

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)
VOLUME TÉLÉCHARGÉ	
	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° 12 (1907)
Adresse	Paris : Librairie Polytechnique Ch. Béranger, éditeur, 1907
Collation	1 vol. (25 p.) : ill. ; 25 cm
Nombre de vues	32
Cote	CNAM-BIB P 1329-A (12)
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.12

8^o Km 107 (198)

P1329-A

BULLETIN
DU
LABORATOIRE D'ESSAIS

MÉCANIQUES, PHYSIQUES, CHIMIQUES ET DE MACHINES

DU
CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS

N^o 12

EXAMEN CRITIQUE
DE
QUELQUES MÉTHODES DE MESURE
DE LA PUISSANCE UTILE
DES VOITURES AUTOMOBILES

PAR

J. AUCLAIR

Assistant au Laboratoire d'Essais

PARIS

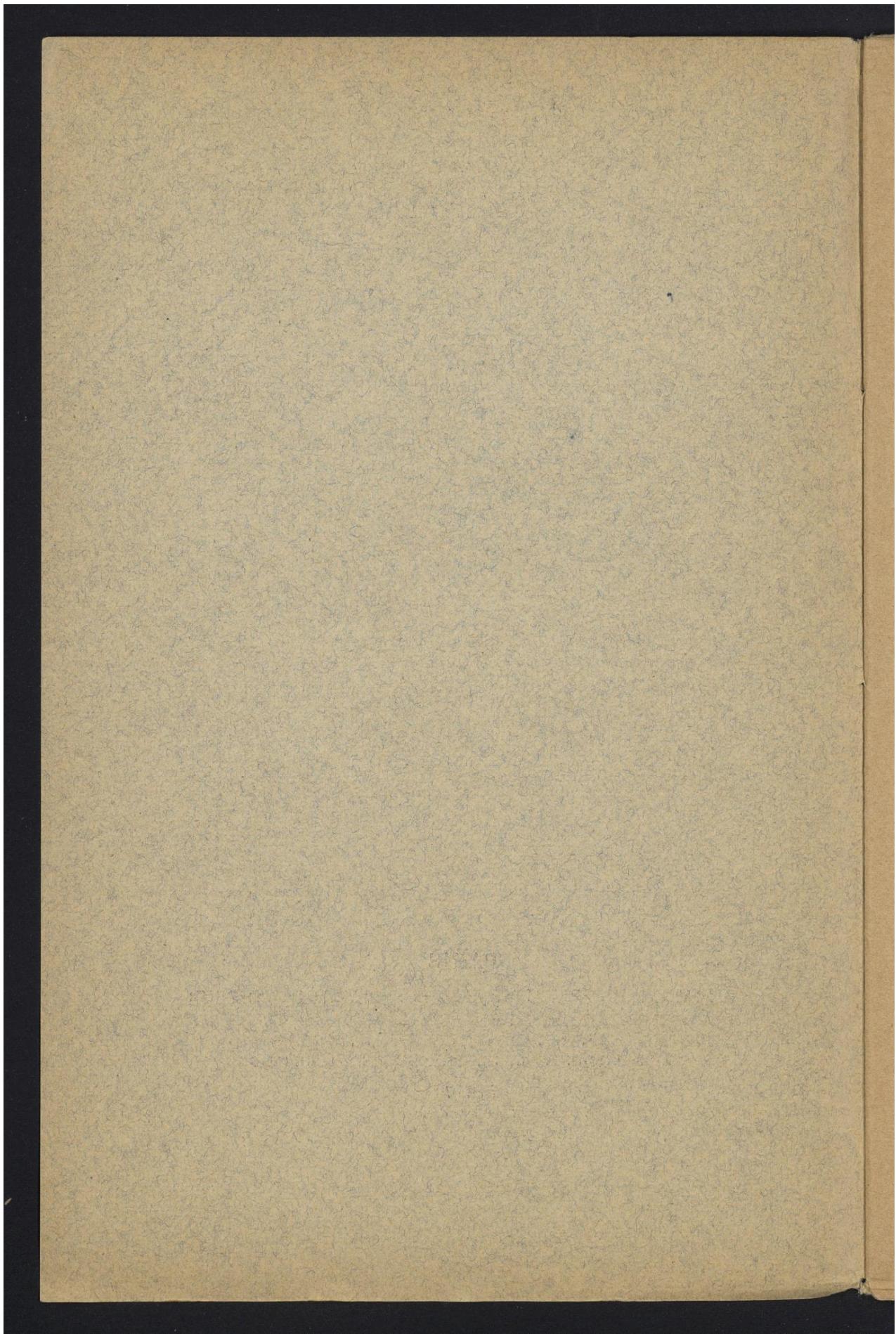
LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE CH. BÉRANGER, ÉDITEUR

Successeur de BAUDRY & C^e

15, RUE DES SAINTS-PÈRES, 15
MÊME MAISON A LIÈGE, 24, RUE DE LA RÉGENCE

1907

Tous droits réservés



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

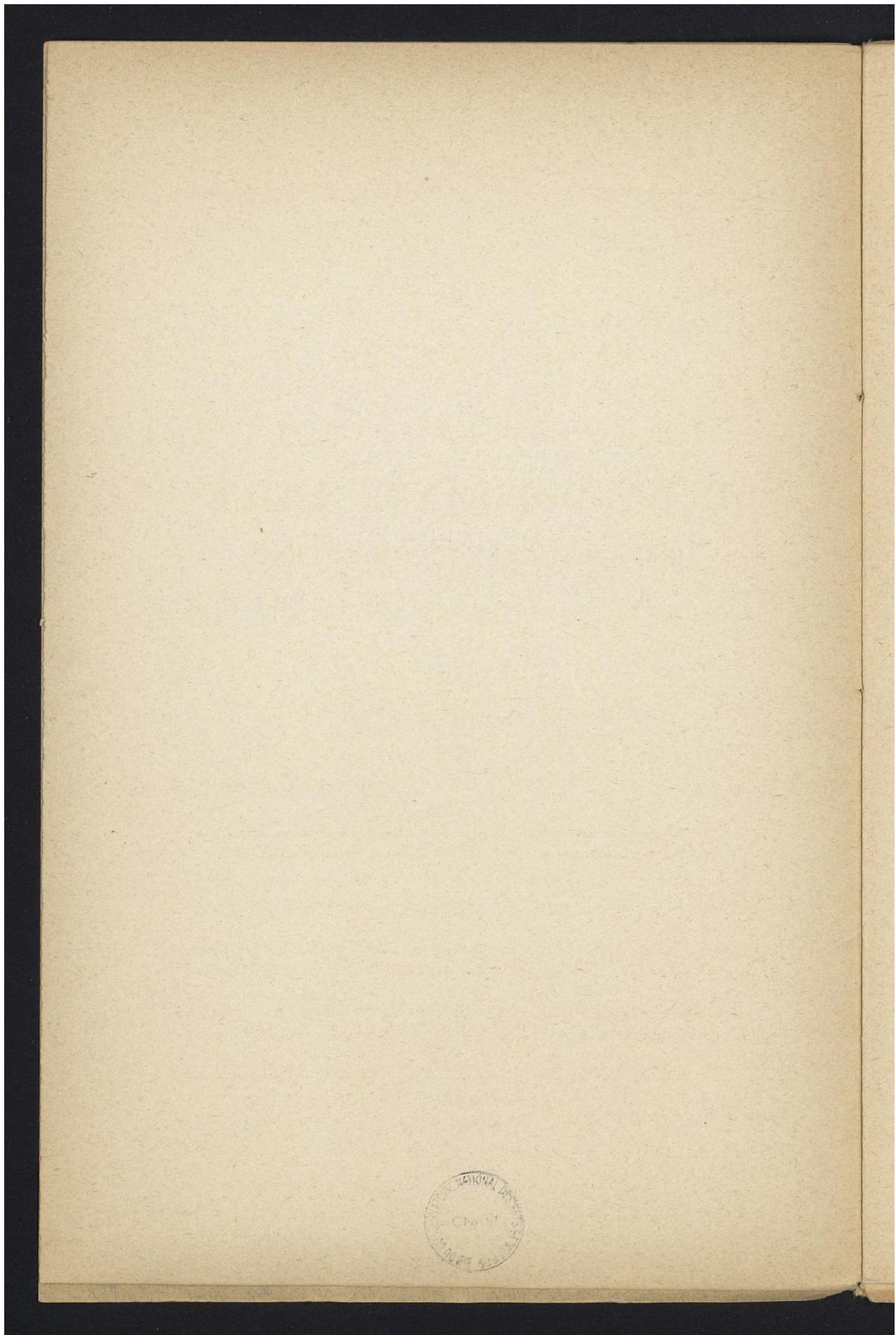
80 Ku 107 (198)

EXAMEN CRITIQUE
DE
QUELQUES MÉTHODES DE MESURE
DE LA PUISSANCE UTILE
DES VOITURES AUTOMOBILES

PAR

J. AUCLAIR

Assistant au Laboratoire d'Essais



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

EXAMEN CRITIQUE
DE QUELQUES MÉTHODES DE MESURE
DE LA PUISSANCE UTILE
DES VOITURES AUTOMOBILES

PAR

J. AUCLAIR

Assistant au Laboratoire d'Essais

**I. — Méthodes de mesure employées pour la détermination
de la puissance utile d'une voiture automobile**

De 1899 à 1903 plusieurs méthodes ont été imaginées et mises en œuvre pour l'essai des voitures automobiles.

Les premières expériences dues à l'initiative du journal *La Locomotion automobile* ont été faites à l'aide d'un appareil installé dans les ateliers de MM. Malicet et Blin.

« La voiture convenablement immobilisée à l'avant, à l'arrière et sur les côtés, sans toutefois modifier en rien la répartition des poids sur les essieux, agit par ses roues arrière sur un rouleau d'une solidité parfaite et d'un roule-

Le Laboratoire d'Essais ne prend pas la responsabilité des opinions scientifiques soutenues par les collaborateurs du *Bulletin*.

ment étudié à l'avance. Le travail développé est mesuré à l'aide d'un appareil de freinage placé dans une fosse où se trouve aussi l'opérateur » (1).

M. Desjacques précise ainsi les conditions des mesures : « La voiture peut être considérée comme un moteur dont les roues seraient les volants. Au lieu de freiner directement sur ces roues (ce qui serait inexact, puisque cela supprimerait entièrement d'abord le roulement des roues sur le sol, puis le coïncement aux moyeux) nous freinons sur un volant calé sur l'arbre des rouleaux, volant que l'on peut considérer alors comme faisant partie du moteur puisqu'il n'y a pas glissement des roues sur le rouleau..... Nous avons pu constater, en effet, par des expériences préliminaires que le glissement des bandages pneumatiques sur la surface de bois rugueux qui constitue la périphérie des rouleaux est absolument nul du moins pour des vitesses de rotation ne dépassant pas celles qui correspondent à une vitesse de déplacement de la voiture de 15 à 20 kilomètres à l'heure au maximum. Avec les bandages en caoutchouc plein on observe un faible glissement d'ailleurs sans importance » (2).

