gr.)..... 49 50
- Métré et attachements de terrasse**, MOUREL-MAILLARD. (900 gr.). 30 fr.
- Fondations**, DEBAUVE. In-8^e, avec 148 fig. et 43 pl. (1.470 gr.). 70 fr.

Traité des fondations, mortiers, maçonneries, OSLET et CHAIX.	
In-4°, avec 644 fig. (1.790 gr.).....	50 fr.
Maçonneries, SIMONET. In-4°, avec 102 fig. (550 gr.).....	27 fr.
Traité de coupe de pierres, CHAIX. In-4°. (1.410 gr.).....	40 fr.
Album du cours de stéréotomie (Charpente et coupe de pierres), LÉVI.	
34 pl. in-folio. (1.420 gr.).....	18 fr.
La marbrerie, DARRAS. In-8°, avec 151 fig. (910 gr.).....	40 fr.
Carrelages et faïences, MOULINEY. In-4°, 157 fig. (700 gr.).....	20 fr.
Métré et attachements de maçonnerie, MOUREL-MAILLARD, DAN- CHAUD et PIEL. 4 vol. in-4°, avec fig. et pl. (6.250 gr.).....	200 fr.

VI. — CONSTRUCTIONS MÉTALLIQUES, SERRURERIE

Les grands barèmes de la construction métallique, CROS. I :	
(<i>Epuisé</i>) ; II : <i>Poutres en treillis et à âme pleine. (Epuisé)</i> ; III : <i>Char-</i>	
<i>pentes.</i> 3 vol. in-8°, avec 2.000 fig. (5.520 gr.).....	155 fr.
Calcul des charpentes, BERGERON. In-4°. 10 pl. (1.440 gr.).....	90 fr.
Constructions métalliques, BONHOMME et SILVESTRE. In-4°, avec	
867 fig. et 2 pl. (1.710 gr.).....	80 fr.
Les nouveaux procédés de construction en fer, OSLET. In-4°, avec	
638 fig. et 3 pl. (1.040 gr.).....	50 fr.
Le traçage en chaudronnerie et en charpente en fer, HERMANN et	
DEYSINE. In-16, avec fig. (200 gr.).....	14 fr.
Traçage des constructions métalliques et de chaudronnerie, BOT-	
TILIEAU. (770 gr.).....	46 fr.
Manuel de serrurerie, HENRIET. In-8°, 232 fig. (330 gr.)... ..	16 fr.
Métré de serrurerie et de quincaillerie, charpente en fer, fer-	
ronnerie et grillage, GUILLAUME. In-4°, 519 fig. (1.250 gr.).....	50 fr.

VII. — CHARPENTE. — COUVERTURE. — MENUISERIE

Traité de charpente en bois et en fer, OSLET. In-4°. I : <i>Charpente en</i>	
<i>bois.</i> 1.063 fig. (1.360 g.), 40 fr. ; II : <i>Charpente en fer.</i> 1.620 fig. (2.060 g.),	
52 fr. ; III : <i>Serrurerie, Quincaillerie et petite charpente en fer.</i>	
172 fig. (2.230 gr.), 60 fr. ; IV : 638 fig. (1.040 gr.).....	40 fr.
Art du trait de charpente, DELATAILLE. I : <i>Bois droit.</i> (590 gr.),	
30 fr. ; II : <i>Bois droit.</i> (580 gr.), 30 fr. ; III : <i>Bois broché.</i> (560 gr.),	
30 fr. ; IV : <i>Combles</i> (570 gr.), 30 fr. ; Les 4 vol. (2.300 gr.),	96 fr.
Métré de charpente en bois, ORY. In-8°, 1.068 fig. (2.280 gr.).....	75 fr.
Charpente et couverture, ALDEBERT et AUCAMUS, (460 gr.).....	27 fr.
Métré de couverture et série de prix des ouvrages de couverture,	
OSLET, LASCOMBE et CORDEAU. In-4°, avec 610 fig. (1.630 gr.).....	65 fr.
Cours de technologie du bois, MASVIEL. I : <i>Généralités.</i> In-4°, 3 ^e éd.	
(520 gr.), 17 fr. ; II : <i>Travail mécanique.</i> In-4°, 2 ^e éd. (610 gr.),	21 fr.
Traité de menuiserie, OSLET et JEANNIN. In-4°. I : <i>Généralités.</i>	
<i>Menuiserie de bâtiments d'habitation. Escaliers. Boutiques.</i> 217 fig.	
(1.340 gr.), 40 fr. ; II : <i>Métré.</i> 217 fig. (650 gr.), 24 fr. ; III : <i>Installa-</i>	
<i>tions diverses. Ebénisterie et Layetterie.</i> 812 fig. (1.370 gr.).....	40 fr.
Menuiserie, serrurerie, plomberie, peinture et vitrerie, AUCA-	
MUS. In-16, avec 247 fig. 2 ^e éd. (520 gr.).....	36 fr.

