



NOTE

SUR LA

RÉSISTANCE DES TRAINS A LA TRACTION

SUR LES PETITS CHEMINS DE SERVICE

EN USAGE DANS LES MINES

PAR

M. ALFRED ÉVRARD

INGÉNIEUR DIRECTEUR DE LA COMPAGNIE HOUILLÈRE DE FEFAY

Extrait des Mémoires de la Société des Ingénieurs civils

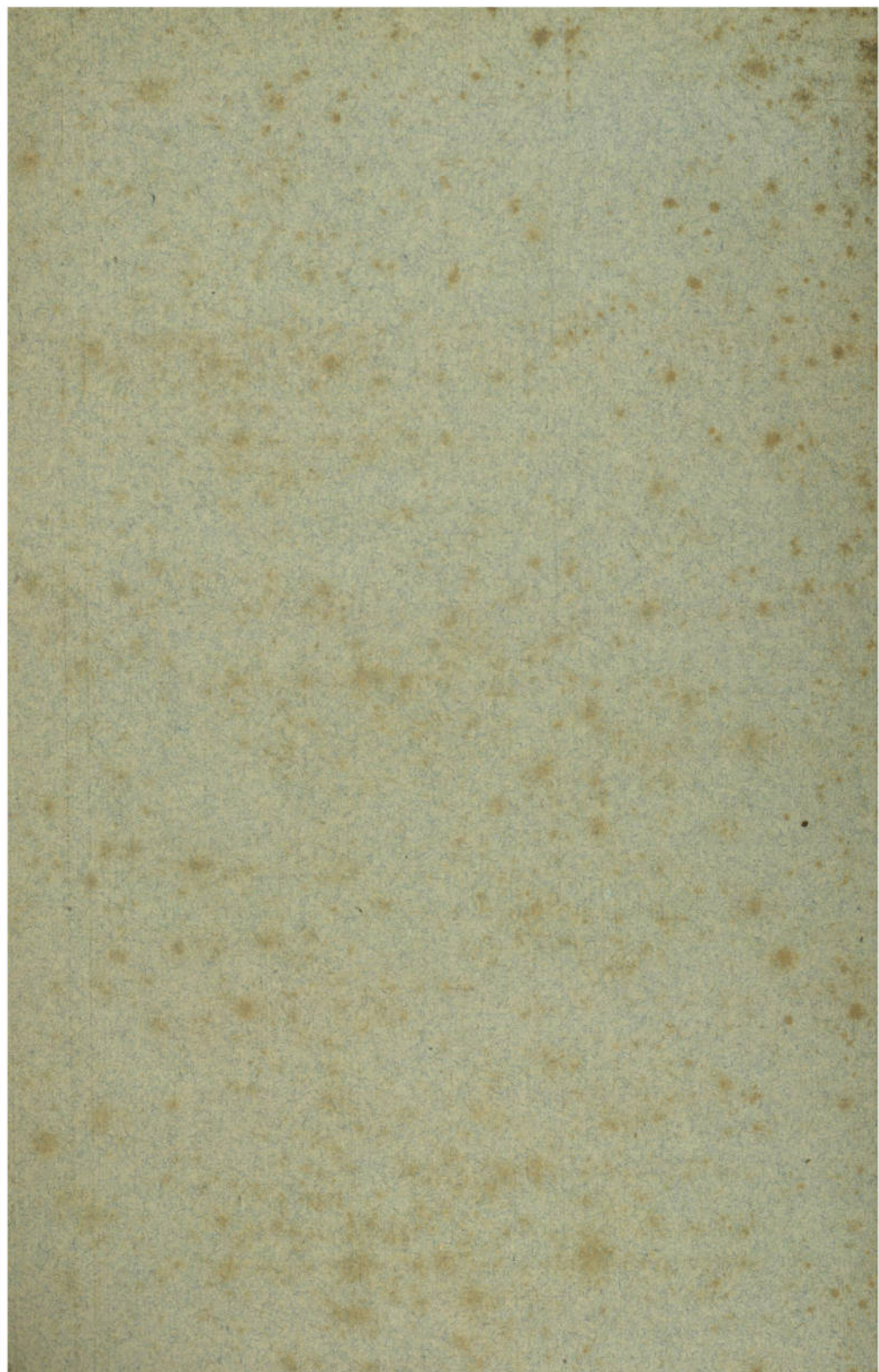
PARIS

E. CAPIOMONT & V. RENAULT

IMPRIMEURS DE LA SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

6, rue des Poitevins, 6

—
1879



NOTE
SUR LA
RÉSISTANCE DES TRAINS A LA TRACTION

SUR LES PETITS CHEMINS DE SERVICE

EN USAGE DANS LES MINES

PAR M. **ALFRED ÉVRARD**

INGÉNIEUR - DIRECTEUR DE LA COMPAGNIE HOUILLÈRE DE FERFAY

EXTRAIT des Mémoires de la Société des Ingénieurs civils

Les données que nous possédons sur l'importante question de la résistance à la traction des convois circulant sur les chemins de fer à grande section sont encore peu nombreuses, bien que l'origine des voies ferrées soit déjà fort éloignée de nous. Les coefficients indiqués par les auteurs qui se sont occupés de cette question s'appliquent à des conditions déterminées, comme établissement et entretien de la voie et du matériel; ils sont susceptibles de variations sensibles d'un chemin de fer à un autre; il faut donc, en les généralisant, ne considérer les résultats du calcul que comme approximatifs. En tous cas on ne peut en étendre l'application aux chemins de fer à petite section, même aux lignes de cette nature les mieux établies, et l'on commettrait une erreur grossière en les appliquant aux petites voies de service, établies, dans des conditions essentiellement économiques, à l'intérieur des usines et dans les mines.

