

le sol d'une part et des pièces ou conducteurs sous tension d'autre part, doivent aussi être l'objet de relevés soigneux, afin de permettre d'apprécier si la résistance offerte au passage du courant électrique a pu être diminuée par une circonstance quelconque. L'état des mains des victimes et leur protection éventuelle, la nature de leurs chaussures, celle du parquet sur lequel elles reposaient doivent être examinés attentivement.

Liège, janvier 1914.

LA
TRACTION SOUTERRAINE
PAR LOCOMOTIVES

PAR

ACHILLE BAIJOT,

Ingénieur aux Charbonnages du Bois-du-Luc.

Les applications de la locomotive au transport souterrain dans les mines belges deviennent plus nombreuses chaque jour. Les *Annales des Mines de Belgique* en ont déjà relaté quelques exemples intéressants; la plupart ont trait à des locomotives à benzine. Parmi ces relations, les unes expriment une satisfaction complète, d'autres marquent plutôt une déconvenue. La coordination de tous les renseignements qu'elles fournissent permettra de rechercher la cause de ces différences d'appréciation d'un même engin.

Tout ce qui va suivre reposera exclusivement sur les chiffres puisés dans les *Annales des Mines* et, de même que la plupart des auteurs, je prendrai comme point de comparaison, comme transport-étalon, la traction chevaline.

Les sources sont :

- I. — DEFALQUE, *Charbonnages de Ressaix* (1911, 3^{me} liv., p. 669).
- II. — FOURMARIER, *Charbon. du Horlox* (1912, 2^{me} liv., p. 439).
- III. — BAIJOT, *Charbon. du Bois-du-Luc* (1913, 1^{re} liv., p. 3).
- III^{bis}. — Renseignements complémentaires pour la période du du 1^{er} mars au 31 décembre 1913 (1).
- III^{ter}. — Id., id., pour le mois de janvier 1914 (1).

(1) Les chiffres rapportés dans l'article III résultaient d'essais exécutés pendant une période de trois mois en 1912. Certaines modifications ont apporté une amélioration sensible dans le prix de revient de ce transport, se manifestant surtout

- IV. — DANDOIS, *Charbonnages de Monceau-Fontaine* (1913, 3^{me} liv., p. 829).
 V. — D'HAENENS, *Charbonnages de La Louvière et Sars-Longchamps* (1913, 4^{me} liv., p. 1109).
 Vbis. — Renseignements complémentaires fournis par M. U. Carlier, directeur des travaux de la Société (1).
 VI. — LEDOUBLE, *Charbonnages du Centre de Jumet* (1913, 4^{me} liv., p. 1169).
 VII. — BREYRE, *Charbonnages de Kessales* (1913, 4^{me} liv., p. 1174.)

à partir du 1^{er} mars. Le tableau ci-dessous donne le relevé des différents chapitres du prix de revient :

- α) Pendant la période qui s'étend du 1^{er} mars au 31 décembre 1913;
 β) Pendant le mois de janvier 1914.

	α	β
Poids de benzine consommé kg.	14,300	1,740
Dépense de benzine fr.	4,576.00	609.00
» huile de graissage »	954.00	72.00
» fournitures de magasins »	24.96	6.19
» entretien (salaires et pièces remplacées) »	1,302.50	135.10
» amortissement »	3,000.00	300.00
» salaires des conducteurs, suiveurs, aiguilleurs »	7,630.00	815.66
Nombre de tonnes-kilomètres	133,050	16,450
» machines-postes	744	76
Dépense par machine et par poste fr.	23.50	25.45
Nombre de tonnes-kilomètres par machine et par poste	179	216
Prix de la tonne-kilomètre fr.	0.131	0.118

Contrairement à ce qui avait été fait au III, les pièces de rechange ont été portées ici dans le poste « entretien » et non plus dans le poste « amortissements ».

(1) Extrait des renseignements reçus de M. Carlier :

« Nos deux locomotives ont fourni en 1913 une moyenne de 723.6 tonnes-kil. par jour, soit 361.8 tonnes-kilom. par machine et par poste. En même temps le relevé de magasin m'a fourni l'approvisionnement total en benzine (à 40 francs) et Rurthaline (à 60 francs) à fr. 0.044 par tonne-kilomètre ; quant à l'entretien, il ressort à fr. 0.62 par machine et par poste, soit fr. 1.24 par 24 heures pour les deux (il y a une machine en service de jour et une de nuit).

» Pour 1914, nous devons remplacer les bandages des 4 trains, les primitifs ayant été mis au tour à deux reprises différentes, soit tous les six mois. Ce sera là certainement une dépense supplémentaire, mais elle est inhérente à toutes les locomotives. Quant à l'amortissement, j'estime qu'on peut compter sur une période de huit à dix ans et admettre au maximum 4 francs par poste. A titre d'indication, les renseignements ci-dessus sont la continuation de ceux publiés pour la période août-décembre 1912 dans les *Annales des Mines* et, de plus, nous avons fait l'acquisition d'une troisième machine et d'un treuil pour vallée. »

Traction chevaline.

Les renseignements fournis par les différents rapports susmentionnés donnent lieu au tableau A ; les chiffres non relatés sont remplacés par les moyennes des autres exemples et sont inscrits entre parenthèses.

Tableau A.