Industrie du meuble, BOISON. In-16, avec 185 fig. (510 gr.)	18 fr.
Manuel du tapissier-garnisseur, BOISARD. In-16. (470 gr.)	14 fr.

VIII. — PLOMBERIE, CHAUFFAGE, FUMISTERIE, PEINTURE

Traité pratique de la pose et l'entretien des canalisations de gaz, BARBE. In-8°, avec 135 fig. (910 gr.)	22 fr.
Plomberie, Electricité, OSLET. In-4°, 1.661 fig. (1.570 gr.)	55 fr.
Métré de plomberie et d'électricité et série de prix s'y rattachant, OSLET, LASCOMBE et CORDEAU. In-4°. (2.160 gr.)	65 fr.
Traité pratique de fumisterie du bâtiment, MAUBRAS et GRANDJEAN. 2 vol. in-4°, avec 1.347 fig. (2.200 gr.)	64 fr.
Chauffage, ventilation et fumisterie, AUCAMUS. (480 gr.)	36 fr.
Le chauffage des habitations, DEBESSON. 730 fig., (1.630 gr.)	88 fr.
Distribution et réglage de la chaleur dans les installations de chauffage central, NESSI et NISOLLE. In-4°. (150 gr.)	8 fr.
Répartition générale de la chaleur dans les immeubles au moyen de centrales thermiques, NESSI. In-4°, 12 fig. (220 gr.)	12 fr.
Régimes variables de fonctionnement dans les installations de chauffage central, NESSI et NISOLLE. (250 gr.)	32 fr.
Métré de fumisterie, chauffage, tôlerie, chaudronnerie, faïencerie, GRANDJEAN. In-4°, avec 1.316 fig. (2.180 gr.)	60 fr.
Pour le peintre-vitrier, BATAILLE, CHAPLET et DE THELLESME. In-16. 164 pages. (200 gr.)	10 50
Traité de peinture en bâtiment et de décoration, BOUDRY et CHAUVEL, 2 vol. avec 1.545 fig. et 180 pl. en coul. (5.410 gr.)	225 fr.

IX. — TOPOGRAPHIE. — ROUTES

Topographie appliquée aux travaux publics, PRÉVOT et ROUX. I : <i>Instruments.</i> In-16, 341 fig. 2 ^e éd. (670 gr.), 48 fr.; II : <i>Méthodes</i> In-16, avec 317 fig. et 5 pl. 2 ^e éd. (990 gr.)	57 fr.
Manuel de topométrie, BAILLAUD. In-8°, 93 fig. (800 gr.)	30 fr.
Sur le terrain, Topographie usuelle, LIGER. In-8°. (180 gr.)	7 fr.
Géodésie, OSLET. In-4°, avec 694 fig. (1.210 gr.)	35 fr.
Construction et entretien des routes et chemins, DEBAUVE. 2 ^e éd. In-8°, avec 187 fig. et 2 pl. (1210 gr.)	86 fr.
Routes et chemins vicinaux, ROUX. 2 ^e éd. (640 gr.)	42 fr.
Les routes américaines, ANTOINE. 2 ^e éd. (150 gr.)	16 fr.
Voie publique, LEFEBVRE. In-16, avec fig. 2 ^e éd. (750 gr.)	48 fr.
Législation de la voirie et du roulage, COURCELLE. (990 gr.)	36 fr.

X. — PONTS. — VIADUCS. — TUNNELS

Méthode de calcul des ponts métalliques, MÉTOUR. In-8°, avec 236 figures. (1.410 gr.)	80 fr.
Traité des ponts, CHAIX. I : <i>Ponts en maçonnerie et tunnels.</i> 2 vol. In-4°. (4.090 gr.), 110 fr.; II : <i>Ponts en charpente, métalliques et suspendus,</i> 2 vol. In-4°. (3.980 gr.)	110 fr.
Ponts et ouvrages en maçonnerie, ARAGON. (660 gr.)	39 fr.
Ponts en bois et en métal, ARAGON. In-16. (640 gr.)	39 fr.

Calculs de résistance des ponts métalliques, d'après les prescriptions ministérielles, DE BOULONGNE et BEDAUX. (1.160 gr.). 30 fr.