En l'absence d'expériences sérieuses sur le frottement du petit matériel circulant sur ces voies de service, quelques auteurs se sont avancés à donner des indications reproduites dans plusieurs traités d'exploitation des mines, et qui sont en contradiction avec les faits observés dans la pratique.

En attendant que les ingénieurs des mines aient pu réunir sur cette

*

intéressante question des données d'expérience suffisamment nombreuses et précises, et qu'ils aient soumis à l'analyse les résultats obtenus avec les nombreux types de wagonnets, bennes et berlines en usage dans le roulage souterrain, je vais donner ici quelques indications utiles, qui auront au moins le mérite de s'appuyer sur des expériences faites sur de petites voies de 0^m,60 de largeur.

Expression générale de la résistance totale d'une berline à la traction. — La résistance totale qu'un wagon circulant sur une voie ferrée oppose à sa traction a pour expression :

$$R = f(P + p) + f'P \frac{d}{D} + \theta \varepsilon A V^2 \pm (P + p) \sin \alpha.$$

R,	Résistance totale à la traction;	
P,	Poids qui repose sur les roues;	
p,	Poids des roues et des essieux;	
P + p,	Poids total du wagon;	
f,	Coefficient du frottement de roulement;	
f',	Coefficient de frottement des essieux dans leurs boîtes;	
d,	Diamètre des fusées;	
D,	Diamètre des roues;	
θ,	Coefficient constant;	
ε,	Coefficient qui dépend du rapport de la longueur du prisme présenté à la résistance de l'air au côté de la base de ce même prisme;	} Terme représentant la résistance de l'air.
V,	Vitesse relative comparée à celle de l'air et exprimée en mètres par seconde;	
A,	Base du prisme en mètres carrés;	
α,	Angle que fait le profil du chemin avec l'horizon.	

A la vitesse ordinaire des wagonnets ou berlines circulant sur les petites voies souterraines, vitesse qui varie de 1 mètre à 3^m,50 par seconde, on peut négliger le terme $\theta \varepsilon A V^2$ représentant la résistance de l'air; de sorte que l'expression générale de la résistance totale d'une berline devient :

1° Dans le cas d'une berline vide,

$$R = f(P + p) + f' P \frac{d}{D} \pm (P + p) \sin \alpha;$$

2° Dans le cas d'une berline chargée,

$$R = f(P + p + P') + f' (P + P') \frac{d}{D} \pm (P + p + P') \sin \alpha.$$

P, Poids de la caisse;

p, Poids des deux essieux montés;

P + p, Poids de la berline vide ou *poids mort*;

P', Poids de la charge ou *poids utile*;

P + p + P', Poids de la berline chargée.

Valeurs et rapports des poids. — En général, le poids des deux essieux montés représente de 0,20 à 0,30 du poids mort; on peut poser en moyenne :

$$p = 0,25 (P + p).$$

D'un autre côté, en comparant quinze types de berlines ou wagonnets de mines pris dans différents bassins houillers, je relève les moyennes suivantes :

Charge ou poids utile.	P' = 529 kil.
Poids mort.	P + p = 232 kil.
Rapport de la charge au poids mort. . .	$\frac{P'}{P + p} = 2,28$
Rapport du poids total au poids mort. .	$\frac{P + p + P'}{P + p} = 3,28$

On déduit de ces diverses données :

$$P + p = 0,44 P'$$

$$p = 0,11 P'$$

$$P = 0,33 P'$$

$$P + p + P' = 1,44 P'.$$

Ces valeurs résultent du tableau suivant :

NUMÉROS D'ORDRE.	DÉSIGNATION DES TYPES DE BERLINES OU DE WAGONNETS.	POIDS TOTAL.	POIDS UTILE.	POIDS MORT.	PRIX du chariot.	RAPPORT du chariot plein au vide.	RAPPORT de la charge au poids mort.
		$P+p+P'$	P'	$P+p$		$\frac{P+p+P'}{P+p}$	$\frac{P'}{P+p}$
		kil.	kil.	kil.	fr.		
1	Wagonnet de Mons.....	332	240	92	50	3.60	2.60
2	Wagonnet de Newcastle....	590	400	190	125	3.10	2.10
3	Berline en tôle de Liège....	810	600	210	140	3.85	2.85
4	Berline d'Anzin.....	590	390	200	102	2.95	1.95
5	Berline de Blanzv.....	830	600	230	»	3.60	2.60
6	Benne de la Grand'Combe....	450	310	140	77	3.20	2.20
7	Berline Cabany.....	680	500	180	»	3.78	2.78
8	Char à quatre bennes.....	945	600	345	166	2.74	1.74
9	Grande benne de Blanzv....	1350	1000	350	»	3.85	2.85
10	Grand wagonnet de la Grand' Combe.....	1400	1000	400	240	3.50	2.50
11	Berline en bois de Ferfay, type n° 1.....	560	370	190	55	2.95	1.95
12	Berline en bois de Ferfay, type n° 2.....	594	400	194	62	3.05	2.05
13	Berline ovale en tôle de Bé- zenet.....	730	465	265	92	2.75	1.75
14	Berline ovale en tôle de Saint- Étienne.....	754	500	254	110	2.96	1.96
15	Berline carrée en tôle de Saint- Étienne.....	809	545	264	115	3.06	2.06
	Moyennes.....	761	529	232	120	3.28	2.28

Dans ce tableau figurent quelques types de wagonnets dont les dimensions s'écartent notablement de celles qu'on rencontre, d'une manière plus fréquente, dans le matériel des houillères françaises. Les berlines n^{os} 4, 11, 12, 14 et 15 appartiennent, au contraire, à des types répandus se rapprochant des conditions déterminées par les relations suivantes :

$$\begin{aligned}
 P + p &= 0,50 P' \\
 p &= 0,25 (P + p) = 0,125 P' \\
 P &= 0,375 P' \\
 P + p + P' &= 1,50 P'.
 \end{aligned}$$

Valeur de *f*. — La valeur de *f* est susceptible de varier dans des limites étendues sur les petites voies souterraines, qui présentent de si grandes différences dans les conditions d'établissement et d'entretien; elle dépend beaucoup du degré d'encrassement des rails par des matières terreuses dans lesquelles le bourrelet des roues trace un

sillon; elle dépend aussi de l'état des roues qui sont plus ou moins lisses, plus ou moins propres, et plus ou moins creusées par l'usure.

