

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)
VOLUME TÉLÉCHARGÉ	
	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)
	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° 7 - Tome I (1905-1906)
Adresse	Paris : Librairie Polytechnique Ch. Béranger, éditeur, 1906
Collation	1 vol. (30 p.-2 p. de pl.) : ill. ; 25 cm
Nombre de vues	38
Cote	CNAM-BIB P 1329-A (7)
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.7

P13.29-A

8° Km 107 (b3)

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

DU
CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS

N^o 7. — Tome I (1905-1906).

MANIÈRE DE MESURER LES PERTES DE CHALEUR
DES
ENVELOPPES CALORIFUGES

Quelques résultats d'essais faits au Laboratoire

PAR

M. BOYER-GUILLOU

Chef de la Section des Machines

et MM. AUCLAIR et LAEDLEIN

Assistants

REMARQUE SUR LA DYNAMO DYNAMOMÉTRIQUE
PANHARD ET LEVASSOR

PAR

M. J. AUCLAIR

PARIS

LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE CH. BÉRANGER, ÉDITEUR

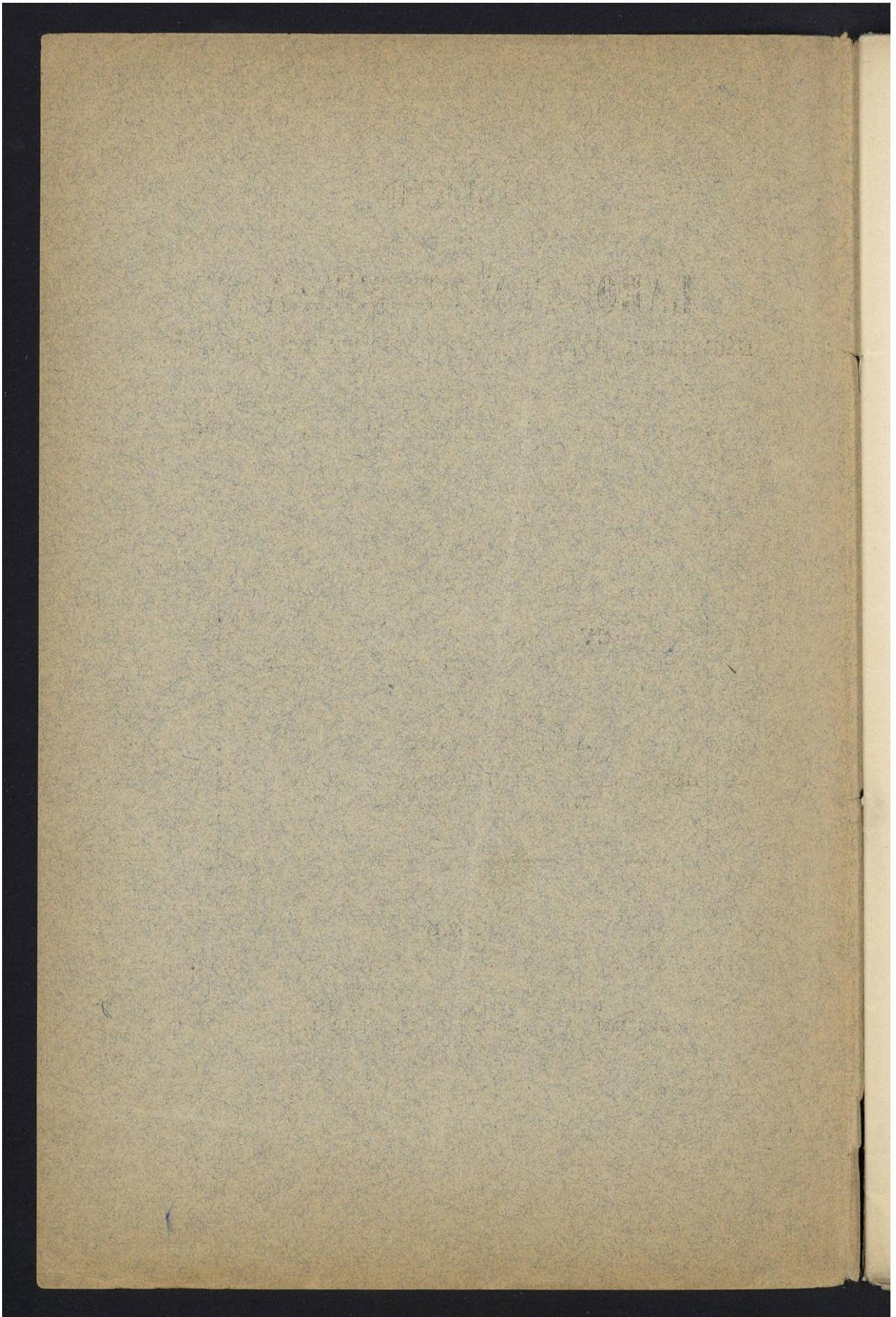
Successeur de BAUDRY & Cie

15, RUE DES SAINTS-PÈRES, 15

MÊME MAISON A LIÈGE, 21, RUE DE LA RÉGENCE

1906

Tous droits réservés



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

8^o Kuntot (103)

MANIÈRE DE MESURER LES PERTES DE CHALEUR

DES

ENVELOPPES CALORIFUGES

Quelques résultats d'essais faits au Laboratoire

PAR

M. BOYER-GUILLO

Chef de la Section des Machines

et **MM. AUCLAIR et LAEDLEIN**

Assistants

ANNALES DE LA MÉTALLURGIE ET DES MÉTIERS DU GOUVERNEMENT
DU BRÉSIL
REVUE QUARTAISE DE SCIENCE ET D'INDUSTRIE
ÉDITÉE PAR LE GOUVERNEMENT FEDÉRAL
PAR L'INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

W. BOECKER+GILLIG
QUAI DE LA CONCORDE PARIS VI^e

de MM. AUGUSTE ET FÉDÉRIK
BOECKER



MANIÈRE DE MESURER LES PERTES DE CHALEUR

DES

ENVELOPPES CALORIFUGES

Quelques résultats d'essais faits au Laboratoire

PAR

M. BOYER-GUILLOU

Chef de la Section des Machines

et MM. AUCLAIR et LAEDLEIN

Assistants

Avant-propos

Les essais qui font l'objet de cette note ont été décrits déjà sommairement dans un article du *Génie civil* du 28 mai 1904. Nous nous sommes proposé en les poursuivant de définir une méthode d'essai propre à caractériser les enveloppes calorifuges de tuyauterie de vapeur.

Mais il ne faut pas voir dans cette étude ni dans le tableau général qui réunit sur une même planche l'ensemble de nos essais une idée de classement entre les divers calorifuges expérimentés. En effet ces enveloppes sont d'épaisseur très variable. Les unes ont 15 mm. alors que les autres ont jusqu'à 65 mm. d'épaisseur ; il est dès lors bien évident qu'il était impossible de les classer entre elles. En outre un classement judicieux devrait encore tenir compte des qualités de durée de la matière calorifuge, de son incombustibilité, de la facilité de pose, du coût de la matière, etc. ; toutes choses que nous avons laissées de côté dans nos essais.

Tel calorifuge excellent dans un cas peut devenir détestable dans un autre. Il appartient à chacun de faire choix du calorifuge répondant au but qu'il s'est proposé d'atteindre. Par exemple, dans le cas de la valeur surchauffée on prendra un calorifuge peut être plus coûteux, mais dont la qualité première sera

Le Laboratoire d'Essais ne prend pas la responsabilité des opinions scientifiques techniques soutenues par ses collaborateurs.

L'incombustibilité. Pour revêtir une tuyauterie parcourue par la vapeur saturée au contraire on pourra se contenter d'un calorifuge qui ne résisterait pas aux très hautes températures, mais dont la pose sera facile et économique, etc.

Les enveloppes calorifuges examinées sont constituées en général par une ou plusieurs couches, homogènes ou non, de matériaux mauvais conducteurs de la chaleur, recouvertes d'une enveloppe protectrice : peinture, toile goudronnée ou silicatee, etc. Chacun de ces calorifuges constitue par suite un ensemble complet caractérisé non seulement par le choix des matériaux constitutifs, mais encore par leur agencement particulier.

Leur efficacité ne peut donc pas être définie par un coefficient de conductibilité dont la notion est inséparable de celle d'une substance homogène, mais par un coefficient de perte totale.

Ce coefficient sera la quantité de chaleur perdue pendant une heure par une longueur déterminée d'une tuyauterie particulière revêtue du calorifuge à expérimenter.

Méthode d'essai

La méthode consiste à maintenir une longueur déterminée de conduite calorifugée à une température constante. Cet élément de conduite est chauffé par une résistance intérieure et l'on mesure la quantité d'énergie électrique nécessaire pour maintenir le tube à la température fixée (voir fig. 1 et 2).

Cette quantité d'énergie évaluée en calories, mesure précisément la quantité de chaleur perdue par l'enveloppe calorifuge à expérimenter.

Appareil employé dans ces essais

L'élément de conduite est un tube de cuivre de 1020 mm. de longueur, 70 mm. de diamètre extérieur et 10 mm. d'épaisseur. Il est suspendu au plafond par deux fils d'acier (fig. 1). Les deux extrémités sont fermées par des bouchons de cuivre de même épaisseur que le tube, assez bien ajustés pour qu'aucun courant d'air ne puisse s'établir à l'intérieur.

La résistance chauffant l'intérieur (fig. 2) est formée d'un fil de rhéostatine d'une résistance totale d'environ 10 ohms, isolé à l'amiante et enroulé sur un tube d'acier recouvert de plusieurs couches de papier d'amiante. Ce tube d'acier est fixé aux deux bouchons du tube de cuivre. Les deux extrémités de la résistance chauffante convenablement isolées sortent à travers les deux bouchons du tube.

