

Conditions d'utilisation des contenus du Conservatoire numérique

1- [Le Conservatoire numérique](#) communément appelé [le Cnum](#) constitue une base de données, produite par le Conservatoire national des arts et métiers et protégée au sens des articles L341-1 et suivants du code de la propriété intellectuelle. La conception graphique du présent site a été réalisée par Eclydre (www.eclydre.fr).

2- Les contenus accessibles sur le site du Cnum sont majoritairement des reproductions numériques d'œuvres tombées dans le domaine public, provenant des collections patrimoniales imprimées du Cnam.

Leur réutilisation s'inscrit dans le cadre de la loi n° 78-753 du 17 juillet 1978 :

- la réutilisation non commerciale de ces contenus est libre et gratuite dans le respect de la législation en vigueur ; la mention de source doit être maintenue ([Cnum - Conservatoire numérique des Arts et Métiers - https://cnum.cnam.fr](https://cnum.cnam.fr))
- la réutilisation commerciale de ces contenus doit faire l'objet d'une licence. Est entendue par réutilisation commerciale la revente de contenus sous forme de produits élaborés ou de fourniture de service.

3- Certains documents sont soumis à un régime de réutilisation particulier :

- les reproductions de documents protégés par le droit d'auteur, uniquement consultables dans l'enceinte de la bibliothèque centrale du Cnam. Ces reproductions ne peuvent être réutilisées, sauf dans le cadre de la copie privée, sans l'autorisation préalable du titulaire des droits.

4- Pour obtenir la reproduction numérique d'un document du Cnum en haute définition, contacter [cnum\(at\)cnam.fr](mailto:cnum(at)cnam.fr)

5- L'utilisateur s'engage à respecter les présentes conditions d'utilisation ainsi que la législation en vigueur. En cas de non respect de ces dispositions, il est notamment possible d'une amende prévue par la loi du 17 juillet 1978.

6- Les présentes conditions d'utilisation des contenus du Cnum sont régies par la loi française. En cas de réutilisation prévue dans un autre pays, il appartient à chaque utilisateur de vérifier la conformité de son projet avec le droit de ce pays.

NOTICE BIBLIOGRAPHIQUE

NOTICE DE LA REVUE	
Auteur(s) ou collectivité(s)	Laboratoire d'essais mécaniques physiques chimiques et de machines du Conservatoire national des Arts et Métiers
Auteur(s)	Laboratoire d'essais mécaniques physiques chimiques et de machines du Conservatoire national des Arts et Métiers
Titre	Bulletin du Laboratoire d'essais mécaniques, physiques, chimiques et de machines du Conservatoire National des Arts et Métiers
Adresse	Paris : Librairie Polytechnique Ch. Béranger, éditeur, 1903-1931
Nombre de volumes	23
Cote	CNAM-BIB P 1329-A
Sujet(s)	Conservatoire national des arts et métiers (France) Génie industriel -- 20e siècle
Notice complète	https://www.sudoc.fr/039047083
Permalien	https://cnum.cnam.fr/redir?P1329-A
LISTE DES VOLUMES	
	N° 1 - Tome I (1903-1904)
	N° 2 - Tome I (1903-1904)
	N° 3 - Tome I (1903-1904)
	N° 4 - Tome I (1903-1904)
	N° 5 - Tome I (1903-1904)
	N° 6 - Tome I (1905-1906)
	N° 7 - Tome I (1905-1906)
	N° 8 (1906)
	N° 9 (1906)
	N° 10 (1907)
	N° 11 (1907)
	N° 12 (1907)
	N°13 (1908)
	N°14 (1908)
	N°15 (1908)
	N°16 (1911)
	N°17 (1917)
	N°18 (1919)
	N°19 (1919)
	N° 20 (1922)
	N° 21 (1924)
	N°22 (1927)
VOLUME TÉLÉCHARGÉ	N°23 (1931)

NOTICE DU VOLUME TÉLÉCHARGÉ	
Auteur(s) volume	Laboratoire d'essais mécaniques physiques chimiques et de machines du Conservatoire national des Arts et Métiers
Titre	Bulletin du Laboratoire d'essais mécaniques, physiques, chimiques et de machines du Conservatoire National des Arts et Métiers
Volume	N°23 (1931)
Adresse	Paris ; Liège : Librairie Polytechnique Ch. Béranger, éditeur, 1931
Collation	1 vol. (73 p.) : fig ; 25 cm
Nombre de vues	78
Cote	CNAM-BIB P 1329-A (23)
Sujet(s)	Conservatoire national des arts et métiers (France) Génie industriel -- 20e siècle
Thématique(s)	Histoire du Cnam
Typologie	Revue
Langue	Français
Date de mise en ligne	10/04/2025
Date de génération du PDF	10/04/2025
Notice complète	https://www.sudoc.fr/039047083
Permalien	https://cnum.cnam.fr/redir?P1329-A.23

8° KU 107 (118)
QX3907A

BULLETIN
DU
LABORATOIRE D'ESSAIS
MÉCANIQUES, PHYSIQUES, CHIMIQUES ET DE MACHINES

DU
CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS

N° 23

QUELQUES APPAREILS
OU MÉTHODES D'ESSAIS
RÉCEMMENT MIS AU POINT
DANS LE SERVICE
DES ESSAIS DE MACHINES

PAR

M. BOYER-GUILLOU

Chef de Service Principal au Laboratoire
Lauréat de l'Académie, de la Société des Ingénieurs Civils de France
et de la Société d'Encouragement à l'Industrie Nationale

M. COULMEAU
Assistant au Laboratoire

Mlle NUGUES-BOURCHAT
Essayeur au Laboratoire

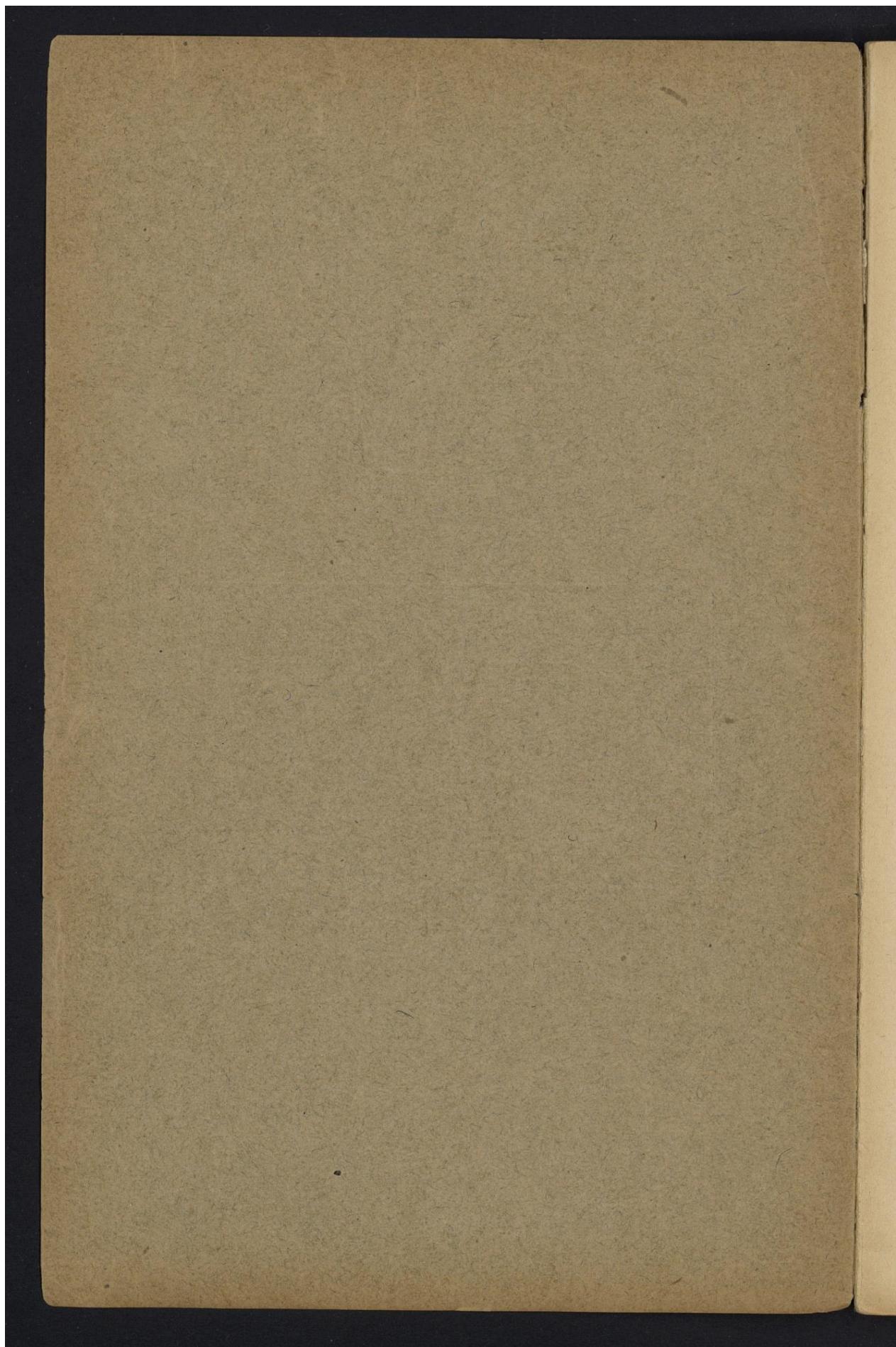
PARIS ET LIÉGE

LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE CH. BÉRANGER

PARIS, 15, RUE DES SAINTS-PÈRES, 15
LIÉGE, 1, QUAI DE LA GRANDE-BRETAGNE, 1

1931

Tous droits réservés



Droits réservés au [Cnam](#) et à ses partenaires

8° Ku 107 (118)

QUELQUES APPAREILS OU MÉTHODES D'ESSAIS
RÉCEMMENT MIS AU POINT
DANS LE SERVICE DES ESSAIS DE MACHINES

PAR

M. BOYER-GUILLOU

Chef de Service Principal au Laboratoire
Lauréat de l'Académie, de la Société des Ingénieurs Civils de France
et de la Société d'Encouragement à l'Industrie Nationale

M. COULMEAU

Assistant au Laboratoire

M^{lle} NUGUES-BOURCHAT

Essayeur au Laboratoire



Droits réservés au [Cnam](#) et à ses partenaires

QUELQUES APPAREILS OU MÉTHODES D'ESSAIS
RÉCEMMENT MIS AU POINT
DANS LE SERVICE DES ESSAIS DE MACHINES

PAR

M. BOYER-GUILLOU

Chef de Service Principal au Laboratoire
Lauréat de l'Académie, de la Société des Ingénieurs Civils de France
et de la Société d'Encouragement à l'Industrie Nationale

M. COULMEAU

Assistant au Laboratoire

Mlle NUGUES-BOURCHAT

Essayeur au Laboratoire

SOMMAIRE

1 ^{er} Essais des appareils de chauffage	2
a) Essais des chaudières	2
b) Essais des radiateurs	11
2 ^o Appareil pour l'essai des roulements à billes et des coussinets	19
3 ^o Tarage des anémomètres et des tubes de Pitot-Darcy	23
4 ^o Tarage d'orifices et mesure des débits de gaz	29
5 ^o Essais de freins d'automobiles	40
6 ^o Appareil à essayer les garnitures de freins	54
7 ^o Mesures des pertes des calorifuges en forme aux températures élevées . .	60
8 ^o Essai des marteaux pneumatiques, marteaux piqueurs et burineurs . .	61

I. ESSAIS DES CHAUDIÈRES DE CHAUFFAGE CENTRAL ET DES RADIATEURS

a) CHAUDIÈRES DE CHAUFFAGE

PRÉAMBULE

Les premiers essais de chaudières de chauffage avec le calorimètre de Hirn ont été exécutés au Laboratoire (le 4 novembre 1903) sur une chaudière de chauffage *Leroy* ; c'est donc dès la deuxième année de la fondation du Laboratoire que cette méthode de mesure était appliquée à ce genre d'essai.

Par la suite un certain nombre d'essais ont été exécutés en utilisant toujours le calorimètre de Hirn, mais avec une installation volante jusqu'en 1923.

A cette époque, les demandes d'essais présentées par les constructeurs devenant de plus en plus nombreuses, — notamment à la suite du II^e Congrès du Chauffage et de la Ventilation tenu au Conservatoire national des Arts et Métiers le 11 juin 1925, — une installation à demeure a été réalisée dans une salle spéciale.

Cette installation, qui comporte deux calorimètres, peut permettre l'essai des chaudières dont la production de chaleur atteint quelques centaines de milliers de calories à l'heure.

PRINCIPE DE LA MÉTHODE

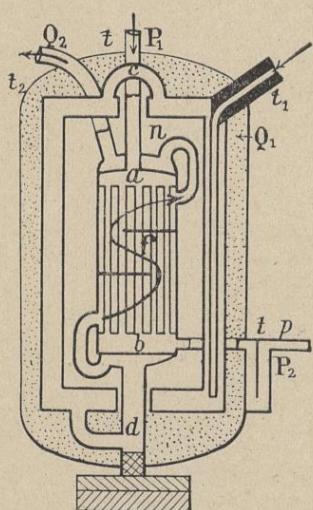


Fig. 1. — Coupe schématique du calorimètre de Hirn.

Que la chaudière soit à vapeur ou à eau chaude le principe consiste à laisser intact le circuit chaud de circulation et à faire la mesure de débit par l'intermédiaire de l'eau de réfrigération d'un condenseur, dit calorimètre de Hirn, dont la mission est d'absorber les calories véhiculées par le circuit de la chaudière.

Les précautions voulues sont prises pour éviter complètement les pertes calorifiques du condenseur en entourant complètement ce dernier par son eau froide de circulation avant de l'admettre dans le condenseur proprement dit (voir fig. 1). Pour éviter l'absorption par l'eau de refroidissement des calories extérieures à travers l'enveloppe du condenseur, qui est souvent à une température un peu inférieure à celle de la salle d'essai, cette enveloppe est, en outre, revêtue d'un bon calorifuge.

CONDUITE DE L'ESSAI ET LECTURE DES APPAREILS DE MESURE

La quantité d'eau de réfrigération est mesurée par pesée. A cet effet deux bascules portant chacune un réservoir permettent, par leur fonctionnement alternatif, de peser l'eau de circulation avec toute la précision voulue : les deux robinets débitant dans ces bâches sont enclenchés de manière à ne permettre l'ouverture de l'un qu'en opérant la fermeture de l'autre. Les températures sont mesurées à l'entrée et à la sortie du réfrigérant condenseur, sur les deux circuits, avec 4 thermomètres étalonnés donnant le 1/10 de degré.

Le combustible consommé est mesuré par pesée en faisant le plein de la chaudière dans les mêmes conditions au début et à la fin de l'essai.

Les charges de combustible et les décrassages sont faits suivant le type de la chaudière et à la demande de l'industriel, sous le contrôle du personnel du Laboratoire ; elles sont notées dans le procès-verbal d'essai.

Un échantillon de combustible est prélevé sur chaque chargement de manière à avoir un bon échantillon moyen duquel on tire par fractionnement, à la fin de l'essai, l'échantillon définitif à soumettre à l'analyse. On le transporte en flacon cacheté ou en boîte métallique soudée de manière à conserver son humidité du jour de l'expérience.

RÉDACTION DU PROCÈS-VERBAL ET RÉSULTATS DE L'ESSAI

Le procès-verbal donne les renseignements et les résultats suivants qui sont explicités par le modèle joint à la présente note.

1^o Un graphique donne la quantité de chaleur transmise à l'eau en fonction du temps pendant la durée totale de l'essai et permet de se rendre compte de l'allure de l'essai et du régime obtenu au moment du début de l'expérience. Cette courbe porte le nom de *courbe de régime*.

2^o Un tableau donne les résultats complets de l'essai en quantité d'eau vaporisée ou chauffée puis en calories totales véhiculées. Ce tableau donne également les analyses et pouvoirs calorifiques des combustibles ainsi que les analyses des fumées. Enfin, il se termine par le rendement calorifique de la chaudière qui est le quotient des calories fournies à l'eau par la chaudière par celles du combustible brûlé sur la grille, en prenant soit le pouvoir calorifique

supérieur, soit le pouvoir calorifique inférieur suivant la demande de l'industriel.

3^o Un tableau donne le bilan calorifique de la chaudière dans le cas où les mesures prises permettent de le dresser, notamment si l'on a exécuté l'analyse élémentaire du combustible.

4^o Dans le cas où le nombre des expériences le permet, il est établi un graphique des calories produites par heure et mètre carré de surface de chauffe de la chaudière en fonction des calories consommées par heure et mètre carré de grille.

Ce graphique est complété par la courbe de rendement en fonction de la production de calories par heure.

DESCRIPTION DE LA SALLE D'ESSAIS

Plateforme. — Cette salle comporte une plateforme (fig. 2) sur laquelle on installe la chaudière à essayer ; celle-ci est réunie par ses carneaux à la cheminée N dans laquelle est installé un souffleur genre Körting actionné par un ventilateur dont la vitesse de rotation détermine le tirage voulu. L'intensité du tirage est mesurée en (a) à l'aide d'un manomètre à eau de précision. A la sortie de la chaudière, dans les carneaux d'évacuation en (b), on mesure la température des gaz brûlés soit à l'aide d'un thermomètre soit avec un couple thermoelectrique ; enfin on préleve en (c) un échantillon des gaz brûlés qui est analysé à l'appareil d'Orsat ou à la burette de Bunte.

Circuit chaud. — Sur la figure 2 on voit le circuit chaud sortant de la chaudière en (S) et y faisant retour en (B). Ce circuit, comme on le voit, est intact et traverse le calorimètre de Hirn (A) dans lequel il cède les calories produites par la chaudière, absolument comme s'il fonctionnait sur des radiateurs. Par un robinet placé à la sortie de la chaudière on règle l'intensité du débit de celle-ci de manière à lui faire produire les calories correspondant au régime sous lequel on veut l'expérimenter, en obtenant dans le circuit la chute de température désirée. Des thermomètres sont placés dans la canalisation à la sortie et à l'entrée de la chaudière ainsi qu'à la sortie et à l'entrée du calorimètre.

Calorimètre. — On aperçoit sur la figure 2 en (A) le calorimètre qui reçoit le circuit chaud en t_1 et le rejette en t_2 après lui avoir fait parcourir la calotte (a), les tubes T et la calotte de sortie (b). La température à l'entrée est mesurée en (t_1) ; celle à la sortie en (t_2).

Le circuit froid arrive dans le calorimètre en Q_1 ; il provient d'un réservoir à niveau constant alimenté par l'eau de la ville de manière à avoir un débit très régulier. Le réservoir à niveau constant débite sous une charge de 3 ou 4 mètres d'eau ; l'eau passe dans un compteur (E) puis arrive au calorimètre

par Q_1 , elle est introduite tout en bas de la moitié de droite de l'enveloppe du calorimètre ; sa température est mesurée en (t_a). L'eau de réfrigération s'élève

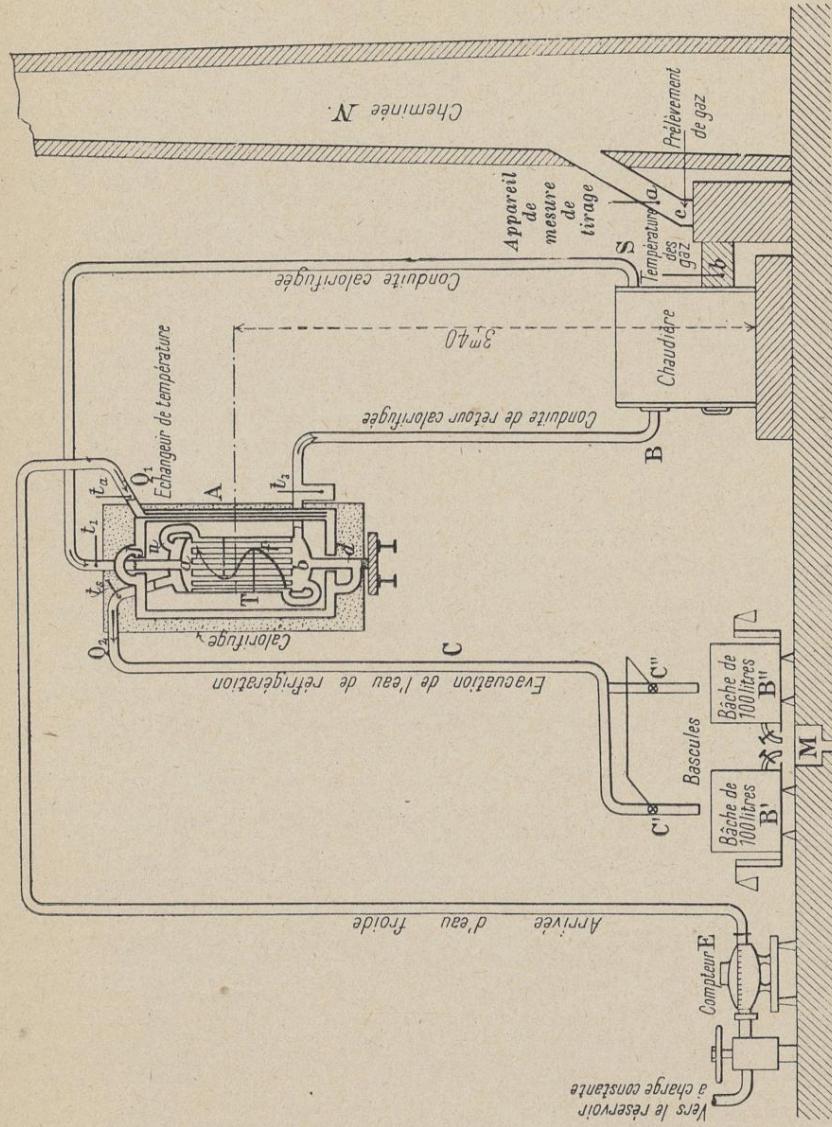


Fig. 2. — Schéma de la salle d'essais des chaudières de chauffage.

dans cette moitié de droite de l'enveloppe, passe dans la moitié de gauche par la jonction (J), puis par la base de cette deuxième moitié elle gagne le pied du

calorimètre (*d*) d'où elle remonte autour des tubes du calorimètre guidée par des chicanes comme le montre la flèche (*f*); elle gagne alors la calotte supérieure par la jonction (*n*) et ressort en Q_2 où sa température est mesurée en (t_s). Le calorimètre est, extérieurement, complètement revêtu d'un calorifuge pour éviter les rentrées de chaleur.