On peut admettre que dans des voies souterraines de 0^m,60 de largeur la valeur de f est, en général, comprise entre 0,005 et 0,009, soit en moyenne 0,007, valeur sept fois plus grande que celle qui a été trouvée sur les grands chemins de fer¹.

Valeur de f' . — Le coefficient f' est relatif au frottement des essieux dans leurs coussinets, si les essieux sont mobiles, ou au frottement des roues autour des fusées, si les roues ne sont pas calées sur les essieux. Ce frottement est, comme le précédent, susceptible de grandes variations. Le petit matériel roulant des mines est généralement pourvu de moyens de graissage très imparfaits, et les matières lubrifiantes dont on fait usage sont souvent de mauvaise qualité; cette imperfection est encore augmentée par le cambouis que la poussière des chantiers accumule autour des axes de rotation. Au chiffre de 0,05 adopté pour le grand matériel convenablement graissé, il faut, dans le cas du petit matériel souterrain, substituer le coefficient de 0,10 applicable aux surfaces simplement onctueuses et mouillées.

Valeur de $\frac{d}{D}$. — Quant à la valeur de $\frac{d}{D}$, qui s'abaisse à $\frac{1}{14}$ dans le grand matériel, et qui, dans tous les cas, est comprise entre $\frac{1}{12}$ et $\frac{1}{14}$, elle s'élève en moyenne à $\frac{1}{10}$ pour le matériel roulant en usage dans les mines, où le diamètre des roues est limité par la hauteur des galeries, par la nécessité d'assurer la stabilité, par l'écartement d'essieux que permet le rayon des courbes, etc., etc.

Application du calcul aux berlines de Bézenet. — Appliquons ces données aux berlines du Bézenet (type n° 13 du tableau de la page 4). Ces berlines pèsent vides 265 kilogrammes; elles contiennent 465 kilogrammes de houille.

1. J'ai laissé librement descendre des essieux de berlines sur un plan incliné de 15° de pente établi dans des conditions médiocres à la fosse n° 2 de Ferfay. En observant la durée de la descente avec un chronomètre à secondes, j'ai pu calculer la valeur de f que j'ai trouvée = 0,0073.

On a :

$$\begin{aligned} P + p &= 265 \text{ kilogrammes,} \\ p = 0,25 (P + p) &= 66 \quad - \\ \text{d'où} \quad P &= 199 \quad - \end{aligned}$$

$$f = 0,007$$

$$f' = 0,1$$

$$\frac{d}{D} = 0,1$$

$$\left. \begin{array}{l} f' \\ \frac{d}{D} \end{array} \right\} \text{d'où } f' \frac{d}{D} = 0,01.$$

1° Pour une berline vide circulant en palier, on aura :

$$\begin{aligned} R &= 0,007 \times 265 + 0,01 \times 199 = 1,855 + 1,99 = 3,845, \\ F &= \frac{R}{P + p} = \frac{3,845}{265} = 0,01451, \\ &= \frac{1}{69}; \end{aligned}$$

2° Dans le cas d'une berline pleine, on aura :

$$\begin{aligned} R &= 0,007 \times 730 + 0,1 \times 664 = 5,11 + 6,64 = 11,75, \\ F &= \frac{11,75}{730} = 0,0161, \\ &= \frac{1}{62}. \end{aligned}$$

On va voir que les résultats du calcul concordent avec les expériences faites pour mesurer directement la résistance totale à la traction des berlines de Bézenet.

Expériences faites à Bézenet pour la mesure du frottement total. — En juillet 1868, des expériences ont été faites aux mines de Bézenet pour mesurer le frottement total des berlines et comparer le graissage ordinaire à l'huile, sans boîtes spéciales, avec le système de M. Condat basé sur l'emploi de la graisse semi-fluide. Les essais ont été faits sur deux plans inclinés, de pente inverse, raccordés par une courbe à leur partie inférieure; on observait la hauteur à laquelle une berline qui avait librement descendu la pente

du premier plan remontait sur le plan ascendant. On a appliqué la formule :

$$F = \frac{H - h}{E + e}.$$

- H, Hauteur du point de départ des berlines sur le premier plan incliné ;
- h, Hauteur de l'arrivée sur le deuxième plan incliné ;
- E, Longueur de la descente sur le premier plan ;
- e, Longueur de la remonte sur le deuxième plan.

Pour rendre les résultats bien comparables, les expériences ont été faites avec des berlines neuves, des deux systèmes, ayant fonctionné dix jours.

Première série d'expériences.

Les berlines ordinaires ont été graissées, et les godets graisseurs des roues Condat ont été remplis. Avant de commencer les expériences on a fait parcourir à toutes les berlines un espace d'environ 500 mètres.

Les résultats obtenus sont détaillés dans le tableau n° 4 ; on a trouvé en moyenne :

Pour les roues Condat. $F = \frac{1}{63,5}$;

Pour les roues ordinaires. $F = \frac{1}{68}$.

Deuxième série d'expériences.

Les berlines ont circulé pendant plusieurs heures ; les roues Condat étaient dans un bon état de graissage ; les roues ordinaires, au contraire, étaient presque sèches.

Les résultats sont consignés dans la deuxième partie du tableau n° 4 ; on a obtenu :

Pour les roues Condat. $F = \frac{1}{60}$;

Pour les roues ordinaires. $F = \frac{1}{60}$.