Sources	Par jour de travail						Tonnes-kilomètres par cheval-jour	Prix de la tonne par kilomètre	Charge moyenne en tonnes par rame	Chemin moyen parcouru par jour
	Nourriture	Entretien	Amortissement	Coût du cheval	Salaire du conducteur	Coût total du travail d'un cheval				
I	3.00		0.83	3.83	1.20	5.03	32.1	cent.	5.2 ⁽¹⁾	12,350
II	2.50 + 0.50		(0.58)	3.53	4.35	7.88	30.0	26.2	4.5 ⁽²⁾	13,330
III ⁽³⁾	2.23	0.37	0.42	3.02	2.49	5.51	22.3	24.7	4.0	11,180
IV	2.83	0.57	0.65	4.05	3.00	7.05	24.6	28.7	4.5 ⁽¹⁾	10,920
V	2.50		(0.58)	3.08	3.54	6.62	34.7	19.1	4.5	15,400
VI	2.49	0.28	0.43	3.20	5.25	8.45	49.1	17.2	5.4	18,200
Moy.	2.46	0.41	0.58	3.45	3.30	6.75	32.14	21.0	4.7	13,250

Quoiqu'il s'agisse ici de transports importants, il est probable que la taille des chevaux employés variait d'un exemple à l'autre, ce qui permettra d'expliquer les faibles écarts qui s'accusent dans le coût journalier d'un cheval ;

(1) D'après des renseignements demandés.

(2) En admettant un poids moyen de 450 kilogrammes par chariot.

(3) Le prix de revient de fr. 0.247 du transport par chevaux de l'exemple III se décompose comme le montre le tableau ci-contre non publié :

les variations sont d'ailleurs de peu d'importance puisqu'elles n'atteignent jamais 8 % de la dépense totale.

Sans que cela ne soit toujours nettement spécifié, j'ai admis que les renseignements visaient le « jour de travail », de sorte que par « jour absolu » le coût d'un cheval s'élèverait à $\frac{3.45 \times 6}{7} = \text{fr. } 2.95$ quel que soit le travail exécuté, car, chaque jour, le cheval mange, vieillit et demande des soins. (Les variations dans le prix des aliments ne sont pas envisagées.) S'il n'y a pas d'intérêt à surcharger les animaux, il n'est pas économique non plus de conserver une réserve trop grande, le coût des chevaux qui ne travaillent pas devant intervenir dans l'établissement des dépenses de transport.

Le chapitre le plus intéressant du prix de revient est celui des salaires; on note de fr. 1.20 à fr. 5.25 par cheval-jour, ce qui représente 25 à 60 % de la dépense totale; suivant l'importance des salaires, le prix de revient pourra passer du simple au double, toutes autres conditions ne variant pas.

Sur le diagramme de la fig. 1, j'ai porté en AB le coût d'un cheval par jour de travail; ajoutant ensuite successivement des salaires de 1; 2, 3... 6 francs, j'ai obtenu les

	Poste du matin	Poste de nuit	Les deux postes réunis
Nombre de chevaux	13	5	18
Tonnes-kilomètres qu'ils produisent	331	71	402
Nourriture par jour de travail fr.	31.52	8.56	40.08
Entretien » » »	4.83	1.86	6.69
Amortissement par jour de travail »	5.45	2.05	7.50
Main-d'œuvre conducteurs »	25.70	19.05	44.75
Dépense totale par jour de travail »	67.50	31.52	99.02
Dépense par cheval-jour »	5.15	6.33	99.02
Tonnes-kilomètres par cheval-jour »	25.4	14.3	5.50
Prix de la tonne-kilomètre »	0.204	0.443	0.247