Mesure du circuit froid. — A la sortie du calorimètre l'eau du circuit froid est conduite par la canalisation *C*, qui se divise en (*C'*) et (*C''*), alternativement dans l'une des bâches (*B'*) et (*B''*) où elle est pesée par les bascules qui supportent ces bâches. La pesée faite, l'eau est évacuée à l'égout par (*M*).

Un calorimètre convient aux chaudières de petites et moyennes dimensions ; le deuxième calorimètre pour les grandes chaudières.

Résultats des essais. — Dans l'essai d'une chaudière on détermine le poids de combustible brûlé pour fournir à l'eau un nombre de calories déterminé, le quotient de cette dernière quantité par le nombre de calories contenues dans le combustible donne le rendement. On répète l'expérience pour une série de productions calorifiques horaires différentes et l'on peut ainsi établir une courbe de rendement ou d'utilisation de la chaudière en fonction du régime de fonctionnement.

Des échantillons sont prélevés sur le combustible employé et soumis à l'analyse industrielle ou élémentaire. Un échantillon des cendres est également analysé surtout pour y déterminer les imbrûlés. Enfin les gaz brûlés sont l'objet d'une analyse très précise en particulier dans le cas où l'on désire obtenir un bilan calorifique.

S'il s'agit de l'essai d'une chaudière à gaz de ville on soumet ce dernier aux mêmes mesures que le combustible ordinaire et la chaudière est traitée comme une chaudière ordinaire.

On arrive ainsi aux résultats donnés dans les tableaux suivants qui font partie des renseignements accompagnant les procès-verbaux qu'établit le Laboratoire.

ESSAI D'UNE CHAUDIÈRE DE CHAUFFAGE

Mesures et analyses faites au cours des essais et calcul d'un bilan.

N° des expériences	1	2	3
Composition du combustible (coke):			
Cendres	43	43	43
Carbone pur	86,1	86,1	86,1
Hydrogène	0,9	0,9	0,9
Oxygène	0	0	0
Total	100,0	100,0	100,0
Eau d'humidité	1 0/0	1 0/0	1 0/0
Poids de combustible sec utilisé pendant les expériences.	109 k.	119,6	84,7
Poids de combustible réellement brûlé (4)	107 k. 9	118,2	83,7
<i>Composition des gaz des fumées</i>			
Acide carbonique	13	13,6	12,9
Oxygène	4,5	3,8	4,8
Oxyde de carbone	2,7	1,4	1,2
Azote (par complément)	79,8	81,2	81,1
Total	100,0	100,0	100,0
Poids de CO contenu dans les fumées pour 100 m ³ de fumées.	3 k. 38	4,75	4,50
Volume des fumées pour 1 kilogramme de coke brûlé, calculé d'après le carbone réellement brûlé (sans tenir compte de l'air supplémentaire pour brûler l'hydrogène)	10 m ³ 17	10,65	11,33
Poids correspondant à ces volumes.	13 k. 82	14,49	15,39
<i>Cendres et mâchefer</i>			
Mâchefer recueilli pendant l'essai	5 k. 2	6,3	5,3
Cendres recueillies pendant l'essai	8 k. 6	10,8	7,4
Carbone contenu dans les cendres	0 k. 8	0,8	0,8
Carbone total perdu dans les cendres et mâchefer	1 k. 4	1,4	1,0
<i>Bilan calorifique</i>			
Température des fumées	228°	214	181
Température dans la salle	19°	18	19
Différence	209°	196	162
Chaleur spécifique moyenne des fumées	0,239	0,239	0,239
Pouvoir calorifique supérieur du coke	6780 cal.	6780 cal.	6780 cal.
Chaleur sensible emportée par les fumées par kilogramme de combustible brûlé (2).	690 cal.	679	596
Chaleur emportée par l'eau de combinaison et d'humidité (3)	61,8	61,2	59,78
Chaleur perdue dans le CO non brûlé (4)	824,0	447,0	372,5

(1) C'est-à-dire déduction faite du carbone perdu dans les cendres.

(2) C'est-à-dire chaleur emportée par suite de leur élévation de température.

(3) Humidité du combustible et H de combustion.

(4) C'est-à-dire par le CO qui n'est pas brûlé et qui donnerait CO₂ en restituant 2403 calories par kilogramme.

<i>Bilan pour 100 calories contenues dans le combustible</i>				
Chaleur perdue :				
a) Chaleur sensible des fumées (2) . . .	10,177	10,015	8,791	
b) Chaleur emportée par l'eau (3) . . .	0,912	0,903	0,882	
c) Chaleur emportée par les produits non brûlés (4) . . .	12,150	6,590	6,420	
d) Chaleur perdue par les cendres et mâchefer (5) . . .	4,23	4,43	4,44	
e) Chaleur rayonnée par la chaudière (6) . . .	0,231	5,762	6,767	
Total	24,7	24,7	24,0	
Chaleur utilisée par la chaudière (calculée avec le pouvoir calorifique inférieur) . . .	75,3	75,3	76,0	
Total	100	100,0	100,0	

(2) Pour les notes 2, 3 et 4, voir page précédente.

(5) Chaleur propre des cendres et mâchefer et carbone contenu en prenant pour C en CO^2 8080 calories ou d'après le pouvoir calorifique du combustible.

(6) Obtenu par différence.

N. B. — Le chiffre 2,7 dans le CO des fumées pour l'expérience n° 1 est très douteux.

Résultats de l'essai d'une chaudière de chauffage au gaz de ville.

TABLEAU I

N° de l'expérience	heures	C°			
		1 3	2 3	3 3	4 3
Durée de l'expérience		17,2	17,2	18,3	17,3
Température moyenne de la salle de chauffe					
Conditions de l'expérience (nombre de rampes de chauffage utilisées)		1 rampe	2 rampes	2 rampes	1 rampe
<i>Combustible</i>					
Quantité totale de gaz brûlé dans les conditions de l'expérience	m ³	6,641	12,351	12,237	6,758
Quantité de gaz brûlé ramenée à 0° et 760 millimètres de mercure	m ³	6,426	11,710	11,622	6,430
Quantité de gaz brûlé par heure (à 0° et 760 millimètres)	m ³	2,142	3,903	3,874	2,143
Température moyenne du gaz pendant l'expérience	C°	17	18	17,5	17
Pouvoir calorifique supérieur du gaz (ramené à 0° et 760)	calories	4.767	4.718	4.603	4.878
Pouvoir calorifique inférieur (à 0° et 760)	calories	4.272	4.223	4.108	4.383
<i>Fumées</i>					
Dépression à la base de la cheminée	mm. d'eau	1,4	1,4	0,25	0,39
Température des fumées à la base de la cheminée	C°	51	80,6	110	69,4

<i>Eau</i>						
Température moyenne de l'eau au retour à la chaudière	C°	59,1	55,2	57,6	57,2	
Température moyenne de l'eau à la sortie de la chaudière	C°	85,1	83,4	85,6	85,5	
Eau chaude totale fournie dans les conditions de l'expérience	kg.	672,4	1.171,9	1.177,4	625	
Eau chaude fournie à l'heure	kg.	224	390,6	392,5	208,3	
<i>Calories produites</i>						
a) Quantité de chaleur fournie par le gaz (calculée avec le pouvoir calorifique supérieur).						
1 ^o Chaleur totale fournie dans les conditions et pendant la durée de l'expérience	cal.	30.633	55.248	53.496	31.365	
2 ^o Chaleur fournie par heure	cal.	10.211	18.416	17.832	10.455	
b) Quantité de chaleur fournie par le gaz (calculée avec le pouvoir calorifique inférieur).						
1 ^o Chaleur totale fournie dans les conditions et pendant la durée de l'expérience	cal.	27.452	49.451	47.743	28.183	
2 ^o Chaleur fournie par heure	cal.	9.151	16.484	15.914	9.394	
c) Quantité de chaleur utilisée dans la chaudière pour échauffer l'eau.						
1 ^o Chaleur totale utilisée dans les conditions et pendant la durée de l'expérience	cal.	17.475	33.048	32.967	17.687	
2 ^o Chaleur utilisée par heure	cal.	5.825	11.016	10.989	5.896	
<i>Rendement de la chaudière</i>						
Rapport de la quantité de chaleur utilisée dans la chaudière à celle contenue dans le combustible.						
a) Calculé avec le pouvoir calorifique supérieur	0/0	57	59,8	61,6	56,4	
b) Calculé avec le pouvoir calorifique inférieur	0/0	63,7	66,8	69,0	62,7	

Composition moyenne du gaz de ville (en volume à 0° et 760 mm.).

N° d'expérience		1	2	3	4
Anhydride carbonique	0/0	2,75	2,50	3,00	2,50
Oxygène	0/0	2,50	3,00	3,00	2,50
Oxyde de carbone	0/0	11,00	10,00	10,50	10,50
Hydrogène	0/0	47,75	53,00	47,80	52,20
Méthane	0/0	29,05	26,50	30,40	26,50
Azote	0/0	6,95	5,00	5,30	5,80
Total		100,00	100,00	100,00	100,00

Composition moyenne des fumées (en volume à 0° et 760 mm.).

N° d'expérience		1	2	3	4
Anhydride carbonique	0/0	0,75	2,00	3,50	4,50
Oxygène	0/0	48,75	47,50	43,80	47,10
Oxyde de carbone	0/0	0,00	0,00	0,00	0,00
Azote	0/0	80,50	80,50	82,70	81,40
Total		100,00	100,00	100,00	100,00

CALCUL DE L'EXCÈS D'AIR DANS LES FUMÉES
(EXEMPLE DE CALCUL POUR L'EXPÉRIENCE N° 1)

a) *Calcul des fumées neutres théoriques*
(d'après la composition du gaz).

Gaz	Air de combustion		Fumées neutres		
	O ²	Az ²	CO ²	Az ²	H ² O
CO ²	2,75		2,75		
O ²	2,50	— 2,50	— 9,40	— 9,40	
CO	41,00	5,50	20,70	20,70	
H ²	47,75	23,87	89,70	89,70	47,75
CH ⁴	29,05	58,10	218,50	218,50	58,10
Az ²	6,95			6,95	
	400,00	84,97	319,50	42,80	326,45
		404,47			105,85

b) *Excès d'air.* — Si on désigne par A l'excès d'air, la composition des fumées réelles est :

CO ²	42,80
Az ²	326,45
Vapeur d'eau	105,85
Excès d'air	A
Total	475,10 + A

La teneur en CO² des fumées réelles calculées devant être égales à celle des fumées analysées on doit avoir :

$$\frac{42,80}{42,80 + 326,45 + A} = \frac{0,75}{100}$$

10

d'où :

$$A = 5,350,75.$$

La composition en volume des fumées (eau de combinaison comprise) produite par la combustion de 100 volumes de gaz est donc :

CO ²	42,80
Az ²	326,45
Excès d'air.	5.350,75
Vapeur d'eau	105,85
Total.	5.825,85

A un litre de gaz correspondent donc 58,25 litres de fumées dont 53,50 litres d'air en excès.

Le calcul se conduirait de même pour les expériences n°s 2, 3 et 4.

N. B. — La quantité d'air supplémentaire peut dans certains cas être suffisante pour éviter la condensation pendant la combustion (1) :

b) RADIATEURS DE CHAUFFAGE

Voisine de la salle des essais des chaudières de chauffage se trouve celle des essais de radiateurs. C'est une salle de dimensions assez grandes et très haute de plafond dans laquelle on installe le radiateur à essayer.

Méthode expérimentale. — La méthode expérimentale consiste à déterminer le coefficient K du radiateur ou, plus exactement, la variation de ce coefficient en fonction de la température moyenne du fluide qui alimente le radiateur, ou encore de l'écart entre cette température moyenne du fluide et celle de la salle d'essai.

Ce coefficient est défini comme suit. C'est un nombre qui représente les calories dissipées par le radiateur en une heure par degré d'écart de température et par mètre carré de surface radiante.

La courbe, où les températures sont portées en abscisses, est déterminée au moins par quatre points ; le point extrême est obtenu en alimentant le radiateur avec de la vapeur saturée sèche ou mieux présentant environ un degré de surchauffe. Ce point vapeur est répété deux fois de manière que l'on soit bien certain de la mesure. On alimente ensuite le radiateur à l'eau chaude, on mesure la température de l'eau à l'entrée du radiateur et celle à la sortie : on admet que leur moyenne arithmétique donne la température moyenne du radiateur. Evidemment cela n'est pas absolument exact : il faudrait mesurer les températures par tranches horizontales, les intégrer puis intégrer ensuite

(1) Voir à ce sujet : *La pratique des essais de machines*, par A. Boyer-Guillon, Dunod, 1927.

les tranches entre elles ; on aurait ainsi une température moyenne exacte, laquelle serait un peu inférieure à celle admise et, partant, relèverait la courbe surtout pour les points correspondant aux températures basses.

DISPOSITIF D'ESSAI. — a) *Cas de l'eau chaude.* — Le radiateur est installé dans la grande pièce dont nous venons de parler, à une distance normale d'un mur, comme dans la pratique, et on l'alimente soit avec de l'eau chaude soit avec de la vapeur à un titre connu.

Si l'alimentation a lieu à l'eau chaude, la mesure est bien simple : on note les températures d'entrée t et de sortie t' du radiateur, on en prend la moyenne (t'') et l'on recueille l'eau qui passe dans le radiateur pendant un temps T pour la peser, soit (P) ce poids. On relève, d'autre part, la température de la salle d'essai soit (t'''). On note la durée de l'essai ; nous opérons en général sur 3 heures. On mesure la surface du radiateur (S) soit par ses surfaces géométriques, soit en collant du papier sur sa surface. C'est là une opération délicate et assez difficile de sorte que souvent on admet la surface *dite de Catalogue* donnée par le demandeur de l'essai. Pour éviter toute difficulté sur ce point nous donnons toujours dans le tableau des résultats de l'essai le chiffre KS .

Enfin comme dernier renseignement nous mesurons l'état hygrométrique de l'air de la salle d'expérience.

La formule à appliquer est donc :

$$K = \frac{P \times (t - t')}{(t'' - t''') \times S \times T}.$$

b) *Cas de la vapeur.* — Dans le cas de la vapeur il faut absolument être certain du titre de la vapeur à son entrée même dans le radiateur. Cette nécessité nous a conduit à employer de la vapeur légèrement surchauffée, par exemple de 1° ou 2° centigrades. On en tiendra compte dans le calcul des calories apportées au radiateur bien que celles qui correspondent à 1° de surchauffe soient pratiquement négligeables. La vapeur condensée par le radiateur sera mesurée par pesée de l'eau condensée. Pour que l'essai soit correct il faut avoir le plus grand soin d'opérer sur un radiateur parfaitement plein ; la précaution à prendre pour atteindre ce but consiste à faire passer dans le radiateur un excès de vapeur qui s'échappe en panache à la sortie ; cette vapeur ayant traversé le radiateur sans y travailler n'est pas à compter et ne gêne en rien le fonctionnement de l'appareil, alors que le manque de vapeur d'alimentation serait très grave et fausserait l'essai car cela correspondrait à une diminution de la surface radiante S . On prend naturellement la pression du jour pour calculer K . Si la pression est 760 mm. on a pour la formule à appliquer :

$$K = \frac{P(637 - t' + 0,50)}{[100 - t'''] \times S \times T}.$$

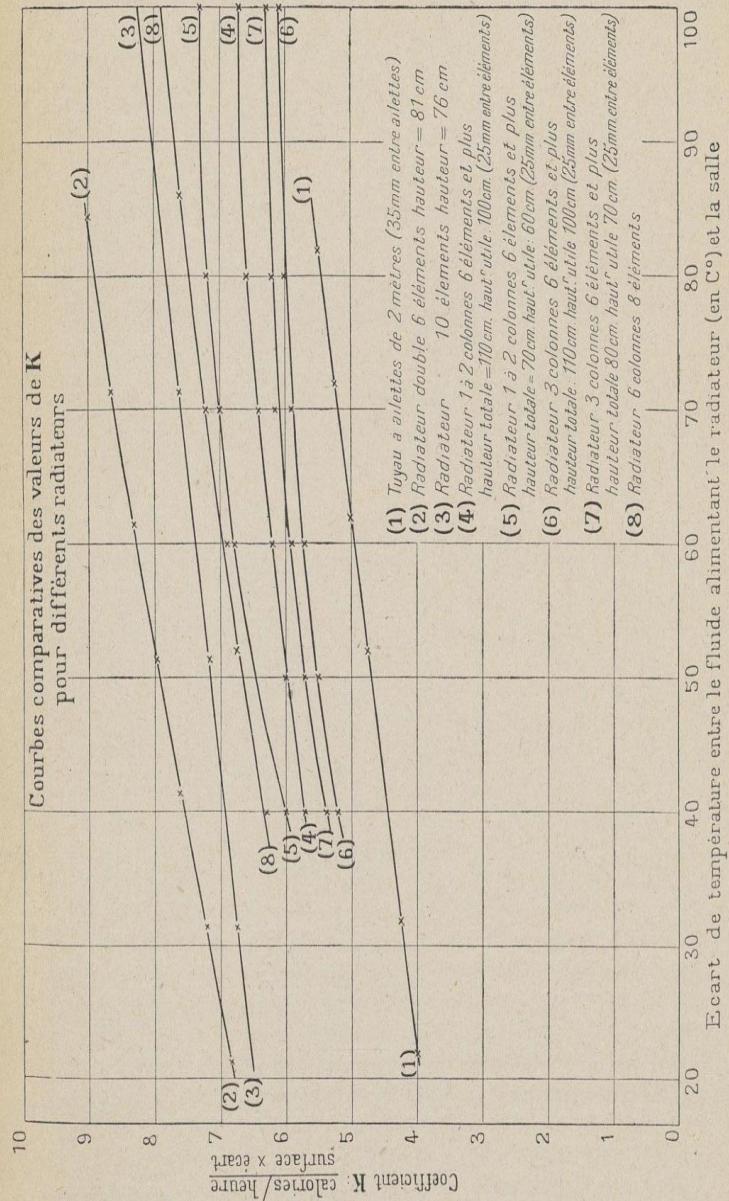


Fig. 3.

Naturellement cette installation permet d'essayer tous les types de radiateurs ordinaires en fonte ou tôle, muraux ou à ailettes, etc., etc. Elle permet des comparaisons entre les divers types de radiateurs en superposant sur un même graphique les courbes obtenues par les valeurs de K (fig. 3).

Alimentation des radiateurs. — Nous alimentons les radiateurs pour les essais avec la vapeur à l'aide d'une petite chaudière Field dont la vapeur détendue passe dans un surchauffeur chauffé au gaz. Pour l'alimentation en eau chaude, nous nous servons d'une petite chaudière dont le foyer est alimenté au gaz de ville. Une telle chaudière est plus commode à conduire et à régler.

Dans les mesures des eaux de condensation des précautions convenables sont prises pour éviter toute évaporation aussi bien que dans le cas des essais à l'eau chaude.

Comme renseignements complémentaires on donne toujours les dimensions d'encombrement et le poids des radiateurs essayés comme on peut le voir dans le *modèle de procès-verbal* qui suit.

Modèle de procès-verbal d'un essai de radiateur.

Février 1928.

Procès-verbal n° 1 de l'essai n° ».

Les Etablissements X

Enregistré le

ESSAIS SUR UN RADIATEUR DE CHAUFFAGE A EAU CHAUDE

But des essais.

Les essais avaient pour but de déterminer le coefficient K du radiateur, c'est-à-dire la quantité de chaleur dissipée par le radiateur par heure, par degré d'écart entre sa température moyenne et celle de l'air ambiant et par mètre carré de surface de chauffe, le radiateur étant placé dans les conditions suivantes :

- a) Ecart de 20° environ entre les températures à l'entrée et à la sortie ;
- b) Ecart variant de 30° à 70° entre la moyenne des températures (entrée et sortie) de l'eau dans le radiateur et celle de l'air dans la salle.

Désignation du radiateur. — Le radiateur soumis à l'essai était un radiateur en fonte dénommé par le demandeur : « Radiateur » à 6 colonnes, de 8 éléments.

Ses caractéristiques étaient les suivantes :

Hauteur totale	0 m. 95
Largeur du corps	0 m. 223
Longueur d'un élément	0 m. 060
Distance du sol à l'axe de la connexion inférieure	0 m. 100
Surface de chauffe d'un élément	0 m ² 48 (Surface d'album)
Surface de chauffe totale du radiateur	3 m ² 84 (Surfaces indiquées par le demandeur)
Poids du radiateur	p. m.

Ce radiateur était brut de fonderie et était rouillé.

Il est représenté par la photographie ci-jointe.

Installation. — Le radiateur était installé dans une salle ayant 7 mètres de longueur, 5 mètres de largeur et 6 m. 6 de hauteur, directement sur le sol dallé à 6 centimètres d'un mur extérieur, sauf en bas où la plinthe en bois est à 5 centimètres du radiateur. Le mur, en pierre de taille a 60 centimètres d'épaisseur.

L'eau chaude était fournie au radiateur par une chaudière à gaz, située dans une pièce voisine, à laquelle il était relié par une conduite calorifugée.

Cette chaudière était alimentée en eau par un dispositif comportant un orifice calibré débitant sous une charge convenable obtenue au moyen d'un réservoir à déversoir qu'on pouvait éléver ou abaisser.

Après avoir traversé le radiateur, l'eau était évacuée par un tuyau dont l'orifice de sortie était situé à un niveau un peu plus élevé que la partie supérieure de la chaudière.

De cette façon, le débit du radiateur était celui de l'orifice calibré alimentant la chaudière et la charge sur le radiateur était rigoureusement constante.