En prenant la moyenne des deux séries d'expérience, on a :

Pour les roues Condat. $F = \frac{1}{61,3}$;

Pour les roues ordinaires. $F = \frac{1}{63,6}$.

Expériences de M. Lombard. — Antérieurement aux essais dont il vient d'être question, M. Lombard, ingénieur-directeur des mines de Graissessac, avait fait quelques expériences pour mesurer la résistance à la traction du matériel roulant des houillères. Dans ces expériences, M. Lombard s'était, comme à Bézenet, proposé de comparer l'efficacité de plusieurs systèmes de graissage. Cet ingénieur avait trouvé :

Pour les roues ordinaires fraîchement graissées à l'huile. $F = \frac{1}{63}$;

Pour les roues de son système¹ après quatre jours de graissage. $F = \frac{1}{63}$;

Pour les roues à gorge du système Cabany. $F = \frac{1}{49}$.

En comparant, pour un même système, l'emploi de la graisse et de l'huile d'olive, M. Lombard a obtenu en faveur de cette dernière matière une diminution d'environ 4 pour 100 dans la valeur de F, ce qui est conforme à la moyenne des résultats observés à Bézenet.

Expériences faites aux houillères de Ferfay, en 1877. — On se servait, en 1877, aux houillères de Ferfay, de divers types de berlines laissant à désirer sous bien des rapports, mais qui avaient pu suffire, jusque-là, à une extraction par puits peu développée. On s'était surtout laissé guider dans le choix de ce matériel défectueux par la pensée d'avoir des berlines légères devant circuler sur des voies gondolées par le boursofflement continu du mur, et sur des plans inclinés nombreux et à fortes pentes. Cette dernière considération avait imposé l'emploi de caisses en bois, et une construction simple et économique pouvant permettre de remplacer, à peu de frais, le matériel mis promptement hors de service. Un essai timide de berlines en tôle montées sur châssis en bois, avait été fait à la fosse n° 3, sur une voie de fond et dans une vallée desservie par un traînage mécanique. On avait renoncé à ce système, malgré les bons résultats obtenus dans cette région de la mine, à cause de la nécessité

1. Les roues du système Lombard sont munies d'un réservoir d'huile.

de faire circuler le même matériel dans toutes les parties de l'exploitation et par conséquent sur tous les plans inclinés.

Voici, en résumé quelle était, en 1877, la composition du matériel roulant de Ferfay :

1° Fosse n° 1. — Berlines en bois de 4 hectolitres, pesant vides de 180 à 190 kilogrammes (n° 11 du tableau de la page 4); roues à gorge, de 0^m,280 de diamètre; fusées de 0^m,032 de diamètre. Les essieux tournent dans des coussinets et les roues tournent également sur les fusées. Voie en rails à simple T de 0^m,050 de hauteur et de 0^m,045 de base, pesant environ 5 kilogrammes le mètre courant;

2° Fosse n° 2. — Mêmes berlines que les précédentes;

3° Fosse n° 2. — Les mêmes caisses montées sur des essieux de 0^m,040, tournant dans des coussinets et munis de roues calées, à boudin (roues plates). Ces berlines roulent sur un fer à double bourrelet pesant 5 kilogrammes le mètre courant;

4° Fosse n° 3. — Mêmes roues et mêmes essieux montés sur des caisses de 4 hectol. 5;

5° Fosse n° 3. — Mêmes berlines que le type précédent, mais avec des boîtes à graisse permettant un graissage moins fréquent; ces berlines pèsent environ 215 kilogrammes;

6° Fosse n° 3. — Berlines en tôle pesant vides 250 kilogrammes, et contenant 5 hectolitres; mêmes essieux, mêmes roues et mêmes boîtes à graisse que pour le type précédent.

Il était intéressant de se rendre compte de la résistance à la traction opposée par ces différents types de berlines. Les expériences ont eu lieu les 24, 25 et 26 avril 1877. Comme à Bézenet, on a opéré sur deux plans inclinés en sens inverse, le premier ayant une longueur fixe, l'autre une longueur indéterminée. Le premier plan avait une longueur E de 30 mètres et une hauteur H de 1 mètre, ce qui donnait une pente de 0^m,0333 par mètre. Le second plan incliné offrait à la remonte des berlines une rampe de 0^m,01. Les berlines lancées du haut du premier plan remontaient sur le second à une hauteur h et parcouraient, sur ce second plan, une longueur e . Le coefficient de frottement était, comme à Bézenet, déterminé par la formule :

$$F = \frac{H - h}{E + e}$$

Les deux plans inclinés étaient munis d'une double voie : l'une établie en rails à double champignon pour les roues plates, l'autre en fer à simple T pour les roues à gorge.

Les résultats de ces expériences sont indiqués dans les tableaux (n° 2 à n° 9).

Expériences faites aux houillères de Ferfay pour déterminer le coefficient du frottement total des berlines.

BERLINES NEUVES EN BOIS DESSERVANT LE TRAINAGE MÉCANIQUE
DE LA FOSSE N° 3.

N° 2. Roues plates, graissage assez soigné.

NUMÉROS des expériences.	e	h	$H - h$	$E + e$	F	OBSERVATIONS.
1	7.66	0.0766	0.9234	37.66	0.0245	
2	6.60	0.0660	0.9740	36.60	0.0266	
3	7.10	0.0710	0.9290	37.10	0.0250	
4	8.37	0.0837	0.9143	38.37	0.0237	
5	7.00	0.0700	0.9300	37.00	0.0231	
6	8.50	0.0850	0.9150	38.50	0.0238	
7	10.85	0.1085	0.8915	40.85	0.0218	
8	12.55	0.1255	0.8745	42.55	0.0205	
9	14.47	0.1447	0.8553	44.47	0.0192	
10	12.40	0.1240	0.8760	42.40	0.0206	
11	13.58	0.1358	0.8642	43.58	0.0198	
12	13.58	0.1358	0.8642	43.58	0.0198	
13	14.34	0.1434	0.8566	44.34	0.0193	
14	16.12	0.1612	0.8388	46.12	0.0182	
15	18.95	0.1895	0.8105	48.95	0.0166	
16	18.82	0.1882	0.8118	48.82	0.0166	
17	12.42	0.1242	0.8758	42.42	0.0206	
18	11.94	0.1194	0.8805	41.94	0.0209	
19	13.83	0.1383	0.8617	43.83	0.0196	
						Moyenne = $\frac{0.04022}{19}$
						$F = \frac{1}{47}$

Expériences faites aux houillères de Ferfay pour déterminer le coefficient du frottement total des berlines.