La puissance mesurée de cette manière est la fraction de la puissance motrice que les roues peuvent transmettre au rouleau qu'elles entraînent.

Dans un article inséré dans la *Locomotion* M. Gasnier appelle l'attention sur cette observation : « La puissance qui a été indiquée comme étant la puissance aux jantes des roues motrices n'est réellement que la fraction de cette puissance qui reste disponible après que le train moteur seul de la voiture a roulé sur un sol de bois composé comme l'était la surface des rouleaux et cette portion de la puissance est d'autant plus faible que la voiture marche plus vite. On ne pourrait donc dans ce genre d'essais avoir la puissance disponible aux jantes des roues motrices qu'en tenant compte de la puissance perdue dans la friction entre les bandages et le rouleau. Il nous paraît bien difficile de déterminer cette puissance avec quelque précision. Il est certain d'ailleurs que cette perte varie avec la nature du bandage, la charge et la vitesse, et qu'il serait nécessaire de faire des essais spéciaux pour chaque véhicule » (3).

M. Gasnier a donc proposé une méthode nouvelle de mesure, qui a été mise en œuvre à l'aide d'un appareil étudié par MM. Périssé de Loreau à l'occasion du concours de l'alcool et établi à la station d'essais du ministère de l'Agriculture, rue Jenner (4). Cet appareil se compose de deux paires de rouleaux de 500 mm. de diamètre disposées côte à côte. Sur chaque paire est tendue une courroie homogène. Ces deux courroies parallèles et distantes d'axe en axe de 1.250 mm. constituent un sol mobile sur lequel reposent et roulent les roues motrices.

La voiture est attachée par un lien horizontal à un crochet fixe, de position convenable, et un dynamomètre permet de mesurer l'effort de traction exercé

(1) *Locomotion automobile*, année 1899, p. 678.

(2) *Locomotion automobile*, 1899, pp. 773 et 772.

(3) *Locomotion*, 1901, p. 179.

(4) Compte rendu du 2^e Congrès International d'automobilisme, p. 187. Rapport de M. Lucien Périssé sur les essais de moteurs et automobiles.

sur ce crochet. Il est clair que cette force est égale en grandeur à l'action tangentielle du sol sur les roues motrices.

Deux des rouleaux sont portés par un même arbre et un frein agissant sur cet arbre donne le moyen de disposer de la résistance que le tapis oppose au mouvement des roues motrices de manière à ce que le moteur développe la puissance correspondant normalement au nombre de tours des roues.

Voici comment M. Gasnier définit la puissance à la jante et précise la relation qui existe entre cette puissance et la puissance effective du moteur : « Le produit de l'effort de traction en kilogrammes par la vitesse du tapis en mètres par seconde donne directement la puissance aux jantes en kilogrammètres par seconde, c'est-à-dire, la puissance utilisée pour faire marcher le véhicule dans les conditions de résistance indiquée par le dynamomètre (1)..... La puissance fournie par le moteur installé sur une automobile est utilisée pour (vaincre les résistances produites par) :

- 1^o Les frottements de la transmission existant entre le moteur et les roues ;
- 2^o Les frottements des moyeux des roues sur les fusées ;
- 3^o Les pertes dues aux vibrations produites par le moteur ;
- 4^o Les pertes dues aux déformations des bandages ;
- 5^o La résistance au roulement indépendante de la vitesse et fonction de la charge, de la nature et de la forme du sol (passage des aspérités et des ondulations de flâches), déformation du sol, des bandages, du diamètre des roues ;
- 6^o Les pertes de force vive aux vibrations occasionnées par la chaussée et fonction de la vitesse, des bandages, du diamètre des roues, de la suspension, de la constitution et du poids du véhicule ;
- 7^o La résistance de l'air ;
- 8^o La puissance supplémentaire nécessitée par la déclivité de la route ;
- Il y a lieu d'ajouter si la voiture ne marche pas en ligne droite.
- 9^o La résistance supplémentaire pour le passage en courbe.
- Et dans le cas de variation de vitesse.
- 10^o La puissance nécessaire pour produire l'accélération correspondant à la variation de la vitesse.

On peut entendre par puissance disponible à la jante des roues d'une automobile, la puissance sur l'arbre du moteur diminuée des pertes 1^o, 2^o, 3^o, 4^o, c'est-à-dire la fraction de la puissance du moteur qui peut être utilisée pour vaincre les résistances des 5^o, 6^o, 7^o, 8^o, 9^o, 10^o.

La puissance aux jantes des roues est donc la partie de la puissance du moteur qui peut être utilisée par les résistances causées par la route, la déclivité, la résistance de l'air au besoin le passage en courbe (2). »

Le Laboratoire d'études organisé par l'Automobile Club de France a adopté une méthode d'essai quelque peu différente.

(1) On admet qu'il ne se produit aucun glissement des roues sur le tapis.

(2) *Locomotion automobile*, 1901, p. 778.

La voiture est immobilisée, l'essieu arrière légèrement soulevé de manière à ce que les roues motrices ne portent plus sur le sol et peuvent librement tourner. Sur chacune des roues est fixé un plateau amarré dans les rails et entraînant un moulinet dynamométrique du colonel Renard. Les moulinets des deux roues sont réglés de manière à donner la même résistance et une résistance suffisante pour absorber la puissance totale que le moteur peut fournir au nombre de tours choisi pour l'expérience (1).

On mesure ainsi la portion de la puissance du moteur transmise aux roues motrices à condition de regarder comme négligeable la faible résistance due au frottement des boîtes de moyeu sur les fusées sous l'action du seul poids des roues et du plateau du frein.

Un dernier appareil, reproduction améliorée de celui du concours de l'alcool a été construit pour le Laboratoire d'essais du Conservatoire des Arts et Métiers. Les rouleaux et les tapis mobiles ont été remplacés par deux tambours en fonte de 2 mètres de diamètre dont la jante est revêtue de planches de chêne et tournée. Un ensemble de dispositions de détail permet de contrôler la marche de l'essai et de maintenir la voiture dans la position qui correspond aux meilleures conditions de mesure.

La méthode reste celle qui a été appliquée au concours de l'alcool.

Les auteurs de l'appareil, regardant avec raison comme négligeable dans la plupart des cas par rapport aux irrégularités de mesure la puissance perdue par le frottement sur la fusée ou les déformations du bandage et faisant application des idées de M. Gasnier, ne distinguent pas entre la puissance à la jante et la puissance disponible au moyeu de la roue. « Il s'agit de mesurer la puissance à la jante d'une voiture automobile ou encore le nombre de chevaux disponible sur l'essieu moteur du véhicule » (2).

Dès les premiers essais d'automobiles que j'ai faits au Laboratoire d'essais au commencement de 1905, j'ai été amené à comparer ces trois méthodes et je voudrais exposer ici ce qui les sépare.

II. — Résistance au roulement

Dans le plus grand nombre de ces dispositifs d'essais, les roues motrices de la voiture reposent sur des rouleaux ou tambours qu'elles entraînent par friction. Pour bien comprendre comment les choses se passent, il faut avoir une conception précise de la nature de la résistance au roulement.

La résistance au roulement a trois causes (3) :

(1) *Bulletin de la Commission technique de l'Automobile Club*, juin 1906, p. 18.

(2) *Génie civil*, année 1904, p. 54.

(3) La résistance due au frottement de la boîte de moyeu sur la fusée n'est pas évidemment une partie de la résistance au roulement.

1^o Les déformations non rigoureusement réversibles de la jante, de la surface de la chaussée et du sous-sol sous l'action de la pression de la roue sur le sol ;

2^o La dépense de puissance nécessaire pour soulever le poids de la roue et de la charge quand la roue franchit les aspérités de la route. Le travail dépensé pendant la montée n'est pas restitué entièrement lorsque la roue, l'obstacle franchi, retombe sur le sol ;

3^o Les chocs de la jante contre les aspérités de la route.

Ces deux derniers éléments de la résistance au roulement dépendent d'une manière essentielle de la façon dont la charge participe aux déplacements et aux variations de vitesse instantanées et de peu d'amplitude du train de roues, c'est-à-dire de la liaison élastique des roues au châssis ou suspension de la voiture.

Le premier en dépend moins. Il est prépondérant quand les roues se meuvent sur un sol parfaitement régulier comme une route macadamisée en bon état, un pavé de bois, une chaussée en asphalte, ou encore les surfaces sur lesquelles roulent les roues dans les appareils d'essais : courroie, jante en bois non polie mais tournée des tambours d'essais.

On appelle quelquefois et un peu improprement frottement de roulement cette résistance particulière qui se développe à la jante d'une roue par suite de la déformation de la jante et du sol.

La résistance au roulement dépend ainsi d'un élément presque constant, le frottement de roulement et d'éléments constamment et rapidement variables tenant aux irrégularités de la route. On est conduit à considérer sa valeur moyenne et cette manière de faire est d'autant plus légitime que l'importance des éléments variables est plus faible.

Proposons-nous de définir le système de réactions équivalent à la liaison de la roue et du sol dans le cas du roulement avec résistance au roulement.

Pour cela analysons l'expérience bien connue de Coulomb destinée à déterminer la résistance au roulement d'un rouleau. Les forces extérieures agissant sur le rouleau sont données, par suite le système des réactions est complètement déterminé. Il est donc possible de préciser en quoi ce système de réactions diffère de celui que l'on trouverait s'il s'agissait de corps rigoureusement indéformables comme ceux, dont l'étude fait l'objet de la mécanique rationnelle.

Peut-être les explications données sembleront-elles bien longues. Leur excuse est dans ce fait que dans bien des cas on a tenu compte dans le calcul de la résistance au roulement en introduisant une force appliquée au centre de la roue et dirigée dans le sens opposé au mouvement et que c'est là une manière de concevoir les choses complètement inexacte.

* * *

Un rouleau O parfaitement cylindrique et homogène de rayon r et de poids P repose sur deux bancs ou rails S dont la surface est réglée avec soin dans un

même plan horizontal. Sur ce rouleau passe un fil assez flexible pour que sa raideur puisse être négligée et qui ne peut pas glisser sur le rouleau. Aux deux extrémités de ce fil sont suspendus des poids égaux P_2 .