L'entrée dans le radiateur se faisait d'un côté par la tubulure supérieure, la sortie se faisait de l'autre côté par la tubulure inférieure.

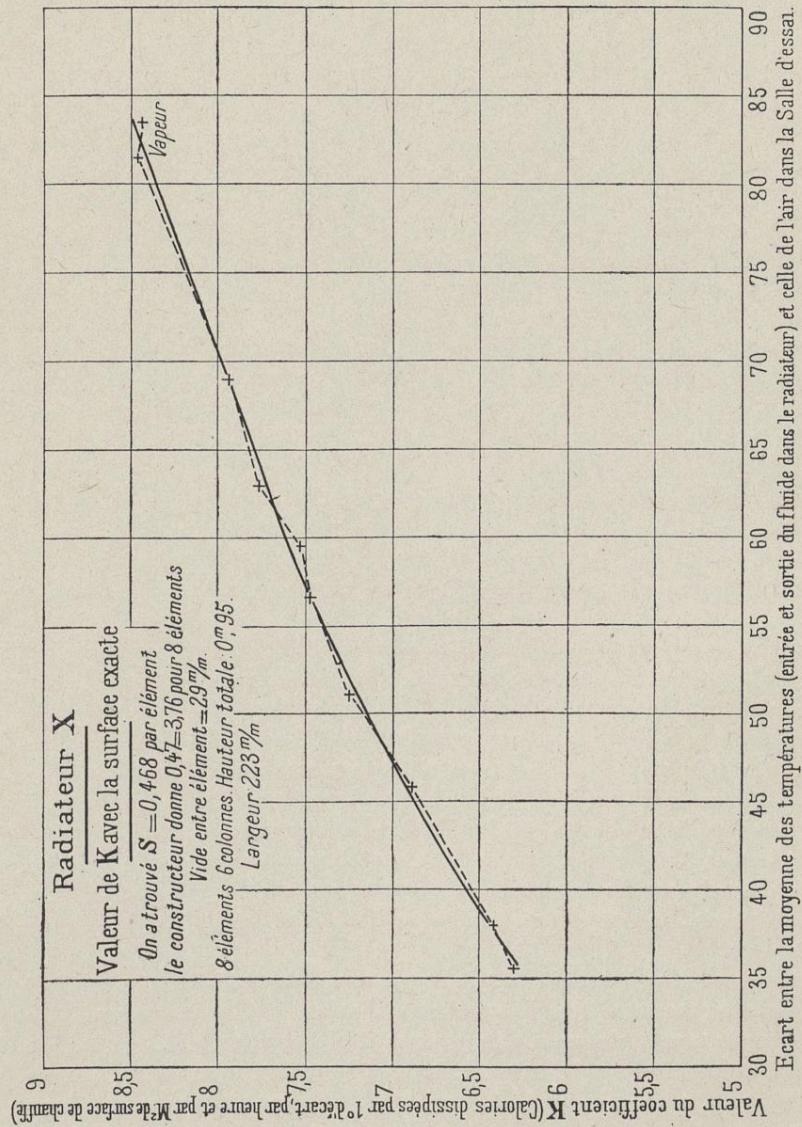
Deux tuyaux de purge d'air, placés à la partie supérieure sur la tubulure d'entrée et sur le bouchon opposé, assuraient le bon remplissage du radiateur.

L'eau évacuée du radiateur était reçue dans une bâche placée sur une bascule.

Les températures de l'eau à l'entrée et à la sortie du radiateur étaient indiquées par deux thermomètres de précision étalonnés dont les réservoirs étaient placés dans la tuyauterie aussi près que possible du radiateur, les petites longueurs de tuyauterie entre les thermomètres et le radiateur étant calorifugées. En outre, ces températures étaient enregistrées par deux thermomètres enregistreurs.

Quatre thermomètres situés en quatre points différents de la salle d'essai, à 1 m. 50 du sol et à plus de 2 mètres du radiateur, indiquaient la température de l'air.

Essai. — Avant les essais, on a fait passer pendant quelques minutes un fort courant d'eau dans le radiateur afin de le nettoyer.

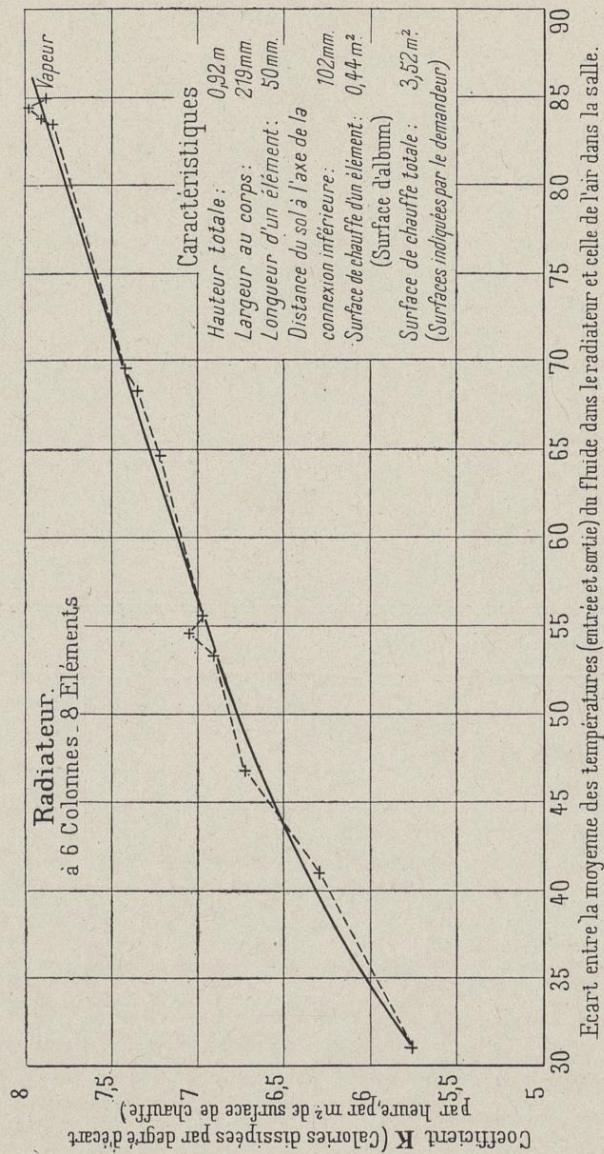


Graphique A

Neuf expériences d'une durée de trois heures chacune furent effectuées pour des écarts de températures variant de 30° à 70° .

Pour chaque expérience, avant le commencement des mesures, un réglage

a été fait afin de déterminer la température à maintenir à la chaudière et le débit à réaliser; on a laissé ensuite fonctionner l'installation pendant un certain temps



Graphique B

afin de s'assurer de la stabilité du régime, puis les mesures ont été commencées.

On a noté, toutes les 10 minutes, les températures de l'eau à l'entrée et à la sortie du radiateur ainsi que celle de l'air de la salle.

A intervalles réguliers et à la fin de l'expérience on a déterminé le poids de l'eau ayant traversé le radiateur, au moyen de la bascule sur laquelle était placée la bâche de réception.

Pendant la durée des expériences les fenêtres et les portes de la salle d'essai sont restées closes ainsi que celles des salles voisines.

Résultats. — Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau ci-après. Les températures de l'eau à l'entrée et à la sortie du radiateur étant restées sensiblement constantes et celles de l'air ambiant n'ayant que très peu varié, on a donné seulement les valeurs moyennes de ces températures.

Les résultats obtenus ont permis de tracer la courbe du coefficient K en fonction de l'écart entre la moyenne des températures (entrée et sortie) de l'eau dans le radiateur et celle de l'air de la salle.

Sur cette courbe, on a porté les points correspondants aux essais à la vapeur et faisant l'objet d'un procès-verbal n° 1 bis. Un exemplaire du graphique est joint au présent procès-verbal.

Essais à l'eau chaude sur le radiateur « X ».

Epoque des essais. Janvier 1928
Durée de chaque expérience. 3 heures

Désignations	Unités	Résultats							
		56,8	61,6	66,5	73,2	83,4	86,7	86,2	91,6
Températures de l'eau à l'entrée du radiateur	°C								
Températures de l'eau à la sortie du radiateur	°C	36,2	40,9	46,8	53,2	63,4	67,3	66,5	71,9
Ecart de température entre l'entrée et la sortie	°C	20,6	20,7	19,7	20,0	20,0	19,4	19,7	19,7
Température moyenne de l'eau dans le radiateur	°C	46,5	51,2	56,6	63,2	73,4	77,0	76,3	81,7
Température moyenne de l'air dans la salle	°C	11,9	13,2	10,8	12,1	16,7	17,4	13,3	12,7
Ecart entre la moyenne des températures (entrée et sortie) de l'eau dans le radiateur, et celle de l'air dans la salle	°C	34,6	38,0	45,8	51,1	56,7	59,6	63,0	69,0
Quantité d'eau ayant traversé le radiateur, à l'heure	Kg.	39,78	44,30	60,34	69,72	79,72	87,00	93,57	104,4
Nombre de calories dissipées à l'heure	Cal.	819	917	1.489	1.394	1.594	1.688	1.843	2.057
Calories dissipées par degré d'écart (entre radiateur et salle) et par heure	Cal.	23,67	24,43	25,96	27,28	28,41	28,32	29,25	29,81
Calories dissipées par degré d'écart, par heure et par m ² de surface de chauffe (K)	Cal.	6,46	6,28	6,76	7,10	7,32	7,38	7,62	7,76

N. B. Les points extrêmes de la courbe ont été déterminés par deux points obtenus en alimentant le radiateur à la vapeur. Voir le graphique A.

APPAREIL POUR L'ESSAI DES ROULEMENTS A BILLES ET DES COUSSINETS

Description et fonctionnement. — Cet appareil est représenté par la figure 4. Un arbre horizontal N porte les quatre roulements ou les quatre paliers identiques dont il s'agit de mesurer les frottements. Deux d'entre eux reposent sur un bâti inférieur A fixe horizontal et les deux autres sur une semelle supérieure B ; ceux-ci sont donc renversés par rapport aux deux précédents (1). Deux presses hydrauliques (C et C') permettent de rapprocher la semelle supérieure du bâti inférieur et partant de donner aux paliers la pression sous laquelle ils doivent fonctionner.

L'arbre qui porte les paliers est terminé par un accouplement à double cardan le mettant en prise avec une petite dynamo-dynamométrique D particulièrement sensible. Pour avoir cette sensibilité elle est montée sur couteaux et possède à sa partie inférieure un contrepoids réglable permettant de rapprocher autant qu'on le veut son centre de gravité de son axe de rotation.

Utilisation de l'appareil. — L'utilisation de cet appareil est suffisamment explicité par la lecture des procès-verbaux suivants. Il sert à déterminer les coefficients de frottement de paliers ou coussinets quelconques, en bronze, en fonte, roulements à billes, etc., et partant à permettre la comparaison entre eux.

On peut même, avec ce dispositif, en partant de paliers ou mieux de roulements à billes convenablement étudiés opérer des essais comparatifs des huiles employées pour leur lubrification et faire ressortir la qualité de l'huile à employer pour obtenir le meilleur rendement à telle ou telle vitesse et telle charge unitaire.

* * *

Procès-verbal de l'essai n° »

ESSAIS SUR DES PALIERS MUNIS DE ROULEMENTS A BILLES

But de l'essai.

L'essai avait pour but de mesurer le coefficient de frottement de quatre paliers munis de roulements à billes, montés sur un arbre de transmission,

(1) Une chaise auxiliaire permet aussi de ne pas les renverser.

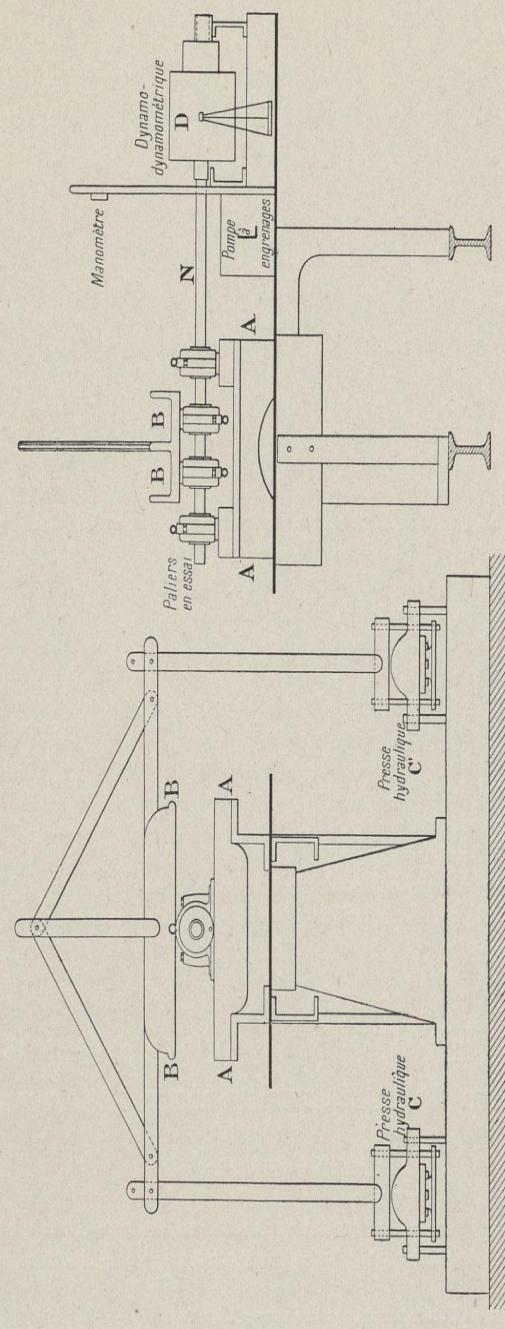


Fig. 4. — Appareil pour les essais de paliers, coussinets et roulements à billes.

pour une vitesse de 1.000 tours-minute et des charges de 620, 432, 240 et 144 kilogrammes par palier.

Désignation des paliers. — Les paliers soumis à l'essai étaient quatre paliers du commerce munis de roulements à billes à rotule et à double rangée de billes, série forte. Ces roulements présentaient les caractéristiques principales suivantes :

Diamètre extérieur	100 mm.
Diamètre intérieur	40 »
Largeur	25 »
Diamètre des billes.	12,8 »
Nombre de billes par rangée	15

Installation. — L'essai a été fait sur un appareil du Laboratoire destiné spécialement aux essais de paliers.

Les quatre paliers étaient montés sur un arbre de 40 millimètres de diamètre à 170 millimètres les uns des autres de centre en centre.

Les deux paliers extrêmes étaient fixés sur un bâti. Les deux autres étaient portés par une traverse sur laquelle une pression était exercée par des leviers commandés par deux presses à glycérine dans lesquelles la pression était réalisée au moyen d'une pompe. Un manomètre étalonné indiquait la valeur de la pression.

L'arbre était commandé par une petite dynamo-dynamomètre par l'intermédiaire d'un double joint de cardan. La dynamo était montée sur couteaux.

Essai. — L'essai a consisté à déterminer le coefficient de frottement des paliers pour des pressions de 620, 430, 240 et 140 kilogrammes par palier, à la vitesse de 1.000 tours par minute, les paliers étant graissés avec de l'huile fluide de bonne qualité.

Quatre expériences ont par suite été effectuées.

Pour chacune d'elles on faisait fonctionner les paliers sous la charge fixée, à la vitesse de 1.000 tours/minute, pendant plusieurs heures de façon à obtenir un régime stable. Puis on notait tous les quarts d'heure, pendant 1 heure ;

a) La vitesse de rotation de l'arbre, mesurée avec un compte tours à main étalonné ;

b) Le couple de frottement mesuré par la charge portée par le bras de levier de la balance de la dynamo-dynamomètre ;

c) Les températures de l'huile dans les quatre paliers mesurées à l'aide de thermomètres placés dans chacun d'eux.

Résultats. — Le coefficient de frottement a été calculé par la formule :

$$f = \frac{pl}{4Pr}$$

21

dans laquelle :

f = coefficient de frottement ;
 p = charge à l'extrémité du bras de levier de la dynamo ;
 l = longueur du bras de levier de la dynamo ;
 P = charge appliquée sur un palier ;
 r = rayon de l'arbre de transmission.

Les résultats obtenus sont donnés ci-dessous. Ils sont mis en courbe et un exemplaire du graphique est joint au présent procès-verbal.

Date de l'essai...

HUILE DE GRAISSAGE UTILISÉE : HUILE FLUIDE DE BONNE QUALITÉ.

Vitesse de rotation de l'arbre de transmission	t/m	1000			
		623 0,0014	434 0,0016	244 0,0027	144 0,0039
Charge appliquée sur chaque palier	kg	22,5	20,6	21,8	20,4
Coefficient de frottement moyen	C°				
Température de l'huile dans les paliers (moyenne pour les quatre paliers)					

TARAGE DES ANÉMOMÈTRES

Ces appareils, qui sont utilisés pour mesurer la vitesse d'un courant d'air, sont constitués par de petites hélices très légères venant actionner un équipement mécanique aussi peu résistant que possible destiné à mesurer la vitesse

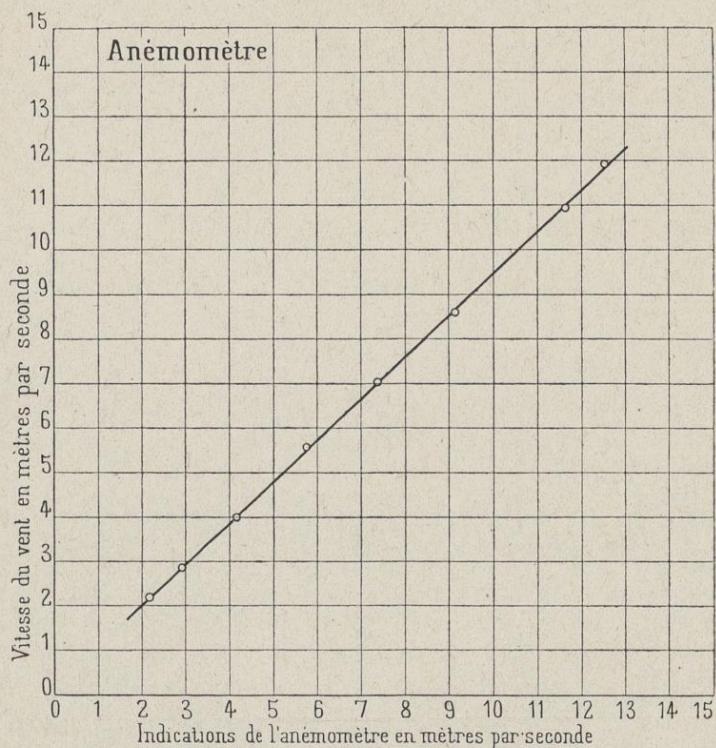


Fig. 5. — Graphique d'essai d'un anémomètre.

de l'hélice. On voit donc que l'appareil ne peut donner les résultats qu'on lui demande qu'à la suite d'un tarage préalable déterminant sa constante de correction.

Comment faut-il organiser le dispositif de tarage ? On a longtemps procédé à cette opération avec un appareil appelé *Manège* dans lequel l'anémomètre

est porté par un grand bras horizontal qui tourne autour d'un arbre vertical à une vitesse que l'on peut mesurer.

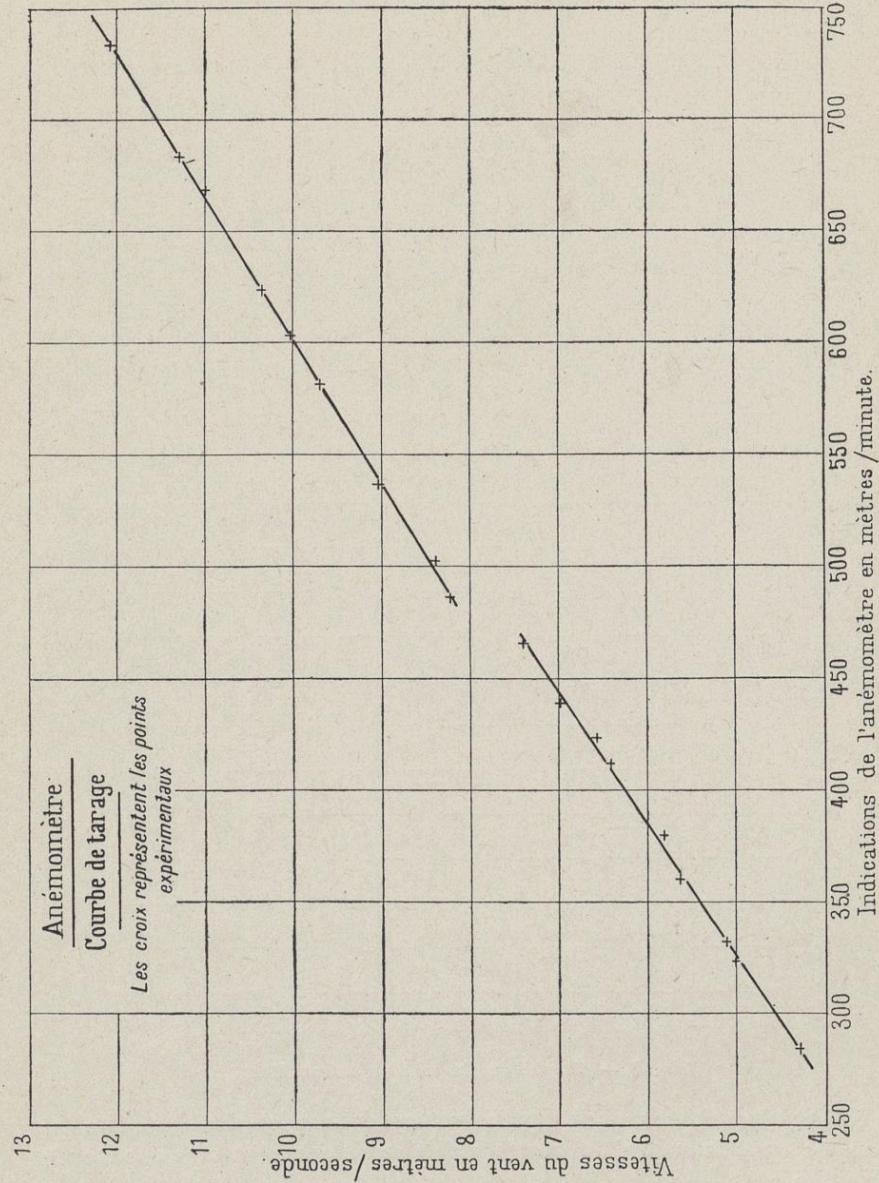


Fig. 6.