BERLINES NEUVES EN BOIS DESSERVANT LE TRAINAGE MÉCANIQUE
DE LA FOSSE N° 3.

N° 5. *Roues plates, graissage soigné.*

NUMÉROS des expériences.	<i>e</i>	<i>h</i>	<i>H - h</i>	<i>E + e</i>	<i>F</i>	OBSERVATIONS.
1	24.55	0.2455	0.7545	54.55	0.0138	Moyenne = 0,01253 $F = \frac{1}{79.8}$
2	26.78	0.2678	0.7322	56.78	0.0129	
3	26.47	0.2647	0.7353	56.47	0.0128	
4	25.51	0.2551	0.7449	55.51	0.0134	
5	25.58	0.2558	0.7442	55.58	0.0134	
6	30.80	0.3080	0.6920	60.80	0.0114	
7	30.23	0.3023	0.6977	60.23	0.0116	
8	29.46	0.2946	0.7054	59.46	0.0118	
9	29.10	0.2910	0.7090	59.10	0.0119	
10	28.18	0.2818	0.7182	58.18	0.0123	
					0.1253	

Expériences faites aux houillères de Ferfay pour déterminer le coefficient du frottement total des berlines.

BERLINES EN BOIS DESSERVANT LE ROULAGE ORDINAIRE DE LA FOSSE N° 3
(TYPE N° 12)

Construites chez M. Corroyez, constructeur, et ayant fait un assez long service dans la mine.

N° 4. *Roues plates, graissage soigné.*

NUMÉROS des expériences.	<i>e</i>	<i>h</i>	<i>H - h</i>	<i>E + e</i>	<i>F</i>	OBSERVATIONS.
1	29.08	0.2908	0.7092	59.08	0.0120	Moyenne = 0.01019 $F = \frac{1}{98}$
2	31.38	0.3138	0.6862	61.38	0.0112	
3	31.71	0.3171	0.6829	61.71	0.0110	
4	31.67	0.3167	0.6833	61.67	0.0111	
5	31.27	0.3127	0.6873	61.27	0.0112	
6	34.00	0.3400	0.6600	64.00	0.0106	
7	40.00	0.4000	0.6000	70.00	0.0086	
8	39.00	0.3900	0.6100	69.00	0.0088	
9	40.00	0.4000	0.6000	70.00	0.0086	
10	39.00	0.3900	0.6100	69.00	0.0088	
					0.1019	

Expériences faites aux houillères de Ferfay pour déterminer le coefficient du frottement total des berlines.

BERLINES EN TOLE DU TRAINAGE MÉCANIQUE BIEN GRAISSÉES ET CHARGÉES
DE TERRE. — BERLINES NEUVES.

N° 5.

Roues plates.

NUMÉROS des expériences.	<i>e</i>	<i>h</i>	<i>H - h</i>	<i>E + e</i>	<i>F</i>	OBSERVATIONS.
1	10.02	0.1002	0.8998	40.02	0.0225	Moyenne = 0.01635 $F = \frac{1}{61.2}$
2	15.33	0.1533	0.8467	45.33	0.0186	
3	17.42	0.1742	0.8258	47.42	0.0174	
4	17.70	0.1770	0.8230	47.70	0.0173	
5	19.85	0.1985	0.8015	49.85	0.0161	
6	21.96	0.2196	0.7804	51.96	0.0150	
7	22.08	0.2208	0.7792	52.08	0.0149	
8	23.59	0.2359	0.7641	53.59	0.0142	
9	24.86	0.2486	0.7514	54.86	0.0137	
10	24.65	0.2465	0.7535	54.65	0.0138	
					0.1635	

Expériences faites aux houillères de Ferfay pour déterminer le coefficient du frottement total des berlines.

BERLINES NEUVES EN BOIS DE LA FOSSE N° 2 (TYPE N° 11).

N° 6.

Roues à gorge, graissage ordinaire.

NUMÉROS des expériences.	<i>e</i>	<i>h</i>	<i>H - h</i>	<i>E + e</i>	<i>F</i>	OBSERVATIONS.
1	9.08	0.0908	0.9092	39.08	0.0232	Moyenne = 0.02371 $F = \frac{1}{42.2}$
2	10.01	0.1001	0.8999	40.01	0.0225	
3	9.85	0.0985	0.9015	39.85	0.0226	
4	8.29	0.0829	0.9171	38.29	0.0233	
5	8.92	0.0892	0.9108	38.92	0.0234	
6	8.99	0.0899	0.9101	38.99	0.0233	
7	7.84	0.0784	0.9216	37.84	0.0243	
8	7.33	0.0733	0.9267	37.33	0.0248	
9	7.31	0.0731	0.9269	37.31	0.0248	
10	7.19	0.0719	0.9281	37.19	0.0249	
					0.2371	

Expériences faites aux houillères de Ferfay pour déterminer le coefficient du frottement total des berlines.

BERLINES EN BOIS DE LA FOSSE N° 2 (TYPE N° 11) AYANT SERVI.

N° 7. Roues à gorge, berlines bien graissées.