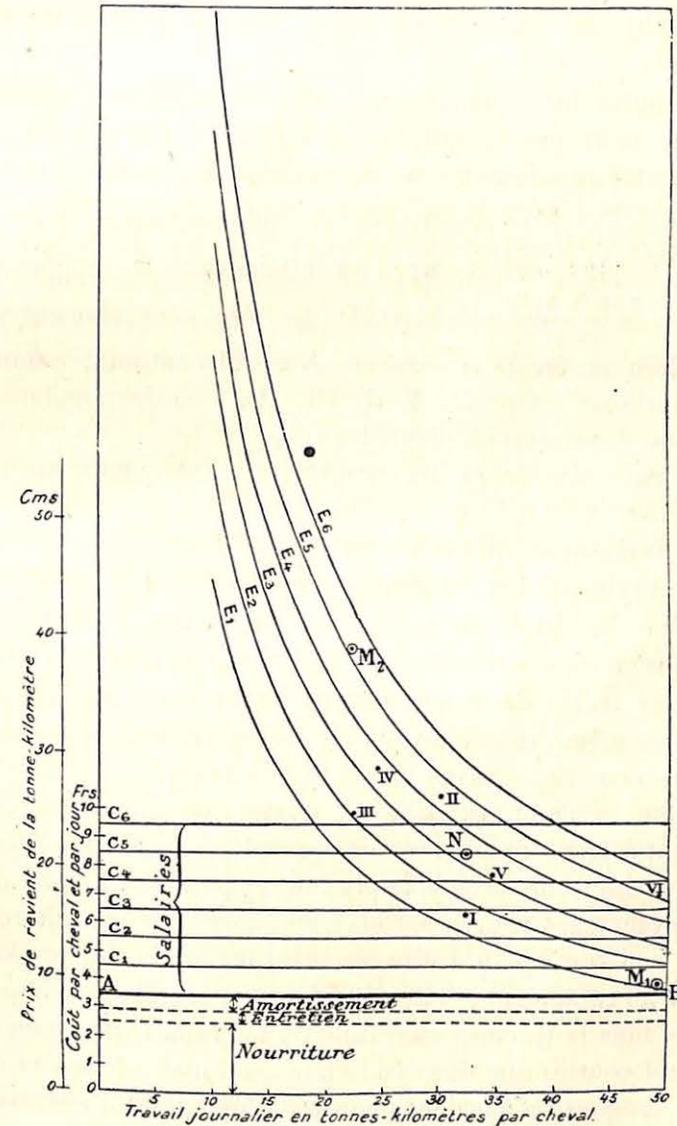


FIG. 1.

droites $C_1 D_1, C_2 D_2 \dots C_6 D_6$, desquelles ont été déduites les courbes $E_1 E_2 \dots E_6$ du prix de revient de la tonne-kilomètre en fonction du travail journalier par cheval occupé.

Si toutes les conditions les plus favorables se rencontreraient dans une installation donnée, le prix de revient de la tonne-kilomètre se taxerait à la valeur minima $M_1 = \frac{3.45 + 1.20}{49.15} = \text{fr. } 0.095$; au contraire, dans le cas le plus défectueux, on atteindrait le maximum $M_2 = \frac{3.45 + 5.25}{22.3} = \text{fr. } 0.39$. Le plus généralement on oscillera autour de la moyenne $N = 21$ centimes, comme le font voir les points I, II, III, IV, V correspondant à chacun des exemples du tableau A.

L'économie devra se rechercher dans deux ordres d'idées :

- 1° Diminution du salaire par cheval-jour ;
- 2° Augmentation du travail par cheval-jour.

Pour la diminution des salaires, outre l'emploi de gamins, toujours recommandable quand on a bonnes voies et bons trains de roues, notons l'adoption d'attelage de deux ou même trois chevaux en flèche, trainant des rames doubles ou triples, avec un seul conducteur.

Quant à l'augmentation du travail par cheval-jour, il revient à faire trainer les rames les plus lourdes possibles à une vitesse commerciale la plus élevée possible. Le premier de ces facteurs pourra parfois s'améliorer par la recherche d'un bon système de trains assurant un minimum de résistance au roulement; cette considération semble plus importante dans la traction chevaline où les rames sont généralement courtes que dans celle par machines où les rames déjà longues, n'auraient peut-être plus autant d'avantages économiques et pratiques à s'allonger encore.

Traction par locomotives à benzine.

Contrairement à ce qui a été admis pour les chevaux, la locomotive à benzine ne coûte que lorsqu'elle travaille; au repos, elle ne consomme ni benzine, ni huile, ne demande aucun entretien et n'use aucun de ses organes. On peut donc, sans grever le prix de revient du transport, posséder une réserve plus grande.

En service, le coût d'une « locomotive-poste » n'est pas une constante; d'une part, la consommation de benzine varie avec le travail effectué et, d'autre part, le prix de la benzine est sujet à de fortes fluctuations suivant l'état du marché. Il y aurait de plus une autre cause de variation, si on comparait entre elles des unités de puissances différentes; ce n'est pas notre cas, toutes les machines envisagées étant conditionnées par 12 HP.

Sources																						
I	25.0	18	Fr.	4.50	0.80	Fr.	(1.72)	Fr.	6.53	Fr.	13.55	Fr.	4.20	Fr.	17.75	225	Cent.	7.9	Tonnes	17.0	Mètres	26,470
II	20.6	(20)(1)	Fr.	4.12	0.37	Fr.	(1.72)	Fr.	4.93	Fr.	11.14	Fr.	9.25	Fr.	20.39	150		13.6		13.5	22,220	
III	20.2	32	Fr.	6.45	2.33	Fr.	1.89	Fr.	4.37	Fr.	15.04	Fr.	9.71	Fr.	24.75	132		18.7		16.0	16,500	
III ^{bis}	19.2	32	Fr.	6.15	1.22	Fr.	1.75	Fr.	4.37	Fr.	13.49	Fr.	10.25	Fr.	23.74	179		13.3		16.0	22,370	
III ^c	23.2	35	Fr.	8.15	1.04	Fr.	3.18	Fr.	4.37	Fr.	16.74	Fr.	10.80	Fr.	27.54	216		12.8		18.0	24,000	
IV	21.7	32	Fr.	6.94	1.30	Fr.	3.02	Fr.	4.40	Fr.	15.66	Fr.	11.83	Fr.	27.49	151		18.1		14.0	21,570	
V	?	40	Fr.	12.95	(1.72)	Fr.	4.00	Fr.	4.00	Fr.	18.67	Fr.	9.68	Fr.	28.32	346		8.2		19.2	36,040	
V ^{bis}	?	40	Fr.	15.85	0.62	Fr.	4.00	Fr.	4.00	Fr.	20.47	Fr.	9.68	Fr.	30.15	361		8.4		19.2	37,600	
VI	27.0	42	Fr.	11.34	1.90	Fr.	10.00	Fr.	10.00	Fr.	23.24	Fr.	11.20	Fr.	34.44	200		17.2		13.5	29,630	
VII	15.1	47	Fr.	7.10	0.63	Fr.	3.57	Fr.	3.57	Fr.	12.07	Fr.	12.25	Fr.	24.32	165		14.7		(16.3)	20,240	
	21.5	37.81	Fr.	8.13	1.10	Fr.	1.72	Fr.	5.05	Fr.	16.00	Fr.	9.86	Fr.	25.86	212		12.2		16.3	26,000	

Tableau B.