On a creusé dans l'épaisseur même du tube des cavités remplies de mercure dans lesquelles plongent des thermomètres à très petit réservoir qui indiquent la température du métal constituant le tube ou, à cause de la grande conductibilité de ce métal, la température de la surface elle-même.

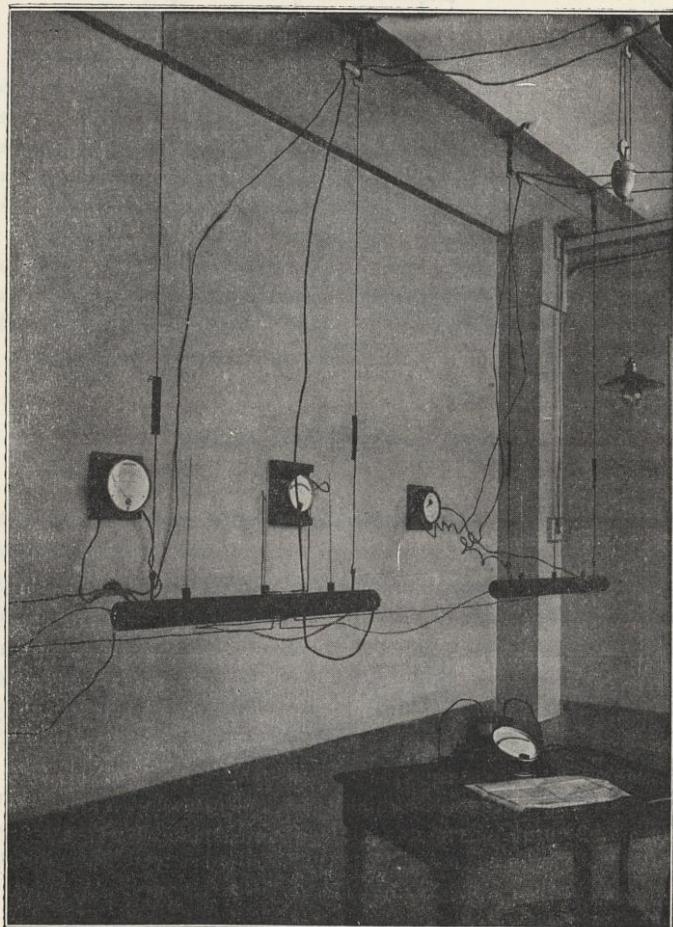


Fig. 1.

En série avec le tube (fig. 2) est un rhéostat R qui permet de régler l'intensité du courant continu traversant le tube; le courant est emprunté à une distribution urbaine à 110 volts; chaque fois que la marche des essais a conduit à

employer de faibles intensités plusieurs tubes étaient placés en série, et si le courant ne devait pas être le même dans tous, le réglage était obtenu par des rhéostats en dérivation.

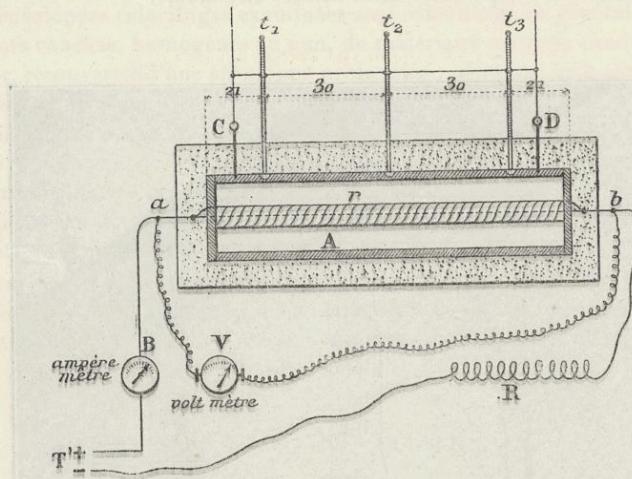


Fig. 2.

Conduite des essais

Le courant est réglé de manière à se rapprocher autant que possible de la température que l'on a en vue. Le tube est alors abandonné à lui-même pendant une nuit entière ou au moins pendant 4 ou 5 heures de manière à rendre absolument stationnaire le régime des températures ; ce n'est qu'à ce moment que commencent les mesures. On lit d'heure en heure et pendant une journée les températures marquées par les thermomètres et l'énergie du courant traversant le tube ; la moyenne des chiffres trouvés constitue une mesure.

A cause des petites variations de voltage du secteur urbain, nous avons été conduits à faire un grand nombre de lectures pour en prendre la moyenne. En effet en opérant ainsi nous sommes certains que la lecture des moyennes d'énergie correspond exactement à la moyenne des températures.

Mesure de l'énergie

Les extrémités de chaque résistance (il y a eu jusqu'à trois tubes en essai simultanément) étaient réunies par des fils de cuivre de 3 mm. de diamètre à deux bornes placées sur la table portant les appareils de mesure.

Un voltmètre et un ampèremètre Richard permettaient de mesurer la différence de potentiel entre les deux bornes de chaque tube d'essai et l'intensité du courant traversant chaque résistance chauffante.

Mesure de la température du tube

Trois thermomètres sont placés sur la génératrice supérieure du tube : l'un exactement au milieu, les deux autres de part et d'autre de celui-ci et à 30 centimètres.

Les lectures de ces thermomètres ont été corrigées de l'erreur résultant de l'émergence de la tige. Pour le calcul de cette correction nous avons admis qu'un thermomètre accolé à la tige, le réservoir à hauteur du milieu de la colonne de mercure, marquait la température moyenne de cette colonne. Cette correction a été assez importante pour que nous ne puissions la négliger.

Pendant tous les essais les indications des trois thermomètres sont demeurées d'accord à moins de 2 ou 3° près. Nous avons admis que la moyenne de leurs lectures donnait la température moyenne du tube.

Discussion de la mesure

A. — La méthode serait rigoureuse si les extrémités des tubes d'essais n'introduisaient pas une perturbation dans la distribution des températures. On conçoit très bien (fig. 3) que les angles $\alpha\beta$ et $\alpha'\beta'$ correspondent à un endroit où la chaleur s'échappe plus facilement, d'où résulte aux extrémités du tube une tem-

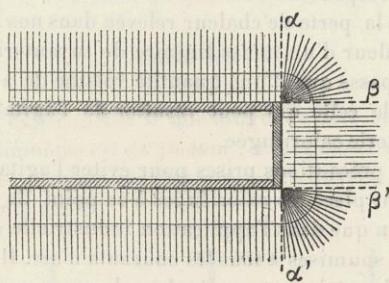


Fig. 3,

pérature plus basse, à laquelle correspond un manque de perte de chaleur, ou, autrement dit, on mesure une quantité de chaleur perdue trop faible. Nous avions pensé pouvoir nous mettre à l'abri de cet inconvénient par l'emploi d'une sphère ; mais sur une telle surface l'application des calorifuges devenait à peu

près impossible ; nous nous sommes donc trouvés dans l'obligation de conserver le tube cylindrique en étudiant quelles perturbations pourraient résulter de l'irrégularité de distribution de la température à ses extrémités.

Nous avons dans ce but implanté en différents points, dans le métal du tube, des couples thermo-électriques. Un au milieu, un sur la génératrice supérieure, un au milieu de la génératrice inférieure, un latéralement à 10 cm. de l'extrémité, un tout près de l'extrémité, un dans le bouchon. Nous n'entrerons pas dans le détail des mesures de températures faites avec ces couples, nous nous contenterons de dire que, poursuivies pendant l'essai du tube nu, et pendant l'essai d'un tube recouvert de calorifuge, elles ont permis de constater que la région troublée ne dépasse pas le 1/5 de la surface totale du tube. En outre nous avons pu constater que l'écart entre la température moyenne relevée aux thermomètres et celle de cette région troublée est, dans le cas du tube nu, inférieure à 15 o/o, et seulement à 10 o/o pour le tube calorifugé.

B. D'un autre côté, si à la surface totale du tube, y compris la région troublée, on ajoute celle des bouchons, on obtient un total qui dépasse de 5,5 o/o la surface d'un mètre linéaire de tuyauterie de 70 mm. de diamètre.

Si nous considérons son effet au point de vue des pertes de chaleur comme équivalant à celui de la surface cylindrique, il serait très vraisemblable d'admettre que si tout le tube était à la même température (marquée par les thermomètres) la perte de chaleur surpasserait dans la même proportion celle d'un mètre de tuyauterie.

La remarque B se traduit donc par une perte de chaleur calculée qui dépasse de 5,5 o/o la chaleur réellement perdue, ou, autrement dit, on mesure une quantité de chaleur perdue trop forte de 5,5 o/o. La remarque A se traduit par une perte de chaleur qui est inférieure de 2 à 3 o/o suivant les cas à la chaleur réellement perdue. Ces deux phénomènes agissant en sens inverse comme on vient de le voir, se compensent l'un l'autre dans une certaine mesure : nous avons donc admis que la perte de chaleur relevée dans nos essais surpassait légèrement la perte de chaleur d'un mètre linéaire de tuyauterie de 70 mm. de diamètre, mais ne la surpassait que d'une quantité voisine de 2 à 3 o/o. Cette différence est de l'ordre de celle qui peut résulter de l'agitation de l'air dans le voisinage de la tuyauterie calorifugée.

Dans nos essais, les précautions prises pour éviter l'agitation de l'air dans le voisinage du tube, ont placé les calorifuges à ce point de vue particulier dans une meilleure situation que dans l'application industrielle où les conduites sont souvent extérieures et soumises à tous les courants d'air. Il nous a donc semblé qu'il était préférable de pécher par excès dans la mesure des chaleurs perdues et nous n'avons pas cru devoir corriger les résultats obtenus.