XI. — HYDRAULIQUE. — DISTRIBUTION D'EAU ASSAINISSEMENT

Cours d'hydraulique théorique , MONTEIL. (310 gr.).....	15 fr.
Hydraulique , COLLIGNON, 3 ^e édit. 260 fig. (1.050 gr.).....	30 fr.
Recherches hydrauliques , DARCY et BAZIN. 2 vol. in-4° et 2 atlas de 33 pl. (1 ^{re} partie épuisée). (650 gr.).....	15 fr.
Théorie du coup de bélier , ALLIÉVI et GADEN. 2 vol. (690 gr.).	10 fr.
Étude des coups de bélier , Essais, CAMICHEL, EYDOUX et GABRIEL. In-4°, avec 204 fig. (1.530 gr.).....	66 fr.
La technique de la houille blanche , PACORET. I : <i>Création et aménagement des chutes d'eau et des usines hydro-électriques</i> . 4 ^e édit., 2 vol., 871 fig. et 14 pl. (3.050 gr.) 190 fr. ; II : <i>Descriptions et études d'usines hydro-électriques aménagées ou projetées</i> . 3 ^e édit. 270 fig. et 2 pl. (1.040 gr.), 56 fr. ; III : <i>Utilisation de l'énergie des chutes d'eau</i> . 3 ^e édit., 676 fig. (1.870 gr.), 140 fr. ; IV : <i>Utilisation de l'énergie des forces hydrauliques, électrochimie, électrometallurgie</i> , 3 ^e éd. 253 fig. (1.290 g.).	80 fr.
L'avenir de la vallée du Rhône , MAHI. (100 gr.).....	4 80
Distributions d'eau , DARIÈS. (680 gr.).....	42 fr.
Devis et cahiers des charges pour travaux communaux de distributions d'eau , FRICK et CAUVIN. In-4°. (730 gr.).....	32 fr.
Type de rapport de l'alimentation en eau d'une ville , GILBERT. In-4°, avec 6 pl. (350 gr.).....	9 fr.
Assainissement des villes par l'eau, les égouts, les irrigations , MILLE. In-8°, avec 9 pl. (870 gr.).....	48 fr.
Assainissement des villes et égouts de Paris , DAVERTON. In-8°, xviii-794 pages. (900 gr.).....	54 fr.
Les égouts et les vidanges de Paris , BELGRAND. In-8°, avec fig. et atlas in-folio de 16 pl. et cartes (2.410 gr.).....	95 fr.
Abattoirs publics , MARLET, DE LOVERDO et MAILLET. In-8°, avec fig. (1.690 gr.).....	58 fr.

XII. — NAVIGATION. — PORTS

Des eaux comme moyen de transport , DEBAUVE. 3 vol. (I : <i>Rivières</i> . — II. <i>Canaux</i> . — III. <i>Ports maritimes</i> .) In-8°. (4.050 gr.)..	110 fr.
Rivières canalisées et canaux , CUÉNOT. 459 fig. (1.060 gr.).	54 fr.
Fleuves et rivières , CUÉNOT. In-16, 232 fig. (910 gr.).....	42 fr.
Traité des canaux , BERTHOT. In-4°, avec 988 fig. en réimp.	
Collection des grands ports français : <i>Dunkerque, Calais, Boulogne</i> . H. MALO. (200 gr.), 12 fr. — <i>Le port de Rouen</i> , DUPOUY. (190 gr.), 12 fr. — <i>Le Port de Paris</i> , COLIN. (250 gr.), 15 fr. — <i>Nantes et Saint-Nazaire</i> , COLIN. (250 gr.), 15 fr. — <i>Le Port du Havre</i> , WEULERSSE. (250 gr.), 14 fr. — <i>La Rochelle et Bayonne</i> , VERGNIOL. (170 gr.),	

- 10 fr. — *Le Port de Strasbourg*, ARNAUD. (230 gr.), 13 fr. — *Bordeaux-la-Gironde*, LORIN. (220 gr.), 13 fr. — *Brest et Lorient*, DUPOUY. (210 gr.), 13 fr. — *Cette, Port-Vendres, Nice*, MARTIN et COMBY. (310 gr.), 13 fr. — *Le Port de Marseille*, LÉOTARD. (310 gr.), 13 fr. — *Caen, Dieppe, Cherbourg*, GIDEL. (240 gr.)..... 13 fr.
- Le port d'Alger**, DELVERT. (280 gr.)..... 13 fr.
- Ports maritimes**, DE CORDEMOY. 2 vol. 2^e éd. en préparation.
- Exploitation des ports maritimes**, DE CORDEMOY. 2^e éd. en prép.
- Les ports maritimes de l'Amérique du Nord sur l'Atlantique**, QUINETTE DE ROCHEMONT et VÉTILLART. I : *Les ports canadiens* avec atlas. (540 gr.), 36 fr. ; II : *Régime administratif des voies navigables et des ports aux Etats-Unis*. (1.050 gr.), 30 fr. ; III : *Les ports des Etats-Unis*, avec atlas. (1.060 gr.)..... 80 fr.