On voit tout de suite l'inconvénient d'un pareil dispositif qui soumet l'anémomètre aux effets de la force centrifuge, ce qui augmente certainement les

résistances passives de tout son équipement. En outre l'hélice de l'appareil n'est pas attaquée normalement à son plan par les filets d'air, alors qu'il en est tout autrement quand on se sert d'un anémomètre pour déterminer la vitesse d'un courant gazeux (1).

Telles sont les raisons pour lesquelles nous avons adopté la méthode suivante.

Méthode de tarage des anémomètres. — L'appareil est placé au repos dans un courant d'air à filets bien parallèles. A côté de l'anémomètre on place un tube de Pitot-Darcy.

On dresse la courbe des vitesses vraies du vent en fonction des indications de l'anémomètre ce qui donne le graphique figure 5 qui détermine la constante de l'appareil. Si l'anémomètre est en bon état la courbe est une ligne droite passant très légèrement au-dessus de l'origine. S'il est en mauvais état on s'en aperçoit aux décrochements de la courbe, lesquels se produisent très nettement quand l'appareil se met à vibrer pour certaines vitesses. Voir figure 6.

Tube étalon de Pitot-Darcy. — Il reste maintenant à montrer comment on construit et vérifie les tubes de Pitot-Darcy servant à étalonner ces appareils.

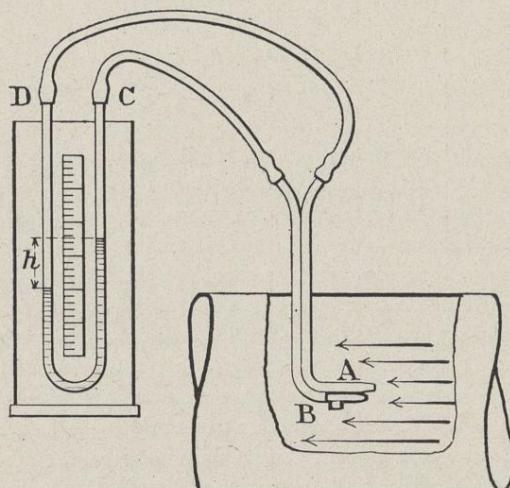


Fig. 7. — Tube étalon de Pitot-Darcy.

Un tube de Pitot-Darcy se compose, figure 7, de deux ajutages A et B. Le premier présente une ouverture dirigée en face des filets du courant gazeux à étudier, l'autre B présente, au contraire, une ouverture dirigée dans un sens perpendiculaire au premier, c'est-à-dire parallèle aux filets gazeux.

(1) Voir à ce sujet dans la *Revue de l'Industrie Minérale*, du 1^{er} juillet 1929, l'étude de M. Lahoussaye, Ingénieur-Chef du Service technique des Houillères.

Ces deux ajutages sont réunis chacun à l'une des branches d'un manomètre différentiel CD.

Théorie de l'appareil. — L'ajutage A, dans la conduite où règne une pression p et une vitesse du courant d'air correspondant à une pression dynamique $h = \frac{v^2}{2g}$, enregistre donc la somme des pressions statique et dynamique soit :

$$p + \frac{v^2}{2g}$$

alors que l'ajutage B, à cause de la direction particulière de son orifice n'enregistre que la pression p .

Si on les réunit sur le même différentiel CD, les pressions p se détruisent et il ne reste que la pression dynamique. L'équation d'équilibre peut s'écrire comme suit :

$$h = p + \frac{v^2}{2g} - p$$

d'où :

$$v = \sqrt{2gh}$$

On pourrait, pour plus d'exactitude, introduire dans la formule la densité du fluide (voir ci-dessous).

Etalonnage. — Un tel appareil correctement construit a pour coefficient de tarage l'unité. Du reste, avant son emploi, il est bon de l'étudier dans une soufflerie à filets parallèles. Pour cela on monte l'appareil à l'intérieur de la soufflerie en branchant sur le manomètre les deux ajutages A et B, ensuite on immobilise l'ajutage B en ouvrant le manomètre différentiel du côté BC dans la chambre de repos elle-même ; la mesure ne doit pas changer.

En effet, dans la chambre règne la même pression statique que dans la veine fluide, et la vitesse d'écoulement de l'air dans la veine se produit sous la différence de charge h , qui existe entre la pression extérieure et celle de l'intérieur de la chambre de repos. Comme, dans un appareil de ce genre, c'est l'orifice de pression de l'ajutage B, devant lequel l'air passe à la vitesse V , qui peut influencer la prise de pression (p), on voit que l'étude d'un tube de Pitot-Darcy par la méthode que nous venons d'indiquer donne toute garantie.

Un tube, ainsi étalonné entre des vitesses V_1 et V_2 , pourra être employé en toute sécurité pour des mesures comprises entre ces vitesses.

Formule générale de la vitesse lue avec cet appareil et correction due à la densité du fluide et à la pression du jour. — La formule d'emploi est :

$$(1) \quad V = \sqrt{2gh(\text{air})}$$

c'est-à-dire que la hauteur h doit être exprimée en colonne du fluide considéré. Comme dans notre cas nous avons en général affaire à de l'air et que les hauteurs h sont lues en millimètres d'eau, nous pouvons écrire que :

$$h_{\text{air}} = h_{\text{eau}} \times \frac{1.000}{1.293}$$

Tube de Pitot-Darcy

Mesure de la vitesse d'un courant d'air

Abaque pour le Calcul du Coefficient K en fonction de la température et de la pression du moment.

Formule : $V = KV\sqrt{h}$ V étant la vitesse de l'air en mètres par seconde et h la pression exprimée en millimètres d'eau.

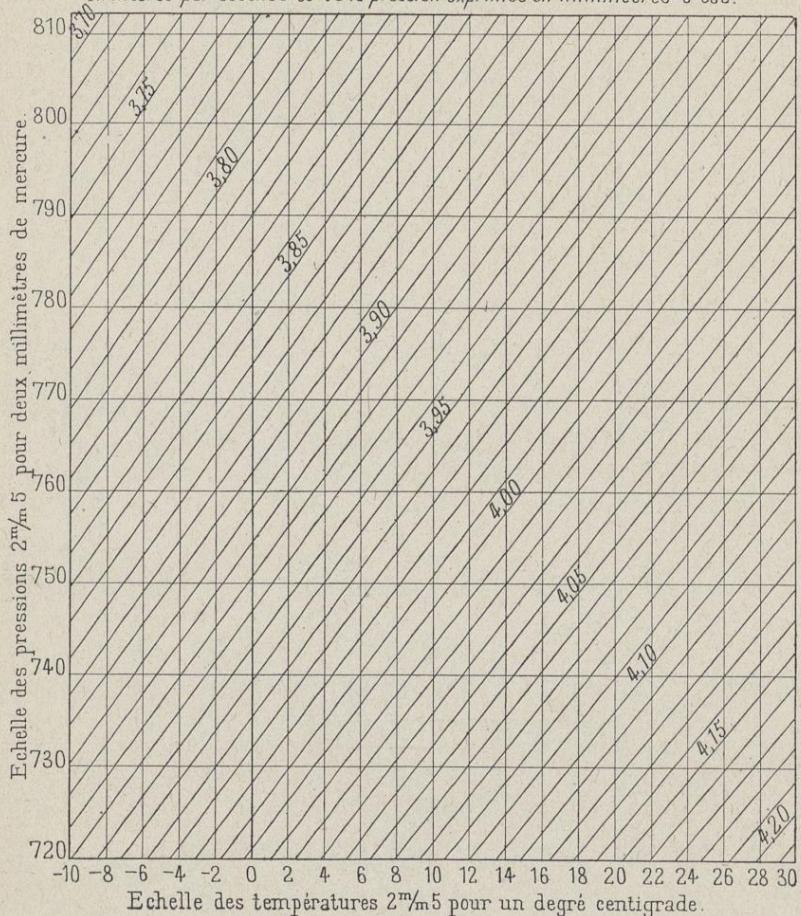


Fig. 8.

ou mieux :

$$h \text{ (mètres d'air)} = h \text{ (mètres d'eau)} \times \frac{1.000}{d_{\text{air}}} = \frac{h \text{ en mm. d'eau}}{d_{\text{air}}}$$

or la densité de l'air étant donnée par :

$$d = \frac{1.293}{1 + \alpha \theta} \times \frac{H}{760}$$

il est facile de construire l'abaque de la figure 8 qui donne le coefficient K à mettre dans la formule, si on y exprime h en millimètres d'eau. En effet, cette formule :

$$V = \sqrt{\frac{2gh \text{ mm. d'eau}}{d_{\text{air}}}}$$

devient, en faisant sortir $2g$ du radical :

$$V = \sqrt{\frac{2g}{d_{\text{air}}}} \times \sqrt{h(\text{mm. d'eau})} = K \sqrt{h(\text{mm. d'eau})}.$$

En particulier, pour 15° et 760 millimètres de pression $K = 4$ et l'on a :

$$V = 4\sqrt{h(\text{mm. d'eau})}.$$

V est exprimé en mètres par seconde.

D'après ce que nous venons de dire ci-dessus, on peut écrire :

$$HK^2 \times 1.293 = 14.911,2 \frac{T}{273}$$

qui représente l'équation d'une droite en fonction de H et T . On construira donc cet abaque en donnant à K une série de valeurs constantes et en résolvant l'équation par rapport aux deux variables H et T par lesquelles se feront les entrées dans l'abaque (voir fig. 8).

TARAGES D'ORIFICES ET MESURE DES DÉBITS DE GAZ

DÉTERMINATION DES COEFFICIENTS DE DÉBIT D'ORIFICES SOUS CHARGES VARIABLES

MESURE DES DÉBITS DE GAZ. — TARAGES D'ORIFICES

Méthode de mesure particulière de débits. — En principe, pour la vérification des débits, nous opérons de la manière suivante, qu'il s'agisse du débit d'un compresseur, d'un ventilateur travaillant sous pression, de l'étalonnage de compteurs d'air ou de la détermination des coefficients de débit de tuyères, et c'est ce dernier type d'essai que nous choisirons pour exposer la méthode.

Dispositif expérimental. — La méthode consiste à mesurer les débits en calculant la vitesse par la formule simple :

$$V = \sqrt{2gh}$$

dans laquelle V est exprimée en mètres par seconde si on prend h la différence de pression entre l'amont et l'aval en mètres du fluide considéré.

Si l'on tient compte comme cela est indispensable de la densité du fluide air, la formule devient :

$$V = K\sqrt{h} \text{ mm. d'eau (voir page 28).}$$

Comme nous l'avons indiqué précédemment K est alors déterminé par l'abaque (fig. 8).

Pour avoir V avec précision il importe de faire débiter les orifices sous faible charge ; on peut alors employer pour le calcul la formule simple ci-dessus.

Les pressions sont mesurées avec un *micro-manomètre à eau*, que nous décri-

rons plus loin, donnant le 1/100 de millimètre d'eau dans la mesure de la pression.

Ayant ainsi obtenu avec précision la vitesse de l'écoulement il s'agit de mesurer les dimensions de l'orifice à travers lequel il se produit et de connaître le coefficient de contraction de la veine d'écoulement. Ce coefficient de contraction est aussi désigné sous le nom de : coefficient de débit ou encore coefficient de dépense comme l'appelle Rateau.

Tout d'abord il faut choisir le type d'orifice.

Il convient d'adopter un orifice de forme telle qu'il soit facile de l'exécuter mécaniquement avec une grande précision. Ceci nous a conduit à adopter l'orifice en mince paroi facile à exécuter ainsi. Son coefficient de débit s'éloignera plus de l'unité que celui d'une tuyère profilée mais celle-ci est très difficile à exécuter et deux tuyères de même diamètre ne sont jamais rigoureusement pareilles de sorte que leur coefficient de débit diffère. Tandis qu'avec l'orifice en mince paroi le coefficient de débit sera le même pour les orifices de même dimension. Il suffira donc de tarer l'un d'eux. La valeur de ce coefficient sera déterminée avec autant de précision que celui d'une tuyère, de sorte que nous ne voyons pas l'intérêt qu'il y aurait à adopter pour les orifices des formes donnant un coefficient voisin de l'unité alors que ces formes sont mécaniquement impossibles à exécuter d'une manière rigoureuse.

Notre méthode expérimentale consiste à tarer l'orifice en mince paroi d'abord sous de faibles pressions en mesurant le débit à l'aide d'une cloche gazométrique rigoureusement équilibrée que nous décrirons plus loin. L'orifice en mince paroi est placé sur un réservoir de grande capacité dans lequel on mesure la température de l'air et la pression. Ce réservoir est en communication par une large conduite avec la cloche. Dans cette dernière on mesure la température et la pression par raison de contrôle. Avec un compte-secondes on détermine le temps que met la cloche à débiter un volume donné à travers l'orifice en expérience.

La formule $V = K\sqrt{h}$ qui donne la vitesse permet de calculer le volume Q que l'orifice aura débité (1) :

$$Q = \varphi SK\sqrt{h}.$$

Ce volume, exprimé en mètres cubes par seconde, sera un volume d'air détendu à la pression atmosphérique du jour. Ce volume est égal à celui débité par la cloche mais ramené de la pression de la cloche à celle de l'atmosphère. Egant ces deux quantités on aura φ le coefficient de débit (1) :

$$\varphi SK\sqrt{h} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Volume air cloche ramené} \\ \text{à la pression du jour} \end{array} \right\} = A$$

$$\varphi = \frac{A}{SK\sqrt{h}}.$$

(1) Voir (pour valeurs de φ) : Royds (Dunod), *Les essais de machines*, p. 365.
30

On fait plusieurs mesures de tarage autour de $h = 50$ millimètres de manière à connaître très exactement φ sous cette charge. Cette opération faite sur un orifice est répétée sur une série d'orifices de dimensions différentes et l'on entre ainsi en possession des appareils voulus pour faire les mesures de débit les plus étendues.

Détermination des coefficients de débit d'un orifice en mince paroi de 20 millimètres de diamètre sous des charges comprises entre 0 et 1 kilogramme.

Tout d'abord on étudie l'orifice sur la cloche gazométrique comme nous venons de l'exposer ci-dessus, ensuite on continue son tarage par la méthode des deux réservoirs.

Méthode de deux réservoirs. — La méthode consiste à prendre deux grands réservoirs qui sont reliés entre eux par une conduite de très grand diamètre, soit, si l'on veut, une paroi mitoyenne des deux réservoirs laquelle porte l'orifice à étudier.

Dans le premier réservoir on fait croître les pressions sous lesquelles débite l'orifice jusqu'à 1 kilogramme puisque c'est entre 0 et 1 kilogramme de pression que l'on doit tarer l'orifice, alors que dans le second réservoir on maintient une pression à peu près constante voisine de 40 à 50 millimètres d'eau. Cela est facile à obtenir en munissant le réservoir d'un nombre suffisant d'orifices que l'on ouvre à la demande.

L'orifice à tarer débite un volume d'air A_1 à la pression du deuxième réservoir alors que les orifices placés sur ce réservoir donnent cet air détendu à la pression atmosphérique (volume A). Il faut ramener A à la pression du deuxième réservoir, soit A_2 , pour égaler les deux débits et ainsi déterminer φ . Si on désigne par S_1 la section de l'orifice à étudier et h_1 la différence entre les pressions dans les deux réservoirs, en mm. d'eau, on a :

$$A_2 = A_1 = \varphi S_1 K_1 \sqrt{h_1} \quad \text{d'où :} \quad \varphi = \frac{A_2}{S_1 K_1 \sqrt{h_1}}.$$

On construira la courbe des valeurs de φ en fonction des pressions effectives de débit et l'on aura une droite indiquant la croissance de ces coefficients en fonction de la pression, comme nous allons le voir en analysant les travaux de Rateau sur cette question.

On trouve dans les *Trans. Amer. Society Mechanic Ing.*, volume XXVII, des résultats expérimentaux faits sur des orifices en mince paroi variant de 8 à 114 millimètres de diamètre qui ont été étudiés sous des pressions croissantes de 25 à 127 millimètres d'eau, c'est-à-dire sous de très faibles pressions.

TABLEAU DES VALEURS DE φ

Diamètre des orifices en mince paroi	Différence de pression entre les deux faces en m/m d'eau				
	24,5	50,8	76,2	101,6	127,0
7,94 m/m	0,603	0,606	0,610	0,613	0,616
12,70	602	605	608	610	613
25,4	604	603	605	606	607
50,8	600	600	600	600	600
76,2	599	598	597	596	596
101,6	598	597	595	594	593
114,3	598	596	594	593	592

Les chiffres trouvés par nous, 0,6 pour notre orifice de 20 millimètres, correspondent bien à ceux donnés par les Américains dans le tableau ci-dessus. Ces chiffres, comme nous allons le voir, sont également en accord avec ceux donnés par Rateau et Hirn, au moins en ce qui concerne les petits diamètres.

Etude de Rateau. — Rateau a publié dans les *Annales des Mines*, en janvier 1902, les résultats de recherches expérimentales sur l'écoulement de la vapeur d'eau.

A la fin de cette étude il donne une analyse très détaillée des expériences de Hirn, publiées dans les *Annales de chimie et de physique*, mars 1886, sur l'écoulement de l'air d'où nous extrayons les courbes de la figure 9 qui correspondent à des débits d'air à travers des buses, courbes AB, et à travers des orifices mince paroi, courbe EF ; ces orifices étaient petits et au nombre de deux seulement, 4 millimètres et 5 mm. 7 de diamètre.

Ces courbes sont tracées comme l'indique la figure 9 en prenant comme ordonnée le rapport $\frac{Q}{Q_m}$ quotient du débit expérimental observé par le débit maximum théorique ; de même la courbe A'B' a pour ordonnée :

$$\frac{\text{Débit théorique}}{Q_m}$$

Dans ces conditions le rapport des ordonnées $\frac{a}{b} = 0,702$ donne la valeur du coefficient de débit pour un orifice à mince paroi fonctionnant sous des différences de pressions dont le rapport est $\frac{p}{P} = 0,7$ (p est la pression aval, P est la pression amont). C'est ainsi qu'est tracée la courbe G'H' qui donne la valeur de ces coefficients ; on remarque qu'elle est très voisine d'une droite.

On remarque aussi que pour les petits orifices le tableau donné par l'*American Ing.* est bien en accord avec Rateau. Pour les grands orifices l'*American*

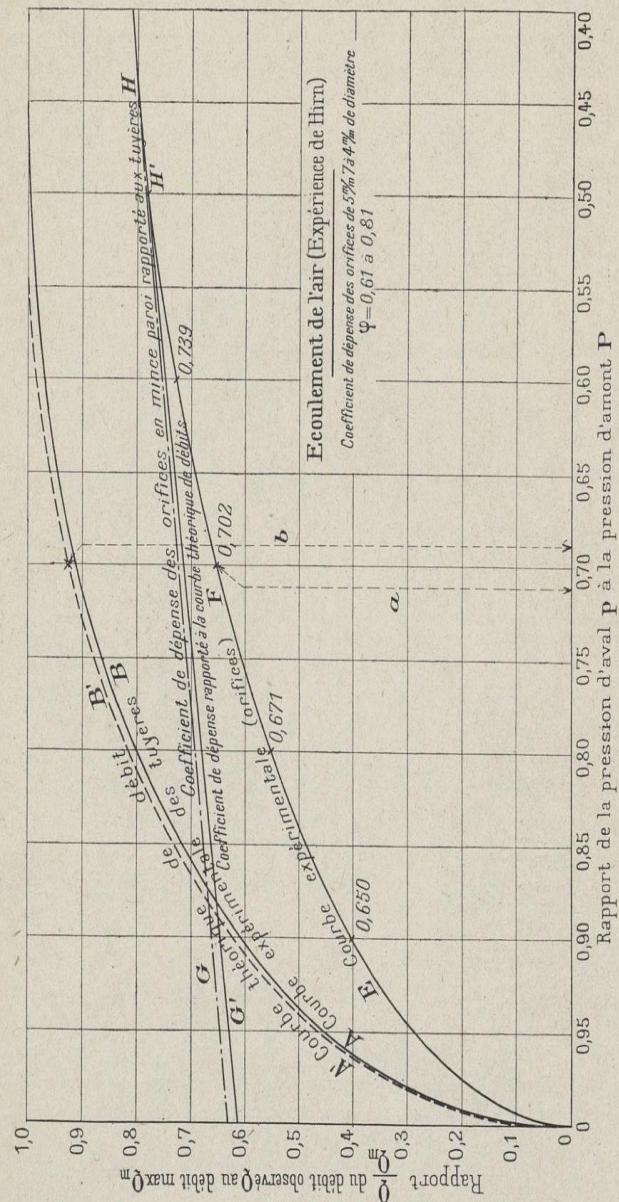


Fig. 9.

Ing. donne des valeurs décroissantes à mesure que les pressions s'élèvent. Cette décroissance de la valeur du coefficient de débit des gros orifices pour les petites pressions est moins en harmonie avec l'aspect des courbes de Hirn ; il est vrai que ses expériences ne s'appliquent qu'aux très petits orifices. La droite $H'G'$ fait-elle un crochet à son origine dans le voisinage de l'axe des y ? Les chiffres du tableau de l'*American Ing.*, l'indiquerait puisqu'ils sont décroissants à l'origine alors que la figure 9 indique pour les *pressions élevées* un régime de φ croissant.