Des chiffres du tableau B, il ressort :

1° Au prix moyen de fr. 37-81 (prix plutôt élevé qui met la locomotive à benzine dans une position désavantageuse), la consommation moyenne de benzine de 21.5 kilog. pour un travail de 212 tonnes-kilomètres, revient par machine et par poste à fr. 8-13

2° Pour le même travail le graissage s'évalue en moyenne à » 1-10

3° Les frais d'entretien paraissent fort variables d'une installation à l'autre ; mais, on le comprend, ce poste est lui-même variable dans une même installation suivant la période considérée ; ici, les dépenses sont relevées à une époque où il n'y a que de l'entretien ordinaire ; là il a fallu pendant le laps de temps envisagé remplacer certaines pièces cassées, retourner ou même renouveler les trains, etc. Il semble qu'on puisse admettre comme bonne moyenne, celle résultant du tableau B, c'est-à-dire » 1-72

4° Enfin, l'amortissement est compris différemment par les divers auteurs ; les chiffres varient de fr. 3-57 à 10 francs ; il n'est pas sans intérêt de remarquer que là où les machines font le plus grand travail (exemples V et V^{bis} : environ 350 tonnes-kilomètres, avec un parcours journalier d'environ 35,000 mètres), on estime qu'un amortissement de 4 francs par machine et par poste est suffisant ; personnellement je suis de cet avis. Certes, les machines auront une vie plus ou moins longue suivant les soins qu'elles recevront, mais c'est là un facteur qui dépend de l'exploitant et non pas de l'engin lui-même. Au surplus, comme le taux d'amortissement n'est

qu'un chiffre de convention, il n'y a aucun inconvénient à adopter un prix uniforme ; prenons celui résultant du tableau B, quoique trop élevé » 5-05

Quand le cours de la benzine est de fr. 37-81, le coût d'une locomotive par poste de 212 tonnes-kilomètres s'élève en moyenne à fr. 16-00

Il est indubitable que la consommation de benzine varie avec le travail effectué, mais suivant quelle loi ? Les facteurs qui interviennent sont excessivement nombreux, aussi, à défaut de mieux, me baserai-je sur la loi approximative admise déjà dans un article précédent (1), à savoir que « la consommation de combustible sera tracée en admettant que pour 600 tonnes-kilomètres, elle est 3.2 fois plus importante qu'à l'arrêt; un raisonnement identique peut être tenu pour les frais de graissage et dans les mêmes proportions ». Ceci permet de tracer sur le diagramme fig. 2, la droite AB du coût moyen d'une locomotive-poste en fonction du nombre de tonnes-kilomètres couvertes pendant ce poste, quand la benzine se paie fr. 37.81.