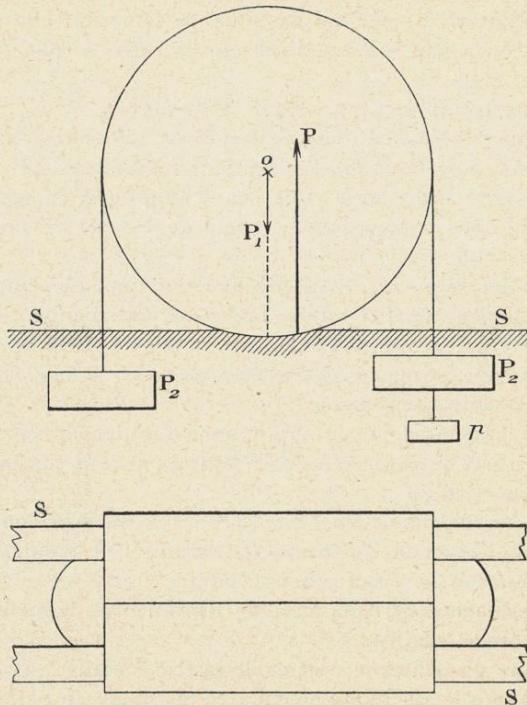


Fig. 1.

L'expérience montre qu'il est nécessaire pour que le rouleau, préalablement ébranlé, roule sur les rails d'ajouter à l'un des poids P_2 un poids supplémentaire p . Pour un rouleau et des rails déterminés ce poids additionnel ne dépend pas de la vitesse avec laquelle le rouleau se déplace sur les rails, il est proportionnel à la charge totale : $P = P_1 + 2P_2 + p$:

$$p = fP$$

f étant un coefficient indépendant de P (1).

Le rouleau se déplaçant avec une vitesse constante, les forces d'inertie élémen-

(1) f n'est pas le coefficient de résistance au roulement tel qu'on l'entend généralement : il n'y avait, en effet, aucun intérêt à mettre en évidence le rayon du rouleau.

On voit d'ailleurs que nous avons décrit moins une expérience réelle qu'une expérience schématique dans laquelle toutes les choses se passeraient simultanément comme il faut qu'elles soient pour que les lois usuelles de la résistance au roulement trouvent leur vérification.

taires constituent un système de forces en équilibre, la réaction des rails doit donc faire équilibre à l'action de la pesanteur.

Les poids P_2 , P_1 , $P_2 + p$ agissent au milieu et aux deux extrémités d'un diamètre horizontal du rouleau. La résultante de ces forces est une force verticale, d'intensité $P = P_1 + 2P_2 + p$ et dont la ligne d'action, contenue dans le plan médian du rouleau, est à une distance de l'axe :

$$\delta = \frac{pr}{P} = fr$$

Par suite de la symétrie les réactions des deux rails sont égales entre elles et semblablement placées par rapport au rouleau. Ces sont donc deux forces verticales égales à $\frac{P}{2}$ et dont la ligne d'action est à une distance δ de la projection de l'axe du rouleau sur le plan horizontal des rails, ou génératrice de contact géométrique du rouleau et du sol.

D'une manière équivalente et plus simplement on peut dire : la réaction du sol est une force verticale d'intensité égale à P et dont la ligne d'action est à une distance δ de la génératrice de contact.

Soient ω la vitesse angulaire du rouleau autour de son axe, V sa vitesse de translation. Si nous supposons que le rayon du rouleau n'est pas réduit sensiblement par la déformation au contact du sol, entre ces deux quantités existe la relation :

$$V = \omega r$$

Pendant le mouvement du rouleau le seul travail emprunté à une force extérieure est le travail de la pesanteur dans la descente du poids p . La vitesse de ce poids est V et la puissance motrice $pV = pr\omega = P\delta\omega$.

$P\delta\omega$ est donc égal à la puissance motrice, c'est l'expression du travail résistant pendant l'unité de temps de la réaction du sol, puisque le mouvement élémentaire du rouleau est une rotation de vitesse angulaire ω autour de la génératrice de contact et que $P\delta$ est la valeur du moment par rapport à cette génératrice de la réaction du sol.

Il est possible d'imaginer d'autres modes d'application de l'effort moteur, mais quel que soit le système des forces agissant sur le rouleau, la même conclusion subsiste : *La réaction du sol ne rencontre pas la génératrice de contact ou axe instantané de rotation, son moment par rapport à cet axe a une valeur telle que le travail résistant de cette force est égal au travail pendant le même temps des forces motrices* (1).

Indiquons encore deux exemples pour bien mettre ce fait en lumière.

Comme d'ailleurs la dépense de travail nécessaire pour produire le roulement tient aux déformations du sol sous l'action du rouleau et que ces déformations dépendent principalement de la pression due au poids du rouleau et de la

(1) Cette observation est la base de tous les raisonnements, § III.

charge qu'il supporte, il est logique d'admettre que la charge du rouleau demeurant constante, la résistance au roulement et par suite le moment de la réaction du sol par rapport à la génératrice de contact conservent la même valeur quelle soit le système des forces motrices agissant sur le rouleau (1).

Nous supposerons que la charge totale du rouleau garde la valeur P et la puissance motrice, la valeur pV .

1^o Les forces motrices forment un couple. Leur action peut être matérialisée

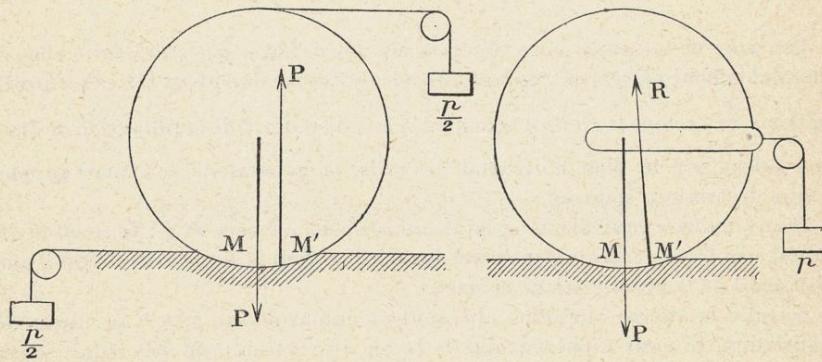


Fig. 2.

Fig. 3.

comme il suit : deux fils enroulées dans le plan médian sur le rouleau et dans le même sens se déroulent horizontalement l'un à la partie supérieure, l'autre au point le plus bas. Chaque brin passe sur une poulie de renvoi et porte à son extrémité un poids $\frac{P}{2}$. Les forces motrices forment un couple de moment pr et la puissance motrice est $pr\omega = pV$.

La réaction du sol est une force verticale égale à P , dont la ligne d'action est à une distance δ de la génératrice de contact et dont par suite le travail résistant pendant l'unité de temps a pour valeur $P\delta\omega$.

2^o La force agissant sur le rouleau est une force horizontale appliquée au milieu de son axe. L'axe du rouleau est pris dans une sorte de chape analogue à une chape de poulie ; à cette chape est attaché un fil horizontal qui passe sur une poulie de renvoi et porte un poids p . La puissance motrice est $pV = pr\omega$. La réaction du sol n'est plus une force verticale, c'est la résultante R d'une composante horizontale égale à p et d'une composante verticale P , son moment par rapport à la génératrice de contact est $P\delta$ et le travail résistant pendant l'unité de temps dû à son action $P\delta\omega$.

On voit comment peut être caractérisé le phénomène de la résistance au roulement.

(1) C'est ce qu'ont fait tous les expérimentateurs qui ont étudié la résistance au roulement, puisqu'ils n'ont établi aucune distinction entre les valeurs de cette résistance obtenues par eux quelqu'ait été le mode de mise en mouvement du rouleau.

Un cylindre indéformable roule sur un sol indéformable, le contact a lieu suivant une génératrice, la réaction du sol rencontre cette génératrice et le travail résistant de cette réaction pendant le mouvement est nul. Il n'y a pas de résistance au roulement.

Au contraire si le sol et le rouleau peuvent se déformer, le contact a lieu suivant une bande de faible largeur. A un point de vue purement cinétique, les choses se passent bien encore comme si le mouvement élémentaire du rouleau était une rotation autour de la génératrice de la surface contenue dans le plan vertical passant par l'axe, ou génératrice de contact géométrique. Mais la réaction du sol ne rencontre pas cette droite, elle coupe la surface du rouleau sur une génératrice voisine que nous pouvons appeler génératrice de contact mécanique (1).

Ce dédoublement de la génératrice de contact caractérise la résistance au roulement.

La grandeur et l'orientation de la réaction du sol peuvent dépendre des forces extérieures agissant sur le rouleau, mais c'est un fait d'expérience que la valeur du moment de cette réaction par rapport à la génératrice de contact géométrique est $P\delta$, où P est la charge du rouleau, c'est-à-dire la composante verticale de la résultante du poids du rouleau et des forces extérieures agissant sur lui et δ une longueur qui dépend de la nature et des dimensions du rouleau et est liée au coefficient de roulement du rouleau par la relation :

$$\delta = fr$$

Nous pouvons dire encore que δ est la projection horizontale de la distance de la génératrice de contact géométrique et de la génératrice de contact mécanique, ou plus simplement puisque ces deux droites sont sensiblement dans un même plan horizontal, que δ est la distance de ces deux génératrices.

III. — Examen du cas d'une roue motrice

Dans ces différents cas l'action motrice agissant sur le rouleau a pour seul résultat de produire son mouvement, et la composante horizontale de la réaction qui prend naissance par le frottement de la roue sur le sol reste très faible.

Mais il peut arriver que les résistances autres que le frottement de roulement, qui s'opposent au mouvement d'une roue, et l'action motrice qui produit sa rotation, aient des valeurs telles que la composante tangentielle de la réaction du sol devienne notable. Si l'adhérence est suffisante la roue roule en produisant un travail de propulsion.

Les déformations de la jante et du sol subsistent et par suite il y a résistance au roulement. On ne peut pas toutefois affirmer que cette résistance est la même que dans le cas de la roue porteuse parce que les forces tangentielles peuvent

(1) Dupuit, *Annales des Ponts et Chaussées*, année, 1842.

modifier les déformations des surfaces en contact et par suite la résistance du roulement, conséquence de ces déformations.

Cependant il faut observer que l'effort tangentiel à la jante est généralement faible par rapport au poids porté, rarement il dépasse le dixième de sa valeur, la nature et la grandeur des déformations sont donc peu modifiées et il est logique d'admettre que la résistance au roulement d'une roue motrice ne diffère pas sensiblement de la résistance au roulement de la même roue simplement porteuse.

Nous réservons le cas des roues munies de bandages élastiques et l'examen des phénomènes spéciaux qui peuvent résulter de la grande déformabilité de ces bandages.

Considérons une roue motrice o roulant en alignement droit sur un sol horizontal.