Micro-manomètre. — Cet appareil, représenté figure 10, se compose de deux réservoirs communicants. A est d'un diamètre très grand par rapport à B de manière qu'une dénivellation du niveau de B soit sans influence sur le niveau de A. Du reste on peut en tenir compte par une correction. Ce manomètre est rempli d'eau et la hauteur de charge due à la pression en A est lue en B avec

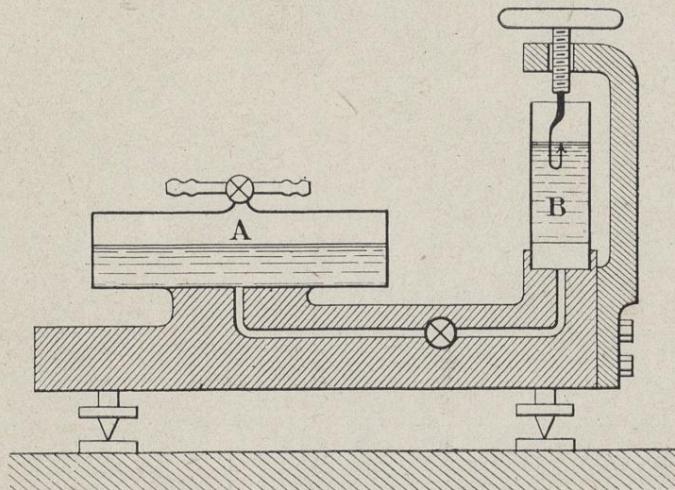


Fig. 10. — Micro-manomètre.

une aiguille à pointe renversée mue par une vis micrométrique. Le zéro est fait au repos. L'appareil est monté sur vis calantes et il est muni de niveaux permettant de le placer dans un plan rigoureusement horizontal. On peut facilement lire les *pressions au 1/100^e de millimètre*.

Cloche gazométrique. — Cet appareil, qui a servi à faire le tarage des orifices en mince paroi, c'est-à-dire à déterminer leurs coefficients de débit, est représenté schématiquement figure 11. Il se compose d'une cloche A s'enfonçant dans une cuve à eau B. Cette cloche porte en son centre un appendice C,

sorte d'éprouvette renversée, qui, par un siphon S, se remplit au niveau de celui de l'eau de la cuve. Les dimensions de l'éprouvette C sont calculées pour que la quantité d'eau qu'elle emmagasine en descendant soit telle qu'elle équilibre rigoureusement la perte de poids que la cloche éprouve en s'immergeant

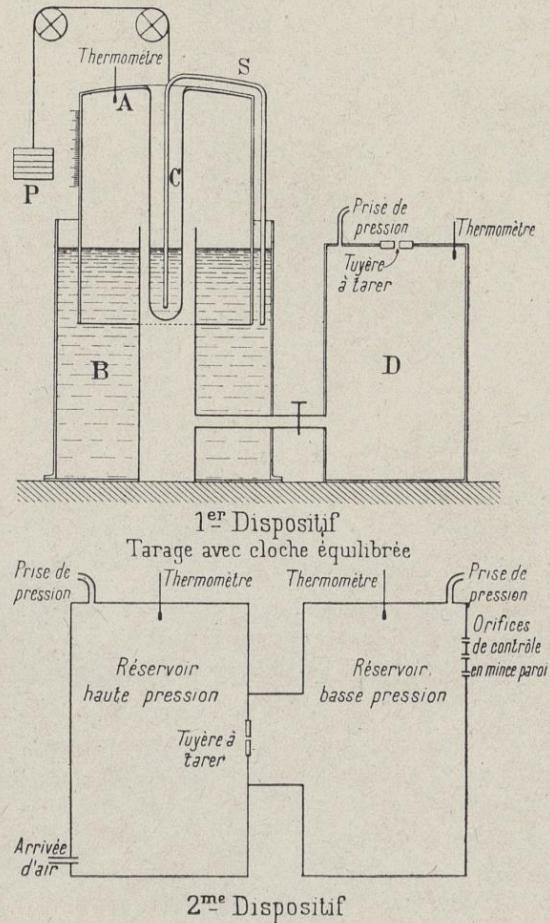


Fig. 11.

dans l'eau. Cette cloche est donc rigoureusement équilibrée. Enfin on donne au gaz contenu dans la cloche la pression que l'on veut en l'équilibrant ou la chargeant à l'aide de poids P.

La cloche est jaugée très exactement et une règle se déplaçant avec elle permet de lire à chaque instant le volume écoulé. L'air débité passe dans un réservoir D qui porte à sa partie supérieure l'orifice à tarer. Il est muni, comme le

montre la figure 11, d'un raccord pour thermomètre et d'une prise de pression allant au micro-manomètre.

Le deuxième dispositif montré par la figure correspond au tarage par la méthode des deux réservoirs, dont nous avons parlé plus haut et sur lequel nous allons revenir au sujet de l'exemple que nous donnons de cette méthode appliquée à l'étalonnage de buses d'un profil spécial.

11 mai 1928.
Procès-verbal n° ».

Demandeur X

ESSAIS SUR LA DÉTERMINATION DES COEFFICIENTS
DE DÉBIT DE TUYÈRES

But de l'essai. — L'essai avait pour but de déterminer les coefficients de débit de 3 tuyères destinées à fonctionner sous des pressions comprises entre 4 ou 5 centimètres d'eau et 1 kilogramme environ.

Désignation des tuyères. — Ces tuyères ont la forme indiquée par le croquis ci-contre ; leurs diamètres, tels qu'ils ont été indiqués par le demandeur, sont de 8 mm. 1/2, 10 millimètres et 12 millimètres au col. Elles sont exécutées en bronze et destinées à se visser sur une paroi plane de réservoir.

Méthode de tarage. — La méthode employée a consisté à faire débiter par ces tuyères un volume d'air à une température voisine de 200 centigrades sous des charges croissantes depuis quelques millimètres d'eau jusqu'à 1 kilogramme environ. Pour les faibles valeurs jusqu'à 5 centimètres d'eau, les pressions étaient mesurées avec le micro-manomètre à eau représenté figure 10, qui donne le 1/100^e de millimètre, et les débits mesurés avec la cloche gazométrique figure 11, rigoureusement équilibrée, débitant dans un réservoir sur lequel les tuyères étaient montées successivement.

C'est par ce même procédé qu'ont été tarés des orifices en *mince paroi* destinés à fonctionner sous des pressions de 40 à 50 millimètres d'eau et utilisés pour le contrôle des tuyères sous pressions plus élevées à partir du moment où la cloche gazométrique équilibrée ne pouvait plus être employée.

Pour les pressions élevées dépassant 50 millimètres d'eau la mesure a été faite au manomètre à eau donnant au moins le demi-millimètre. Au-dessus de 1 mètre d'eau on a employé un manomètre à mercure.

Pour la détermination des coefficients on a admis, pour les tuyères, les dimensions données par le demandeur et l'on a appliqué la formule simple $Q = \varphi SK\sqrt{h}$, dans laquelle $K\sqrt{h}$ donne la vitesse de l'air en mètres par seconde à la sortie de la tuyère, si on prend K sur l'abaque de la figure 8 et si

on exprime h en millimètres d'eau. Q sera obtenu en mètres cubes par seconde si on exprime S en mètres carrés.

Pour les expériences avec la cloche on a tenu compte des températures et l'on a fait les corrections voulues pour ramener le volume d'air débité par la cloche dans le réservoir portant la tuyère à la pression barométrique du jour, puisque la tuyère débitait dans l'atmosphère.

Pour les débits dépassant la possibilité de la cloche on s'est servi de deux gros réservoirs communiquant entre eux par la tuyère en essai. Dans le premier réservoir on a fait varier la pression depuis quelques centimètres d'eau

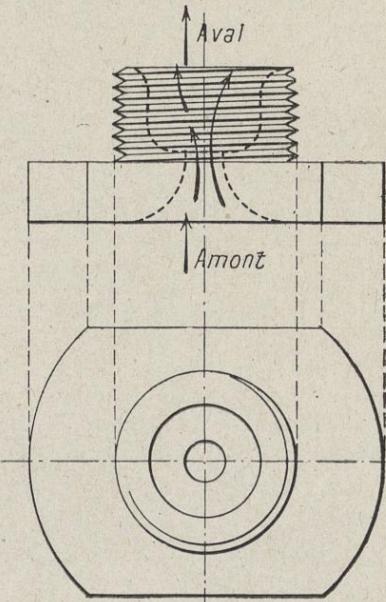


Fig. 12.

jusqu'à près de 1 kilogramme; dans le deuxième réservoir on maintenait une pression de 40 à 50 millimètres d'eau mesurée au micromanomètre. On montait sur ce réservoir les orifices mince paroi étalons voulus, pour avoir cette pression quel que soit le débit de la tuyère. Les mesures de températures étaient faites dans les deux réservoirs. Le volume débité par les orifices mince paroi étant donné à la pression atmosphérique du jour on ramenait à cette pression le volume débité par la tuyère car la formule $Q = \varphi SK\sqrt{h}$ donne son débit à la pression du deuxième réservoir.

Ces dispositifs expérimentaux sont donnés dans le croquis schématique ci-joint (fig. 11).

Essai. — Pour chaque pression un réglage précis était opéré de manière à ne commencer les mesures que quand le régime était obtenu et les mesures

étaient répétées plusieurs fois. Les pressions dans les deux réservoirs étaient lues au commandement, simultanément.

Résultats. — On a ainsi obtenu pour chaque tuyère un grand nombre de points expérimentaux qui ont permis de tracer la courbe moyenne des coefficients de débit de chacune d'elle ; cette courbe a donné les chiffres portés au tableau suivant.

Pour la tuyère de 8 mm. 5 le coefficient de débit est donné à $\pm 0,05$ % près entre les pressions de 25 grammes et 950 grammes. Cette tuyère n'est pas ronde : son petit diamètre a 8,65 mais dans son emploi c'est 8,5 qu'il faut mettre dans la formule.

Pour celle de 10 millimètres φ est donné entre 25 grammes et 950 grammes. Comme pour la précédente tuyère, pour des pressions inférieures à 50 millimètres d'eau nous constatons une chute rapide du coefficient. Il y a donc lieu de ne pas descendre à des pressions inférieures à 50 millimètres d'eau ; en outre, pour mesurer les pressions à des charges aussi faibles il faut des manomètres spéciaux. La tuyère de 10 millimètres est presque ronde mais son diamètre est de 10,03.

Pour la tuyère de 12 millimètres une anomalie s'est présentée dans le fonctionnement. Pour les pressions inférieures à 5 grammes, même observation que pour les deux autres. Son coefficient est bien déterminé jusqu'à la pression de 525 grammes environ, mais à ce moment elle commence à siffler pour atteindre un sifflement très aigu à 550 grammes, ce qui fait tomber son coefficient de débit à 0,955 vers 700 grammes. Elle ne peut donc être employée avec sécurité qu'entre 25 grammes et 525 grammes.

Epoque des essais : juillet 1928.

1 ^o Tuyère de 8,5 mm.											
Pressions effec- tives en gram- mes par cm ² .	25	50	100	200	300	400	500	600	700	800	900
Coefficient de débit . . .	0,980	0,980	0,980	0,980	0,980	0,980	0,980	0,980	0,980	0,980	0,980
2 ^o Tuyère de 10 mm.											
Pressions effec- tives en gram- mes par cm ² .	25	50	100	200	300	400	500	600	700	800	900
Coefficient de débit . . .	0,975	0,977	0,978	0,978	0,978	0,978	0,978	0,978	0,978	0,978	0,978
3 ^o Tuyère de 12 mm.											
Pressions effecti- ves en grammes par cm ² . . .	25	50	100	200	300	400	500	525(1)	550	700	800
Coefficient de dé- bit . . .	0,973	0,973	0,973	0,973	0,973	0,973	0,973	0,973	0,965	0,955	0,962

(1) A partir de cette pression : sifflement de plus en plus fort.

ESSAIS COMPARATIFS DE TAMBOURS DE FREINS

EXPÉRIENCES DE FREINAGE

ESSAIS COMPARATIFS DE FREINS D'AUTOMOBILE

Il s'agissait de comparer l'efficacité d'un frein d'une construction spéciale à celle d'un frein ordinaire, supposé monté sur une automobile pesant 800 kilogrammes qu'il y avait lieu de freiner à différentes vitesses initiales, cette automobile étant supposée posséder un frein sur chaque roue. Dans ces conditions le frein à essayer et le frein ordinaire devaient absorber un travail :

$$\left(\frac{1}{2} mV^2 \right)$$

m étant la masse du $\frac{1}{4}$ de l'automobile et V la vitesse linéaire au commencement du freinage soit, dans le cas actuel, pour une vitesse de 20 mètres par seconde ou 72 kilomètres à l'heure :

$$Tr = \frac{1}{2} \times \frac{200}{9,81} \times 20^2 = 4.077,4 \text{ kilogrammètres.}$$

soit 4.077,4 kilogrammètres à absorber.

Nous avons assimilé l'automobile à un volant possédant la même énergie qu'elle ; nous avons donc cherché à quelle vitesse il fallait faire tourner un volant d'un poids déterminé pour avoir cette énergie. Le frein à expérimenter était monté sur le même arbre que le volant et les paliers de l'ensemble du système étaient munis de roulements à billes de manière à rendre les pertes aussi faibles que possible. Le volant (voir fig. 13) pesait 351 kilogrammes et était parfaitement équilibré. Nous avons d'abord cherché son rayon d'inertie qui fut trouvé égal à 0 m. 30 ; dans ces conditions on pouvait écrire :

$$\frac{1}{2} \frac{351}{g} \left(\frac{2\pi \times 0,30 \times n}{60} \right)^2 = \frac{1}{2} \frac{200}{9,81} \times (20)^2$$

pour obtenir (n) tours du volant en une minute.

On trouve $n = 480$ t./m. pour une vitesse de l'automobile de 20 mètres par seconde.

Les mesures ont été faites pour différentes vitesses et aussi pour différentes charges appliquées à l'extrémité de la pédale du frein.

Il est à remarquer que les vitesses des roues de l'automobile ne sont pas très éloignées de celles du volant, ce qui du reste n'a pas d'importance car les dimensions d'un frein sont indépendantes de la vitesse à laquelle il fonctionne. Cependant le frein étant immobile pendant nos expériences est évidemment moins bien ventilé que sur l'automobile où il se déplace à raison de 20 mètres par seconde. L'essai est donc plus sévère.

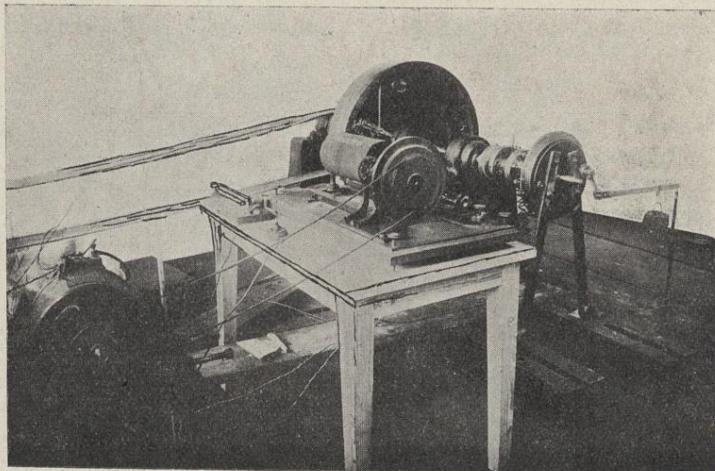


Fig. 13.

L'appareil d'essai, représenté figure 13, comportait en outre une poulie en bois munie de contacts permettant d'interrompre et de rétablir un circuit électrique actionnant tous les demi-tours du volant, un relai électrique qui inscrivait les courbes des espaces sur un tambour noir ci ; à côté, un deuxième relai inscrivait le temps à l'aide d'un diapason donnant le $1/100^{\text{e}}$ de seconde ; un troisième relai pouvait indiquer le début et la fin de l'expérience. Ce dernier ne fut pas jugé indispensable (voir fig. 14).

Un tachymètre enregistreur placé en bout d'arbre du volant indiquait le début des expériences suivant la vitesse origine à laquelle on opérait mais les courbes de vitesses par lui données ne furent pas utilisées. Les vitesses ont été déduites des courbes des espaces parcourus ci-dessus mentionnées.

Pareillement les tangentes aux courbes de vitesses nous ont permis de tracer les courbes des accélérations.

Expériences. — Il a été fait de nombreuses expériences en faisant varier la vitesse origine, c'est-à-dire l'énergie à absorber, et les pressions exercées sur la pédale des freins.

On a choisi quelques-uns de ces nombreux essais car le dépouillement de tous les diagrammes relevés nous aurait entraîné trop loin ; ils font l'objet de l'exemple de procès-verbal suivant.

Comme on va le voir sur les courbes du procès-verbal nous avons pu tracer avec grande précision celles des espaces parcourus et en obtenir les durées comparées du freinage de chacun des freins dans les différents cas de vitesse et de pression sur la pédale.

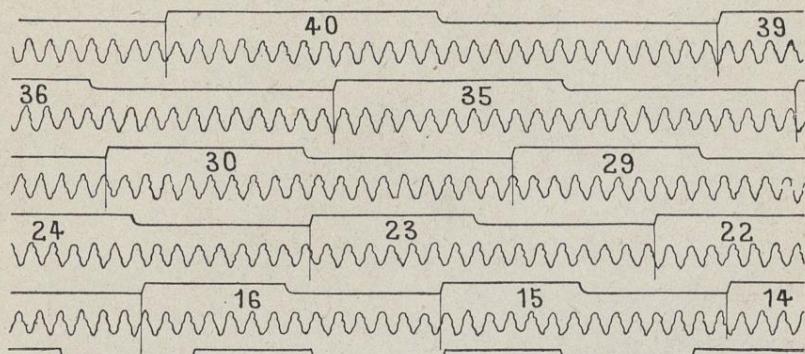


Fig. 14. — Fragment de diagramme au noir de fumée.

De ces courbes on a déduit le tableau de la page 45.

Enfin, pour les essais n°s 7 et 20 on a construit les courbes des vitesses et des accélérations (voir graphique n° 6).

Sur ces courbes on voit que l'accélération retardatrice moyenne du frein spécial est dans ce cas d'environ 3 mètres/seconde/seconde, valeur atteinte presque dès le début du freinage, tandis que pour le frein ordinaire elle est de 1 m. 70 et n'est pas atteinte dès le début du freinage.

ESSAI D'UN FREIN POUR AUTOMOBILE

But de l'essai. — L'essai avait pour but de comparer entre eux les résultats obtenus avec deux types différents de freins destinés à arrêter une automobile dans les mêmes conditions de vitesse initiale.

Désignation de l'appareil présenté. — Le frein présenté était caractérisé par le dispositif suivant :

Un tambour de freinage est fixé sur le moyeu de la roue ou sur tout autre

organe du véhicule recevant un mouvement de rotation ; ce tambour comporte une jante dont la coupe par l'axe de rotation est en forme de V renversé. Le tambour est en deux pièces. Deux segments de frein, profilés à la demande et sur lesquels est montée la bande de friction comportant quatre segments, opèrent le serrage comme dans les freins ordinaires.

Description de l'installation. — Le frein auquel on devait le comparer était un frein ordinaire à tambour de forme cylindrique sur lequel viennent faire serrage deux segments mis en action par le dispositif ordinairement employé dans les freins de ce genre.

N'ayant qu'un seul frein pour chaque type à essayer, le poids à freiner ne pouvait être que celui du quart environ du poids de l'automobile. On a supposé opérer sur une automobile pesant 800 kilogrammes et se déplaçant à différentes vitesses.

On a assimilé l'automobile à un volant tournant à la vitesse voulue pour équivaloir à l'énergie du véhicule à la vitesse envisagée.

Pour comparer les deux freins on les a successivement montés sur un arbre tournant dans des roulements à billes et portant le volant dont nous venons de parler, dont le poids était de 351 kilogrammes.

On a d'abord déterminé par le calcul et une construction graphique le rayon de giration de ce volant. On l'a trouvé égal à 0 m. 30. On a alors assimilé l'inertie de l'automobile, à différentes vitesses, à celle du volant. On a ainsi déterminé dans chaque cas différent de vitesse de l'automobile, celle à laquelle il fallait faire tourner le volant pour avoir le même travail à faire absorber par les freins tant avec l'un qu'avec l'autre.

On enregistrait le temps avec un diapason donnant le 1/100^e de seconde, qui inscrivait, par l'intermédiaire d'un relai électrique, sur un tambour au noir de fumée, pendant qu'un autre relai électrique inscrivait les demi-tours du volant. Les nombreux diagrammes relevés ont permis de tracer avec une très grande précision les espaces parcourus en fonction du temps.

Conduite de l'essai. — Le frein était serré dans les mêmes conditions en faisant déclencher un poids suspendu à l'extrémité du bras de levier de commande. Ce bras de levier était de même longueur pour les deux freins et les hauteurs de chute du poids rigoureusement égales.

On a fait des essais avec des charges différentes correspondant à des pressions différentes sur le bras de levier du frein ; ces charges représentaient ici les poussées sur la pédale du frein.

Le volant était entraîné par une courroie, actionnée par un moteur électrique, à une vitesse un peu supérieure à celle de l'expérience que l'on voulait réaliser ; on faisait alors tomber la courroie et l'on observait, avec un tachymètre enregistreur, la vitesse du volant pour donner le commandement du début de l'essai au moment précis où le volant avait la vitesse désirée.

Résultat. — Cet essai a comporté : 1^o un certain nombre de mesures avec une charge de 5 kilogrammes à l'extrémité du bras de levier de commande du frein et différentes vitesses parmi lesquelles quatre ont été retenues qui font l'objet des expériences n^os 8, 9, 21 et 22 du tableau et du graphique n^o 4. Sur les graphiques on lit la durée des freinages et les chemins parcourus par le véhicule freiné aux vitesses initiales de 86 km. 87 et 59 km. 9 à l'heure ;

2^o Le plus grand nombre des mesures a été effectué avec la charge de 7 kilogrammes parce que cette charge nous a paru correspondre environ à la pression qu'un conducteur exerce normalement sur la pédale d'un frein. Ces expériences correspondent aux vitesses de 59,90, 71,89, 86,87 kilomètres à l'heure ; parmi elles on a retenu pour le calcul celles portant les n^os 2, 4, 7, 15, 17 bis et 20 du tableau, les autres ayant été laissées de côté à cause non pas de leur qualité mais simplement de la longueur et de la durée du dépouillement. Ces six expériences font l'objet des graphiques n^os 1, 2 et 3.