(1) Annales des Mines de Belgique, 1913, 1^{re} liv., p. 8

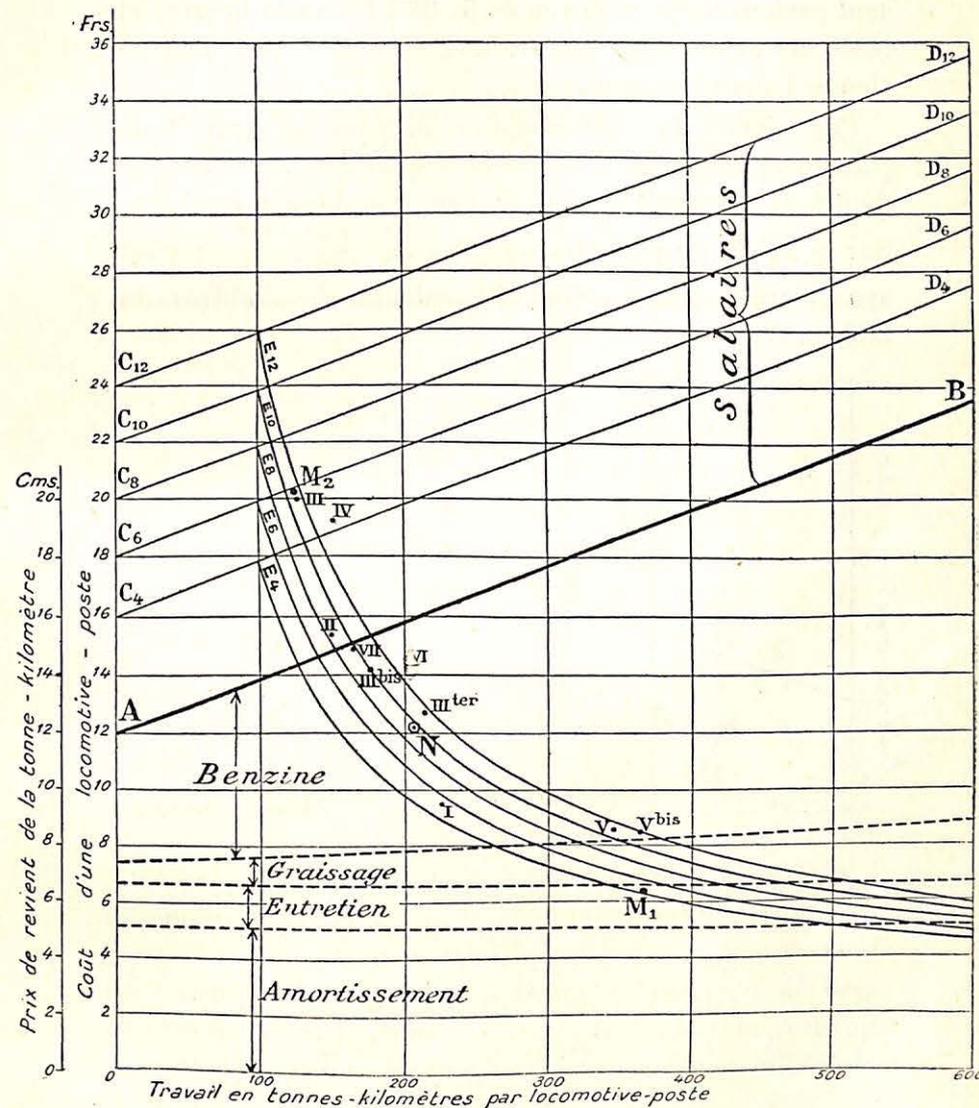


Fig. 2.

D'après la même loi ramenons à un travail uniforme de 212 tonnes-kilomètres les données du tableau B en admettant partout un prix moyen de fr. 37.81 pour la benzine et aussi des dépenses fixes de fr. 1.72 et fr. 5.05 pour l'entretien et l'amortissement.

Connaissant la consommation m pour un travail de p tonnes-kilomètres, il s'agit de rechercher x correspondant à 212 tonnes-kilomètres; par hypothèse $b = 3.2 a$. Sur la fig. 3, on peut trouver que $x = \frac{533.2 m}{300 + 1.1 p}$; c'est avec cette formule qu'ont été calculés les chiffres du tableau C.

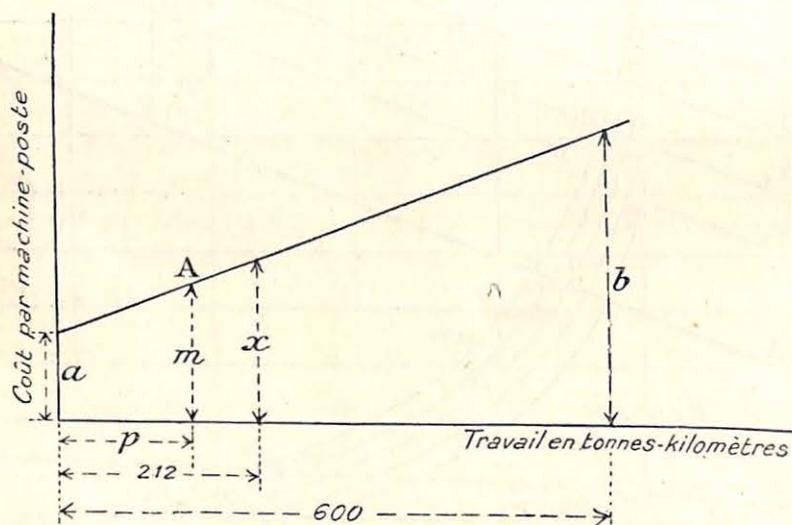


Fig. 3.

Tableau C

donnant le coût d'une locomotive par poste de travail en admettant un prix de fr. 37.81 pour la benzine.

Sources	Coût d'une machine-poste non compris les salaires, en supposant qu'elle produise un travail de 212 tonnes-kilomètres par poste de travail					Coût par machine-poste, non compris les salaires, pour le travail qu'elles produisent réellement.	
	Benzine	Graissage	Entretien	Amortissement	Coût total	Fr.	T-K
I	9.20	0.78	1.72	5.05	16.75	17.03	pour 225
II	8.95	0.43	1.72	5.05	16.15	14.93	» 150
III	9.15	2.49	1.72	5.05	18.41	16.72	» 132
IIIbis	7.80	1.31	1.72	5.05	15.88	15.25	» 179
IIIter	8.68	1.03	1.72	5.05	16.48	16.61	» 216
IV	9.40	1.48	1.72	5.05	17.65	17.27	» 151
V	8.79	0.86	1.72	5.05	16.42	19.02	» 346
Vbis	10.67	0.86	1.72	5.05	18.30	21.82	» 361
VI	10.48	0.86	1.72	5.05	18.11	18.05	» 200
VII	6.35	0.71	1.72	5.05	13.83	12.52	» 165
	8.13	1.10	1.72	5.05	16.00		

L'écart maximum en deça et au delà du chiffre moyen atteint $16.00 - 13.83 = \text{fr. } 2.17$ et $18.41 - 16.00 = \text{fr. } 2.41$; comme le coût total, y compris la main-d'œuvre est voisin de 25 francs, on en déduit qu'au cours de benzine de fr. 37.81 l'erreur la plus grande qu'on commettrait en comptant sur la loi AB de la fig. 2 serait inférieure à 10 %.