XIII. — ADMINISTRATION ET LÉGISLATION DES TRAVAUX PUBLICS

- Dictionnaire administratif des travaux publics**, DEBAUVE. 2^e éd. 5 vol. (6.750 gr.), 175 fr. ; le IV^e vol. (1^{er} suppl.), documents de 1892 à 1903, séparément, (730 gr.), 20 fr. ; le V^e vol., par COURCELLE (2^e suppl.), documents de 1903 à 1913, séparément. (1.010 gr.). 60 fr.
- Droit administratif**, TOUZAC. In-16. (790 gr.)..... 27 fr.
- Exécution des travaux publics**, DARDART. In-16. (940 gr.). 33 fr.
- Manuel juridique des travaux publics**, MARIZIS et COT. (430 gr.). 40 fr.
- Clauses et conditions générales imposées aux entrepreneurs**. LEFEBVRE et BASSOMPIERRE-SEVRIN. In-4^e. (2.330 gr.)... 60 fr.
- Des difficultés entre propriétaires et locataires**, GUILLOT. (310 gr.) 9 fr.
- Organisation des services de travaux publics en France**, CAMPREDON. In-16. (620 gr.)..... 21 fr.
- Comptabilité des travaux publics et tenue des bureaux des services des Ponts et Chaussées**, HERBERT. In-16. (810 gr.). 36 fr.
- Occupations temporaires**, *Commentaires de la loi sur les dommages causés à la propriété privée par l'exécution des travaux publics*. PLONQUET. In-8^e. (350 gr.)..... 8 fr.
- Canalisations d'éclairage, réglementation et jurisprudence**, REMAURY. In-8^e. (420 gr.)..... 12 fr.
- Législation des eaux**, COURCELLE et DARDART. (1.160 gr.).. 45 fr.

CHEMINS DE FER ET TRAMWAYS

- Revue générale des chemins de fer**. Publication mensuelle. Abont. annuel France, 60 fr. ; Etranger. \$ 4 (\$ 3,50 pour les pays ayant accepté l'échange du tarif postal réduit). Le N^o Etr. \$ 0,35, France. 6 fr.
- Traité des chemins de fer**, MOREAU. I : *Infrastructure*. In-4^e.

(1.390 gr.), 40 fr. ; II : In-4°. <i>Superstructure</i> . (1.930 gr.), 50 fr. ; III : <i>Matériel et traction</i> . In-4°. (2.330 gr.), 60 fr. ; IV : <i>Locomotives, freins, chauffage, éclairage, ventilation</i> . In-4°. (1.970 gr.), 55 fr. ; V : <i>Exploitation, statistique</i> . In-4°. (2.510 gr.), 70 fr. ; VI : <i>Chemins de fer secondaires</i> . In-4°. (1.960 gr.)	60 fr.
Les chemins de fer à voie d'un mètre , MUSTAPHA IBRAHIM BEY. In-4°, avec fig. (1.110 gr.)	45 fr.
Exploitation technique des chemins de fer , GALINE. 3° édit. In-16, 344 fig, 1 pl. (900 gr.)	58 50
Tables trigonométriques pour le tracé des courbes de chemins de fer, routes et canaux , GAUDIN, HOUDAILLE et BERNARD. Nouv. édit. In-8°, avec 24 fig. (450 gr.)	30 fr.
Construction et voie , SIROT et BELORGEY. 2° édit. In-16, 317 fig., 14 pl. (810 gr.)	51 fr.
Manuel pratique des poseurs de voies de chemins de fer , SALIN et SOUSTELLE, 2° édit. In-16, avec 280 fig. (400 gr.)	18 fr.
Locomotive et matériel roulant , DEMOULIN et VIGERIE. 2° édit. In-16, 219 fig., 14 pl. (630 gr.)	48 fr.
Le mécanicien de chemin de fer , GUÉDON, 3° édition. In-8°, avec 512 fig. et 2 pl. (960 gr.)	42 fr.
Manuel du mécanicien de chemins de fer vicinaux et d'intérêt local , HALLEUX. In-16, 141 fig. (860 gr.)	39 fr.
Les chemins de fer coloniaux français , GODFERNAUX. In-4°, avec 206 fig. et cartes. (1.770 gr.)	54 fr.
Les transports en commun à Paris , BROUSSE et BASSÈDE. 2 vol., in-8°, avec 18 fig. (1.500 gr.)	30 fr.
Tramways, Métropolitains et Automobiles , AUCAMUS et GALINE. 3° édit. JULIEN. In-16, 461 fig. 1 pl. (950 gr.)	60 fr.
Monographies des réseaux de l'Est et du Nord , H. LAMBERT. I : <i>Est</i> . (220 gr.), 9 fr. ; II : <i>Nord</i> . (230 gr.)	9 fr.
Législation des chemins de fer et des tramways , THÉVENEZ et MANESSE. In-16. (810 gr.)	30 fr.
Contrôle des chemins de fer et tramways , DE LA RUELLÉ. (1.040 gr.)	36 fr.
Les chemins de fer pendant la guerre , PESCHAUD. In-4° avec fig. (Livraison spéc. de la <i>Revue des chemins de fer</i>). (1030 gr.)	25 fr.
La traction électrique aux Etats-Unis , M. JAPIOT et A. FERRAND. 8 vol., avec 126 fig. et 11 pl. (1.730 gr.)	59 50
Cahiers des charges unifiés et spécifications techniques adoptés par les chemins de fer français , VIOLET. (230 gr.)	13 50

GÉOLOGIE. — MINES. — MÉTALLURGIE

I. — GÉOLOGIE ET MINÉRALOGIE

Dictionnaire de Géologie , S. MEUNIER. (900 gr.)	98 fr.
Etudes synthétiques de géologie expérimentale , DAUBRÉE. In-8°, avec 257 fig. et 7 pl. (2.000 gr.)	75 fr.
Le seaux souterraines , DAUBRÉE. 3 vol. 390 fig. (3.500 gr.)	100 fr.