3^o Quelques mesures ont été faites avec la charge de 10 kilogrammes pour les vitesses de 59,9 et 86,87 kilomètres à l'heure. Quatre d'entre elles, retenues, font l'objet des n^os 12 bis, 13, 26 et 25 du tableau et du graphique n^o 5 ;

4^o Les expériences à 7 kilogrammes qui sont au nombre total de 14 ont permis de tracer les courbes du graphique n^o 7 qui donnent les durées du freinage en fonction des vitesses du véhicule au commencement du freinage. Ce sont en somme les chiffres des six expériences du tableau complétées par celles qui n'ont pas été entièrement calculées :

5^o Enfin avec les expériences n^os 7 et 20 on a établi les courbes du graphique n^o 6, qui donnent les espaces parcourus. De ces courbes on a déduit, par construction graphique, celles des vitesses et de ces dernières celles des accélérations. Ces courbes permettent de comparer les résultats obtenus avec chacun des deux freins. On y remarque en particulier qu'avec le frein spécial l'accélération retardatrice est constante pendant presque toute la durée du freinage et que 2 secondes après l'application du frein elle atteint 3 mètres seconde/seconde ; tandis qu'avec le frein ordinaire elle ne devient constante à 1 m. 70 qu'après 4 secondes 1/2. L'accélération retardatrice présente donc une décroissance très rapide au début qui ne se retrouve pas avec le frein spécial. Cela explique la plus grande efficacité de celui-ci dans l'arrêt du véhicule.

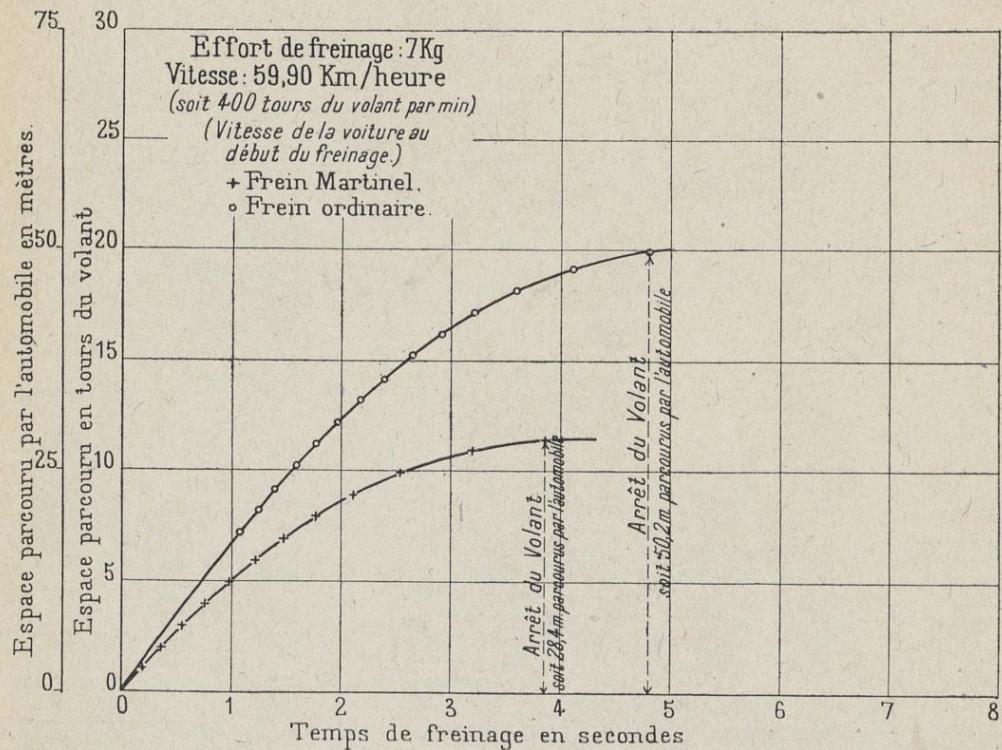
Après les essais, les surfaces frottantes ont été démontées pour être examinées en détail et mesurées. Celles du frein spécial étaient au nombre de quatre éléments donnant une surface totale de 126 centimètres carrés ; celles du frein ordinaire au nombre de deux donnant une surface totale de 123 centimètres carrés. Les surfaces du frein spécial présentaient un aspect assez voisin de celui qu'elles avaient avant leur emploi, ce qui laisse présumer qu'elles ont été soumises à une chaleur peu intense ; tandis que celles du frein ordinaire étaient sensiblement noircies par la chaleur.

Enfin il reste à signaler que la vitesse de l'arbre du volant n'était pas absolument la même que celle de la roue de l'automobile à laquelle il était assimilé. Le volant tournait à 480 tours par minute alors que la roue de l'automobile

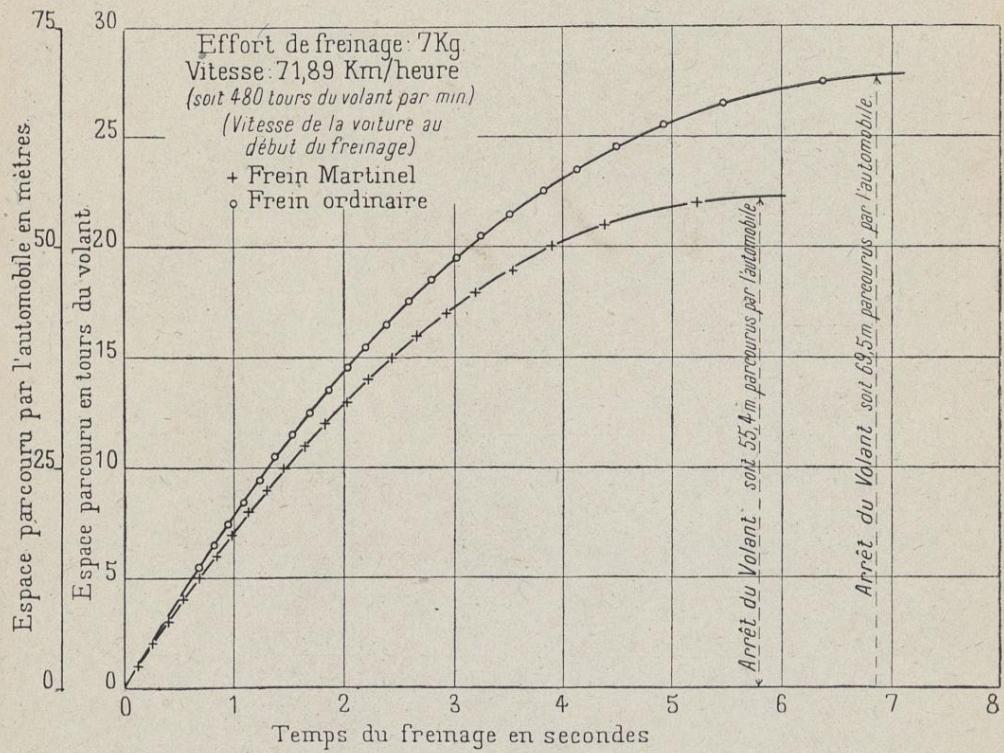
bile, à la vitesse horaire kilométrique correspondante, aurait dû faire 545 tours par minute. Mais on sait que l'efficacité d'un frein genre *Prony* est indépendante de sa vitesse. Dans le cas particulier de l'essai, si les freins avaient fonctionné sur l'automobile, ils se seraient un peu refroidis par la ventilation due au déplacement du véhicule alors que sur l'appareil d'essai ils étaient au repos donc non refroidis par le courant d'air. En conséquence cet essai est plus sévère pour eux que l'essai sur route.

TABLEAU

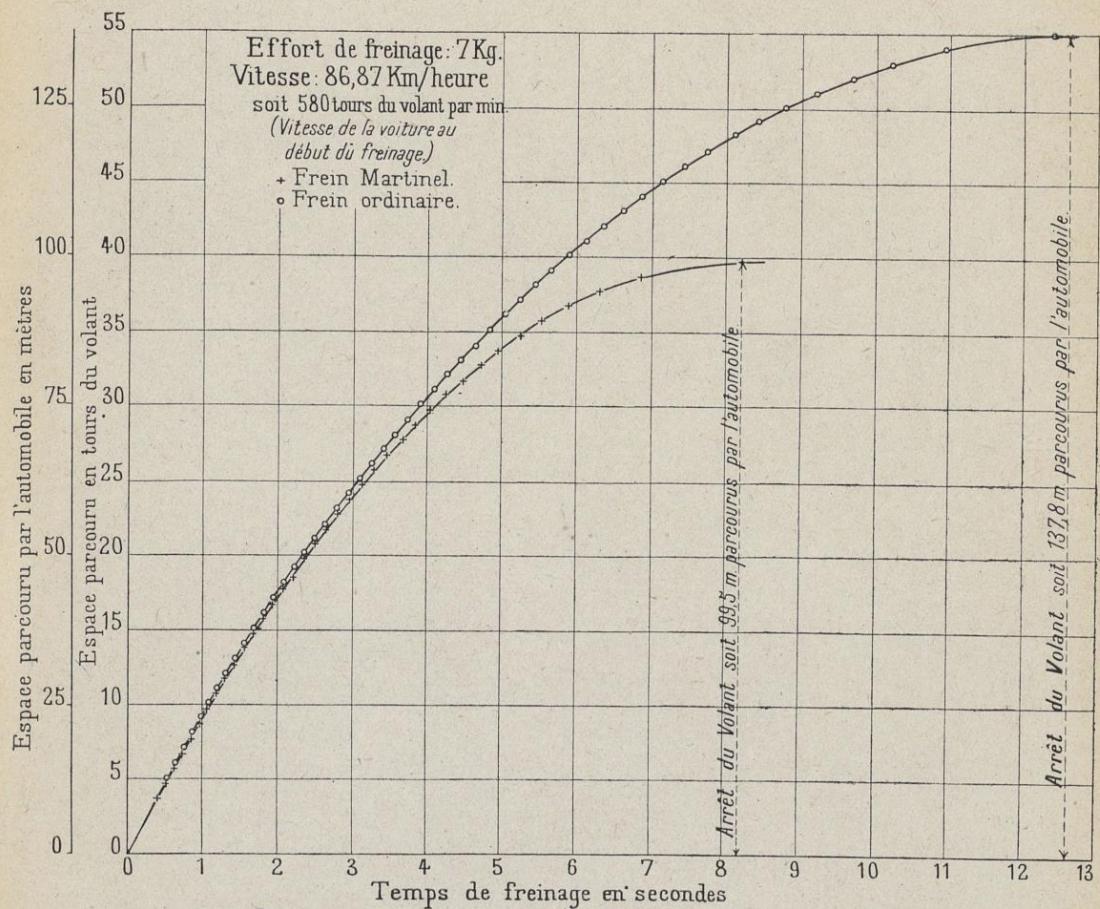
N° de l'essai	Vitesses du véhicule en km. heure		Temps total de freinage en secondes	Nombre de tours faits par le volant	Espaces correspon- dants parcourus par le véhicule en mètres	Désignation des appareils
	volant en t. m.					
<i>Essais à la charge de 5 k. sur le bras de levier des freins.</i>						
8	86,87	580	11,1	53,33	133,32	frein
9	59,9	400	7,1	23,25	58,12	spécial
21	86,87	580	17,8	75,59	489	frein
22	59,9	400	8,2	26,4	65,2	ordinaire
<i>Essais à la charge de 7 k. sur le bras de levier des freins.</i>						
2	59,9	400	3,9	11,363	28,4	
4	71,89	480	5,8	22,482	55,45	Spécial
7	86,87	580	8,2	39,8	99,5	
15	59,9	400	4,9	20,07	50,47	
17 bis	71,89	480	6,85	27,795	69,49	ordinaire
20	86,87	580	12,6	55,44	437,85	
<i>Essais à la charge de 10 k. sur le bras de levier des freins.</i>						
12 bis	59,9	400	3,95	14,3	35,75	Spécial
13	86,87	580	6,4	30,45	76,12	
26	59,9	400	4,6	14,32	35,80	Ordinaire
25	86,87	580	7,35	31,46	78,65	



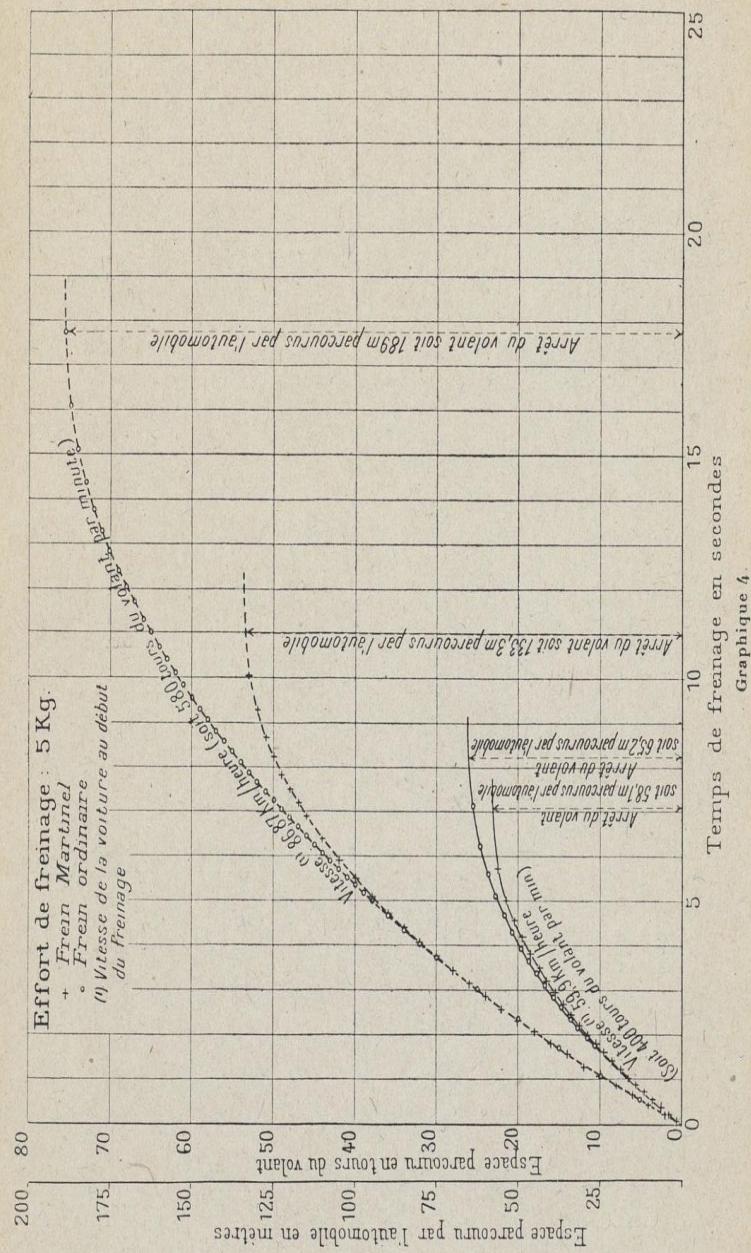
Graphique 1.



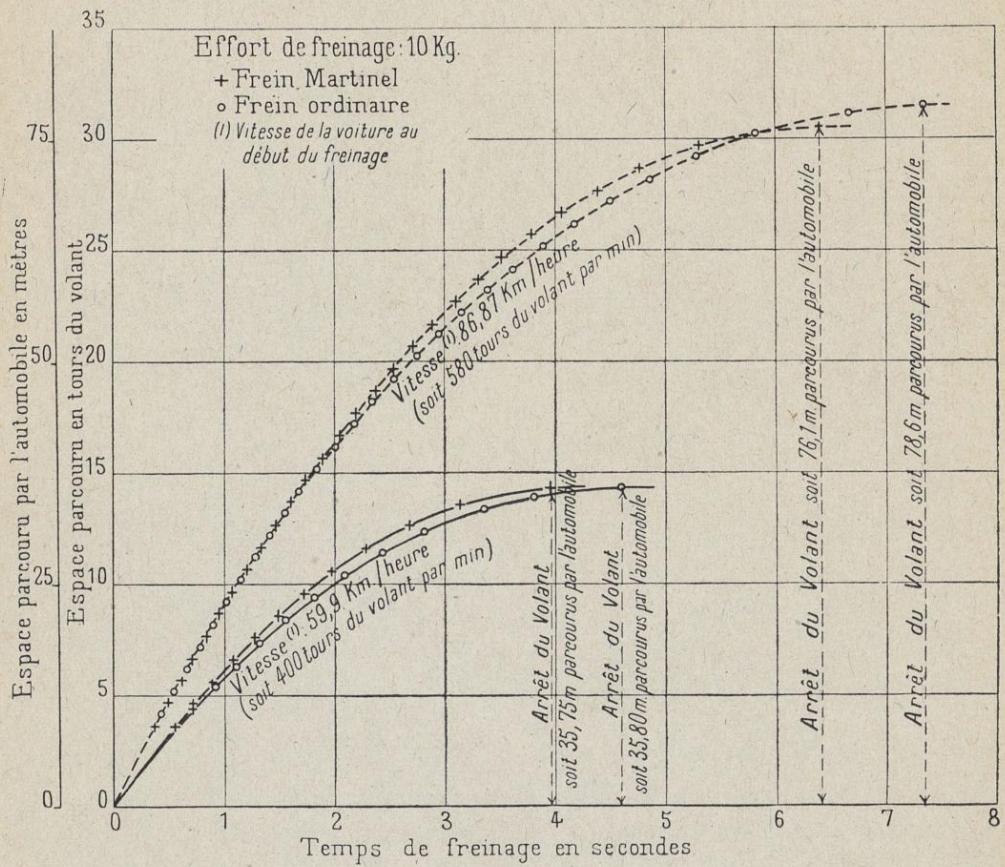
Espace parcouru par l'automobile en mètres



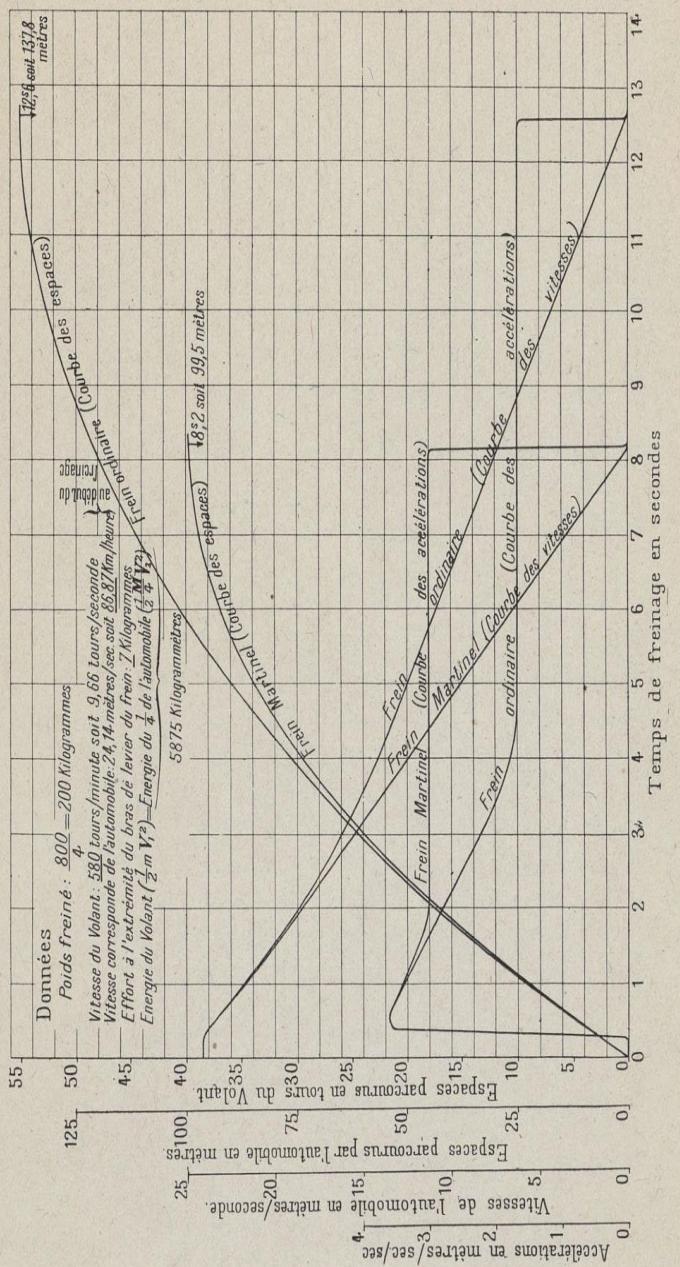
Graphique 3.



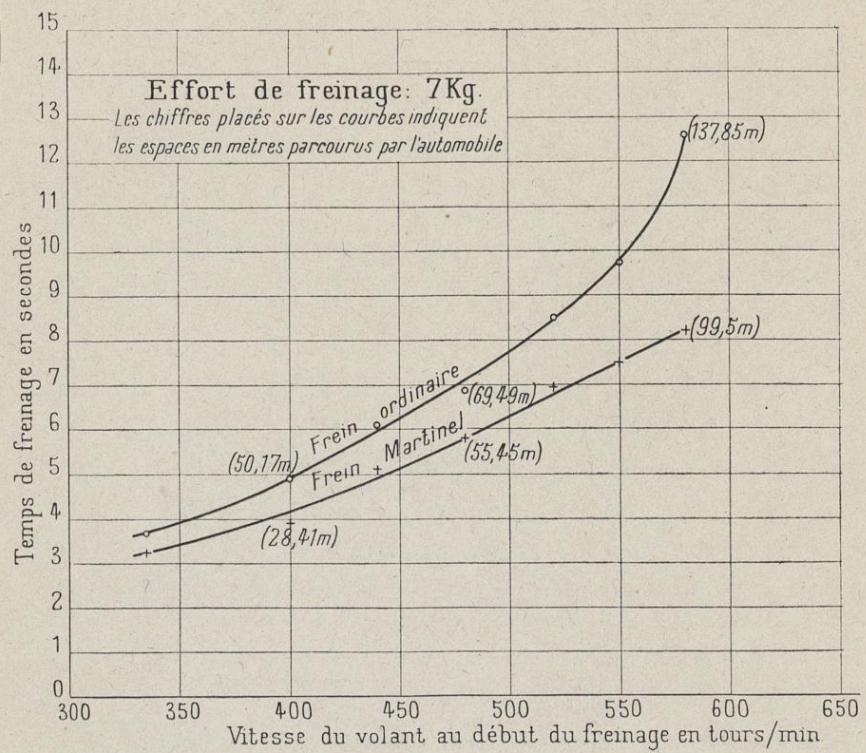
Graphique 4.