Jusque maintenant il a été fait abstraction des variations de prix du combustible; pour en tenir compte qu'on remar-

que qu'au taux de fr. 37-81 la dépense de benzine équivaut approximativement à 50 % du coût par poste ; il en résulte que toute modification de x % dans le prix au-dessus ou en dessous de fr. 37-81 occasionnera une modification de $\frac{x}{2}$ % de même sens, dans la dépense journalière.

Ainsi avec de la benzine à 28 francs (47 % moins élevée), on trouvera qu'une locomotive coûte par poste à peu près fr. 16.00 $\left(1 - \frac{0.47}{2} = \text{fr. } 12-40\right)$.

Au surplus, voici les dépenses par poste de 212 tonnes-kilomètres pour différents cours de benzine :

à 18 francs	fr. 11-67
20 »	» 12-09
25 »	» 13-14
30 »	» 14-20
35 »	» 15-26
40 »	» 16-30
45 »	» 17-37
50 »	» 18-45

Le travail d'une locomotive coûte non seulement les dépenses de la machine, mais aussi les salaires de ceux qui la conduisent, la suivent et la surveillent. Ils varient suivant les contrées et l'époque ; le tableau B renseigne de fr. 4-20 à 12-25 ; le coût total du travail d'une machine passera donc successivement en $C_4 D_4, C_6 D_6, \dots, C_{12} D_{12}$ (fig. 2) suivant que les salaires seront de fr. 4-60..... 12 fr. par machine et par poste ; la moyenne s'établit à fr. 9-86. De ces diverses droites, on fait découler les courbes $E_4, \dots, E_6, \dots, E_{12}$ des prix de revient de la tonne-kilomètre en fonction du travail.

Si toutes les conditions les plus avantageuses se réunissaient dans une installation, le prix de revient (la benzine étant toujours supposée à fr. 37-81) descendrait à la valeur

minima de :

$$M_1 = \frac{18.95 + 4.20}{361} = \text{fr. } 0.064 ; \text{ au contraire, dans}$$

$$M_2 = \frac{14.50 + 12.25}{132} = \text{fr. } 0.202. \text{ En fait, on se rappro-}$$

chera souvent du chiffre moyen de $N = \text{fr. } 0.122$, comme le font voir les points I, II,VII, déterminés à l'aide de la dernière colonne du tableau C.

Ce qui précède démontre que la locomotive à benzine se comporte de la même façon partout, que son coût par poste de travail, toutes choses égales, est partout le même et que (abstraction faite du prix de la benzine) le prix de revient de la tonne-kilomètre est fonction uniquement des salaires d'une part et du travail accompli d'autre part.

Sur les salaires l'exploitant a peu d'action ; plus leur taux sera élevé, plus ressortira l'avantage des machines sur les chevaux, parce que dans le premier cas ils ne représentent que 38 %, en moyenne, du prix de revient, contre 49 % en moyenne dans le second.

Finalement l'étude économique des locomotives à benzine revient à la formule déjà énoncée en parlant des chevaux : grosses rames et grande vitesse commerciale.

A ce sujet les exemples III, III^{bis}, III^{ter} méritent quelques explications. Précédemment, les rames circulaient invariablement avec 32 chariots, et, pour des raisons analysées en détail dans l'étude III, la vitesse commerciale des locomotives était fort réduite ; le tableau B relate un parcours moyen de 16,500 mètres seulement. Le transport fut réorganisé de façon à permettre aux machines de rouler avec un nombre quelconque de chariots ; on annula ainsi presque complètement la perte de temps aux extrémités. Il serait difficile d'évaluer dans ces nouvelles conditions la charge moyenne par rame, mais, d'un relevé de quelques

jours, il est résulté qu'il était peu différent de 16 tonnes ; le chemin parcouru par poste passa de 16,500 mètres à 22,400 mètres ; on put supprimer une machine nonobstant une augmentation d'extraction et le prix de la tonne-kilomètre tomba de fr. 0.187 à fr. 0.133. Même pendant le mois de janvier 1914, où le poids transporté a été très important, le service a pu se faire aisément avec deux locomotives de jour et une de nuit, qui ont accusé un travail moyen de 216 tonnes-kilomètres au prix de fr. 0.128. Comme c'est surtout l'extraction en terres qui a monté, on peut admettre une charge par rame un peu plus élevée ; fixons-la à 18 tonnes ; dans ces conditions, le chemin parcouru serait voisin de 24,000 mètres par poste.

Comparaison entre le transport par chevaux et celui par locomotives à benzine.

En moyenne une locomotive remplacera $\frac{212}{32.5} = 6.5$

chevaux. Le tableau D, basé sur ce rapport, met en regard les uns des autres les détails du coût d'un travail de 212 tonnes-kilomètre exécuté :

- 1° par locomotives à benzine ;
- 2° par chevaux.

Tableau D.

	Nourriture ou consommation et graissage	Entretien	Amortissement	Salaires	Dépense totale par poste	Tonnes transportés par unité	Chemin parcouru par unité	Travail exécuté par unité
	Fr.	Fr.	Fr.	Fr.	Fr.	Tonnes	Mètres	Ton.-kil.
6 1/2 chevaux	15.99	2.66	3.77	20.73	43.15	4.7	13,250	32.14
1 locomotive	9.23	1.72	5.05	9.86	25.86	16.3	26,000	212

Ce tableau montre qu'on peut s'attendre à une économie de fr. 43-15 — 25-86 = fr. 17-29 par machine et par poste. Pour que ce résultat soit atteint, il faut que la locomotive tienne lieu de 6 1/2 chevaux. Le bénéfice s'accuse sur tous les chapitres du prix de revient, sauf sur l'amortissement, et l'amélioration la plus marquante se montre dans la main-d'œuvre, ce qui n'est pas le moindre des avantages de cette traction mécanique.