Résultats

Pour chaque calorifuge essayé nous donnons la description sommaire de sa constitution et la manière de le poser industriellement. Cette description est

suivie d'un tableau en trois colonnes donnant les résultats obtenus. Dans la première colonne on lit les températures relevées pendant les essais; les chiffres portés sont la différence entre la température du tube et celle de la salle d'expérience. Dans la deuxième colonne sont portées les pertes de chaleur correspondantes en calories par heure. Dans le but de rendre les résultats plus faciles à saisir, nous avons calculé les pertes de chaleur de 50 en 50° (colonne 3) par une formule établie à l'aide de la colonne 2. Cette formule est inscrite à la suite de chacun des tableaux.

Enfin dans la dernière colonne nous avons inscrit les chiffres représentant ce que nous avons appelé l'économie.

Economie

Nous appelons économie le rapport $\frac{Q - Q^t}{Q}$, c'est-à-dire la différence des quantités de chaleur perdues par un tube calorifugé et un tube nu placés dans les mêmes conditions, divisée par la quantité de chaleur perdue par le tube nu. C'est évidemment le nombre par lequel il faut multiplier la dépense relative à la perte de chaleur du tube nu pour obtenir l'économie de dépense résultant de l'emploi du calorifuge.

Nous avons réuni tous ces calorifuges sur une même planche dans laquelle chacun est désigné par une lettre prise au hasard permettant de se rapporter à la courbe qui le caractérise. En ordonnées sont portées les températures et en abscisses les pertes de chaleur. Nous répétons ici qu'aucune idée de classement ne doit être attachée à l'examen de cette planche, car ces divers calorifuges sont placés dans des conditions très différentes.

Enfin la dernière planche réunit les différentes courbes d'économies de chaque calorifuge.

Tube nu (A)

Le tube de cuivre expérimenté a une longueur de 1.020 mm. en comprenant les bouchons, son diamètre est de 70 mm., son épaisseur de 10 mm. (fig. 4).

La surface du tube pendant les essais était recouverte d'une couche d'oxyde lui donnant une teinte noire.

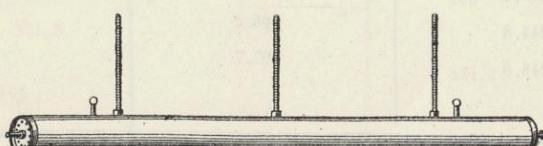


Fig. 4.

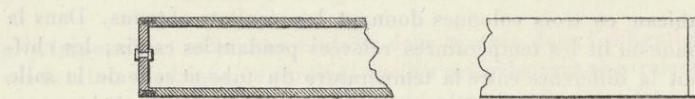


Fig. 4 bi

Résultats des essais du tube nu (A)

Excès de la température du tube sur la température de la salle en degrés centigrades (t)	Pertes de chaleur observées en calories (kilo-degré) par heure	Pertes de chaleur calculées (Q)
50		82,2
62,2	114,8	
83,2	163,4	
100		209,7
102,4	208,5	
115,0	260,7	
121,4	264,8	
140,9	339,0	
150		382,5
150,9	356,0	
152,5	411,0	
166,4	472,2	
170,2	436,7	
175,5	504,6	
178,7	522,3	
192,6	565,4	
200		600,7
201,4	601,2	
211,4	685,6	
230,5	762	
244,8	806,2	
248,6	897,7	
250		864,2

$$\text{Formule } Q = 1,1905 t + 0,009065 t^2$$

Calorifuge air et bourre de soie (B)

Le calorifuge expérimenté est constitué par deux couches d'air et une couche de bourre de soie.

Une première couche d'air de 15 mm. est obtenue en enroulant en hélice sur le tube une lame de tôle perforée, les pointes en dehors, et en recouvrant cette dernière d'une feuille de fer-blanc.

Une deuxième couche d'air est formée de la même manière.

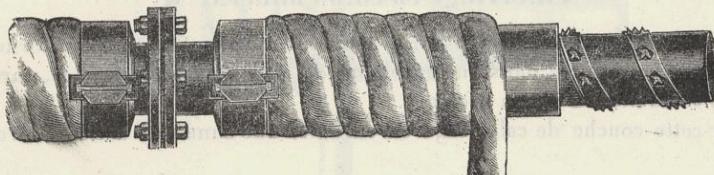


Fig. 5.

Résultats des essais du calorifuge (B)

Excès de la température du tube sur la température de la salle en degrés centigrades (<i>t</i>)	Pertes de chaleur observées en calories (kilo-degrés par heure)	Pertes de chaleur calculées (Q)	Economie
41,2	44,9		
50		24,3	0,74
69,5	32,3		
100		45	0,79
111,8	47,5		
148,9	69,0		
150		74,3	0,81
186,2	91,6		
200		100	0,83
231,6	121,6		
250		131,3	0,85
261	136,9		
300		165	0,86

$$\text{Formule } Q = 0,4 t + 0,0005 t^2$$

Sur la deuxième enveloppe de fer-blanc est enroulée une bande de bourse de soie. Cette bourse de soie est elle-même recouverte d'une toile d'emballage cousue (fig. 5).

L'épaisseur totale de l'enveloppe calorifuge est de 59 mm. de telle sorte qu'il y a environ 25 mm. de bourse de soie.

Les extrémités du tube avaient été garnies exactement de la même manière en employant des disques de tôle perforée au lieu de lames. Leur épaisseur était de 65 mm. Le calorifuge était enduit extérieurement de pâte de Kieselguhr très claire.

Calorifuge en coton minéral (M)

Ce calorifuge est constitué par une bande de section rectangulaire formée de coton minéral bourné dans une enveloppe de toile d'amiante cousue, enroulée en hélice autour du tube à protéger.

Sur cette couche de calorifuge est enroulée une bande de toile goudronnée noire.

Les deux extrémités du tube sont protégées par du coton minéral maintenu par une toile d'amiante.

L'épaisseur du calorifuge sur la surface latérale du tube et sur les bouts est de 32 mm.

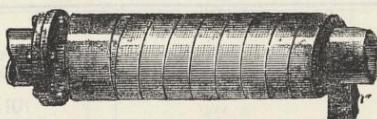


Fig. 6.

Résultats des essais du calorifuge (M)

Excès de la température du tube sur la température de la salle en degrés centigrades (<i>t</i>)	Pertes de chaleur observées en calories (kilo-degré) par heure	Pertes de chaleur calculées (Q)	Economie
100		54,5	0,74
102,4	60,1		
150		90,2	0,76
150,9	82,9		
200		131,5	0,78
204,8	138,1		
246,7	176,5		
250		179,4	0,79

$$\text{Formule } Q = 0,4325 t + 0,001125 t^2$$

Calorifuge air et feutre (P)

Ce calorifuge est constitué par une couche d'air enveloppant le tube. Cette couche d'air est obtenue en enroulant autour du tube une bande de tôle perforée et en plaçant sur celle-ci une feuille de carton d'amiante.

Sur cette feuille est enroulée une bande de feutre.

Cette bande de feutre est recouverte de toile imprégnée d'un enduit gras pour la rendre imperméable.

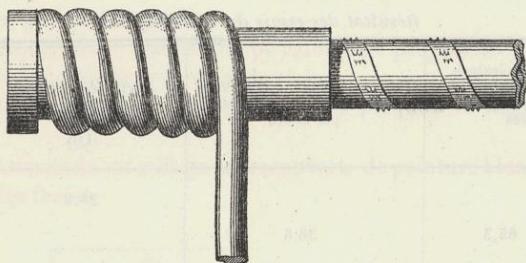


Fig. 7.

Résultats des essais du calorifuge (P)

Excès de la température du tube sur la température de la salle en degrés centigrades (t)	Pertes de chaleur observées en calories (kilo-degré) par heure	Pertes de chaleur calculées (Q)	Economie
100		55,2	0,74
103,8	56,5		
107,2	60,8		
127,5	77,3		
150		92,4	0,76
159,8	102,4		
180,3	117,2		
198,6	132,7		
200		135,1	0,77
217,8	151,6		
250		184,2	0,79
257,6	189,5		

$$\text{Formule } Q = 0,4295 t + 0,00123 t^2$$

Les bouts du tube sont protégés par du mastic d'amiante.

Epaisseur de la couche d'air	8 mm.
Epaisseur du feutre	22 mm.
Epaisseur des bouts	15 mm.

Essai d'un calorifuge en terre d'infusoires (D)

Pour obtenir cette enveloppe calorifuge le tube de tôle ayant servi pour l'essai du calorifuge enveloppe d'air a été rempli de terre d'infusoires ou Kieselguhr moyennement tassé (Voir figure 15).

Résultat des essais du calorifuge D

Excès de la température du tube sur la température de la salle en degrés centigrades (<i>t</i>)	Pertes de chaleur observées en calories (kilo-degré) par heure	Pertes de chaleur calculées (<i>Q</i>)	Economie
50	36,6	28,9	0,65
	49,4		
100	63,1	61,5	0,70
	78,8		
	80,5		
	85,1		
	100,2		
150	101,4	97,6	0,74
	109,9		
	117,8		
	121,6		
200	148,1	137,2	0,77
	170,1		
	174,2		
250	185,6	180,4	0,79
	225,3		
300		227,0	0,81

$$\text{Formule } Q = 0,544 t + 0,00071 t^2$$

La couche protectrice avait donc une épaisseur de 31 mm. sur la surface latérale, de 50 mm. en bout.

La surface de l'enveloppe calorifuge était formée de tôle brute.

Essai d'un calorifuge liège (E)

Ce calorifuge est formé de douelles en liège naturel taillées à l'intérieur à la demande du tube, planes à l'extérieur.

Ces douelles forment donc une enveloppe calorifuge polygonale.

L'épaisseur des douelles au centre est de 15 mm.

Les deux bouts du tube sont protégés par des plaques de liège taillées de même épaisseur.

La surface extérieure du calorifuge est recouverte de peinture blanche fermant rigoureusement les fentes.