NUMÉROS des expériences.	<i>e</i>	<i>h</i>	<i>H - h</i>	<i>E + e</i>	<i>F</i>	OBSERVATIONS.
1	14.26	0.1426	0.8574	44.26	0.0193	Moyenne = 0.01761 $F = \frac{1}{56.7}$
2	18.13	0.1813	0.8187	48.13	0.0170	
3	18.23	0.1823	0.8177	48.23	0.0169	
4	17.56	0.1756	0.8244	47.56	0.0173	
5	17.01	0.1701	0.8299	47.01	0.0177	
6	17.18	0.1718	0.8282	47.18	0.0175	
7	17.48	0.1748	0.8252	47.48	0.0174	
8	17.23	0.1723	0.8277	47.23	0.0175	
9	16.73	0.1673	0.8327	46.73	0.0178	
10	16.86	0.1686	0.8314	46.86	0.0177	
					0.4761	

Expériences faites aux houillères de Ferfay pour déterminer le coefficient du frottement total des berlines.

MÊMES BERLINES QU'AU TABLEAU N° 7, NEUVES, TRÈS BIEN GRAISSÉES.

N° 8.

NUMÉROS des expériences.	<i>e</i>	<i>h</i>	<i>H - h</i>	<i>E + e</i>	<i>F</i>	OBSERVATIONS.
1	9.670	0.0967	0.9033	39.670	0.0228	Moyenne = 0.01991 $F = \frac{1}{50.2}$
2	13.580	0.1358	0.8642	43.580	0.0198	
3	11.140	0.1114	0.8886	41.140	0.0216	
4	12.020	0.1202	0.8798	42.020	0.0209	
5	12.990	0.1299	0.8701	42.990	0.0202	
6	15.200	0.1520	0.8480	45.200	0.0187	
7	15.780	0.1578	0.8422	45.780	0.0184	
8	15.730	0.1573	0.8426	45.730	0.0184	
9	14.490	0.1449	0.8550	44.490	0.0192	
10	14.590	0.1459	0.8540	44.590	0.0191	
					0.1991	

Expériences faites aux houillères de Ferfay pour déterminer le coefficient du frottement total des berlines.

BERLINES EN BOIS DE LA FOSSE N° 2 (TYPE N° 11), MAIS AVEC DES ROUES PLATES.

N° 9. *Berlines bien graissées.*

NUMÉROS des expériences.	<i>e</i>	<i>h</i>	<i>H — h</i>	<i>E + e</i>	<i>F</i>	OBSERVATIONS.
1	22.18	0.2218	0.7782	52.18	0.0149	
2	29.30	0.2930	0.7070	59.30	0.0119	
3	27.10	0.2710	0.7290	57.10	0.0127	
4	29.98	0.2998	0.7002	59.98	0.0116	
5	29.15	0.2915	0.7085	59.15	0.0119	Moyenne = 0.01227
6	27.78	0.2778	0.7222	57.78	0.0125	
7	28.77	0.2877	0.7123	58.77	0.0121	
8	29.30	0.2930	0.7070	59.30	0.0119	$F = \frac{1}{81.5}$
9	31.07	0.3107	0.7893	61.07	0.0129	
10	34.00	0.3400	0.6600	64.00	0.0103	
					0.1227	

Résumé des expériences faites à Ferfay, en 1877.

— En résumé, les expériences faites aux mines de Ferfay, en 1877, ont fourni les résultats suivants :

(a) Matériel de la fosse n° 3.

1° Berlines neuves et assez bien graissées du trainage

mécanique. $F = \frac{1}{47}$;

2° Mêmes berlines ayant servi et bien graissées. . . . $F = \frac{1}{79.8}$.

Ce premier résultat accuse une diminution de 68 pour 100 dans la valeur du coefficient de frottement, en faveur du matériel dont les surfaces frottantes ont acquis par l'usage un certain degré de poli.

3° Berlines ayant servi, bien graissées, construites en

dehors des ateliers de la Compagnie. $F = \frac{1}{98}$.

On voit qu'en faisant établir le même matériel chez un constructeur, avec des soins un peu plus grands que ceux qu'on accordait d'ordinaire à ce genre de construction dans les ateliers de la Compagnie, on a réalisé une diminution de 24 pour 100 dans la valeur de F.

4° Berlines en tôle, montées sur châssis en bois, n'ayant point encore servi, bien graissées. $F = \frac{1}{61}$.

Ces berlines, établies avec des soins particuliers par M. Tazavillain, constructeur à Anzin, étaient pourvues du même système de graissage que les berlines en bois du trainage mécanique. Ces dernières avaient donné, avant tout service, $F = \frac{1}{47}$; elles avaient été construites dans les ateliers de la Compagnie par des ouvriers moins habiles. On voit que les soins apportés dans la construction se traduisent ici par une diminution de 31 pour 100 dans la valeur du coefficient du frottement.

Si nous faisons la moyenne des résultats trouvés avec le matériel de la fosse n° 3, nous obtenons :

$$F = \frac{1}{71,5}$$

(b) Matériel des fosses n° 1 et n° 2.

1° Berlines *neuves* moyennement graissées, roues à gorge. $F = \frac{1}{42,2}$;

2° Mêmes berlines, graissées dans les mêmes conditions, mais ayant servi. $F = \frac{1}{56,7}$;

3° Berlines *neuves*, même type, abondamment graissées. $F = \frac{1}{50,4}$;

Moyenne pour les roues à gorge. . . $F = \frac{1}{49,6}$;

4° Berlines à roues plates, bien graissées. $F = \frac{1}{81,5}$,

Cette deuxième série d'essais accuse, pour les berlines pourvues de roues à gorge, système essentiellement vicieux, le même coefficient moyen que celui constaté par M. Lombard pour un matériel muni de roues semblables (système Cabany). Elle fait de nouveau ressortir l'avantage que présentent les berlines ayant déjà quelque temps de service sur les berlines neuves; cet avantage se traduit ici par une diminution de 35 pour 100 dans la valeur du coefficient de frottement. Quant à la diminution obtenue, en passant, pour un même système, d'un graissage moyen à un graissage abondant, elle est ici de 19 pour 100.