Mais cette substitution d'une machine à 6 1/2 chevaux ne se réalise pas exactement partout ; certains exemples font mieux, d'autres pis, et ce rapport peut être considéré dans chaque cas, comme le critérium de l'économie de la locomotive. A la limite, les prix de revient s'équilibreraient si ce rapport tombait à $\frac{25.86}{6.75} = 3.83$.

Le tableau E donne pour chacun des exemples le nombre de chevaux remplacés par une locomotive ; il donne aussi le rapport entre la charge par rame de même que celui des vitesses commerciales.

Tableau E

Sources	Tonnes par cheval	Tonnes par machine	Rapport	Chemin parcouru par cheval	Chemin parcouru par machine	Rapport	Tonnes-kilomètres par cheval	Tonnes-kilomètres par machine	Rapport
I	5.2	17.0	3.27	12,350	26,470	2.14	32.1	225	7.00
II	4.5	13.5	3.00	13,330	22,220	1.66	30.0	150	5.00
III	4.0	16.0	4.00	11,180	16,500	1.47	22.3	132	5.91
III bis	4.0	16.0	4.00	11,180	22,370	2.00	22.3	179	8.02
III ter	4.0	18.0	4.50	11,180	24,000	2.14	22.3	216	9.68
IV	4.5	14.0	3.11	10,920	21,570	1.97	24.6	151	6.14
V	4.5	19.2	4.27	15,400	36,040	2.34	34.7	346	10.00
V bis	4.5	19.2	4.27	15,400	37,600	2.44	34.7	361	10.40
VI	5.4	13.5	2.50	18,200	29,630	1.63	49.1	200	4.07
	4.7	16.3	3.47	13,250	26,000	1.97	32.14	212	6.59

Les exemples III^{er}, V, V^{bis} aboutissent à de superbes résultats; VI, au contraire, se rapproche trop de la limite inférieure posée ci-devant.

Recherchons la cause de ces énormes différences dans les deux facteurs du travail : la charge par rame et la vitesse commerciale. A côté de machines acceptant des rames 4,5 fois plus lourdes que celles trainées par les chevaux, il en est d'autres qui roulent avec une charge seulement 2,5 fois plus forte; de pareilles différences s'expliquent difficilement, l'effort à exercer (le matériel étant le même) étant en fonction directe du poids à transporter.

Pour ce qui regarde les vitesses, la question est plus complexe; cependant il est certain que les raisons qui militent en faveur de grandes vitesses commerciales (longs trajets, peu de complications de voies, régularité de la production, etc.) sont les mêmes dans l'un que dans l'autre mode de traction et il paraît logique que leurs rapports soient assez peu variables.

Finalement la principale condition du succès est de faire trainer à la locomotive des rames 4 à 4 1/2 fois plus lourdes que celles admises pour les chevaux, tout en leur faisant parcourir par poste un chemin deux fois aussi long.

Autres frais qu'on pourrait faire intervenir dans les prix de revient comparatifs de transport.

Le service du transport, que le moteur soit vivant ou mécanique, occasionne d'autres frais qu'on pourrait faire intervenir dans l'établissement du prix de revient, mais qu'on néglige généralement parce que leur importance n'est pas toujours en rapport avec l'intensité du trafic; ce sont des frais indirects qui, par la diversité de leur montant, susciteraient dans les prix de revient des écarts qui fausseraient les comparaisons. Passons les en revue :

a) FRAIS DE LOGEMENT. — Ces frais s'équilibrent généralement à peu de chose près, le coût par machine pouvant être 6,5 fois plus élevé que par cheval. Pour l'exemple III on relate les chiffres de 241 et 1,312 francs (1) indiquant plutôt un avantage pour les locomotives.

b) FRAIS D'ENTRETIEN DES GALERIES. — Les galeries sont tout aussi nécessaires à l'aérage qu'au transport, et il serait difficile d'évaluer dans quelles proportions ces frais incombent à l'un ou l'autre service. L'utilisation des locomotives ne nécessite pas des dimensions exagérées; bien des transports par chevaux pourraient les laisser circuler sans aucun agrandissement; si les sections trop petites doivent être élargies dans certains cas, c'est toujours d'une quantité assez peu importante pour que l'entretien ne puisse s'en ressentir; au surplus, notons que les locomotives ne sont motivées que dans les galeries où il passe un tonnage déjà important et dans lesquelles doit circuler conséquemment un gros cube d'air; toute augmentation de section se traduira forcément par une amélioration du service d'aérage et les bienfaits qui peuvent en résulter, sans qu'il soit possible de les évaluer, compenseront sou-

(1) *Annales des Mines de Belgique*, 1913, p. 45.

vent dans une large mesure l'amortissement des frais nécessités par le recarrage, de même que le supplément d'entretien, pour autant qu'il existe.