Hydrologie et hydrosco pie , LANDESQUE. In-8°. (740 gr.)...	36 fr.
Les sourciers et leurs procédés. La baguette, le pendule , MAGER. In-16, 352 p. avec fig., 3 ^e édit. (480 gr.).....	30 fr.
Une science nouvelle, la science des vibrations , MAGER. In-16, 50 fig. (260 gr.).....	16 fr.
Les baguettes des sourciers et les forces de la nature , MAGER. In-16, avec 197 fig. (570 gr.).....	40 fr.
Les influences des corps minéraux. Recherche des eaux souterraines, des corps enfouis, des gisements métallifères , MAGER. In-8°, avec 127 fig. (520 gr.).....	18 fr.
Traité pratique de géologie , LEMOINE. In-8°. (1.100 gr.)..	50 fr.
Géologie et minéralogie appliquées , CHARPENTIER. (880 gr.)..	36 fr.
Les causes actuelles en géologie , MEUNIER. In-8°. (750 g.)..	20 fr.
Géologie régionale de la France , MEUNIER. (1.260 gr.) ...	50 fr.
Notions élémentaires de cristallographie, géométrie et optique de minéralogie et de pétrographie , BUTTGENBACH. (200 gr.)..	20 fr.
Les météorites , MEUNIER. In-8°, avec 132 fig. (950 gr.)....	55 fr.
Tableaux des constantes géométriques des minéraux , BUTTGENBACH. In-4°, avec 5 fig. (250 gr.).....	15 fr.
Les minéraux et les roches , BUTTGENBACH. In-8°, 3 ^e édit., 522 fig. (1.270 gr.).....	75 fr.
Essai sur la genèse et l'évolution des roches , VIALAY. (560 gr.)..	18 fr.
Les gîtes minéraux , MEUNIER. In-8°, avec fig. (800 gr.)....	35 fr.
Traité des gîtes métallifères , GRODDECK. In-8°. (530 gr.)..	30 fr.
Les ressources de la France en minéral de fer , NICOU. (360 gr.)..	15 fr.
Les gisements algériens de phosphate de chaux , DUSSERT. In-8° avec 51 fig. et 20 pl. (660 gr.).....	30 fr.
Richesses minérales de Madagascar , LEVAT. In-8°, avec 154 fig. et 1 carte en couleurs. (970 gr.).....	35 fr.

II. — MINES

Annales des Mines , Publication mens. Abt. annuel. Paris 72 fr.; Départ., 78 fr.; Etr. \$ 4.30. Le n°: Etr. \$ 0,37. France..	7 50
Comment on crée une mine , LECOMTE-DENIS. (310 gr.)..	12 fr.
Les gîtes miniers et leur prospection , ROUX-BRAHIC. (1.450 gr.)..	90 fr.
Guide pratique de la prospection des mines et de leur mise en valeur . LECOMTE-DENIS. 3 ^e édit., avec 331 fig. (1.470 gr.)..	60 fr.
Recherches minières. Guide pratique de prospection et de reconnaissance des gisements . COLOMER. 4 ^e édit. (530 gr.).....	35 fr.
Guide pratique du prospecteur à Madagascar , LEVAT. (340 gr.)..	13 fr.
Cours d'exploitation des mines , HATON DE LA GOUPILLIÈRE et BÈS DE BERC. 3 ^e édit. 3 vol. in-8°, avec 1.074 fig. (5.960 gr.)....	275 fr.
Exploitation des mines , COLOMER. 3 ^e édit. (590 gr.).....	42 fr.
Atlas général des houillères , GRUNER et BOUSQUET. In-8°, avec atlas de 29 pl. (3.940 gr.).....	150 fr.