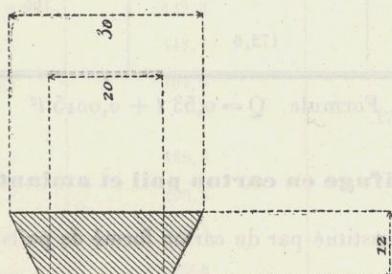


Fig. 8.

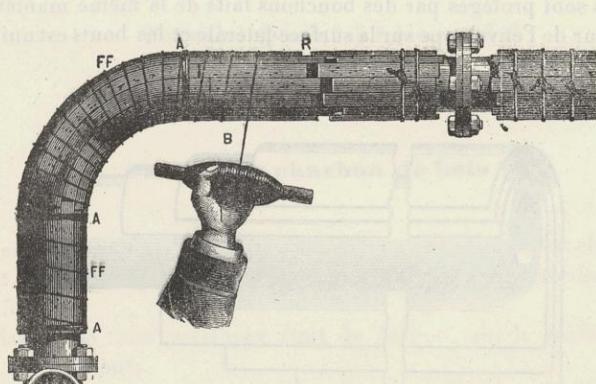


Fig. 8 bis

Résultats des essais du calorifuge E

Excès de la température du tube sur la température de la salle en degrés centigrades (<i>t</i>)	Pertes de chaleur observées en calories (kilo-degré) par heure	Pertes de chaleur calculées (<i>Q</i>)	Economie
50		30	0,63
79,2	47,4		
97	67,7		
100		68	0,68
119,3	90,0		
130		113	0,70
152,6	148,4		
170,5	134,1		
200		166	0,72
204,7	172,6		

$$\text{Formule } Q = 0,53 t + 0,0015 t^2$$

Calorifuge en carton poil et amiante (H)

Ce calorifuge est constitué par du carton formé de poils agglomérés par du ciment d'amiante.

Trois enveloppes de carton rendues plastiques en les humectant d'eau sont moulées sur le tube.

Les bouts sont protégés par des bouchons faits de la même manière.

L'épaisseur de l'enveloppe sur la surface latérale et les bouts est uniformément de 11 mm.

Le calorifuge est enveloppé de lustrine collée sur sa surface.

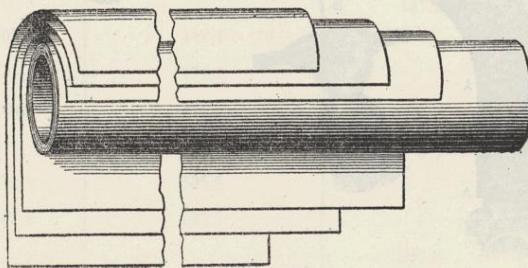


Fig. 9.

Résultats des essais du calorifuge H

Excès de la température du tube sur la température de la salle en degrés centigrades (t)	Pertes de chaleur observées en calories (kilo-degré) par heure	Pertes de chaleur calculées (Q)	Economie
50		34,4	0,58
86,4	65,4		
100		75	0,64
106,7	84,4		
139,0	118,0		
150		121,9	0,68
162,2	139,3		
173,8	148,7		
190,3	164,6		
200		175	0,71
209,9	186,6		
224,0	206,8		
234,4	207,3		
246,6	229,8		
250		234,4	0,73

$$\text{Formule } Q = 0,625 t + 0,00125 t^2$$

Calorifuge charbon de bois (K)

Cette enveloppe calorifuge a été obtenue en remplissant de charbon de bois finement pulvérisé le tube de tôle ayant servi à former l'enveloppe d'air (voir figure 15).

L'épaisseur de cette enveloppe était de 31 mm. sur la surface latérale, de 50 mm. sur les borts.

La surface extérieure de l'enveloppe calorifuge était formée de tôle brute.

Résultat des essais du calorifuge K

Excès de la température du tube sur la température de la salle en degrés centigrades (<i>t</i>)	Perdes de chaleur observées en calories (kilo-degré) par heure	Perdes de chaleur calculées (Q)	Economie
50		40,7	0,50
70,6	57,3		
89,0	73,1		
100		84,0	0,60
109,8	93,3		
115,4	98,6		
146,6	127,2		
150		129,7	0,66
186,4	165,3		
188,4	164,8		
197,9	166,9		
200		178,0	0,70
240,6	217,0		
250		228,7	0,74
261,9	239,7		
291,4	275,1		
300		282,0	0,76

$$\text{Formule } Q = 0,79 t + 0,0005 t^2$$

Calorifuge en ciment d'amiante (L)

Ce calorifuge est formé de deux enveloppes.

La première est constituée par une série de prismes à peu près équilatéraux en ciment d'amiante disposés l'arête contre le tube et enveloppant celui-ci d'une série de chambres d'air.

Cette première enveloppe a une épaisseur de 20 mm.

Sur cette première couche est une deuxième couche de ciment d'amiante homogène et d'une épaisseur de 16 mm.

Le calorifuge était recouvert d'une toile goudronné noire.

Les deux bouts du tube étaient protégés par une simple couche de ciment d'amiante de 1 centimètre d'épaisseur.

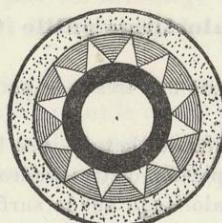


Fig. 40.

Résultats des essais du calorifuge L

Excès de la température du tube sur la température de la salle en degrés centigrades (<i>t</i>)	Pertes de chaleur observées en calories (kilo-degré) par heure	Pertes de chaleur calculées (<i>Q</i>)	Economie
49,3	35,4		
50		37	0,56
50,9	44,4		
63,0	37,4		
63,4	48,0		
84,7	66,4		
86,8	67,6		
93,2	74,2		
97,3	82,9		
100		80	0,62
120,5	101,6		
150		129,4	0,65
158,5	144,4		
186,8	166,6		
200		185	0,68
223	211,4		
250		216,9	0,70
253	238,5		
277	281,4		

$$\text{Formule } Q = 0,675 t + 0,00125 t^2$$

Calorifuge paille (O)

Ce calorifuge est constitué par une tresse de paille de 40 mm. de largeur et 20 mm. d'épaisseur.

Cette tresse est enroulée à plat sur le tube. Les bouts du tube sont protégés par une plaque formée d'une portion de tresse enroulée en spirale.

Par suite, l'épaisseur du calorifuge sur la surface latérale du tube est de 20 mm. et de 40 mm. sur les bouts.

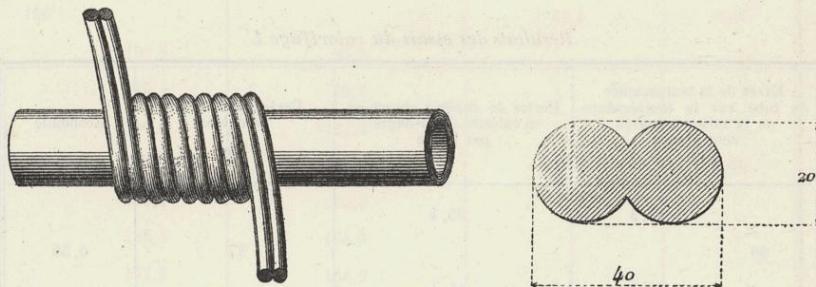


Fig. 41.

Fig. 41 bis.

Résultats des essais du calorifuge O

Excès de la température du tube sur la température de la salle en degrés centigrades (<i>t</i>)	Perfes de chaleur observées en calories (kilo-degré) par heure	Perfes de chaleur calculées (<i>Q</i>)	Economie
50		35	0,57
79,5	60,2		
98,6	76,7		
100		80	0,62
127,9	113,8		
150		135	0,65
158,8	147,5		
171,7	163,4		
196,4	193,7		
200		200	0,67

$$\text{Formule } Q = 0,6 t + 0,002 t^2$$

Calorifuge formé par un mélange de liège, d'amiante et de Kieselguhr (R)

Ce calorifuge est constitué par un enduit composé de liège, d'amiante et de Kieselguhr. Cet enduit est appliqué sur le tube à protéger sur une épaisseur de 20 mm. Il ne s'applique que sur les conduites de vapeur saturée.

Les deux bouts du tube sont protégés par deux plaques de même nature et de même épaisseur.

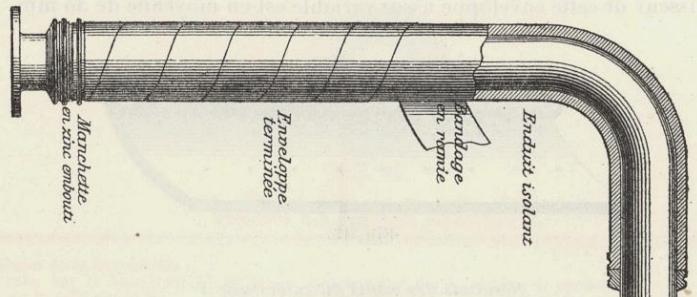


Fig. 42.

Résultats des essais du calorifuge R

Excès de la température du tube sur la température de la salle en degrés centigrades (<i>t</i>)	Pertes de chaleur observées en calories (kilo-degré) par heure	Pertes de chaleur calculées (<i>Q</i>)	Economie
50		42,3	0,48
61,8	52,4		
78,7	68,4		
83,6	72,4		
98,6	86,3		
100		88,5	0,58
100,8	88,1		
111,7	103,0		
132,6	125,2		
150		138,5	0,64
153,2	141,2		
179,2	170,3		

$$\text{Formule } Q = 0,80854 t + 0,0007641 t^2$$

Matelas d'amiante (V)

Ce calorifuge est constitué par un matelas de bourse d'amiante enveloppé de toile d'amiante, ayant pour longueur et pour largeur la longueur et la circonference du tube à protéger. Ce matelas est enroulé autour du tube, puis les deux bords sont cousus ensemble.

Les bouts sont protégés par deux calottes de la même constitution rapportées et cousues sur le matelas.