Nous ne tiendrons compte que des composantes parallèles au plan de la roue

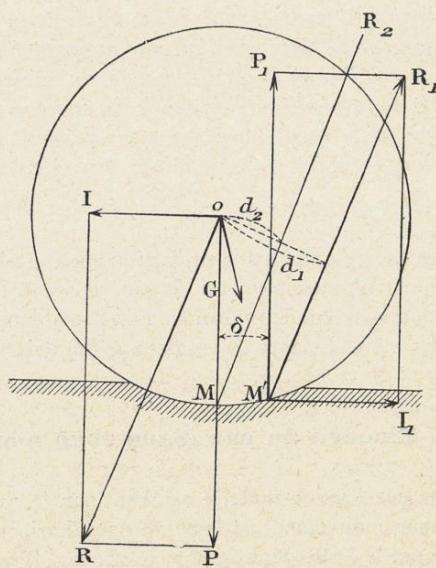


Fig. 4.

des forces agissant sur elle, puisque les autres composantes ne peuvent pas produire directement du travail et ont pour seul effet d'augmenter le frottement de la boîte de moyeu sur l'épaulement de la fusée et les déformations du bandage.

Dans ces conditions le système des forces dues à l'action du châssis sur la roue peut être remplacé par une force F contenue dans le plan de la roue et appliquée en un point de son axe, et un couple dont l'axe G est perpendiculaire au plan de la roue.

Soit R la résultante de la force F et du poids de la roue. La composante utilisée de la réaction du sol est une force R_1 dont le point d'application M' est à une distance δ du point M (1).

La roue se mouvant avec une vitesse constante les forces agissant sur elles forment un système en équilibre, la force R_1 est donc parallèle et égale à R et de sens opposé, et les deux forces R et R_1 forment un couple de moment G .

Introduisons pour mettre en évidence l'action propulsive de la roue les composantes verticales et horizontales de R et de R_1 ; P et I , P_1 et I_1 . Les sens dans lesquels ces forces sont comptées positivement sont ceux de la verticale descendante et de l'horizontale dirigée vers la droite. Le sens positif des rotations est le sens dans lequel tournent les aiguilles d'une montre.

Les conditions d'équilibre se traduisent par les relations :

$$(1) \quad \begin{aligned} P + P_1 &= 0 \\ I + I_1 &= 0 \\ -rI_1 + \delta P_1 + G &= 0 \end{aligned}$$

Comme dans le cas du rouleau, la vitesse angulaire ω de la roue, sa vitesse de translation V et son rayon r sont liés par la relation :

$$V = \omega r$$

Multiplions la dernière des équations (1) par ω , il vient :

$$G\omega = -\delta P_1\omega + rI_1\omega$$

$G\omega$ est la puissance disponible au moyeu de la roue, $-\delta P_1\omega = \delta P\omega$ est la puissance absorbée par la résistance au roulement, $rI_1\omega = I_1V$ est la puissance à la jante égale au travail pendant l'unité de temps de la poussée que la roue exerce sur le châssis. Nous avons donc cette proposition :

La puissance au moyeu est la somme de la puissance nécessaire pour produire le roulement de la roue motrice et de la puissance à la jante.

La valeur de G est la somme algébrique des moments par rapport à l'axe de la roue des forces dues à l'action des organes du châssis et agissant sur elle.

Les forces motrices donnent un moment M , et les réactions de frottement dues au mouvement du moyeu par rapport à la fusée, un moment φnF , expression dans laquelle φ est le coefficient de frottement moyen du moyeu sur la fusée, n le rayon de la fusée.

φnF sera remplacé souvent par φnP où P est la charge de la roue. Les valeurs de ces deux expressions sont peu différentes.

Nous avons évidemment :

$$M = G + \varphi nF$$

ou :

$$M\omega = G\omega + \varphi nF\omega$$

(1) Nous ne précisons pas la valeur de δ qui peut ne pas être celle correspondant à la résistance au roulement d'une route porteuse.

La puissance motrice $M\omega$ est égale à la somme de la puissance au moyeu $G\omega$ et de la puissance employée pour produire la rotation du moyeu sur la fusée.

On peut donc dire : que la puissance motrice est égale à la somme de la puissance perdue par frottement du moyeu sur la fusée, de la puissance à la jante et de la puissance employée pour produire le roulement des roues motrices.

Abaissions du centre O de la roue une perpendiculaire sur R_1 soit d_1 la longueur de cette perpendiculaire. Par le point M menons une droite MR_2 parallèle à $M'R_1$ et désignons par d_2 la distance du point O à cette droite. Il est immédiat que la puissance absorbée par la résistance au roulement ωdP a encore pour expression :

$$\omega(d_1 - d_2)R_1 = \omega\Delta R_1$$

avec :

$$\Delta = d_1 - d_2$$

* *

Etudions maintenant le cas d'une roue dont l'axe demeure immobile dans l'espace et qui entraîne un rouleau par friction.

Il est bien clair que la valeur du frottement de roulement n'est plus la même puisque la roue ne roule pas sur un sol plan, mais sur une surface convexe.

La manière d'aborder le problème reste cependant identique.

Soit M le point de contact géométrique de la roue et du rouleau, la réaction R_1 du rouleau sur la roue a pour ligne d'action la droite $M'R_1$ qui rencontre la surface de contact au point M' placé à une distance δ du point M. L'action de la roue sur le rouleau est la force $M'R'_1$.

Soient r et r' les rayons de la roue et du rouleau, ω et ω' leurs vitesses angulaires autour de leurs axes. Entre ces quantités et en supposant le glissement nul on a en valeur absolue la relation :

$$(1) \quad r\omega = r'\omega'$$

Soient encore d_1 , et d'_1 les distances des deux axes O et O' à la ligne d'action commune des deux forces R' et R'_1 , d_2 et d'_2 les distances de ces mêmes axes à une parallèle à cette ligne d'action menée par le point M. Il est clair que :

$$d_2 - d_1 = d'_2 - d'_1 = \Delta$$

Entre les quantités d_2 , d'_2 , r , r' on a la proportion :

$$(2) \quad \frac{d_2}{r} = \frac{d'_2}{r'}$$

Le système des forces autres que R_1 agissant sur la roue O, peut être remplacé par une force appliquée en un point de son axe et un couple de moment G.

La puissance $G\omega$ est égale au travail résistant pendant l'unité de temps de la réaction R_1

$$G\omega = d_1 R'_1 \omega$$

ou encore :

$$(3) \quad G\omega = [d_2 + (d_1 - d_2)] R_1 \omega = R_1 d_2 \omega + R_1 \Delta \omega$$

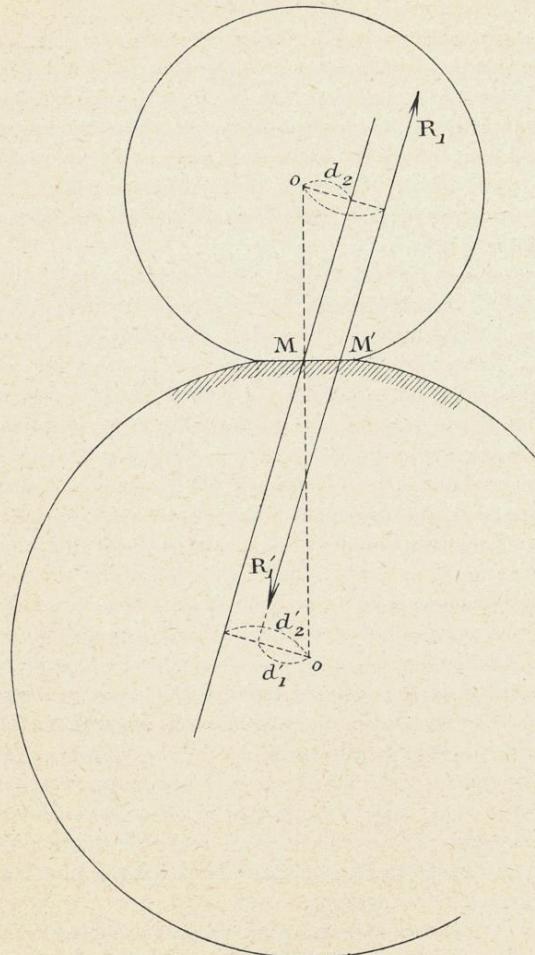


Fig. 3.

Appelons $G'\omega'$ la puissance transmise au rouleau :

$$(4) \quad G'\omega' = [d_2 - (d'_2 - d'_1)] R'_1 \omega' = d_2 R'_2 \omega' - \Delta R'_1 \omega'$$

Puisqu'en valeur absolue $R_1 = R'_1$ et en tenant compte des relations (1) et (2) on a :

$$d_1 R_1 \omega = d'_1 R_1 \omega'$$



par suite, en combinant (3) et (4) on trouve entre $G\omega$ et $G'\omega'$ la relation :

$$G\omega = G'\omega' + \Delta R_1\omega + \Delta R'_1\omega'$$

La puissance perdue est :

$$\Delta R_1\omega + \Delta R'_1\omega'$$

$\Delta R_1\omega$ est la puissance perdue dans le roulement de la roue sur le rouleau ou, si l'on veut une explication plus précise, la puissance qui serait perdue si la roue roulait sur le rouleau en tournant autour de lui à la manière d'un satellite. En décomposant la réaction R_1 dans ses composantes suivant la tangente commune et la normale, on peut mettre en évidence comme nous l'avons fait un peu plus haut la puissance à la jante. La somme de la puissance à la jante et de la puissance employée pour produire le roulement de la roue sur le rouleau est égale à la puissance au moyeu $G\omega$.

Le terme complémentaire $\Delta R'_1\omega'$ peut recevoir une interprétation analogue à celle du terme $\Delta R'\omega$. Imaginons que les rôles de la roue et du rouleau soient intervertis et que le rouleau devienne moteur, la valeur de la puissance motrice restant la même. Il est logique d'admettre que la position du point M' ne sera pas modifiée puisque la distance δ dépend surtout de la pression des organes en présence, il faut donc supposer que les forces R_1 et R'_1 prennent une position symétrique par rapport à la parallèle à la ligne des centres menée par le point M' de celle qu'elles occupaient primitivement. Dans ces conditions on voit que $\Delta R'_1\omega'$ est la valeur de la puissance perdue par le roulement du rouleau sur la roue.

Dans les limites où cette observation est valable on peut énoncer la série des propositions suivantes.