Exploitation des mines métalliques, CRANE et BORDEAUX. In-8°, avec 66 fig. (740 gr.).....	16 fr.
Ateliers modernes de préparation mécanique des minerais, ROUX-BRAHIC. In-8°. (1.490 gr.).....	120 fr.
Carte des concessions des mines de fer oolithique de la Lorraine, LENCAUCHEZ. (90 gr.).....	20 fr.
Carte du bassin houiller du Nord et du Pas-de-Calais. (250 gr.).....	22 fr.
Carte du bassin de la Sarre, LENCAUCHEZ. (120 gr.).....	20 fr.
Traité pratique du broyage et tamisage des matériaux et minerais, RATEL. In-8°, avec 405 fig. (1.880 gr.).....	95 fr.
Traité général de l'emploi de l'électricité dans l'industrie minière, LAPOSTOLEST. In-8°, avec 67 fig. (700 gr.).....	20 fr.
Les explosifs dans les mines, MARTEL, 2^e édit. (400 gr.)...	20 fr.
Législation minière et contrôle des mines, CUVILLIER. (940 g.)	36 fr.
Législation des mines en Alsace-Lorraine, COURAU. (390 g.)	15 fr.
La nouvelle législation minière, AJAM. In-8°. (420 gr.)...	8 fr.
Pétrole (v. page LIII).	

III. — MÉTALLURGIE

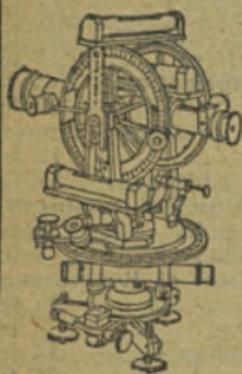
Les industries métallurgiques à l'avant-guerre, Leur avenir, GUILLET. In-8°, avec 275 fig. et 4 pl. (1.050 gr.).....	90 fr.
Introduction à l'étude de la métallurgie. Le chauffage industriel, LE CHATELLIER. 3 ^e édit. In-8°, avec 96 fig. (1.110 gr.).....	52 fr.
Calculs métallurgiques, RICHARDS et LALEMENT. (1.710 gr.)	82 fr.
Essais et analyses des produits sidérurgiques, SERRE. (280 gr.)	19 fr.
Calcul du lit de fusion des hauts fourneaux, PAWLOFF et DLOUCATCH. In-8°, avec fig. (550 gr.).....	25 fr.
Chimie physique des métaux, SCHENCK. In-8°. (750 gr.)...	30 fr.
Précis de métallographie microscopique et de macrographie, GUILLET et PORTEVIN, 2^e édit. 117 pl. et 565 fig. (1.180 gr.)	68 fr.
Les méthodes d'étude des alliages métalliques, GUILLET. In-8°, avec 577 fig. (1210 gr.).....	70 fr.
Actualités métallurgiques, DEJEAN. (560 gr.).....	36 fr.
Progrès des métallurgies autres que la sidérurgie et leur état actuel en France, GUILLET, avec 24 fig. et 8 pl. (590 gr.)	20 fr.
Etude de l'organisation de la production française après la guerre (Métallurgie), CARLIOZ, CHARPY et GUILLET. I : In-4°. (300 gr.), 10 fr. ; II : In-4°. (130 gr.), 4 fr. ; III : In-4°. (210 gr.), 8 fr..	
Contribution à l'étude de la fragilité dans les fers et les aciers, AST, AUSCHER, BARBA, etc. In-4°, avec fig. (1.730 gr.).....	30 fr.
Conditions et essais de réception des métaux, CHARPY. In-8°	16 50
Les essais de fatigue des métaux, BREUIL. In-16. (120 gr.)	7 fr.
L'usure des métaux, BREUIL. In-16. (80 gr.).....	5 fr.
Les métaux industriels, TURPIN. 13 fig. et 9 pl. (380 gr.)..	16 fr.
Technologie de la forge : les tuyères, FOUCARD. (250 gr.)	10 fr.
Soufflantes et compresseurs centrifuges, MONTEIL. (210 g.)	13 50
Manuel pratique de fonderie. Cuivre, Bronze, Aluminium. Alliages divers. DUPONCHELLE, In-8°, avec 201 fig. (350 gr.).....	15 fr.