L'épaisseur de cette enveloppe assez variable est en moyenne de 30 mm.

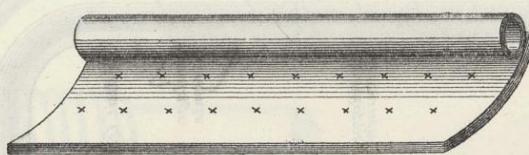


Fig. 43.

Résultats des essais du calorifuge V

Excès de la température du tube sur la température de la salle en degrés centigrades (t)	Pertes de chaleur observées en calories (kilo-degré) par heure	Pertes de chaleur calculées (Q)	Economie
50		42,5	0,48
65,3	57,2		
90,9	81,4		
100		90	0,57
126	120		
150		142,5	0,63
155	151,2		
186,9	182,4		
200		200	0,67
218,4	219,9		
235,7	242,4		
250		262,5	0,70
260	266,5		

$$\text{Formule} \quad Q = 0,8 t + 0,001 t^2$$

Boudin 'amiante (S)

Ce calorifuge est formé d'une première couche d'un carton spécial poil et amiante de 3 mm. d'épaisseur appliquée directement sur le tube.

Elle est recouverte d'une deuxième couche obtenue en enroulant en hélice un boudin de 22 mm. de diamètre.

La protection des bouts du tube est assurée par trois couches de carton qu'on a superposées et moulées après les avoir rendues plastiques en les humectant d'eau.

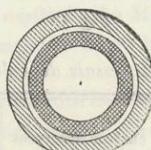


Fig. 14.

Résultats des essais du calorifuge S

Excès de la température du tube sur la température de la salle en degrés centigrades (<i>t</i>)	Pertes de chaleur observées en calories (kilo-degré) par heure	Pertes de chaleur calculées (<i>Q</i>)	Economie
50		51,5	0,37
57,5	56,7		
70,7	73,3		
100		106,9	0,49
109,7	120,2		
118	128,8		
131	143,9		
146,8	166,4		
150		166,5	0,56
171,5	194,8		
180,8	213,9		
184,9	210,4		
200		230	0,62
201,9	225,1		
247	293,5		
250		297,5	0,66

$$\text{Formule } Q = 0,989 t + 0,000805 t^2$$

Enveloppe d'air (T)

Le tube à protéger est placé dans une enceinte formée d'un tuyau de poêle fermé aux deux bouts par deux couvercles entrant à frottement à la façon des couvercles des boîtes.

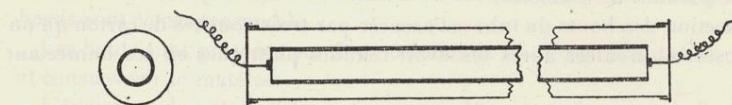


Fig. 45.

Résultats des essais du calorifuge T

Excès de la température du tube sur la température de la salle en degrés centigrades (t)	Pertes de chaleur observées en calories (kilo-degré) par heure	Pertes de chaleur calculées (Q)	Economie
50	58,3	64,1	0,32
	71,5	81,6	
	91,5	119,8	
100	107,7	134,4	0,36
	118,8	170,8	
	135,3	203,9	
150			0,38
	158,2	233,4	
	168,6	283,4	
	180,8	334,9	
200	193,1	345,4	0,40
	212	399,4	
	227,6	453,7	
250	252,5	534	0,44
	268,3	558	
300		681	0,42

$$\text{Formule} \quad Q = 0,89 t + 0,0046 t^2$$

Les joints avaient été recouverts de bandes de papier collé.

L'air circulait librement dans l'intervalle compris entre les deux tubes.

La surface du tube extérieur a été laissée brute telle qu'elle était à la fourniture.

Epaisseur de la lame d'air :

31 mm. sur la surface latérale ;

50 mm. sur les borts.

Calorifuge formé d'un enduit de Kieselguhr et d'amiante pour la vapeur surchauffée (I)

Ce calorifuge est constitué par une couche d'une épaisseur uniforme de 30 mm. d'un enduit spécial formé de Kieselguhr et d'amiante. On fait avec de l'eau une sorte de mastic qui est appliqué à la truelle sur le tube. La surface n'était recouverte d'aucune toile ni peinture protectrice.

Résultats des essais du calorifuge I

Excès de la température du tube sur la température de la salle en degrés centigrades (<i>t</i>)	Pertes de chaleur observées en calories (kilo-degré) par heure	Pertes de chaleur calculées (<i>Q</i>)	Economie
50		39,4	0,52
69,7	52,9		
69,8	59,3		
89,1	74,1		
100		82,1	0,61
129,3	109,8		
150		127,9	0,66
172,9	143,3		
200		177,1	0,71
212,5	184,5		
250		229,5	0,73
252,2	225,2		
262,1	239,9		
300		285,1	0,76
335	327,6		

$$\text{Formule } Q = 0,7555 t + 0,00065 t^2$$



REMARQUE

SUR LA

DYNAMO DYNAMOMÉTRIQUE PANHARD ET LEVASSOR EMPLOYÉE AU LABORATOIRE D'ESSAIS

PAR

J. AUCLAIR

I

La dynamo dynamométrique de Panhard et Levassor est une dynamo dans laquelle le bâti portant les inducteurs et les paliers est lui-même supporté par deux paliers à billes qui lui permettent d'osciller autour de l'axe de l'arbre de l'induit. Ce bâti est équilibré et porte un levier à l'extrémité duquel des poids peuvent être suspendus.

Le moteur à freiner actionne l'arbre de la dynamo directement, le bâti est entraîné dans le sens du mouvement de l'induit comme la bande d'un frein de Prony et la puissance du moteur est mesurée exactement comme avec ce dernier appareil. Le principe de cette méthode de mesure est dû à M. Marcel Deprez.

Dans le modèle de cet instrument qui fait partie du matériel du Laboratoire d'essais une modification a été introduite sur les indications de M. Perot. Le bâti porte un changement de vitesse : l'arbre de la dynamo $A_2 A_2$ (voir le schéma, fig. 1) est coupé en C et prolongé par un bout d'arbre A . Un jeu de roues dentées R , R_1 , R_2 , R_3 clavetées sur les arbres A_2 , A et sur l'arbre auxiliaire A_1 , constituent ce changement de

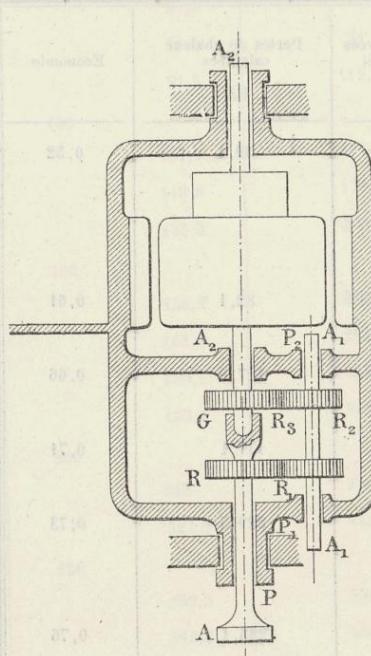


Fig. 1. — Schéma du changement de vitesse de la dynamo dynamométrique.

sur les arbres A_2 , A et sur l'arbre auxiliaire A_1 , constituent ce changement de

vitesse. Le but de cette modification est d'augmenter le champ d'emploi de l'appareil en permettant d'utiliser la pleine puissance de la dynamo quand bien même le moteur à expérimenter tourne à un nombre de tours différent du nombre de tours normal de cette dynamo (1).

Dans quelles conditions devra être employé l'appareil ainsi modifié ? Une correction sera-t-elle nécessaire par l'interposition du changement de vitesse entre le moteur et l'induit ?

II

Dans un système matériel en mouvement l'ensemble des forces extérieures et des forces élémentaires d'inertie — $m\gamma$ (m étant la masse d'un élément infiniment petit du système, γ l'accélération du centre de gravité de cet élément), est un système de forces en équilibre.

Dans le cas particulier où le système matériel ne renferme que des corps de révolution tournant autour de leur axe de figure avec une vitesse angulaire constante, les forces d'inertie constituent un système en équilibre, par suite, les forces extérieures agissant sur le système se font par elles-mêmes équilibre.

C'est le cas du frein que nous venons de décrire. Les forces extérieures sont :

Le poids de l'appareil,

Les réactions des paliers qui supportent le bâti,

Le poids additionnel P suspendu à une distance l de l'axe d'oscillation,

Les forces provenant de l'action du moteur sur l'arbre récepteur A, soit M le moment résultant de ces forces par rapport à l'axe de A.

Le sens des moments positifs est fixé de manière que M soit positif.

Ces forces sont en équilibre, par suite la somme algébrique de leurs moments par rapport à l'axe d'oscillation est nulle, et cela donne, le bâti étant équilibré,

$$M - Pl = 0$$

Donc la puissance du moteur en chevaux doit être calculée par la formule :

$$\frac{2\pi n}{60,75} Pl,$$

dans laquelle n est le nombre de tours par minute de l'arbre du moteur.

On voit donc que peu importe la disposition et la place des organes, qui dans le frein transforment le travail mécanique en énergie électrique ou calorifique, pourvu qu'il n'y ait pas à tenir compte des forces extérieures autres que l'action du moteur et celle des poids suspendus au levier, les conditions de la mesure demeurent les mêmes qu'avec le frein simple.

(1) Voir *Génie civil*, 1904, 28 mai : Laboratoire d'essais du Conservatoire des Arts et Métiers, section des Machines.

Le sens de cette remarque peut être utilement précisé par une application. Un frein est constitué de la manière suivante : un bâti porté directement par l'arbre du moteur ou supporté par des appuis indépendants peut osciller librement autour de l'axe de l'arbre du moteur. Ce bâti renferme un renvoi de mouvement à angle droit par engrenage, qui actionne un arbre portant un moulinet du colonel Renard (1). Le bâti est équilibré et porte un levier auquel on peut suspendre des poids (fig. 2).