I. *La puissance au moyeu est la somme de puissance transmise au rouleau et de la puissance perdue par résistance à l'entraînement du rouleau.*

Ou encore : *La puissance au moyeu est la somme de la puissance transmise au rouleau, de la puissance perdue par résistance au roulement de la roue sur le rouleau et par résistance au roulement du rouleau sur la roue.*

II. *La puissance au moyeu est la somme de la puissance à la jante et de la puissance perdue par le roulement de la roue sur le rouleau.*

III. *La puissance à la jante est la somme de la puissance transmise au rouleau et de la puissance perdue par le roulement du rouleau sur la roue.*

Dans ces énoncés on pourrait introduire la puissance motrice $M\omega$, il semble sans intérêt de le faire explicitement.

On voit que la puissance transmise au rouleau n'est pas la puissance à la jante. Elle en diffère autant que celle-ci diffère de la puissance au moyeu, si du moins le diamètre de la roue est à peu près égal à celui du rouleau.

IV. — Bandages élastiques

Les raisonnements précédents supposent que la grandeur des déformations de la jante reste assez petite par rapport au rayon pour qu'on puisse les négliger dans l'évaluation des vitesses de la voiture.

Il n'en est pas ainsi dans le cas des roues munies de bandages élastiques et en particulier de bandages pneumatiques. La déformation de ces bandages au moins dans le sens du rayon ne peut plus être négligée car souvent elle atteint et dépasse le vingtième et même le quinzième du rayon.

Il est nécessaire d'examiner les conséquences de ce phénomène. Soit donc une roue munie d'un bandage élastique. Ce bandage au contact du sol se déforme par compression, la distance de l'axe de la roue au sol n'est plus égale au rayon r mais à une quantité plus petite ρ . La vitesse de marche de la voiture a-t-elle

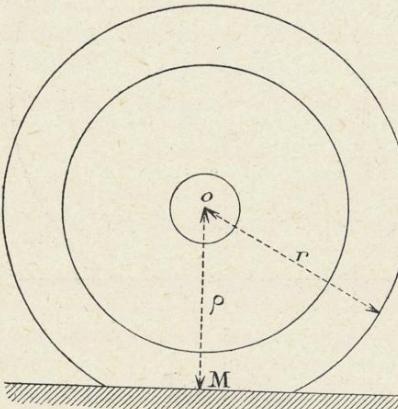


Fig. 6.

pour valeur $\rho\omega$? Il faudrait pour cela qu'au point de contact M il ne se produise aucun glissement de la surface du bandage sur le sol, et que la déformation du bandage se fasse seulement dans la direction du rayon.

Ces deux hypothèses ne peuvent pas être vérifiées dans toute l'étendue de la surface de contact, car pour qu'il n'y ait pas de glissement du bandage sur le sol, il faut que la direction de la déformation soit perpendiculaire au sol et le rayon est oblique sauf à l'aplomb de l'axe. Il existe donc nécessairement des points de la surface de contact où il y a ou glissement par rapport au sol de la surface du bandage ou une déformation de cette surface dont la composante perpendiculaire au rayon n'est pas nulle.

Des glissements peuvent encore résulter de la forme géométrique du bandage. Sa surface dans les portions libres est sensiblement celle d'un tore puisque la section A est à peu près circulaire, or une telle surface ne peut pas être appliquée sur un plan sans déformation de ses éléments par contraction ou extension de leur surface. Ce travail d'adaptation au sol qui se poursuit pendant tout le contact ne peut se faire que grâce à des glissements partiels.

Mais la plus importante des causes de perturbation réside dans les conditions dans lesquelles travaille le bandage sur une roue motrice. La portion du bandage comprimée entre la roue et le sol travaille au cisaillement : la face supé-

rieure adhérente à la partie rigide de la roue est entraînée vers l'arrière, la face

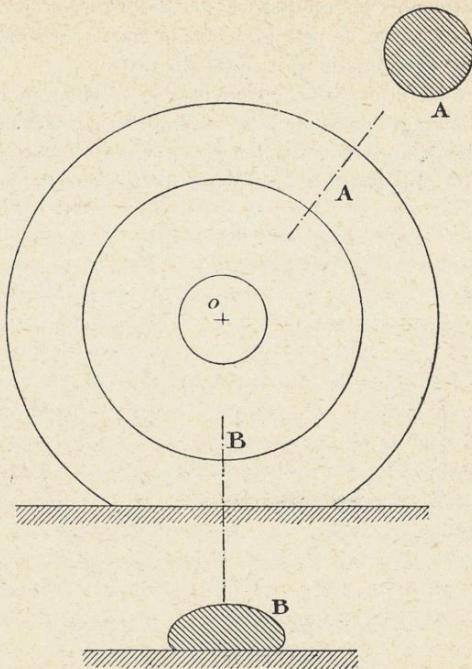


Fig. 7.

inférieure en contact avec le sol est sollicitée vers l'avant par la composante

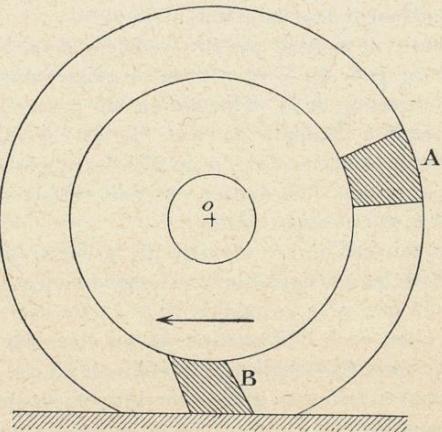


Fig. 8.

horizontale de la réaction. Une portion du bandage A limitée à deux sections droites s'infléchit en arrivant dans la région du bandage en contact avec le sol, comme on le voit en B sur la figure. Il y a glissement de la surface du bandage par rapport à la partie rigide de la roue (1).

Nous sommes ainsi conduit à considérer en tout point de la surface de contact un glissement du bandage par rapport au sol et une déformation non purement radiale. Soient V la vitesse de glissement sur le sol du point M du bandage et W la composante perpendiculaire au rayon de la vitesse relative du point M par rapport à la partie rigide de la roue. Ces deux quantités sont comptées positivement dans le sens de la marche de la voiture.

La vitesse de l'axe de la roue par rapport à la surface de bandage est :

$$-W + \rho\omega$$

et puisque cette surface se meut elle-même sur le sol avec une vitesse V , la vitesse absolue de l'axe est :

$$+V - W + \rho\omega$$

Il y a donc une perte (2) de vitesse due aux déformations et au glissement du bandage qui peut être définie par un coefficient de réduction inférieur à l'unité et tel que :

$$+V - W + \rho\omega = (1 - \varepsilon) \rho\omega$$

(1) Cette observation sera peut-être rendue plus claire par les deux diagrammes suivants.

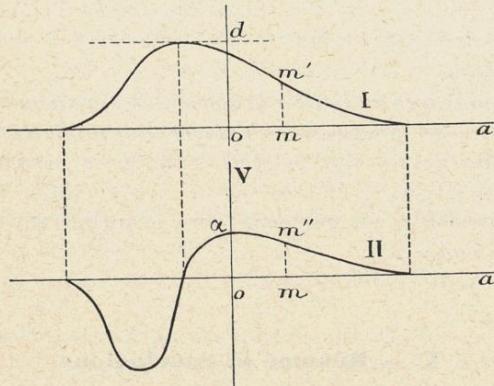


Fig. 9.

Dans tous les deuxes abscisses om sont les distances mesurées à la surface du bandage des points M de sa section équatoriale à la projection sur le sol de l'axe de la roue.

Dans le premier (I) l'ordonnée mm' est égale à l'écart entre la position actuelle du point M et la position qu'il occuperait si la roue reposait sur le sol sous l'action de la charge sans qu'il y ait action motrice.

Dans le second (II) mm'' est la vitesse relative du point M par rapport à la partie rigide de la roue. La valeur Ox de cette vitesse est ce que nous avons appelé W un peu plus loin.

(2) Ces phénomènes de déformation entraînent une perte de puissance par suite la variation de vitesse est négative.

Il ne paraît pas possible de déterminer théoriquement le coefficient $(1 - \varepsilon)$. Il peut être étudié expérimentalement en mesurant la perte de vitesse d'une voiture automobile dans des conditions de terrain et de pente variées. Cette mesure se fait en comparant le parcours réel de la voiture au parcours calculé d'après le nombre de tours des roues motrices et leur rayon de roulement effectif.

Comment ce phénomène modifie-t-il les formules que nous avons trouvées au § III.

ρ remplace r .

La vitesse de translation de la voiture est réduite à :

$$(1 - \varepsilon) V = (1 - \varepsilon) \rho \omega \quad (1)$$

Il en résulte une perte de puissance par glissement $\varepsilon \rho \omega I_1$ et la puissance à la jante devient $(1 - \varepsilon) \rho \omega I_1$.

La proposition de la page 13 doit donc être remplacée par la suivante.

La puissance au moyeu est la somme de la puissance employée pour produire le roulement, de la puissance perdue par suite de glissement et de la puissance à la jante.

La vitesse angulaire d'un rouleau entraîné par la roue n'est plus $\omega' = \frac{r}{r'} \omega$ mais $(1 - \varepsilon) \omega'$ l'égalité :

$$G\omega = G'\omega' + \Delta R_1 \omega + \Delta R'_1 \omega'$$

de la page 16, doit donc être écrite :

$$G\omega = (1 - \varepsilon) G'\omega' + \Delta R_1 \omega + (1 - \varepsilon) \Delta R'_1 \omega' + \varepsilon G'\omega' + \varepsilon \Delta R'_1 \omega'$$

d'où cette proposition :

La puissance au moyeu est égale à la somme de la puissance transmise au rouleau $(1 - \varepsilon) G'\omega'$ de la puissance employée pour produire la transmission du mouvement $\Delta R_1 \omega + (1 - \varepsilon) \Delta R'_1 \omega'$ et de la puissance perdue par suite du glissement $\varepsilon G'\omega' + \varepsilon \Delta R'_1 \omega'$.

Il est intuitif que $\varepsilon \Delta R'_1 \omega'$ est très petit (nous le négligerons dans la suite) et que $\varepsilon G'\omega'$ est égal à $\varepsilon \rho I_1 \omega$ (2).

V. — Résumé et conclusions

Il reste à faire l'application de ces observations à l'examen du principe des trois méthodes d'essai qui ont été décrites au § I. Quelle est la relation entre la

(1) La vitesse, si le glissement n'existe pas, serait $V = \rho \omega$.

(2) Outre la perte de vitesse résultant de la déformation du bandage, cette déformation a pour conséquence de modifier la résistance au roulement de la roue, la surface d'appui sur le sol éprouvant un déplacement relatif d'ensemble par rapport à la partie rigide de la roue. Voir le journal « *La Technique automobile* » N° de février 1907, page 25.

puissance motrice et la puissance que mesure l'expérimentateur qui applique ces méthodes ?