Comment on pratique la fonderie , DEPONCHELLE. (1.070 gr.)	55 fr.
Le modelage mécanique , CHAMPDECLER. In-4° (710 gr.)	24 fr.
Aciers, fers, fontes , JACQUET. I : 160 fig. (320 gr.), 14 fr. ; II : 133 fig. (340 gr.)	14 fr.
Le fer et ses dérivés , DELESTRADE. In-16. (490 gr.)	25 fr.
La fonderie d'acier , H. HALL, traduit par DROUOT. (940 gr.)	58 fr.
Le traitement thermique préliminaire des aciers doux et demi-durs , GIOLITTI. In-8°, avec figures. (1.210 gr.)	50 fr.
Installations d'aciéries et laminoirs , JACQUES. 3 fascicules. I et II, épuisés. III. (300 gr.)	30 fr.
Etudes sur les laminoirs , PUPPE et DEMOLE. (1.370 gr.)	70 fr.
Métallurgie du cuivre, précédée de généralités sur la métallurgie , GRUNER et ROSWAG. In-8°, 97 fig. et 2 pl. (740 fr.)	60 fr.
Le water-jacket à cuivre , DE VENANCOURT. (1.210 gr.)	36 fr.
Métallurgie du zinc , LODIN. In-8°, 25 pl. et 375 fig. (1.560 gr.)	99 fr.
Métallurgie du nickel et du cobalt , VILLON. (210 gr.)	15 fr.
Les métallurgies électrolytiques et leurs applications , LEVASSEUR. In-8°. (380 gr.)	18 fr.
L'aluminium et ses alliages , WICKERSHEIMER. In-8°, avec figures. (290 gr.)	12 fr.
L'aluminium dans l'industrie , ESCARD. In-8°. (1.090 gr.)	54 fr.
Des emplois de l'aluminium dans la construction des machines , FLEURY et LABRUYÈRE. In-8°, avec 32 fig. (130 gr.)	7 fr.
Fabrication du fer-blanc , GEORGEOT. 2 ^e édit. (190 gr.)	8 fr.
Manuel pratique de soudure autogène , GRANJON et ROSEMBERG. In-8°, avec figures. (530 gr.)	20 fr.
La soudure autogène des métaux , RAGNO. (160 gr.)	9 fr.
La soudure électrique , DELAMARRE et LÉVY. (200 gr.)	16 fr.
La soudure électrique , VARINOIS. In-8°. (1.270 gr.)	65 fr.
Essais d'une théorie des fours à flammes basée sur les lois de l'hydraulique , GROUME-GRJIMAILO. In-8°. (480 gr.)	20 fr.
Les métaux spéciaux : manganèse, chrome, silicium, tungstène, molybdène, vanadium et leurs composés , ESCARD. In-8°. (1.610 gr.)	50 fr.
L'électrometallurgie du fer et de ses alliages , ESCARD. (1.840 gr.)	96 fr.

IV. — OR, ARGENT, PIERRES PRÉCIEUSES

L'or, propriétés, gisements et extraction , GUMENGE et FUCHS. I : <i>L'or dans la nature</i> , avec 13 pl. (350 gr.), 20 fr. ; II : <i>L'or dans le laboratoire</i> . (400 gr.), 30 fr. ; III : <i>L'or dans les centres de travail et de l'industrie. Exploitation et traitement des minerais aurifères (épuisé)</i> ; IV : <i>Traitement des minerais auro-argentifères (épuisé)</i> .	
Guide pratique pour la recherche et l'exploitation de l'or en Guyane française , LEVAT. In-8°, avec 6 pl. (640 gr.)	18 fr.
Métallurgie de l'argent , ROSWAG. 175 fig. et 2 pl. (890 gr.)	60 fr.
Désargentation des plombs , ROSWAG. In-8°. (900 gr.)	60 fr.
Le diamant , BOUTAN. In-8°, avec 147 fig. (640 gr.)	45 fr.
La synthèse du rubis , FRÉMY. In-4°, 22 pl. col. (650 gr.)	50 fr.

**INSTRUMENTS
& FOURNITURES
POUR INGÉNIEURS**



**GÉODÉSIE
ARPENTAGE - NIVELLEMENT**

APPAREILS INDUSTRIELS

*de Mesure et de Contrôle
Mathématiques et Dessin
Calibres et Vérificateurs*

— CATALOGUE FRANCO —

**DICTIONNAIRES TECHNIQUES ILLUSTRÉS
EN SIX LANGUES**

(Français, Allemand, Anglais, Russe, Italien, Espagnol)

Par **A. SCHLOMANN**

Prix de base subissant la hausse en vigueur :

I. Éléments de machines. — Outils usuels, 49 fr. — II. Électrotechnie, 302 fr. — III. Chaudières. — Machines. — Turbines à vapeur, 158 fr. — IV. Moteurs à combustion interne, 70 fr. — V. Chemins de fer (Construction. — Exploitation), 100 fr. — VI. Chemins de fer (Matériel roulant), 94 fr. — VII. Appareils de levage, 76 fr. — VIII. Béton armé, 51 fr. — IX. Machines-outils, 85 fr. — X. Automobiles, Canots automobiles, Dirigeables, Aéroplanes, 126 fr. — XI. Sidérurgie, 118 fr. — XII. Hydraulique, Pneumatique, Froid, 250 fr. — XIII. Construction, 145 fr. — XIV. Matières textiles, 145 fr. — XV. Filatures et filés, 242 fr. — XVI. Tissage et tissus, 242 fr.

DUNOD, ÉDITEUR

Concessionnaire exclusif pour la France, la Belgique
et la Suisse Romande.