Le coefficient moyen pour les berlines des trois fosses serait de $\frac{1}{67,5}$.

Nouvelles expériences faites à Ferfay en 1879. —

En février 1879 de nouveaux essais ont été faits, aux mines de Ferfay, pour mesurer le frottement total des berlines; on a opéré, dans cette nouvelle série d'expériences, sur des berlines isolées, pleines ou vides, et sur des trains entiers, tels qu'on les compose dans le roulage souterrain. Ces essais ont été faits par une autre méthode que celle dont on s'était servi lors des premières expériences; on a lancé les trains ou les véhicules isolés à une vitesse déterminée V_0 sur une voie de 0^m,60 de largeur établie en rails à double bourrelet, dans les conditions ordinaires des voies souterraines, et l'on a mesuré l'espace S librement parcouru depuis le point où avait lieu la suppression du moteur (rouleur ou cheval) jusqu'au point où l'arrêt se produisait. La résistance à la traction, exprimée en kilogrammes, se tirait de l'équation :

$$x \times S = \left(\frac{1}{2} m + b \right) V_0^2.$$

m , Masse du véhicule;

b , Terme dépendant des masses tournantes ¹.

Cette équation donnait la valeur de x , résistance moyenne pendant

1. La puissance vive de rotation des roues tendant à pousser le véhicule en avant, il convient d'en tenir compte par le terme additionnel b .

le parcours, en supposant la pente nulle; on corrigeait le résultat par le terme additionnel $\pm \frac{P i}{4000}$. (P étant le poids total exprimé en kilogrammes, et i la pente exprimée en millimètres.) On en déduisait enfin la valeur $\frac{x}{P} = F$.

Les premières expériences ayant donné la mesure de ce qu'on pouvait obtenir avec des berlines neuves ou en bon état d'entretien, on s'est surtout attaché, dans ces nouveaux essais, à expérimenter des berlines dont l'entretien laissait à désirer. On a exclusivement opéré sur les berlines à roues plates de la fosse n° 2, type auquel se rapportent, dans la série des essais précédents, les chiffres du tableau n° 9 et le coefficient moyen de $\frac{1}{81,5}$.

Avec des berlines en mauvais état, la valeur de F s'est maintenue entre $\frac{1}{82}$ et $\frac{1}{69}$, soit en moyenne $\frac{1}{60}$ ou une augmentation de 23 % sur l'ancien coefficient. Avec une berline en très mauvais état, dont les planches disjointes fléchissaient sous la charge au point de toucher les essieux, le coefficient de frottement s'est élevé à $\frac{1}{30}$. Ces chiffres se rapportent à des véhicules isolés, pleins ou vides, poussés par des rouleurs à la vitesse normale.

Pour des trains complets, à charge ou à vide, traînés par un cheval de force moyenne, à la vitesse ordinaire, la valeur de F s'est maintenue entre $\frac{1}{60}$ et $\frac{1}{71}$, l'état des berlines laissant à désirer, mais le graissage étant fait dans les conditions de service.

Résumé et conclusion. — Si l'on résume les diverses expériences faites à Bézenet, à Ferfay et celles qu'a faites M. Lombard, on voit que si, avec le matériel monté sur roues à gorge, le coefficient de frottement peut s'élever à $\frac{1}{40}$, valeur qu'il peut encore atteindre avec des berlines d'un meilleur système, mal entretenues ou mal graissées, ce coefficient peut aussi, même avec un matériel peu perfectionné,

descendre en dessous de $\frac{1}{80}$. La valeur moyenne de $\frac{1}{98}$ a été obtenue dans les expériences du tableau n° 4.

Avec un matériel de construction soignée, muni d'un bon système de graissage, on doit pouvoir maintenir le coefficient de frottement autour de $\frac{1}{100}$, sur des voies de 0^m,60, bien établies et soigneusement entretenues ; on comprendra, par ce qui va suivre, l'intérêt qui s'attache à ce résultat.

Pente d'égale résistance et pente d'équilibre. —

Appelons toujours F le coefficient du frottement total des berlines, et conservons aux lettres P, p et P' les mêmes significations que précédemment, i désignant la pente par mètre = Tang α, que dans les conditions ordinaires des galeries de mines on peut substituer à sin α, R exprimant la résistance à la traction d'une berline vide, et R' la résistance d'une berline pleine, on a :

$$R = F (P + p) + (P + p) i,$$

$$R' = F (P + p + P') - (P + p + P') i.$$

Connaissant le coefficient de frottement F d'un système de berlines circulant sur un type de voie déterminé, on peut se proposer deux problèmes :

1° On peut chercher l'inclinaison à donner aux galeries de roulage pour que la résistance des berlines pleines qui descendent soit la même que celle des berlines vides qui remontent. Cette *pente d'égale résistance* réalise une bonne utilisation de la force des rouleurs ou des chevaux ; elle s'obtient en posant :

$$F (P + p) + (P + p) i = F (P + p + P') - (P + p + P') i.$$

Remplaçant P + p et P + p + P' par les valeurs en fonction de P' fixées page 5, et relatives aux types de berlines les plus répandus dans les houillères françaises, on trouve la relation simple :

$$i = \frac{F}{2}.$$

2° On peut encore chercher quelle est la *pente d'équilibre*, c'est-à-

dire celle sur laquelle les berlines sont sur le point de descendre seules. Pour cela, il suffit de poser :

$$F(P + p + P') - (P + p + P') i = 0.$$

D'où

$$i = F.$$

Le tableau suivant donne, pour les coefficients de frottement compris entre $\frac{1}{40}$ et $\frac{1}{100}$, les valeurs correspondantes de la pente d'équilibre et de la pente d'égale résistance.