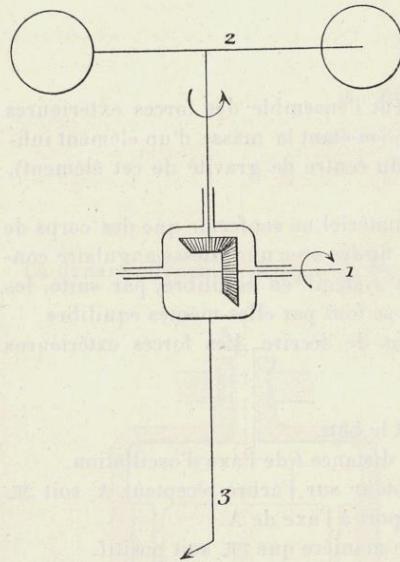


Fig. 2. — Schéma d'un frein.

1. Arbre du moteur.
2. Moulinet.
3. Levier sur lequel agit le poids ou le dynamomètre.

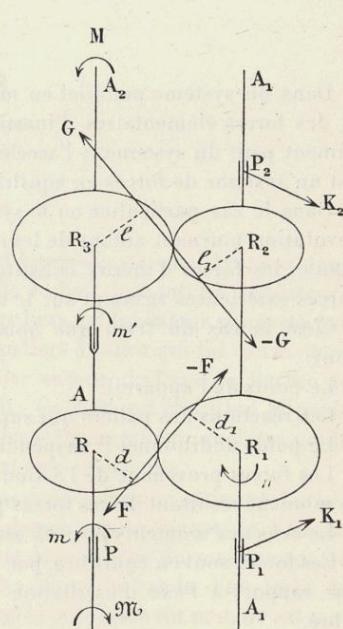


Fig. 3.

Si le moulinet est exactement symétrique de manière que la résistance que l'air oppose à son mouvement se réduise rigoureusement à un couple, cet appareil pourra être employé comme un frein de Prony ordinaire.

Il est vrai que des forces extérieures interviennent : la pression de l'air sur les palettes du moulinet ; mais la somme algébrique de leurs moments par rapport à l'axe d'oscillation est nulle, il n'y a pas à en tenir compte dans la condition d'équilibre du frein.

(1) Le moulinet du colonel Renard est constitué essentiellement par une barre fixée à angle droit sur l'arbre du moteur et portant deux surfaces planes parallèles à l'axe. Pendant le mouvement ces surfaces prennent appui sur l'air et opposent au mouvement du moteur une résistance déterminée par un tarage préalable.

III

Peut-être est-il intéressant de suivre dans tout le détail comment s'équilibrivent les forces agissant sur chaque pièce de l'appareil.

L'arbre A (voir les figures 1 et 3) reçoit l'action du moteur. Le moment résultant de ces forces par rapport à l'axe de A a été désigné par \mathfrak{M} .

Agissent encore sur l'arbre A :

La réaction du pivot sur la crapaudine C. Cette réaction est motrice ou résistante suivant que l'arbre A₂ tourne plus vite ou moins vite que l'arbre A, soit m' la valeur algébrique de son moment par rapport à l'axe de A.

La réaction du palier P sur l'arbre A, soit m son moment.

La réaction de la roue dentée R₁ sur la roue dentée R. Cette force — F est la résultante des actions élémentaires des dents de la roue R₁ sur les dents de la roue R en contact avec elles ; elle est contenue par suite de la symétrie des pièces dans un plan perpendiculaire aux axes des arbres A et A₁.

Soient d et d_1 les plus courtes distances de sa ligne d'action aux axes A et A₁, son moment par rapport à l'axe de A est — dF (1).

L'arbre A tourne autour de son axe avec une vitesse angulaire constante par suite la somme algébrique par rapport à cet axe de toutes les forces appliquées à l'arbre est nulle :

$$\mathfrak{M} + m' + m - dF = 0 \quad (1)$$

Les forces agissant sur l'arbre A, sont :

L'action F de la roue dentée R sur la roue dentée R₁.

La réaction — G de la roue dentée R₃ sur la roue dentée R₂, soient l_1 et l les plus courtes distances de la ligne d'action de cette force aux axes A₁ et A₂ (ou A).

Les réactions des paliers P₁ et P₂, qui peuvent être supposées dans des plans perpendiculaires à l'axe A₁. La réaction de P₁ peut être remplacée par un couple et par une force K₁ appliquée en un point de l'axe A₁, il en est de même de K₂, soit n la somme algébrique des moments des deux couples ainsi obtenus.

L'axe de l'arbre A₁ est immobile dans l'espace, par suite toutes les forces qui lui sont appliquées transportées, par exemple, au point d'application de la force K₁ ont une résultante nulle, d'où une équation permettant de déterminer la somme algébrique K des moments des forces K₁ et K₂ par rapport à l'axe A.

$$K + (d + d_1)F - (l + l_1)G = 0 \quad (2)$$

Une deuxième équation est, comme pour l'arbre A :

$$n - d_1F + l_1G = 0 \quad (3)$$

(1) Le rapport des vitesses angulaires ω et ω_1 , des arbres A et A₁ n'est pas $\frac{d_2}{d}$. La puissance transmise par l'arbre A à un instant, car $\frac{d_2}{d}$ peut varier, est ωdF , celle reçue par l'arbre A₁ est $\omega_1 d_1 F$, la perte dans l'engrenage $(\omega d - \omega_1 d_1)F$.

Soit M la somme algébrique des moments par rapport à l'axe A_2 (ou A) de toutes les forces résultant de l'action du bâti portant les inducteurs sur les pièces fixées sur l'arbre A_2 : action électro-magnétique des inducteurs sur l'induit, frottement des balais sur le collecteur, frottement des paliers.

A ces actions viennent s'ajouter :

La force G résultant de l'action de la roue R_2 sur la roue R_3 , son moment par rapport à l'axe de A_2 (ou de A) est lG .

L'action d'entraînement de la crapaudine C de moment $= m'$.

La somme algébrique de tous ces moments est nulle,

$$M + lG - m' = 0 \quad (4)$$

Restent à examiner les actions qui s'exercent sur le bâti portant les inducteurs, ce sont :

Les réactions des pièces portées par l'arbre A_2 de moment $- M$.

Les actions résultant de l'entraînement par frottement des paliers P , P_1 , P_2 de moment $- m - n$.

Les pressions de l'arbre A_1 sur les paliers P_1 et P_2 égales et opposées aux forces K_1 et K_2 et de moment $- K$.

Enfin l'action du poids P suspendu au levier L , de moment $- lP$; donc :

$$- lP - M - m - n - K = 0 \quad (5)$$

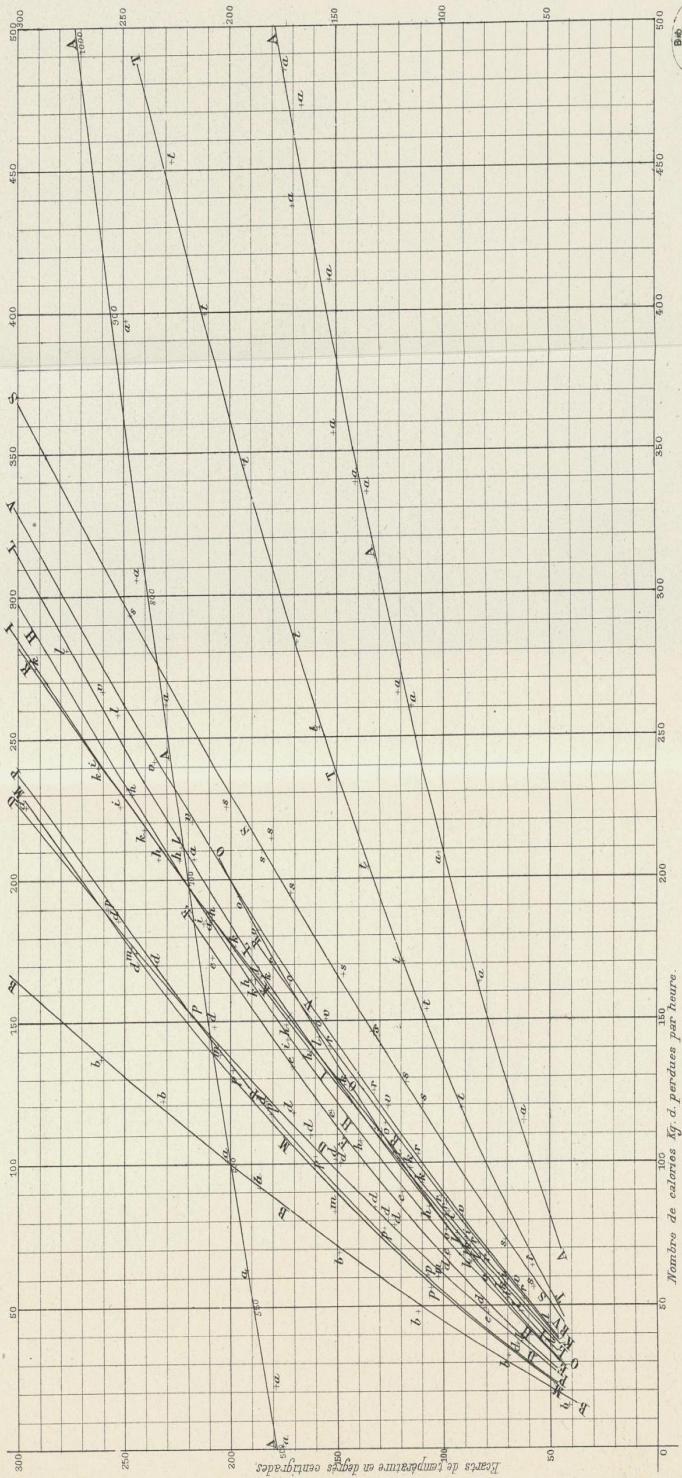
Ajoutons membre à membre les équations (1), (2), (3), (4), (5), le résultat est :

$$\mathfrak{M} - lP = 0 \quad \text{ou} \quad \mathfrak{M} = lP$$

Le moment \mathfrak{M} a donc bien pour valeur lP et la puissance du moteur ne chevaux :

$$\frac{2\pi n}{60 \times 75} Pl,$$

n étant le nombre de tours par minute de l'arbre du moteur.