**

La méthode mise en œuvre au concours de la *Locomotion automobile* conduit à mesurer la fraction de la puissance motrice que les roues peuvent transmettre au rouleau qu'elles entraînent.

Les créateurs de cette méthode ont fait observer, avec raison, qu'il n'y a pas identité de valeur entre la puissance motrice et la puissance mesurée et que la différence entre les deux dépend de la résistance au roulement des roues motrices et du glissement possible de ces roues sur le rouleau.

Ils ont déterminé par des expériences préliminaires la valeur du glissement et ils ont constaté qu'elle était négligeable dans leurs essais.

Ils n'ont pas étudié la perte de puissance due à la transmission du mouvement de la roue au rouleau.

Nous avons vu au § III que cette transmission de mouvement est la cause d'une résistance spéciale qui n'a pas la même valeur que la résistance au roulement de la roue sur le rouleau et que nous avons appelée résistance à l'entraînement du rouleau.

Cette résistance spéciale est en quelque sorte la résultante de deux résistances au roulement : la résistance au roulement de la roue sur le rouleau, et la résistance au roulement du rouleau sur la roue.

Dans les conditions des essais du concours de la *Locomotion automobile* la perte des puissances due à la résistance à l'entraînement du rouleau est à peu près égale aux $\frac{3}{2}$ (1) de la perte de puissance due au roulement des roues motrices sur un sol horizontal de la même nature que la surface du rouleau.

En résumé : la puissance transmise au rouleau est la différence de la puissance motrice et d'une somme de trois termes : la puissance perdue par frottement du moyeu sur la fusée, la puissance perdue par résistance à l'entraînement du rouleau, la puissance perdue par glissement (2).

Sa valeur Q_1 est donnée par l'égalité :

$$Q_1 = M_\omega - \rho n P_\omega - f_\rho P_\omega - f' r' P_{\omega'} - \varepsilon \rho I_1 \omega,$$

dans laquelle :

$\rho n P_\omega$ est la puissance perdue par frottement sur la fusée.

$f_\rho P_\omega + f' r' P_{\omega'}$ la puissance perdue par entraînement du rouleau.

$\varepsilon \rho I_1 \omega$ la puissance perdue par glissement.

**

En créant la méthode de mesure de la puissance à la jante qui a été généralement adoptée, M. Gasnier a cru lever toutes les difficultés tenant à la transmission de la puissance de la voiture aux organes de mesure de l'appareil d'essai.

(1) Voir pages 23 et 24.

(2) Voir pages 16 et 20.

Dans l'énumération à l'aide de laquelle il précise la répartition d'emploi de la puissance motrice, il classe dans le 4^e les pertes de puissance dues aux déformations du bandage et au glissement, dans le 5^e, les pertes de puissance causées par la résistance au roulement et c'est entre le 4^e et le 5^e qu'il fait la coupure définissant la relation de la puissance à la jante et de la puissance motrice.

Par suite, d'après lui, la puissance à la jante est un élément mécanique dont la valeur ne dépend pas des conditions du roulement, c'est à-dire de l'appareil d'essai, si du moins on tient compte du glissement et qu'on regarde les pertes de puissance dues aux déformations du bandage comme assez faibles pour qu'on puisse les négliger.

Les expérimentateurs qui ont accepté cette manière de voir se sont trompés.

La puissance à la jante, c'est ce qui reste quand de la puissance motrice on a retranché successivement : la puissance perdue par frottement du moyeu sur la fusée, la puissance perdue par résistance au roulement des roues motrices, la puissance perdue par glissement (1).

La coupure dans l'énumération de M. Gasnier ne doit pas être après le 4^e, il faut la placer au milieu du 5^e, laissant en dehors des éléments qui constituent la puissance à la jante la puissance utilisée pour produire le roulement des roues motrices.

La valeur Q_2 de la puissance à la jante est donc donnée par l'égalité :

$$Q_2 = M\omega - \varphi n P\omega - f_p P\omega - \varepsilon I_1 \omega$$

dans laquelle :

$\varphi n P\omega$ est la puissance perdue par frottement du moyeu sur la fusée.

$f_p P\omega$ la puissance perdue par résistance au roulement.

$\varepsilon I_1 \omega$ la puissance perdue par glissement.

*

La valeur Q_3 de la puissance que l'on mesure en appliquant la méthode adoptée par le Laboratoire de l'Automobile Club est beaucoup plus simple. On a :

$$Q_3 = M\omega - \varphi n \pi \omega$$

Dans le second membre de cette égalité π est la somme du poids des roues motrices et de la partie du poids du frein que ces roues doivent supporter.

Le terme $\varphi n \pi \omega$ est toujours très petit et on peut dire que la puissance mesurée par un frein d'absorption convenable agissant sur la partie rigide des roues rendues libres du contact avec le sol est la puissance motrice.

*

La puissance motrice $M\omega$ est la puissance réellement utilisée pour la propulsion de la voiture.

(1) Voir pages 14 et 20.

Si l'on fait abstraction, en effet, des pertes de puissance — toujours faibles — qui peuvent résulter des déformations et des glissements du bandage dus à l'action motrice des roues, les résistances qui font obstacle au mouvement de la voiture sont les mêmes que la voiture marche par ses propres moyens ou qu'elle soit remorquée par un tracteur qui exerce sur elle un effort T . On a donc :

$$M\omega = TV$$

C'est par suite $M\omega$ qu'il faut connaître en fonction des conditions de fonctionnement du moteur si l'on veut déterminer le coefficient de traction de la voiture ou rapport $\frac{M}{T}$ de son poids total M à l'effort de traction, c'est-à-dire, étudier *les qualités de la voiture en tant que véhicule porteur.*

C'est encore $M\omega$ qu'il faut mesurer si l'on veut *connaitre le rendement mécanique de la voiture*, c'est-à-dire coter sa qualité en tant qu'ensemble d'organes mécaniques (embrayage, changement de vitesse, différentiel, etc.) destiné à transformer la puissance du moteur en de la puissance mécanique qui puisse être utilisée à la mise en marche de roues motrices.

M. Perot, Directeur du Laboratoire d'essais (1) a proposé de caractériser une voiture automobile par la puissance disponible pour vaincre la résistance de l'air, les déclivités et les aspérités de la route qui se traduisent soit par une variation de la résistance au roulement, soit par des pertes de force vive dues aux percussions, la voiture ayant sa charge normale.

On pourrait l'appeler « puissance résiduelle », c'est la différence de $M\omega$ et de la puissance dépensée pour produire le roulement de la voiture sur les tambours de l'appareil d'essai.

C'est un élément intéressant puisque c'est la valeur de la réserve de puissance qui reste dans les mains du conducteur pour parer aux accidents de la route, inégalité de terrain, déclivités, surcharges, etc.

Malheureusement cette donnée pratique ne peut pas servir à qualifier la qualité mécanique d'un châssis. Deux voitures ayant des moteurs de la même puissance effective et donnant la même puissance résiduelle à une vitesse déterminée, peuvent différer beaucoup au point de vue de leur utilisation comme organe porteur ou mécanique si leurs poids et leurs coefficients de roulement ne sont pas les mêmes.

*

Il ne peut rentrer dans le cadre de cette étude d'établir et de discuter la valeur des coefficients φ , f , f' , $(1 - \varepsilon)$. Il n'existe d'ailleurs aucune expérience faite pour déterminer la valeur des coefficients f et f' dans les conditions de roule-

(1) Voir un article sur l'essai des voitures automobiles dans la *Science au XX^e siècle* n° de juin 1905.

ment qui se présentent dans les appareils d'essai, c'est-à-dire dans le cas du roulement sur une surface convexe en bois rugueux.

Nous pouvons seulement, pour nous rendre compte si vraiment il y a un intérêt pratique à envisager les diverses pertes de puissance que nous avons indiquées, fixer conjecturalement la valeur de ces coefficients. Nous prendrons pour base les valeurs du coefficient de roulement déterminées par des expériences sur route et pour tenir compte de la convexité des tambours nous nous servirons de la relation établie par Dupuit entre le coefficient de roulement sur une surface plane et le coefficient de roulement sur une surface convexe (2).

Les expériences les plus récentes conduisent à adopter 0,015 pour valeur du coefficient de roulement dans le cas de roues de 0,9 à 1 mètre de diamètre munies de bandages pneumatiques et roulant sur très bon macadam (1).

Dans le cas de l'appareil du Laboratoire d'essais ce nombre est à multiplier par 0,8 pour tenir compte de la convexité des tambours. Nous prendrons comme probable $f = 0,012$.

Dans le cas de l'appareil du concours de la *Locomotion automobile* nous sommes conduit à adopter

$$f = f' = 0,0085$$

La valeur généralement admise pour φ est

$\varphi = 0,01$ dans le cas d'un moyeu patent avec graissage à l'huile.

$\varphi = 0,005$ dans le cas d'un roulement à billes.

La perte de puissance due au frottement des moyeux des roues motrices sur les fusées n'atteint donc jamais 1/5 de cheval.

Les expérimentateurs du concours de la *Locomotion automobile*, le baron de Mauni (3), d'autres encore ont essayé de mesurer le glissement. La valeur trouvée a toujours été extrêmement faible. Il y aurait lieu de faire des expériences avec les voitures actuelles.

Pratiquement, nous ne chiffrerons que les termes $fP\omega$ et $f'r'P\omega'$. Voici deux exemples dans lesquels la valeur de ces termes est mise en évidence.

Essai d'une voiture de ville du poids de 1.800 kilos en ordre de marche dont 1.000 kilos portés par les roues motrices et 800 par les roues avant.

La puissance effective du moteur est de 16 chevaux et l'essai est fait à une vitesse de 25 kilomètres à l'heure.

$$(1) f = F \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{R}{R_1}}}$$

où f est le coefficient de roulement sur la surface convexe, F le coefficient de roulement sur une surface plane de même nature, R et R' le rayon de la roue et le rayon de combinaison de l'ondulation. Dupuit, *Annales des Ponts et Chaussées*, année 1842, p. 281.

(2) On consultera sur ce point : L. Périsse, « Etude théorique de la traction dans les véhicules automobiles » dans la *Technique automobile*, janvier 1906 et nos suivants. Cette étude contient un résumé des résultats des essais les plus récents.

Une valeur du coefficient de frottement un peu différente de celle que nous avons adoptée a été donnée dans le rapport sur les progrès de l'automobilisme présenté au Congrès mécanique de 1900 par MM. Rocher, Cuenot et Mesnager.

(3) Baron de Mauni, *Bandages pneumatiques et résistance au roulement*.

La valeur du terme $f_p P_\omega$ est de 1,1 cheval.

La valeur de la somme des deux termes $f_p P_\omega$ et $f' r' P_\omega'$ est voisine de 2 chevaux.