VALEURS DE F	PENTES D'ÉQUILIBRE $i = F$	PENTES D'ÉGALE RÉSISTANCE $i = \frac{F}{2}$
	m.	
$\frac{1}{40}$	0.0250	0.0125
$\frac{1}{45}$	0.0220	0.0110
$\frac{1}{50}$	0.0200	0.0100
$\frac{1}{55}$	0.0184	0.0092
$\frac{1}{60}$	0.0166	0.0083
$\frac{1}{65}$	0.0154	0.0077
$\frac{1}{70}$	0.0143	0.0071
$\frac{1}{75}$	0.0133	0.0067
$\frac{1}{80}$	0.0125	0.0062
$\frac{1}{85}$	0.0118	0.0059
$\frac{1}{90}$	0.0111	0.0055
$\frac{1}{95}$	0.0105	0.0053
$\frac{1}{100}$	0.0100	0.0050

Dans le cas de la pente d'égle résistance, on a pour l'expression de l'effort à la remonte :

$$R_1 = (P + p) (F + i) = (P + p) \times \frac{3F}{2}.$$

Dans le cas de la pente d'équilibre, on a :

$$R_2 = (P + p) \times 2 F,$$

d'où

$$\frac{R_2}{R_1} = 1,33.$$

Ainsi, en substituant la pente d'équilibre à la pente d'égle résistance, on impose au rouleur un surcroît d'effort de 33 pour 100, lors de la remonte des berlines vides; par contre, il n'éprouve que fort peu de fatigue à la descente. Il n'en éprouve même aucune lorsque, après avoir lancé sa berline sur la pente, il peut monter sur le véhicule et se laisser entraîner. Cette dernière manœuvre, quand elle est possible sans danger, c'est-à-dire quand les galeries sont spacieuses et la voie en parfait état, rend la pente d'équilibre avantageuse pour les longs parcours; encore faut-il que la production soit assez restreinte pour qu'il n'y ait jamais encombrement ni crainte de collision. Dès que la production s'élève, on trouve presque toujours avantage à remplacer les hommes par les chevaux pour les transports sur de longs parcours. En un mot, dans les conditions ordinaires du roulage souterrain, on fait une application plus générale de la pente d'égle résistance. Il se présente dans l'exploitation des grandes couches un cas où l'avantage de la pente d'équilibre est incontestable, c'est quand l'exploitation est desservie par deux galeries de pente inverse, l'une servant au départ du minerai ou de la houille, l'autre réservée à l'arrivée des remblais provenant du jour. Dans ce cas particulier, si le roulage s'opère par hommes, on adopte la pente d'équilibre, et si le transport s'effectue par chevaux, on admet une inclinaison légèrement inférieure à la pente d'équilibre.

Dans les houillères du nord de la France l'inclinaison des galeries de roulage est ordinairement comprise entre 0^m,005 et 0^m,009 par mètre, c'est-à-dire entre $\frac{1}{4}$ et $\frac{1}{2}$ degré; accidentellement on trouve

des pentes de 0^m,010 à 0^m,012. Aux mines de Lens, la pente réglementaire est de 0^m,006; aux mines de Liévin, elle est de 0^m,0075.

La Compagnie des houillères de Saint-Étienne a adopté la pente réglementaire de 0^m,008; mais la pente *effective* est, en réalité, comprise entre 0^m,008 et 0^m,010, les ouvriers ayant une tendance à toujours dépasser la limite fixée.

Charge que peuvent traîner les chevaux sur les petits chemins de service et dans les mines. — On a

reconnu, qu'en travail régulier, un bon cheval traînant au pas des wagonnets sur une voie ferrée peut exercer, d'une manière continue, un effort moyen de 70 kilogrammes.

On peut admettre ce chiffre de 70 kilogrammes lorsqu'il s'agit d'un roulage établi dans des galeries spacieuses, dans des bowettes par exemple ou dans des voies de fond élevées et très bien entretenues où circulent des chevaux de forte taille.

Quand il s'agit de chevaux de force moyenne et de plus petite taille circulant dans des galeries moins élevées, il convient de ne compter que sur un effort de 65 et même de 60 kilogrammes.

D'après ce qui a été établi (n° 15), connaissant l'effort continu qu'il convient d'imposer à un cheval et le coefficient de frottement d'un système de berlines, il devient facile de déterminer le nombre *n* de berlines dont on devra composer les trains sur la pente d'égale résistance ou sur la pente d'équilibre.

Dans le premier cas, on a pour l'effort à la remonte :

$$R = n (P + p) \frac{3F}{2},$$

d'où

$$n = \frac{2R}{3F (P + p)}.$$

Dans le deuxième cas, l'effort à la remonte est :

$$R = n (P + p) \times 2F,$$

d'où

$$n = \frac{R}{2F (P + p)}.$$

Applications :

$$\begin{aligned}\text{Soit} \quad R &= 65 \text{ kil.}, \\ F &= \frac{1}{80} = 0,0125, \\ P + p &= 190 \text{ kil.}\end{aligned}$$

Dans le cas de la pente d'égale résistance qui est de $0^m,0062$ par mètre, on aura :

$$n = \frac{2 \times 65}{3 \times 0,0125 \times 190} = 18 \text{ berlines.}$$

Ce résultat n'a rien d'exagéré; à Lens, on organise des trains de 18 berlines dans des galeries inclinées de $0^m,006$.

Soit encore :

$$\begin{aligned}R &= 65 \text{ kil.}, \\ F &= \frac{1}{60} = 0,0166, \\ P + p &= 190 \text{ kil.}\end{aligned}$$

Dans le cas de la pente d'équilibre qui est égale au coefficient de frottement, on aura :

$$n = \frac{65}{2 \times 0,0166 \times 190} = 10 \text{ berlines.}$$

C'est le cas de quelques mines du Pas-de-Calais, qui ont adopté des pentes trop fortes pour les galeries de roulage.