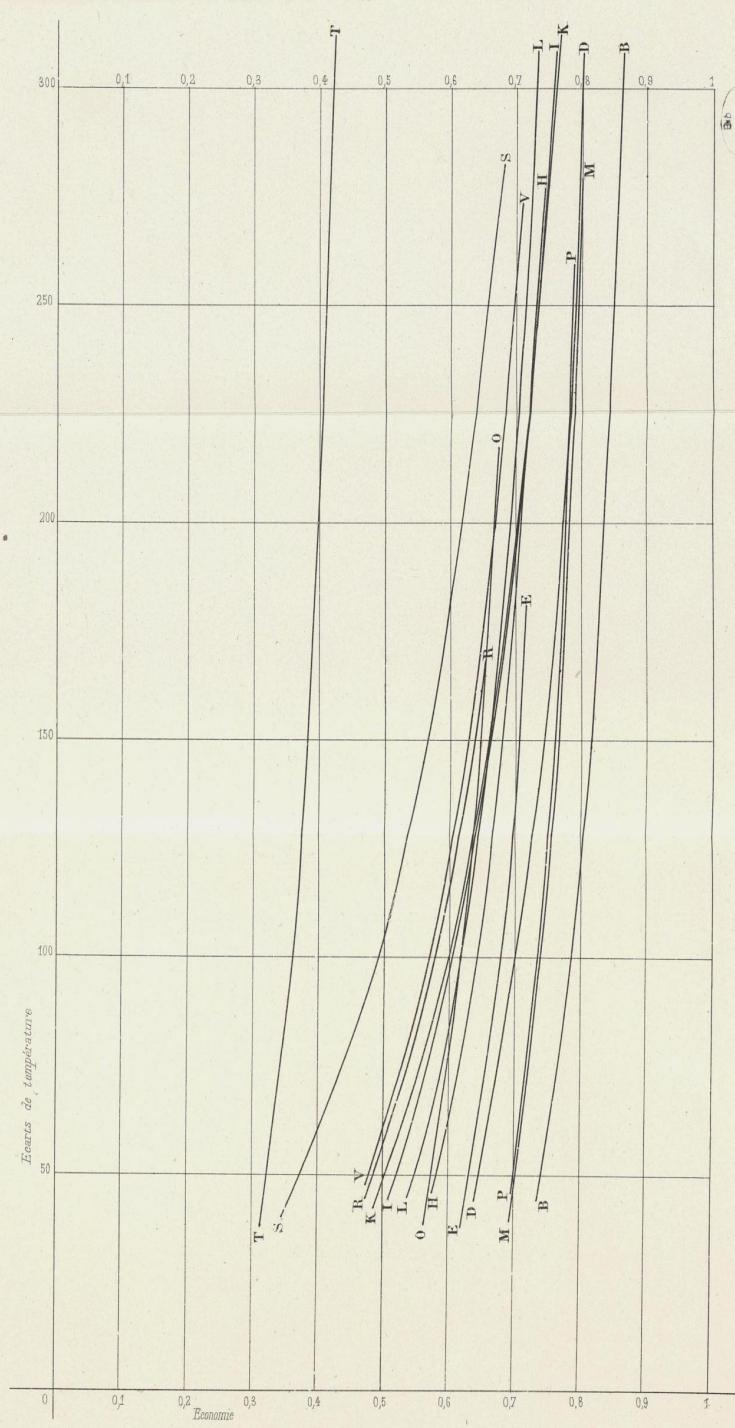


Courbes de transmission de chaleur en fonction des matériaux.

Ch. BÉRANGER, Éditeur, 15, Rue des Saints-Pères — Paris.

Imp. Monroe — Paris.