Essai d'un omnibus pesant en service 8.500 dont 5.000 portés par les roues motrices. La puissance effective du moteur est de 30 chevaux et le nombre de tours de roues pendant l'essai correspond à une vitesse de 15 kilomètres à l'heure.

La valeur de $f_p P_\omega$ est de 3,3 chevaux. Celle de $f_p P_\omega + f' r' P_\omega'$ atteint 4,7 chevaux.

Les valeurs des pertes de puissance dues au roulement que nous venons d'indiquer ne peuvent pas être estimées négligeables, cependant elles ne donnent pas une idée exacte de l'importance vraie des distinctions que nous avons faites.

Elles sont comparées, en effet, aux valeurs de la puissance maxima du moteur. Or le moteur n'a à fournir sa puissance maxima que dans des cas exceptionnels, dans le cas, par exemple, où la voiture gravit la rampe la plus dure qu'elle peut aborder à la vitesse considérée. La plupart du temps il ne développe que la 1/2, les 2/3 ou les 3/4 de sa puissance maxima. Si l'on étudie la voiture dans ces conditions de fonctionnement — et pourquoi ne le ferait-on pas, puisque ce sont ses conditions de marche normale ? — l'importance relative des pertes dues au roulement grandit puisque leur valeur qui ne dépend que de la charge et de la vitesse est demeurée la même pendant que la puissance du moteur a diminué.

* *

Toute cette discussion se résume en trois propositions.

1^o *La puissance à la jante* (produit de la vitesse de la voiture par la composante de la réaction du sol parallèle à la route), *n'est identique en valeur* :

Ni à la puissance motrice (produit de la vitesse angulaire des roues motrices par le moment par rapport à leur axe des forces dues à l'action des organes moteurs) ;

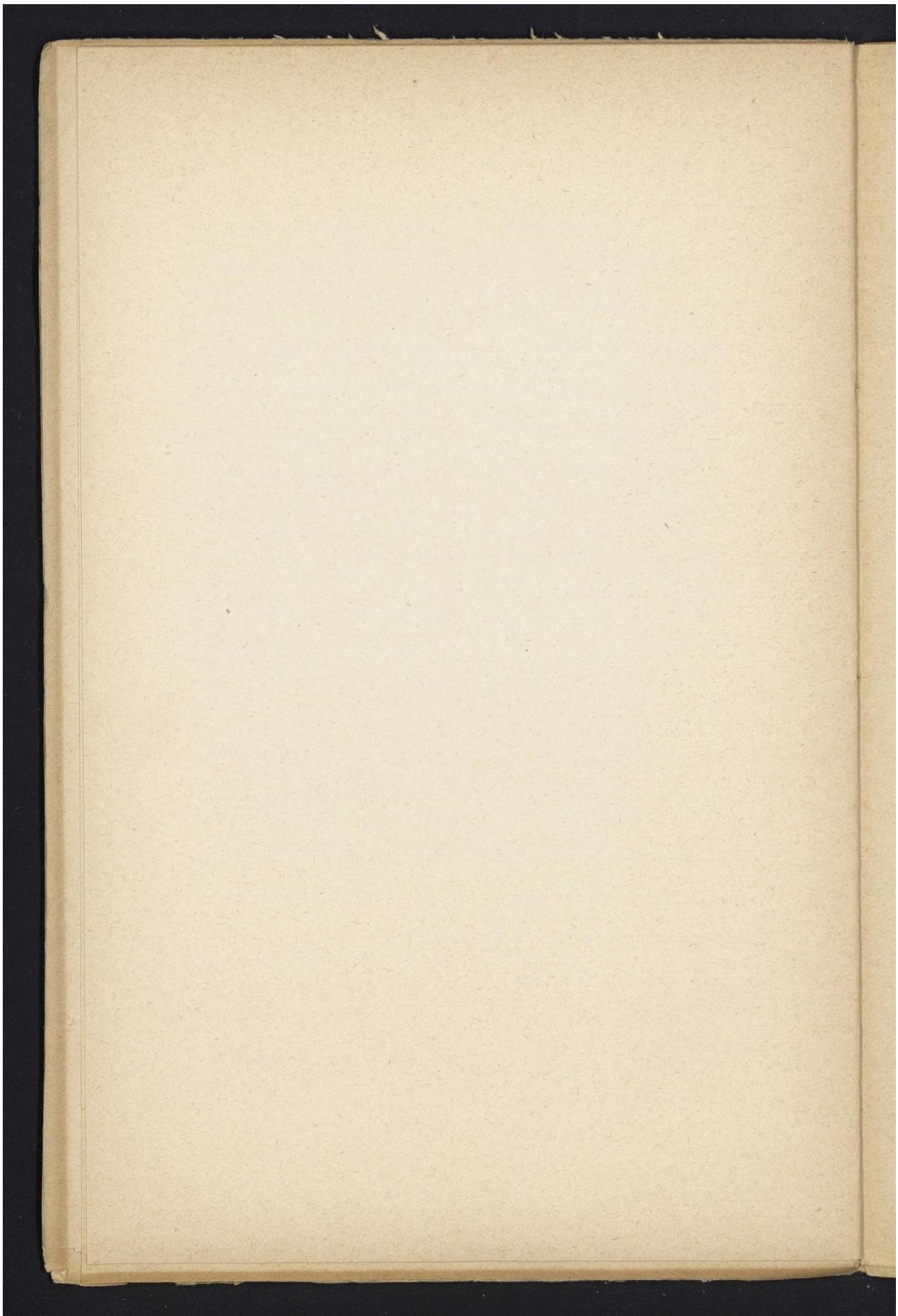
Ni à la puissance que les roues motrices peuvent transmettre à un rouleau qu'elles entraînent.

2^o *Les différences entre ces trois éléments sont causées par des résistances dues au roulement des roues motrices.*

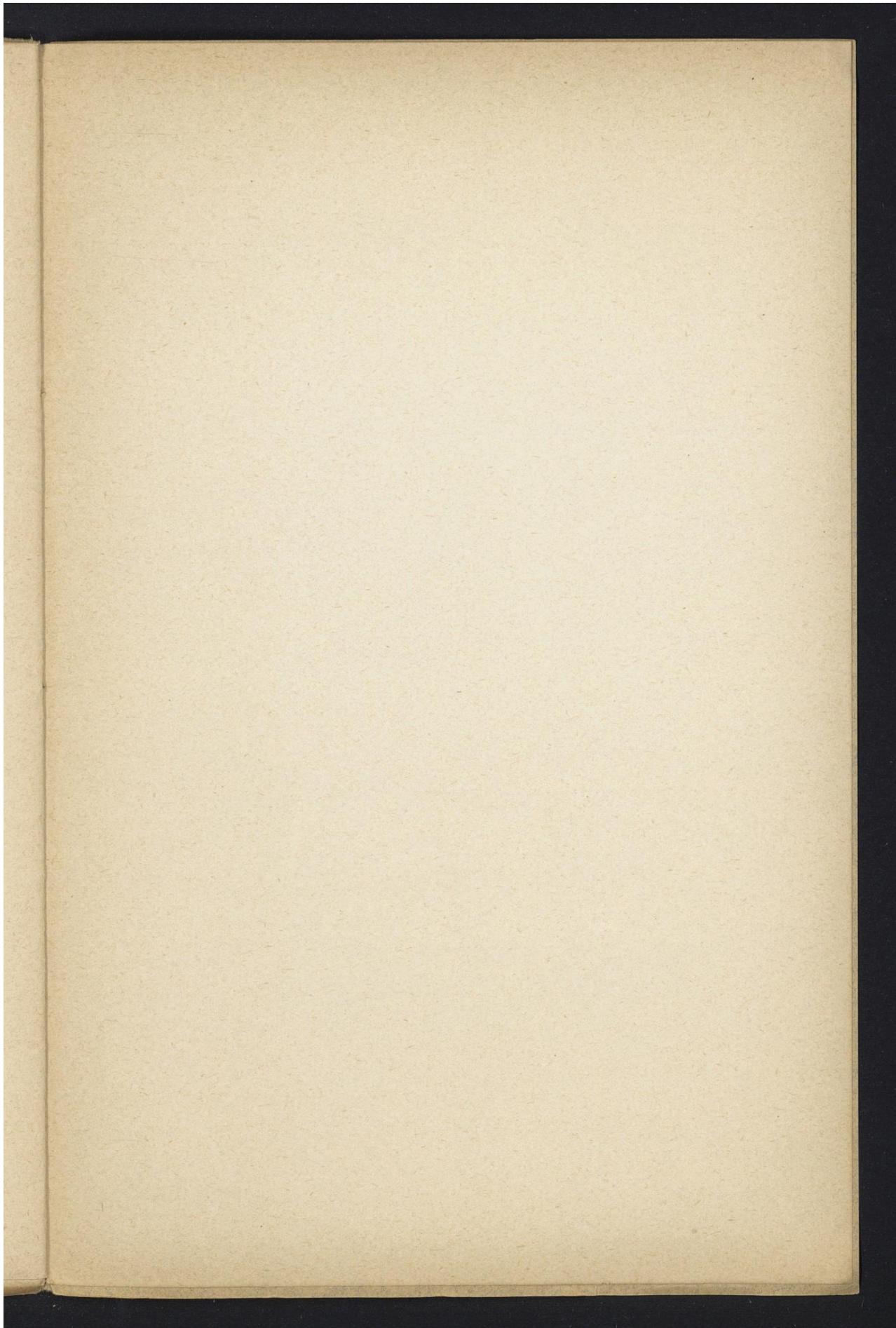
Ces différences ne peuvent pas être négligées.