LA PUBLICITÉ

dans
les **AGENDAS DUNOD** vous
assure :

LA PLUS GRANDE DIFFUSION POSSIBLE DE VOS ANNONCES

*dans tous les milieux industriels et
commerciaux où ils circulent à des
centaines de milliers d'exemplaires*

UNE CLIENTÈLE DE LECTEURS SPÉCIALISÉS

*dont chacun est un ache-
teur possible ou tout au moins
un conseiller écouté pour
le choix des fournisseurs*

UNE PUBLICITÉ PERMANENTE

*qui passe à chaque
instant sous les yeux
de l'intéressé à la
recherche d'une
formule technique*

UN MINIMUM DE FRAIS

**Demandez le Tarif
de la Publicité pour
l'édition prochaine**

=====

**SERVICE
PUBLICITÉ
DUNOD
ÉDITEUR**

=====

=====

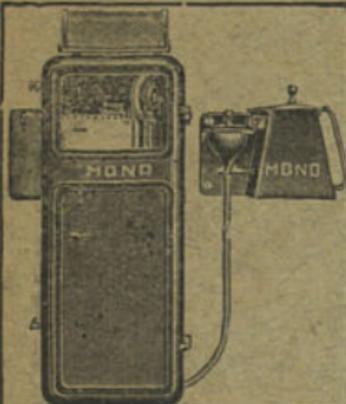
TRANSFÉRÉ
92, Rue Bonaparte
PARIS
Tél. : FLEURUS 33.43

=====

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

INTÉGRA**SOCIÉTÉ
CAPITAL**

Expositions permanentes à

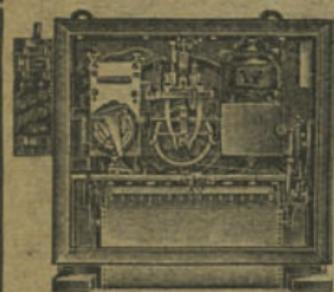
LIÈGERue Vieille-Montagne, 20
Téléphone 934**PARIS**Rue Victor-Massé, 8
Téléphone Trudaine 41-37**CONDUITE SCIENTIFIQUE DES USINES :**

CONDUITE ET CONTRÔLE
des Chaudières, des Gazogènes
des Fours Céramiques
des Combustions de toutes espèces

par

L'ANALYSEUR AUTOMATIQUE
" **MONO - DUPLEX** "

enregistrant minute par minute
sur bande continue
le CO_2 et le CO , H_2 , C_n , H_m



MESURE DES TEMPÉRATURES
à distance

par les POTENTIOMÈTRES

" **LEEDS & NORTHRUP** "

jusqu'à 16 températures
enregistrées sur la même bande continue

PYROMÈTRES OPTIQUES

" **LEEDS et NORTHRUP** "

Précision, Robustesse sans égales



CALORIMÈTRE AUTOMATIQUE
" **JUNKERS** "

pour l'enregistrement continu
du Pouvoir Calorifique des Gaz

Usines à gaz, Cokeries, Gazogènes

Usines Métallurgiques

Toute Production, toute Utilisation
de gaz quelconque

Universellement connu

ANONYME

INTÉGRA

1.100.000 FR.

Expositions permanentes à

BILBAO

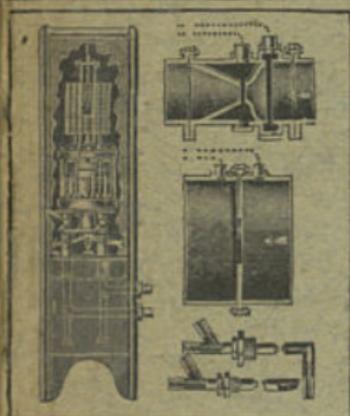
Rampas de Uribitarte, 1

Téléphone 736

BIRMINGHAM

183, Broad Street

Téléphone Midd. 1568

ÉCONOMIES, HAUTS RENDEMENTS**MESURE DES GRANDS DÉBITS****GAZEUX**

par les Débitmètres Enregistreurs

“INTÉGRA”

fonctionnent à distance,
gaz de toutes natures, épurés ou non,
conduites de tous diamètres.

**Enregistreurs
avec ou sans totalisateurs**

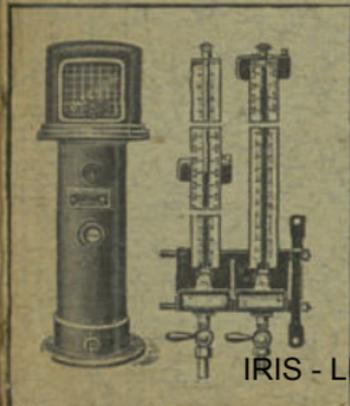
Organes de prises :

Venturis, disques ou sondes**MESURE DES GRANDS DÉBITS****LIQUIDES**

par les Compteurs à bacs oscillants

“INTÉGRA”

Tous les Avantages des bacs oscillants
avec un perfectionnement essentiel
en plus.

**PRESSIODÉPRIMOMÈTRES****“INTÉGRA”****Enregistreurs de Tirage :**

Simplex, Duplex, Triplex
Quadruplex, Différentiels, etc.

Enregistreurs de pression

pour vent soufflé, gaz surpressé,
gaz de Haut Fourneau,
de Four à Coke, etc.

Enregistreurs de Vide.

pour Vides, etc.

IRIS - LILLIAD, Université Lille 1