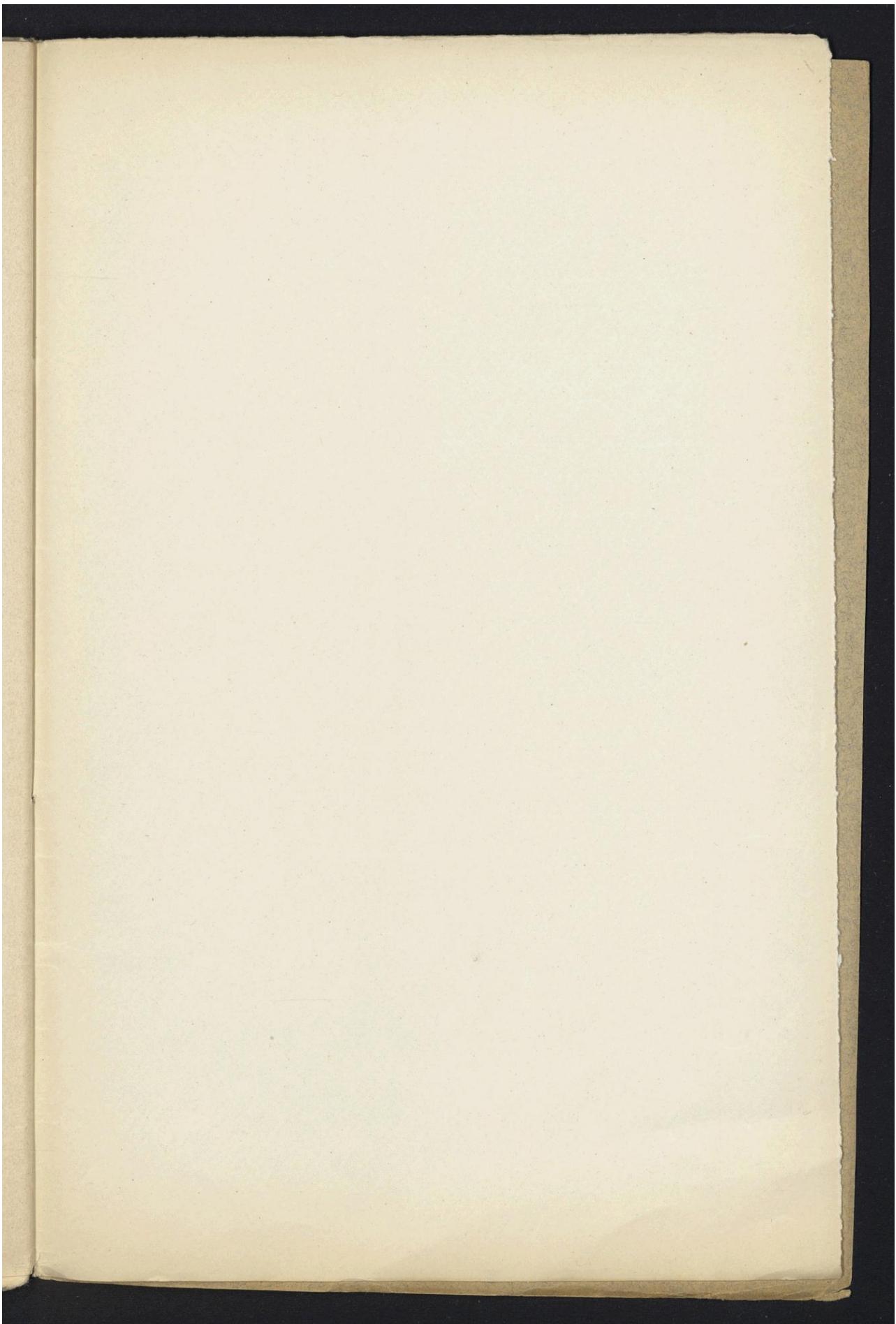
CNAM



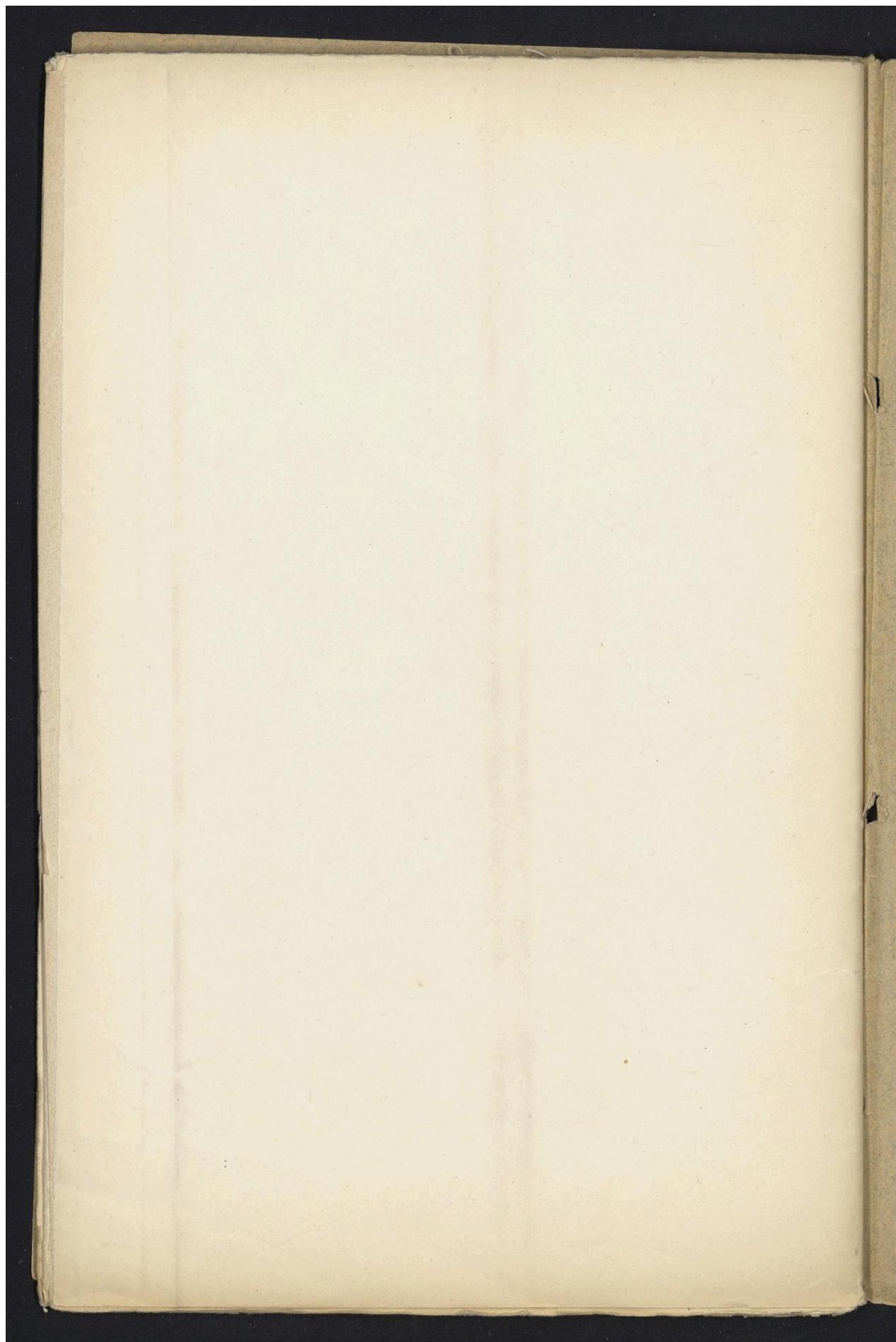
Ch. BERANGER, Éditeur, 15, Rue des Saints-Pères — PARIS.

Imp. Moroq-Pasq.

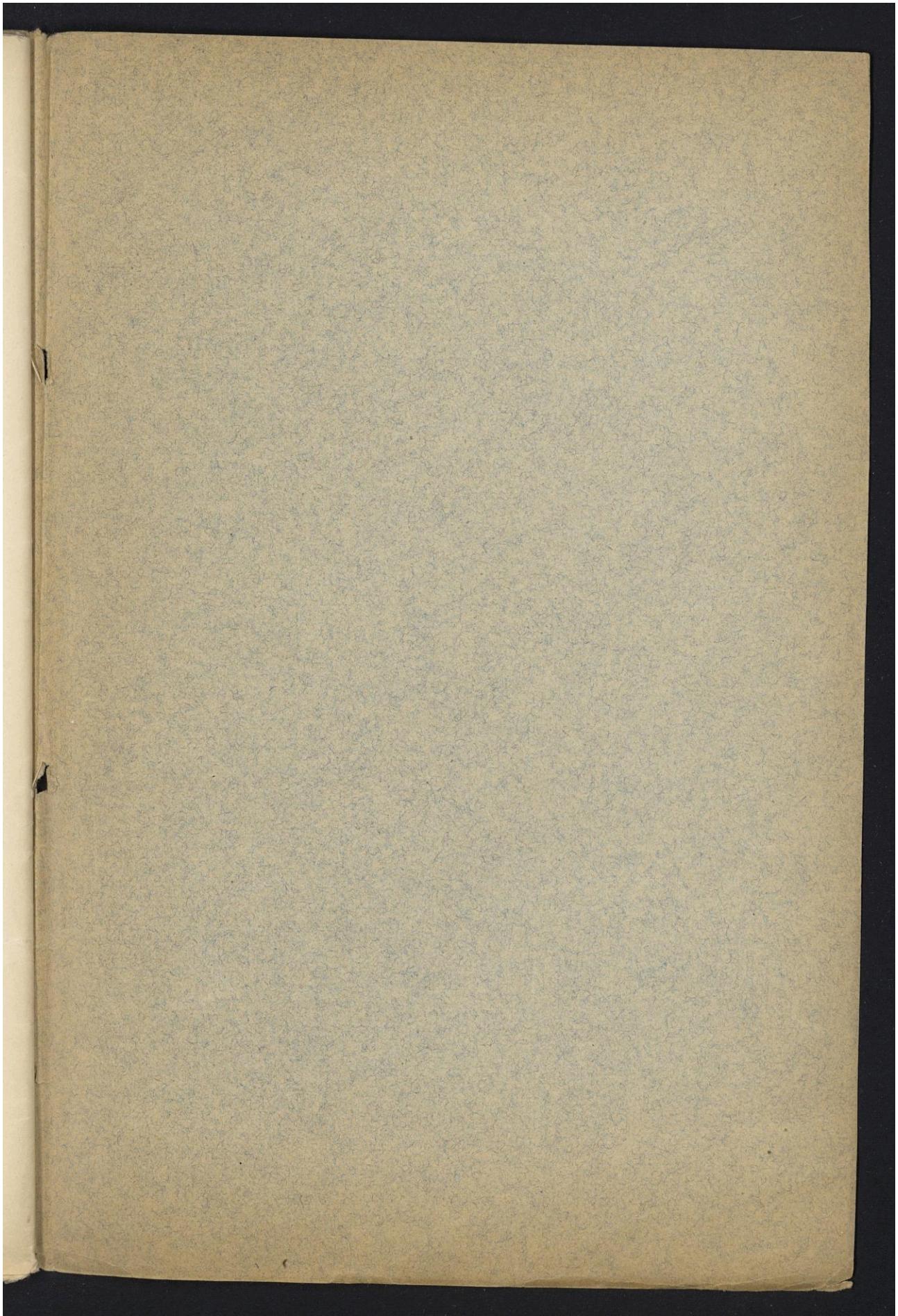
3b
Cnam



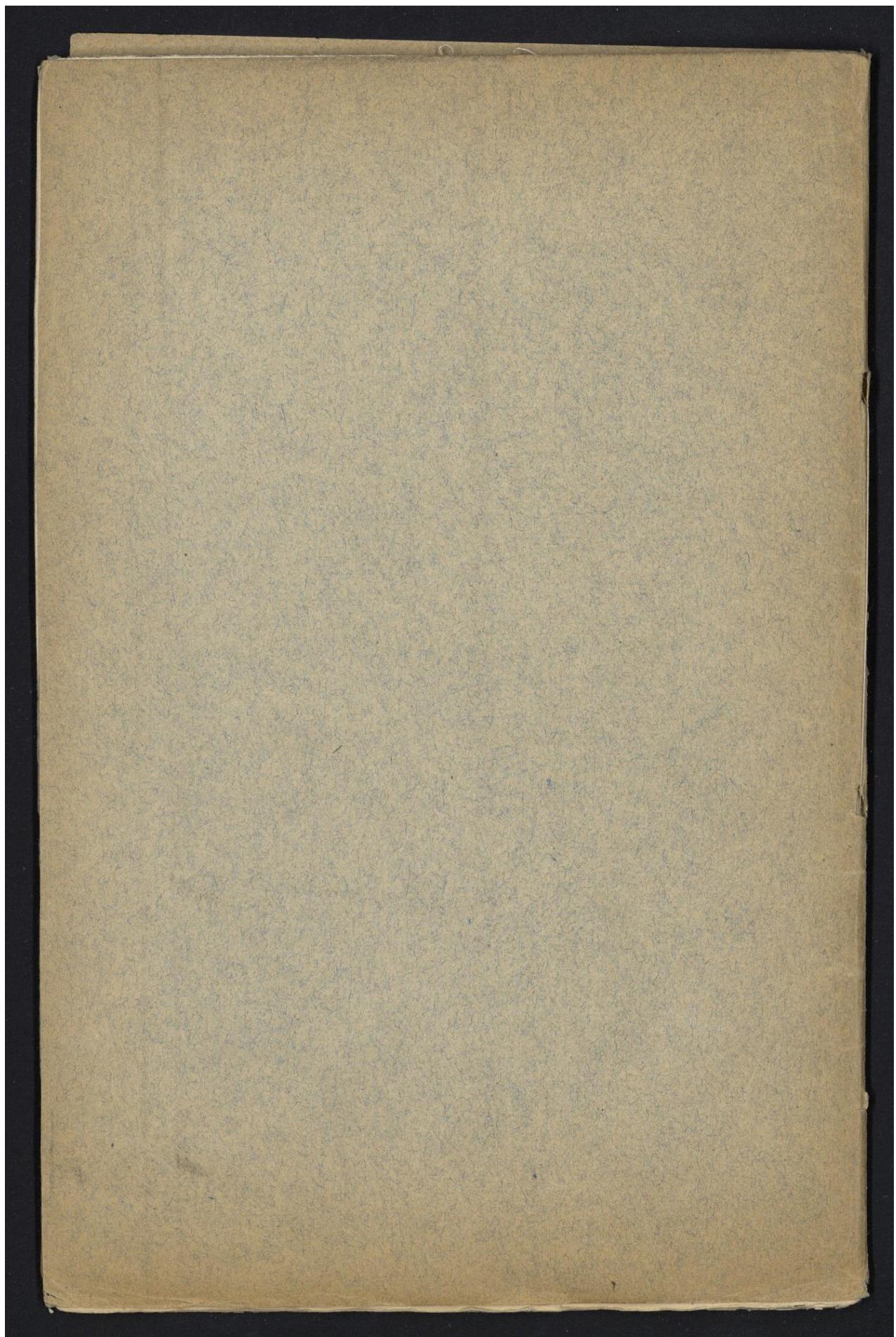
Droits réservés au [Cnam](#) et à ses partenaires



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



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



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