3^o *La puissance à la jante n'est pas la valeur de la puissance utilisée pour produire le mouvement de la voiture.*

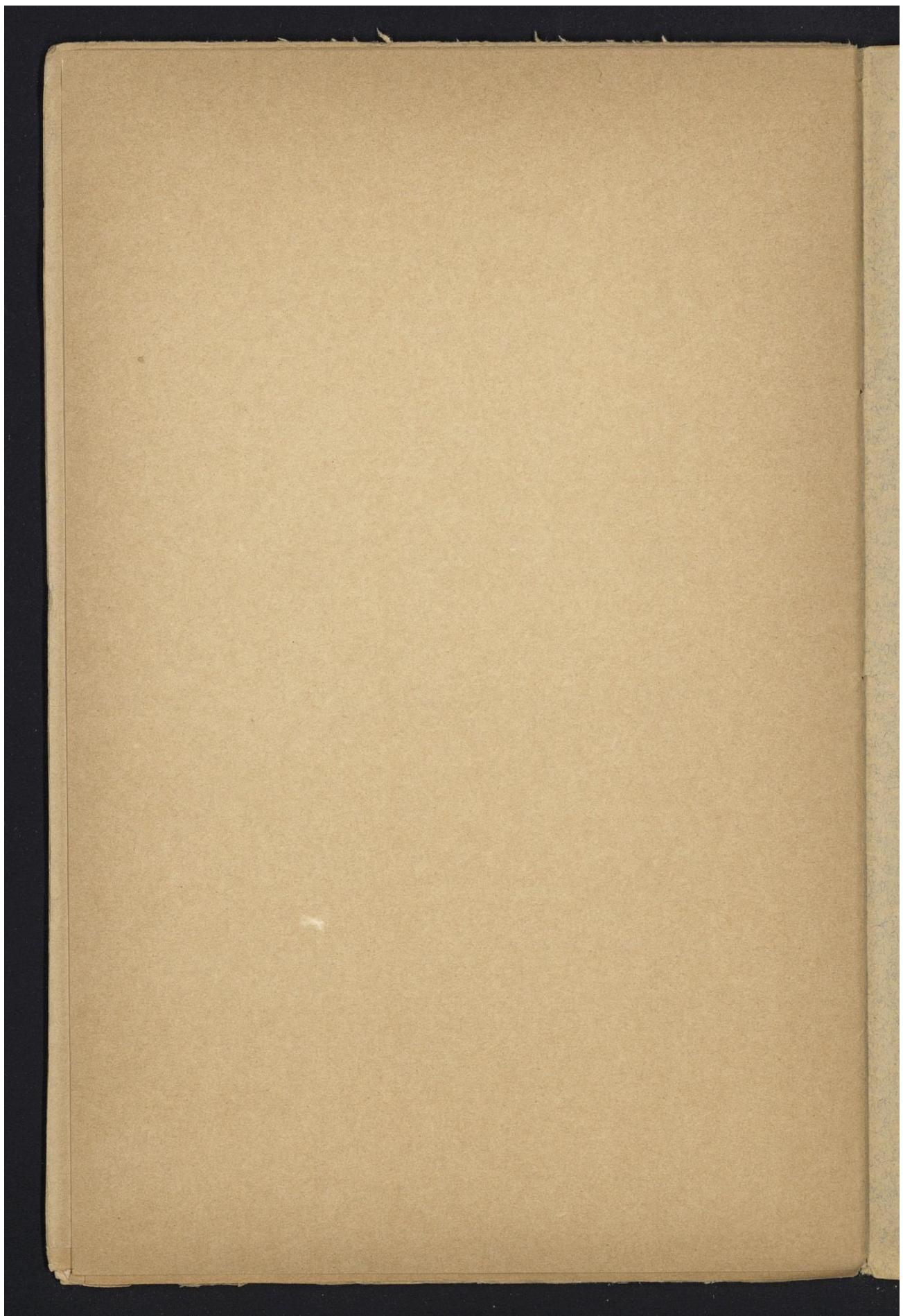




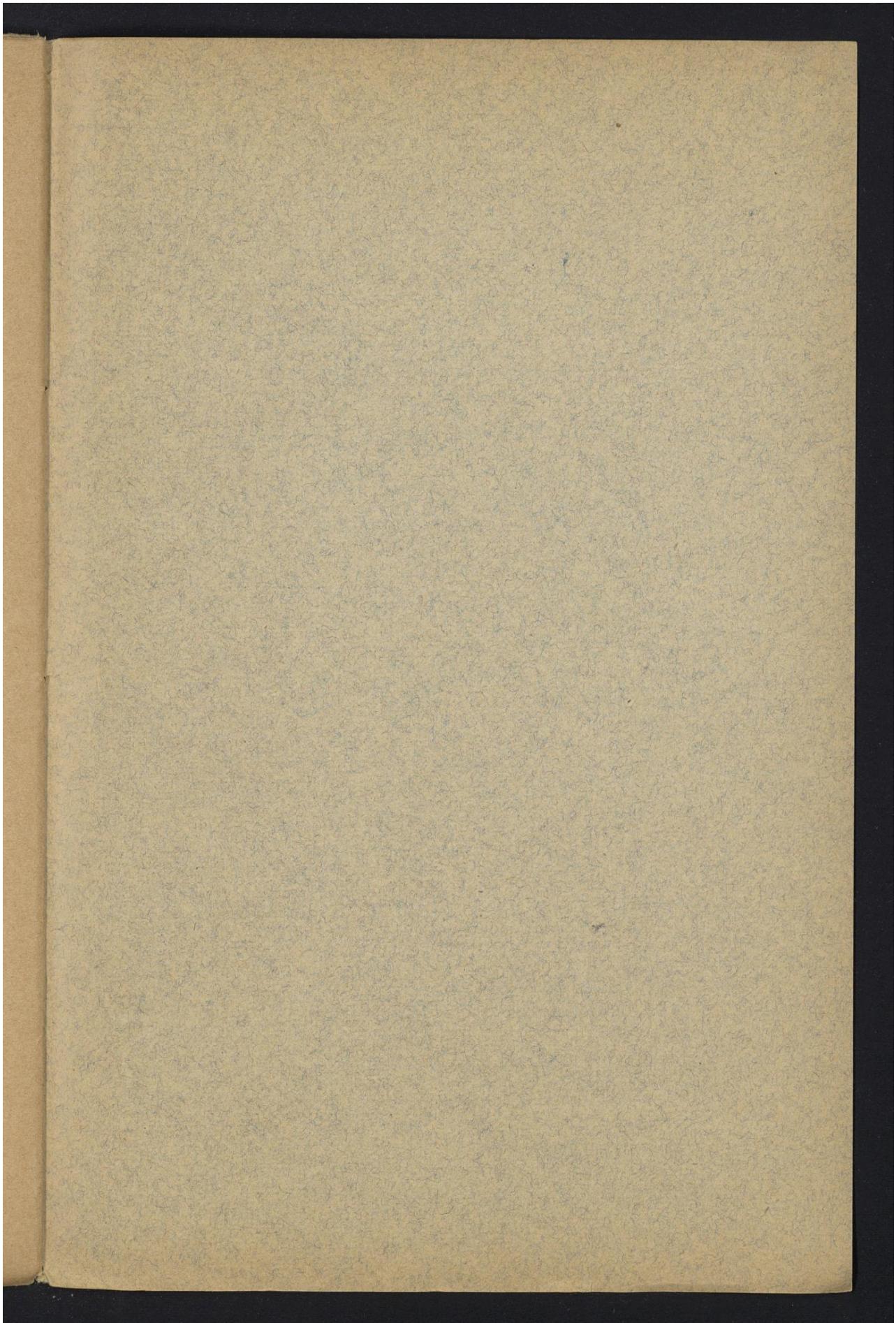
Droits réservés au [Cnam](#) et à ses partenaires



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



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



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

Librairie Polytechnique Ch. BÉRANGER, Editeur
Successeur de BAUDRY & C°
PARIS, RUE DES SAINTS-PÈRES, 45. — LIÈGE, RUE DE LA RÉGENCE, 21

BULLETIN DU LABORATOIRE D'ESSAIS

MÉCANIQUES, PHYSIQUES, CHIMIQUES ET DE MACHINES

DU

CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS

Le Bulletin ne sera pas périodique, il paraîtra par fascicules détachés

Organisation et outillage du laboratoire d'essais.

N° 1. Le laboratoire d'essais mécaniques, physiques, chimiques et de machines du conservatoire national des Arts et Métiers, son organisation, son outillage, par A. PÉROT, directeur du Laboratoire. 1 brochure in-8° 1 fr. 50

Rapport du Congrès de Berlin, juin 1903.

N° 2. Extrait du rapport de mission donnée au chef de la section des matériaux de construction au Congrès de chimie de Berlin (juin 1903). — I. Laboratoires d'essais. — II. Fabrication du ciment par fours rotatifs. Description de deux usines. — III. Filtre Beeth. — IV. Essais de ciment de fours rotatifs. — V. Sur un procédé simple et rapide permettant de différencier une chaux grasse d'une chaux hydraulique, par E. LEDUC, chef de la Section des matériaux de construction au laboratoire d'essais. Une brochure in-8°, contenant des figures dans le texte et 4 planches hors texte. 4 fr.

Action de l'eau de mer sur les mortiers.

N° 3. Action de l'eau de mer sur les mortiers, par E. LEDUC, chef de la section des matériaux de construction. Une brochure in-8° 1 fr. 50

Métaux ferreux.

N° 4. Contribution à l'étude des relations qui existent entre les effets des sollicitations lentes et ceux des sollicitations vives dans le cas des métaux ferreux (barreaux lisses et barreaux entaillés), par P. BREUIL, chef de la section des métaux du laboratoire d'essais. 1 brochure in-8° 12 fr.

Nouveau système de longueurs d'ondes étalons.

N° 5. Rapport sur la nécessité d'établir un nouveau système de longueur d'ondes étalons, présenté au nom de la Société française de Physique au Congrès international de physique de l'Exposition de Saint-Louis, par A. PÉROT et FABRY. 1 brochure in-8° 0 fr. 75

Essais des huiles de pétrole.

N° 6. Essais mécaniques des huiles de pétrole ou autres, effectués au laboratoire d'essais du Conservatoire National des Arts et Métiers de Paris, par P. BREUIL. Une brochure in-8° avec figures et tableaux d'essais 2 fr.

Perte de chaleur des enveloppes calorifuges.

N° 7. Manière de mesurer les pertes de chaleur des enveloppes calorifuges. Quelques résultats d'essais faits au Laboratoire par BOYER-GUILLON, chef de la section des machines et MM. AUCLAIR et LAEDLEIN, assistants. Une brochure in-8° avec deux planches 2 fr.

Essais de compteurs d'eau.

N° 8. Essais de compteurs d'eau, par A. PÉROT, directeur du Laboratoire d'essais et H. MICHEL-LEVY, assistant 4 fr.

Valeurs comparatives des trois étalons lumineux.

N° 9. Rapport sur les valeurs comparatives des trois étalons à flamme : Carcel, Hefner, Vernou-Harcourt, par A. PÉROT, directeur du Laboratoire d'essais et P. JANET, directeur du Laboratoire Central d'Electricité. 0 fr. 75

Sur la constitution intime des calcaires.

N° 10. Sur la constitution intime des calcaires, par E. LEDUC, chef de section des matériaux de construction au Laboratoire d'essais du Conservatoire des Arts et Métiers, avec 4 planches et 100 tableaux.

Essais sur le plâtre.

N° 11. Essais sur le plâtre, par E. LEDUC, chef de section des matériaux de construction au Laboratoire d'essais du Conservatoire des Arts et Métiers, et Maurice PELLET, ingénieur-agronome 1 fr. 50