Graphique 5.



Graphique 6.



APPAREIL POUR LA MESURE DU COEFFICIENT DE FROTTEMENT DES GARNITURES DE FREINS

L'appareil qui est représenté schématiquement par les figures (a et b) a pour objet l'étude des garnitures de freins. Il permet la détermination du coefficient de frottement et la mesure de l'usure de la garniture. On peut donc s'en servir pour faire des essais comparatifs.

Il est constitué comme suit (voir fig. a) : Une dynamo-dynamométrique (A) actionne une poulie (B) portée par un arbre et deux paliers A'B' munis de rou-

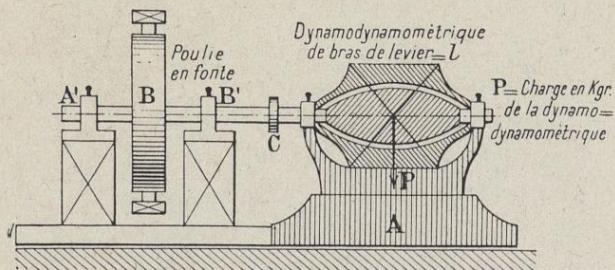


Fig. a. — Appareil pour la mesure du coefficient de frottement des garnitures de freins. Vue en élévation.

lements à billes. L'arbre est accouplé à la dynamo par un joint élastique (C). La poulie sert de tambour de frein et c'est sur elle que l'on place les éléments de garniture à essayer. Ces derniers sont serrés et appliqués sur la poulie par une pince (fig. b) attachée à un point fixe (O) et dont les bras sont rapprochés par un écrou à oreilles (N) dont l'effort est mesuré par un dynamomètre à ressort D. On a, si l'on appelle K la pression sur les sabots et D la lecture au dynamomètre :

$$K = \frac{NP}{IP} D. \quad (1)$$

(1) Dans l'appareil du Laboratoire $K = 2,15 D$
Résulte de la construction de l'appareil.
D est la pression en kgr. lue au dynamomètre.
K la pression en kgr. sur les sabots.

Si, dans le fonctionnement de l'appareil, on néglige le frottement des roulements à billes on peut établir comme suit la formule permettant le calcul du coefficient de frottement des garnitures.

Formule pour le calcul du coefficient de frottement des garnitures. —
Soit f ce coefficient.

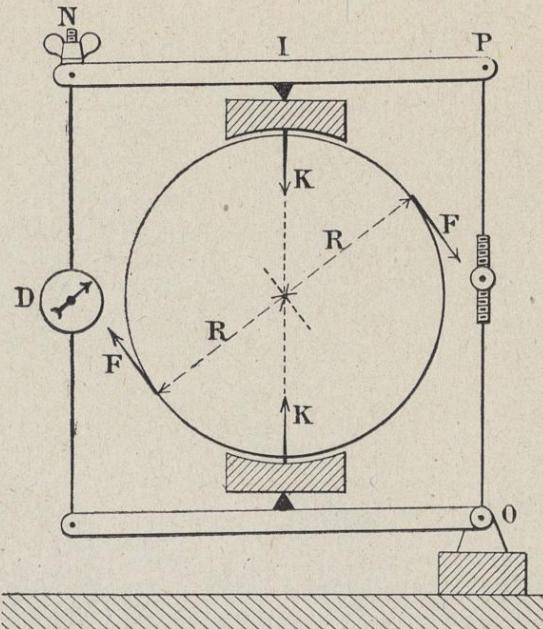


Fig. b. — Appareil pour la mesure du coefficient de frottement des garnitures de freins.
Vue schématique en bout.

Le travail de la dynamo-dynamométrique est évidemment égal au travail de frottement des roulements plus celui des garnitures.

On peut donc écrire :

$$Pl \frac{2\pi rn}{60} = \varepsilon + \frac{2\pi rn}{60} 2FR$$

$$Pl = 2FR,$$

mais :

$$F = Kf$$

par définition.

Donc :

$$Pl = 2KfR,$$

d'où :

$$f = \frac{P}{2K} \times \frac{l}{R}.$$



ε représente le travail absorbé par les roulements à billes que nous avons dit être négligeable.

l est la longueur du bras de levier de la dynamo-dynamométrique ;

P est la charge du bras de levier de la dynamo-dynamométrique ;

R le rayon de la poulie ;

F l'effort tangentiel dû au frottement des garnitures.

Méthode expérimentale. Résultats d'essais. — Le principe de la méthode expérimentale consiste à placer deux éléments de garniture sur la poulie et de les charger à la pression normale de fonctionnement, en général 1 kilogramme par centimètre carré. Quelquefois, pour obtenir une usure plus rapide, on porte cette pression à 3 kilogrammes par centimètre carré. Au début de l'expérience le coefficient de frottement varie et va généralement en croissant à cause de l'échauffement de la garniture ; on arrive assez rapidement à une température stable et à un coefficient de frottement généralement constant. Cependant avec certaines garnitures, dont l'état des surfaces se modifie avec l'usure, le coefficient reste variable.

Nous donnons ci-dessous un exemple de procès-verbal qui fera bien comprendre les résultats que donne le Laboratoire pour ce genre d'essai.

ESSAI SUR UN ÉCHANTILLON DE GARNITURE DE FREIN

But de l'essai. — L'essai avait pour but de déterminer le coefficient de frottement et l'usure d'un échantillon de garniture de frein monté sur un appareil d'essai du Laboratoire, et travaillant dans des conditions indiquées par le demandeur.

Désignation de l'échantillon. — L'échantillon remis par le demandeur était constitué par deux morceaux de garniture de frein de 55 millimètres de largeur et 7 millimètres d'épaisseur moyenne.

Chaque morceau était identifié par une marque spéciale.

Installation. — L'essai a été fait au moyen d'un appareil d'essai du Laboratoire comportant essentiellement une poulie en fonte, polie, et un frein à deux mâchoires.

La poulie, de 300 millimètres de diamètre et 80 millimètres de largeur, était calée sur un arbre en acier porté par deux paliers munis de roulements à billes. Elle était refroidie intérieurement par circulation d'eau.

Le frein était constitué par deux sabots en acier destinés à recevoir deux morceaux semblables de la garniture à essayer et portés par deux bras de levier situés l'un en dessus, l'autre en dessous de la poulie. Les bras de levier étaient mobiles à l'une de leurs extrémités autour d'un axe solidaire du bâti de

l'appareil ; à l'autre extrémité, ils étaient réunis entre eux par un dynamomètre au moyen duquel s'effectuait le réglage de la pression à exercer sur les éléments de garniture.

Le système était équilibré de façon que les garnitures soient soumises à des pressions égales et que l'arbre de la poulie ne subisse aucun effort du fait de ces pressions.

Les deux sabots étaient profilés de manière que les garnitures s'appliquent aussi exactement que possible sur le pourtour de la poulie.

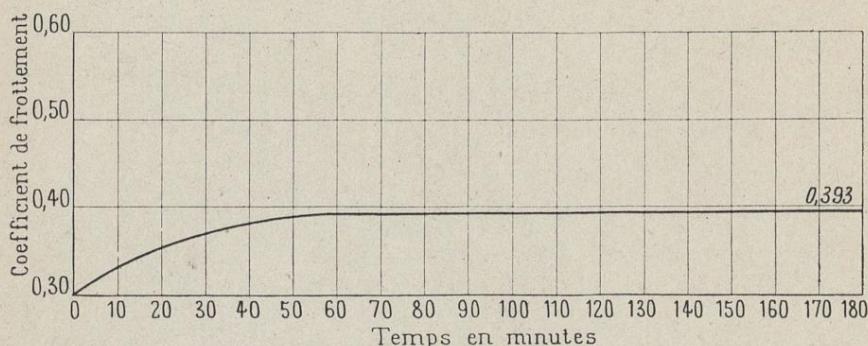


Fig. c. — Diagramme de l'expérience du 21 octobre 1927.

L'appareil, fixé sur une plateforme, était accouplé directement, par joint élastique, avec une dynamo-dynamométrique de 5 kilowatts fonctionnant comme moteur et permettant la mesure directe du couple de frottement.

Essai. — L'essai a été fait conformément aux indications données par le demandeur.

Deux morceaux semblables de la garniture à essayer, de 60 millimètres de long, ont été fixés chacun par deux vis sur les sabots du frein.

L'essai a été fait dans les conditions suivantes :

Vitesse de rotation de la poulie 800 tours/minute

Pression sur la garniture 1 kg./cm²

Température de l'eau de refroidissement 50° C.

Toutes les cinq minutes on notait :

a) La vitesse de rotation de la poulie mesurée avec un compte-tours à main étalonné ;

b) Le couple de frottement mesuré par les poids accrochés à l'extrémité du bras de levier de la dynamo-dynamométrique ;

c) L'indication du dynamomètre ;

d) La température de sortie de l'eau de refroidissement.

L'épaisseur des garnitures a été mesurée avant l'essai, après une demi-heure de marche et à la fin de l'essai.

Le poids a été pris avant et après l'essai.

Résultats. — Les résultats déduits des mesures effectuées ont permis de tracer la courbe moyenne (fig. c) du coefficient de frottement en fonction du temps de marche.

Sur cette courbe ont été relevées les valeurs données dans le tableau ci-après :

Dans les calculs, il n'a pas été tenu compte des frottements, négligeables, de l'arbre de la poulie dans les roulements à billes le supportant.

Date de l'essai : 21 octobre 1927.

Durée totale de marche : 3 heures.

Vitesse moyenne de rotation de la poulie : 800 tours/minute.

Pression moyenne exercée sur la garniture : 1 kg/cm².

Température moyenne de l'eau de refroidissement à la sortie de la poulie : 50 degrés C.

Temps de marche en minutes	10	20	30 (1)	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
Coefficient de frottement sur la courbe moyenne	0,335	0,356	0,372	0,382	0,388	0,393	0,393	0,393	0,393	0,393	0,393	0,393	0,393	0,393	0,393	0,393	0,393	0,393
(1) Arrêt pour mesure de l'épaisseur																		
Épaisseur de la garniture (moyenne pour les 2 morceaux)																		
avant l'essai																		5,11 mm.
après 1/2 heure de marche.																		5,03 mm.
après 3 heures de marche.																		4,95 mm.
usure après 1/2 heure de marche																		0,08 mm.
usure après 3 heures																		0,16 mm.
avant l'essai																		22,230 gr.
après 3 heures de marche																		21,935 gr.
usure en 3 heures																		0,295 gr.

MESURE DES PERTES DES CALORIFUGES A HAUTE TEMPÉRATURE

Les essais des enveloppes ou revêtements calorifuges ont fait l'objet du bulletin n° 7 publié en 1905. Nous ne reviendrons pas sur la description du principe de la méthode de mesure, nous renverrons le lecteur à ce numéro du bulletin. Le procédé actuellement mis en usage est le même, la seule différence consiste dans l'élimination de l'influence des extrémités des tubes d'essais et dans un mode de suspension rationnel pour éviter les pertes de chaleur par conductibilité des organes de suspension des tubes expérimentaux ; ainsi que l'incertitude due aux extrémités des tubes.

Affranchissement de l'influence des extrémités. — Le dispositif consiste à opérer sur deux tubes rigoureusement semblables : l'un de 1 mètre et l'autre de 2 mètres de longueur.

Il est évident que les pertes calorifiques du tube de 1 mètre seront égales à :

(1) Pertes sur 1 mètre + pertes par les deux extrémités. Celles du tube de 2 mètres seront égales à ;

(2) Pertes sur 2 mètres + pertes par les deux extrémités.

Si nous retranchons (1) de (2) il nous restera les pertes calorifiques sur un mètre courant.

Ces pertes sont, comme la chose est exposée dans le bulletin n° 7, comparées à celles du tube nu, c'est-à-dire non revêtu de calorifuge.

Les tubes d'essai sont en acier doux au lieu d'être en cuivre électrolytique. Nous ajouterons enfin que l'équipement du chauffage des tubes par résistances électriques et les dispositions générales de l'appareil sont prévues pour essayer des calorifuges pour vapeur surchauffée et que l'on peut atteindre des températures de 400° ou 500° centigrades.

Ce dispositif permet encore de déterminer le coefficient de conductibilité du matériau calorifuge en opérant sur le tube de deux mètres et en faisant les lectures des températures intérieures et extérieures des surfaces du calorifuge avec des couples convenablement disposés. On opère sur un mètre de longueur les deux extrémités de 0 m. 50 restantes servant d'anneaux de garde. On applique alors la formulé :

$$K = \frac{0,595 EI \log_v \frac{d_e}{d_i}}{t_1 - t_2}$$

dans laquelle R est le coefficient de conductibilité, d_e et d_i les diamètres extérieur et intérieur du calorifuge, E la différence de potentiel en volts aux extrémités de un mètre et I l'intensité en ampères du courant de chauffage.

ESSAI DES MARTEAUX PNEUMATIQUES

Après une étude générale de la question nous avons, à la suite d'expériences nombreuses, adopté la méthode d'écrasement de *Crushers* employée aux *Mines de Marles* à Auchel et mise au point par MM. DE CHAUMONT, ingénieur divisionnaire et GODDET, ingénieur, attachés au service du fond de ces mines.

Nous ne ferons pas ici une revue de toutes les méthodes d'essai qui ont échoué pour ce genre de machine. Nous ne parlerons que de celle de l'écrasement de crushers que M. Frémont expose aussi dans son volume *Le Marteau, 1923*.

La méthode des crushers, décrite dans le *Bulletin de l'Industrie Minérale*, n° 23 du 15 décembre 1926 et utilisée aux Mines de Marles en vue d'un concours de marteaux piqueurs, est la suivante. Elle comprend trois étapes bien distinctes :

A) On fait fonctionner le marteau sur un banc d'essai afin de tracer sur un tambour à noir de fumée le mouvement de la masse frappante. Il suffit de monter sur le piston du marteau une aiguille qui inscrira sur le tambour une parabole puisque le mobile (piston) se déplace sous un effort constant, au moins pendant la course de frappe.

Avec un diapason on enregistrera le temps sur le même tambour.

On aura ainsi :

a) Le nombre de coups frappés par minute par le marteau ;

b) La vitesse d'impact, en menant la tangente à la parabole (voir graphique joint, fig. d) au point d'impact.

B) Ayant la vitesse d'impact du marteau on fera, au mouton, un tarage des crushers avec cette même vitesse d'impact. On fera ensuite travailler le marteau sur les mêmes crushers et, en mesurant leur écrasement dans un temps déterminé, on aura le travail correspondant fait par le marteau d'où la puissance du marteau.

C) Enfin on mesurera la consommation du marteau en le faisant travailler, comme en service courant, par exemple sur une pièce de bois ou tout autre matériau suivant le cas. Cette expérience durera environ 10 minutes pendant lesquelles on s'efforcera d'enregistrer la vitesse par inscription du son que produit le marteau au travail. Il sera intéressant de comparer la vitesse ainsi enregistrée à celle obtenue pendant la première expérience (vitesse d'impact).

DISPOSITIF POUR DÉTERMINER LA VITESSE D'IMPACT

DESCRIPTION DES APPAREILS DE MESURE. — Sur la figure (e) ci-dessous nous voyons le marbre M sur lequel le marteau est fixé par les deux lunettes A et B de manière que l'axe du marteau soit dans une position rigoureusement paral-

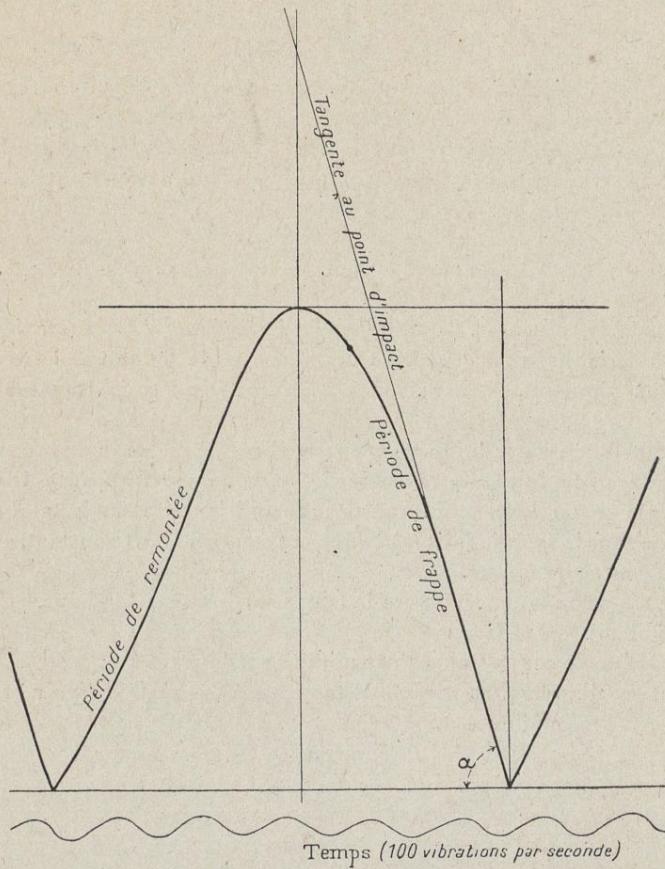


Fig. d.

lèle aux génératrices du cylindre enregistreur. Une cornière de choc *c* reçoit le coup et arrête la masse frappante. Les réactions du marteau sont absorbées par une barre passant dans sa poignée et fixée par deux tirants à la lunette arrière. Le cylindre enregistreur *D* est d'un diamètre d'environ 0 m. 60; il est actionné par courroie et poulie au moyen d'un petit moteur électrique permettant de régler sa vitesse afin d'obtenir un diagramme convenable (voir fig. *d*).

Le diagramme s'enregistre sur un papier au noir de fumée tendu et collé sur le tambour, par l'intermédiaire d'une aiguille vissée dans la masse frappante. On enregistre également le temps sur ce même tambour avec un relai commandé par un diapason que l'on aperçoit sur la figure (e) en E.

L'enregistrement des courbes se fait sur un tour complet du cylindre enregistrateur. Un dispositif spécial N permet de relever le cylindre au moment voulu pour l'amener au contact de l'aiguille. On dépouille les résultats, après fixation

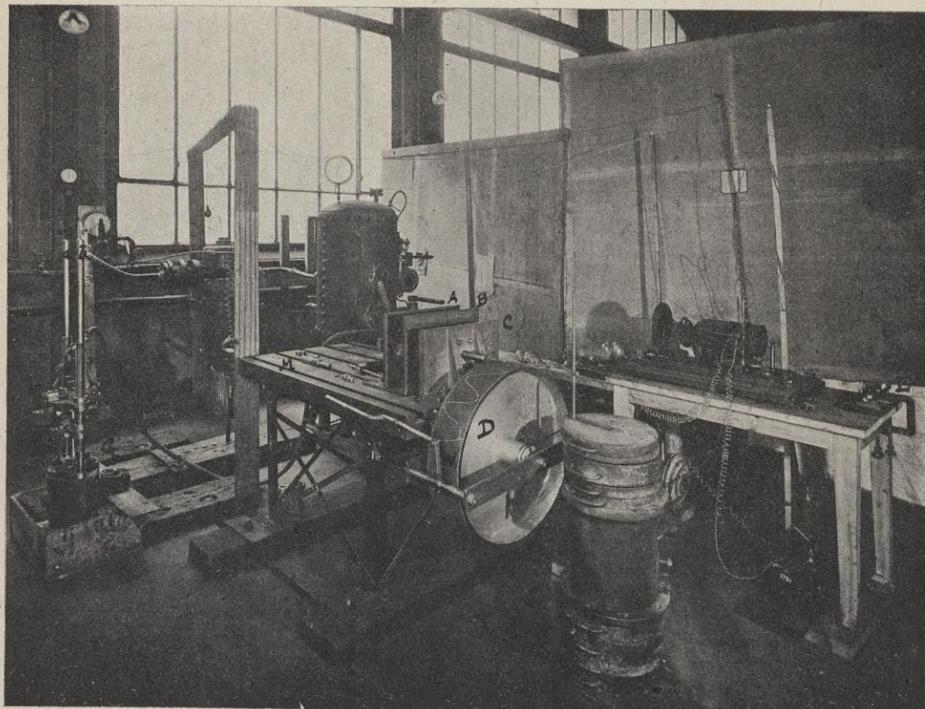


Fig. e. — Appareillage pour l'essai des marteaux pneumatiques.

du diagramme, par quart de circonference. La vitesse d'impact est la tangente à la courbe au point de frappe. On peut quelquefois la tracer par la méthode de la sous-tangente mais en général il vaut mieux le faire en cherchant la convergence des deux points de la sécante.

Appareil pour l'écrasement des crushers. — Cet appareil, visible en G sur la figure (e) se compose d'un équipement, sorte de chariot à deux lunettes, dans lequel on fixe le marteau ; le chariot peut monter et descendre suivant les deux arbres guides *a* et *b* de manière à encaisser avec une certaine élasticité les réac-

tions du marteau, lequel du reste est rendu solidaire de l'équipement par une attache élastique (m) en câble d'acier. Le chariot est chargé de poids de manière à faire travailler le marteau avec une pression aussi voisine que possible de celle qu'exercerait un ouvrier le tenant à la main.

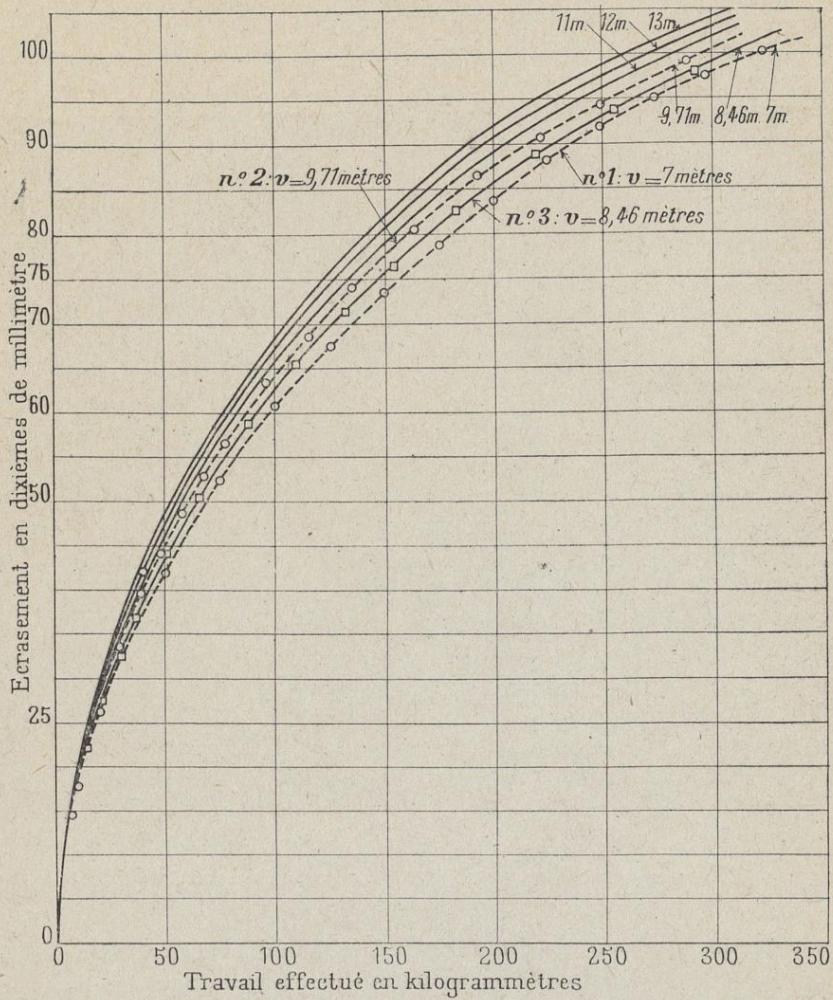


Fig. f. — Essais de marteaux pneumatiques. Tarage des crushers bien recuits (6 et 7/8/30).

La base de l'appareil est une enclume portant à sa partie supérieure une alvéole dans laquelle on place le crusher à écraser. Le marteau agit sur ce dernier par l'intermédiaire d'une chasse dont le poids est le même que celui de l'aiguille à piquer le charbon, par exemple.

On fait marcher le marteau pendant dix secondes. On mesure la consommation d'air à l'aide d'un compteur de débit instantané type Ingersoll Rand et, autant que faire se peut, la vitesse du marteau par la méthode stroboscopique ou celle du son. On retire le crusher de son alvéole et on mesure son écrasement. On érase successivement 3 crushers de manière à obtenir une moyenne.

Pour chiffrer le travail résultant de l'écrasement des crushers il y a lieu de tarer ces derniers au mouton pour différentes vitesses d'impact de manière à lire le travail du marteau sur la courbe correspondant à la vitesse d'impact donnée par l'expérience précédente.

Courbes de tarage des crushers. — Ces courbes s'obtiennent à l'aide d'un mouton que l'on fait tomber de différentes hauteurs de manière à encadrer la vitesse d'impact du marteau par les vitesses d'impact obtenues au tarage. La figure (f) nous montre une série de courbes obtenues pour des vitesses d'impact comprises entre 7 et 13 mètres. On voit qu'avec des crushers recuits avec grand soin elles ne sont pas très différentes les unes des autres, cependant il faut absolument tenir compte des écarts qu'elles présentent entre elles. Sur des crushers non recuits ou mal recuits elles différeraient beaucoup plus les unes des autres. Enfin il faut noter que la frappe sur les crushers tarés au mouton doit se faire par l'intermédiaire d'une chasse pour se placer dans la même situation que celle du marteau travaillant sur son crusher.

Dispositif pour le travail normal du marteau. — Enfin on fait une troisième et dernière expérience pour se rapprocher autant que possible du travail du marteau en service courant. S'il s'agit de marteaux piqueurs on travaillera sur une matière analogue au charbon ou bien sur une bille de bois; on pourra aussi, pour des marteaux perforateurs, travailler sur un bloc de granit ou de pierre moins dure. Ce sont là des cas d'espèce.

On fait travailler le marteau pendant une dizaine de minutes et l'on mesure sa consommation à l'aide d'un compteur totalisateur, par exemple un compteur d'air P. A. C. de la Compagnie des Compteurs. On mesure également la vitesse du marteau ou nombre de coups frappés avec un stroboscope ou par la méthode du son.

Nous donnons dans ce qui suit les modèles de procès-verbaux relatifs à ces trois étapes bien distinctes A, B et C : vitesse d'impact, écrasement des crushers et travail normal dans la pratique d'emploi du marteau.

Procès-verbal A, n° 1

Demandeur X

27 mai 1929.

ESSAI SUR UN MARTEAU PNEUMATIQUE

Désignation de l'appareil. — L'appareil soumis à l'essai était un marteau pneumatique dit « Marteau piqueur » ayant les caractéristiques principales suivantes :

Numéro du marteau	I
Poids total du marteau	7,450 kg.
Poids du piston seul	0,542 kg.
Poids du piston muni du style traceur	0,612 kg.

But de l'essai *Mode opératoire* } comme P.-V. n° 3.

Résultats. — Les résultats obtenus sont notés dans le tableau suivant :

	5	3
Pression de fonctionnement du marteau en kg/cm ² .		
Course du piston enregistrée sur les diagrammes en mm	104,5 à 106,5	105 à 106,5
Nombre de coups frappés par minute :		
Pendant le 1 ^{er} quart de rotation du tambour . . .	1.492	1.191
» 2 ^e » » » » . . .	1.492	1.212
» 3 ^e » » » » . . .	1.500	1.207
» 4 ^e » » » » . . .	1.515	1.189
Nombre de coups frappés par minute (moyenne) . .	1.500	1.200
Vitesse d'impact en mètres/seconde :		
Pendant le 1 ^{er} quart de rotation du tambour . . .	9,94	7,07
» 2 ^e » » » » . . .	10,61	7,24
» 3 ^e » » » » . . .	9,67	7,06
» 4 ^e » » » » . . .	10,25	6,89
Vitesse d'impact moyenne	10,12	7,06
Consommation d'air instantanée en litres/minute (1)	1.550	654

(1) Le compteur d'air fera l'objet d'un tarage ultérieur.

Vu :

Le directeur du Laboratoire d'Essais.

Le chef de Service Principal
des Essais de Machines.

Procès-verbal A, n° 2.

Demandeur X

27 mai 1929

ESSAI SUR UN MARTEAU PNEUMATIQUE

Désignation de l'appareil. — L'appareil soumis à l'essai était un marteau pneumatique dit « Marteau piqueur » ayant les caractéristiques principales suivantes :

Numéro du marteau	2
Poids total du marteau	7,410 kg.
Poids du piston seul	0,542 kg.
Poids du piston muni du style traceur.	0,612 kg.

But de l'essai } comme P.-V. n° 3.
Mode opératoire }

Résultats. — Les résultats obtenus sont notés dans le tableau suivant :

Pression de fonctionnement du marteau en kg/cm ² .	5	3
Course du piston enregistrée sur les diagrammes en mm	118 à 122,5	113 à 115
Nombre de coups frappés par minute :		
Pendant le 1 ^{er} quart de rotation du tambour	1.426	1.192
» 2 ^e » » »	1.469	1.197
» 3 ^e » » »	1.474	1.191
» 4 ^e » » »	1.484	1.206
Nombre de coups moyen par minute.	1.464	1.196
Vitesse d'impact en mètres par seconde :		
Pendant le 1 ^{er} quart de rotation du tambour	9,43	7,95
» 2 ^e » » »	9,87	7,34
» 3 ^e » » »	9,77	7,56
» 4 ^e » » »	9,38	7,53
Vitesse d'impact moyenne	9,61	7,60
Consommation instantanée d'air en litres/minute .	1.150	592

Vu :

Le directeur du Laboratoire d'Essais.

*Le chef de Service Principal
des Essais de Machines.*

Procès-verbal A, n° 3.

Demandeur X

ESSAI SUR UN MARTEAU PNEUMATIQUE

Désignation de l'appareil. — L'appareil soumis à l'essai était un marteau pneumatique dit *Marteau piqueur* ayant les caractéristiques principales suivantes :

Numéro du marteau	3
Poids total du marteau	7,570 kg.
Poids du piston seul	0,537 kg.
Poids du piston muni du style traceur	0,607 kg.

But de l'essai. — L'essai avait pour but de déterminer :

- 1^o La vitesse d'impact du marteau ;
- 2^o Le nombre de coups frappés par minute ;
- 3^o La consommation d'air.

Mode opératoire. — L'essai a été effectué au Laboratoire d'Essais du Conservatoire National des Arts et Métiers le 14 janvier 1930.

L'appareil était monté sur une table munie d'une plateforme à rainures portant deux lunettes à vis calantes, de manière à fixer horizontalement le marteau et à placer son axe dans une position rigoureusement parallèle aux génératrices d'un cylindre enregistreur à noir de fumée sur lequel le style venait tracer le mouvement du piston pendant la marche du marteau.

Le piston, par l'intermédiaire d'une fausse aiguille, vient frapper sur une cornière de choc déterminant l'arrêt du piston au point précis de la frappe. Les vis calantes des lunettes ne doivent pas être serrées de manière à éviter toute déformation du cylindre du marteau, et les réactions axiales de ce dernier sont absorbées par une barre passée dans sa poignée et réunie à la lunette arrière par deux tirants. Sur la cornière de choc vient prendre appui la fausse aiguille du marteau.

Le tambour enregistreur se meut à une vitesse telle que l'inscription du diagramme soit convenable ; en face du style traceur s'inscrivent les vibrations d'un diapason qui donne le temps avec précision.

La mesure de la vitesse d'impact est donnée par la tangente à la courbe au point de frappe.

La vitesse du marteau résulte du nombre d'ondulations enregistrées pendant le temps donné par le diapason.

Résultats. — Les résultats obtenus sont notés dans le tableau suivant :

	5	3
Pression de fonctionnement du marteau en kg/cm ² .		
Course du piston enregistrée sur les diagrammes en mm	102 à 106	105 à 117
Nombre de coups frappés par minute :		
Pendant le 1 ^{er} quart de rotation du tambour	1.454	1.145
» 2 ^e » » »	1.454	1.145
» 3 ^e » » »	1.446	1.145
» 4 ^e » » »	1.446	1.154
Vitesse moyenne	1.450	1.147
Variation de la pression pendant la durée d'enregistrement du diagramme	a baissé d'environ 200 grammes	constante
Vitesse d'impact en mètres par seconde :		
Pendant le 1 ^{er} quart de rotation du tambour	12,42	6,81
» 2 ^e » » »	11,46	7,29
» 3 ^e » » »	11,16	7,70
» 4 ^e » » »	10,65	7,49
Vitesse moyenne d'impact	11,42	7,32
Consommation instantanée en litres/minute	»	817

Vu :

Le directeur du Laboratoire d'Essais.

*Le chef de Service Principal
des Essais de Machines.*

Procès-verbal B n° 1 de l'essai n°

Demandé par

Enregistré le

ESSAI SUR UN MARTEAU PNEUMATIQUE

Désignation du marteau :

Numéro du marteau	1
Poids total du marteau	7,450 kg.
Poids du piston seul	0,542 kg.
Poids de la chasse	kg.

But de l'essai. — L'essai avait pour but de mesurer le travail produit par le marteau fonctionnant sous une pression d'air déterminée.

Mode opératoire. — La méthode consiste à faire écraser par le marteau des crushers en cuivre, convenablement recuits, dont le tarage a été fait au mouton, avec une vitesse d'impact correspondant à celle du piston du marteau.

On mesure également le temps pendant lequel fonctionne le marteau et, le plus souvent, la vitesse de ce dernier ; quelquefois on admet que cette vitesse est la même que celle mesurée pendant l'essai ayant fait l'objet du procès-verbal A.

Dans le cas où l'on fait la mesure directe de la vitesse on opère avec un stroboscope ou avec un appareil enregistreur de son.

Résultats. — Les résultats ainsi obtenus sont les suivants :

Dates de l'essai : 10 et 15 février 1930.				
Poids de l'équipement supportant le marteau	"	kg.		
Charge supplémentaire	"	kg.		
<i>Poids total</i> chargeant le marteau	"	kg.		
Pression de fonctionnement du marteau (air comprimé)	3	5	kg/cm ²	
Nombre de coups frappés { mesuré directement	1.185			
par minute { d'après le p. v. A.	1.200	1.500		
	1 ^{er} crusher	4,21	7,13	mm.
Ecrasement des crushers { 2 ^e crusher	4,38	7,46	mm.	
	3 ^e crusher	3,93	7,69	mm.
Ecrasement moyen	4,17	7,43	mm.	
Vitesse d'impact (d'après le p. v. A.)	7,06	10,12	m/s	
Travail du marteau pendant 10 secondes	50,0	134	kg. m.	
Puissance de choc (travail par seconde)	5,0	13,4	kg. m/s	
Travail par coup (d'après vitesse du p. v. A.)	0,250	0,536	kg. m.	
Consommation d'air pendant la durée de la frappe (air détendu)			m ³	
Consommation par minute (air détendu)	0,633	0,995	m ³	

Procès-verbal B, n° 3 de l'essai n°
Demandé par

Enregistré le

ESSAI SUR UN MARTEAU PNEUMATIQUE

Désignation du marteau :

Numéro du marteau	3
Poids total du marteau	7,570 kg.
Poids du piston seul	0,537 kg.
Poids de la chasse	kg.

But de l'essai. — L'essai avait pour but de mesurer le travail produit par le marteau fonctionnant sous une pression d'air déterminée.

Mode opératoire. — La méthode consiste à faire écraser par le marteau des crushers en cuivre convenablement recuits, dont le tarage a été fait au mouton avec une vitesse d'impact correspondant à celle du piston du marteau.

On mesure également le temps pendant lequel fonctionne le marteau et, le plus souvent la vitesse de ce dernier ; quelquefois on admet que cette vitesse est la même que celle mesurée pendant l'essai ayant fait l'objet du procès-verbal A.

Dans le cas où l'on fait la mesure directe de la vitesse on opère avec un stroboscope ou avec un appareil enregistreur de son.

Résultats. — Les résultats ainsi obtenus sont les suivants :

Date de l'essai : 19 février 1930.

Poids de l'équipement supportant le marteau	»	kg.
Charge supplémentaire	»	kg.
<i>Poids total</i> chargeant le marteau	»	kg.
Pression de fonctionnement du marteau (air comprimé)	3	5
Nombre de coups frappés { mesuré directement		kg/cm ²
par minute { d'après le p. v. A.	1.147	1.450
1 ^{er} crusher	4,29	7,87
2 ^e crusher	4,24	7,74
3 ^e crusher	4,06	7,71
Ecrasement moyen	4,20	7,77
Vitesse d'impact (d'après le p. v. A.)	7,32	11,42
Travail du marteau pendant 10 secondes	49	142
Puissance de choc (travail par seconde)	4,9	14,2
Travail par coup (d'après vitesse du p. v. A.)	0,256	0,588
Consommation d'air pendant la durée de la frappe (air détendu)		m ³
Consommation par minute (air détendu)	0,625	0,990

Procès-verbal C, n° 3.

Le 1929.

ESSAI SUR UN MARTEAU PNEUMATIQUE

Désignation de l'appareil :

Numéro du marteau	3
Poids total du marteau	7,57 kg.
Poids du piston	0,537 kg.
Poids de l'outil (aiguille ou chasse)	kg.

But de l'essai. — L'essai avait pour but de mesurer la consommation du marteau en travail normal sur :

Mode opératoire. — Le marteau, tenu à la main par un ouvrier, travaille sur une pièce de bois pendant un temps assez long pour permettre de lire une consommation d'environ 500 litres sur un compteur totalisateur. La lecture est également faite sur un compteur de débit instantané :

Durée de l'essai	4 mn. 4 s.
Consommation d'air en litres à la pression de l'expérience	500 litres
Consommation par minute en air détendu	713 lit. 4
Vitesse du marteau	

*Le chef de Service Principal
Service des Essais de Machines.*

VU :

Le Directeur du Laboratoire d'Essais.

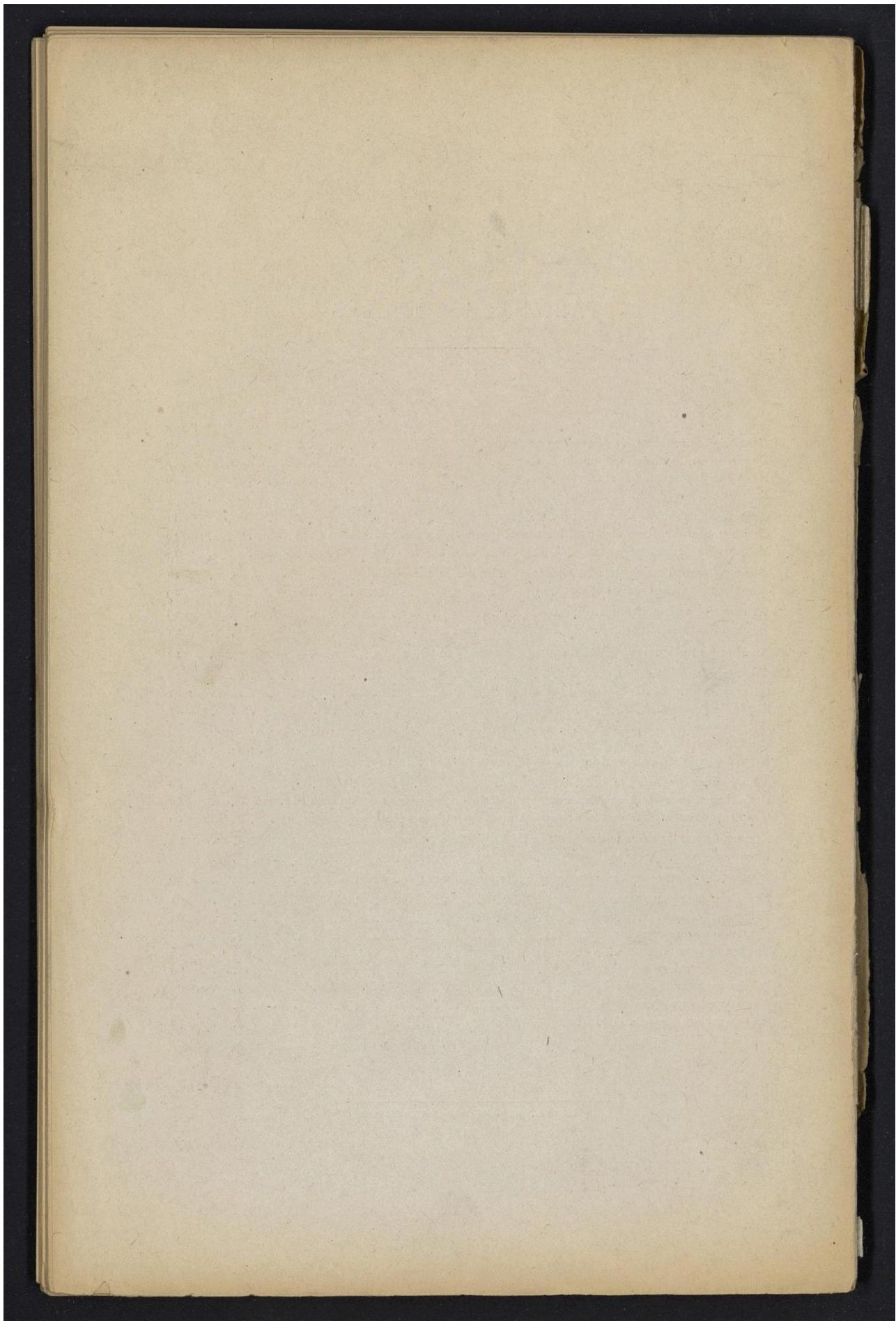
TABLE DES MATIÈRES

	Pages
<i>Essai des chaudières de chauffage central</i>	2
Description de la salle d'essais	4
Résultat des essais	6
Exemple d'essai	7
<i>Essais des radiateurs</i>	11
Courbes comparatives des coefficients K pour différents radiateurs	13
Modèles de procès-verbaux	14
<i>Appareil pour l'essai des roulements à billes et des coussinets</i>	19
Modèle de procès-verbal	19
<i>Tarage des anémomètres</i>	23
Tube de Pitot-Darcy	25
Abaque pour le calcul de K dans la formule $V = K\sqrt{h}$	27
<i>Tarage des orifices</i>	29
Détermination du coefficient de débit d'un orifice	31
Etude de Rateau	32
Micromanomètre	34
Cloche équilibrée	34
Essais sur la détermination des coefficients de débit de tuyères	36
<i>Expériences de freinage</i>	40
Graphiques relatifs à ces expériences. Courbes des espaces parcourus (fig. 1 à 5)	47
Graphiques relatifs à des courbes des vitesses et des accélérations (fig. 6)	52
<i>Appareil pour la mesure des coefficients de frottement de garnitures de frein</i>	54
Exemple de procès-verbal	59
<i>Mesure des pertes des calorifages à haute température</i>	60
<i>Essai des marteaux pneumatiques</i>	61
Vitesse d'impact	62
Ecrasement des crushers	63
Tarage des crushers	64
Travail normal en service	65
Procès-verbaux d'essais A	66
Procès-verbaux d'essais B	70
Procès-verbal d'essais C	72

LAVAL. IMPRIMERIE BARNÉOUD.

73





Droits réservés au [Cnam](#) et à ses partenaires