L'entretien s'étend non seulement au revêtement proprement dit, mais aussi au ballastage et aux rigoles à eau quand celles-ci existent. Les chevaux par leur marche soulèvent le ballast et le rejettent sur les rails en formant des vides entre les traversines; un travail d'égalissage doit se faire fréquemment; de plus, s'il existe un écoulement d'eau, les terres qui y sont rejetées par le passage continu des chevaux exigent un entretien spécial.

Avec les locomotives ces dépenses disparaissent; conséquemment, aucun supplément d'entretien de voies et galeries n'est à craindre, au contraire.

c) ENTRETIEN DU MATÉRIEL ROULANT. — En raison des plus fortes rames, l'effort statique à exercer sur le crochet de traction du chariot de tête est plus important que dans la traction chevaline.

On serait tenté de prévoir de ce fait une plus rapide destruction du matériel roulant. Qu'on note cependant que l'effet destructif provient moins de l'effort statique que des chocs. Une locomotive partant des fronts peut amener sa charge au puits avec un seul démarrage, et celui-ci peut être adouci autant que désirable; avec les chevaux au contraire, il y aura de nombreux relais et autant de démarrages, quelquefois bien brusques quand les chevaux sont excités. Pendant le trajet l'effort de la machine est constant, et si la pente est bien régulière, la tension des crochets d'attache reste invariable; avec les chevaux l'effort est essentiellement irrégulier et donné par à-coups. Enfin une cause de destruction toute particulière réside dans les déraillements; or les points les plus défectueux d'une voie sont les croisements et les aiguilles, et les moments les plus propices aux déraillements sont les démarrages; l'avantage reste manifestement du côté de la locomotive et on constate

de fait, que les déraillements sont plus rares dans ce mode de traction que dans l'autre.

En résumé, les attaches doivent être renforcées en raison de la plus grande puissance du moteur, mais les effets destructifs seront moindres et l'entretien plutôt diminué.

d) USURE DES RAILS. — L'usure des rails doit certes être aggravée du fait de la friction des bandages moteurs de la locomotive. Essayons une estimation approximative des frais que cette usure plus rapide peut faire naître. Les rails d'une double voie dans laquelle les locomotives avaient trainé environ 400,000 tonnes, accusaient par mètre courant de galerie (pour les 4 rails) une diminution de poids 3 kil.080 soit par tonne-kilomètre $\frac{3.080}{400.000 \times 0.001} = 7.7$ grammes. Or sur ces rails, pesant neufs 13.5 kilog. par mètre courant, on peut user avant remplacement 2.5 kilog. par mètre courant; par mètre de galerie à double voie, les 4 rails coûtant 13.5 kilog. $\times 4 \times \frac{15 \text{ fr.}}{100} = \text{fr. } 8.10$ permettent le passage de $\frac{2.500 \text{ gr.} \times 4}{7.7} = 1,300$ tonnes-kilomètres, soit une dépense de $\frac{\text{fr. } 8.10}{1,300} = \text{fr. } 0.0062$ par tonne-kilomètre, incombant en partie seulement à la locomotive.

Une autre façon de faire cette estimation est de rechercher l'usure des bandages de la locomotive; la perte de poids des métaux frottant est inversement proportionnelle à leur degré de dureté.

Sur 3 machines ayant roulé respectivement trois, quatre et six mois depuis le renouvellement des bandages, on trouve une perte de poids de :

7 ^k 854	sur celle ayant roulé 3 mois, soit 2 ^k 818 par mois
11 ^k 411	» » 4 » » 2 ^k 853 »
16 ^k 493	» » 6 » » 2 ^k 748 »

Moyenne 2^k806 par mois

Par tonne-kilomètre, les bandages perdent $\frac{2,806}{134 \times 25} = 0.84$ grammes; en supposant que les bandages pourraient présenter une dureté 5 fois plus grande que les rails, l'usure par tonne-kilomètre ne serait encore que $0.84 \times 5 = 4.20$ grammes. Pour user les 2,500 grammes du mètre courant coûtant $13.5 \times \frac{15}{100} = \text{fr. } 2.025$, il faut produire $\frac{2,500}{4.2} = 595$ tonnes-kilomètres, ce qui évaluerait à $\frac{\text{fr. } 2.025}{595} = \text{fr. } 0.0034$ par tonne-kilomètre la dépense supplémentaire en rails due à la locomotive.

Ces chiffres, quoiqu'approximatifs rendent parfaitement compte du peu d'influence que peut apporter sur le prix de revient du transport par locomotives l'usure supplémentaire dont elle est la cause.

**Dépenses spéciales d'aménagement
dont il faut tenir compte quand on remplace
un mode de traction par un autre.**

Jusqu'ici il a été implicitement supposé qu'aucune dépense de transformation n'avait été nécessaire. Si on doit passer d'un mode de traction à un autre (c'est le cas actuel de la plupart des mines belges) des dépenses extraordinaires sont indispensables; dénommons les « dépenses d'aménagement ». Elles comprennent généralement le creusement d'une remise (qui fait double emploi avec l'écurie existante); le recarrage de certaines galeries, l'agrandissement des stations terminales, l'élargissement des rayons des courbes, le remplacement ou le renforcement de la voie et des aiguillages, le renforcement des chariots en leur point d'attache, etc. L'ensemble se chiffre par S francs. L'amortissement de cette somme ne doit plus se faire en un temps conventionnel comme pour les autres

dépenses; mais il doit être reporté sur toute la période pendant laquelle durera le transport modifié. On peut toujours estimer le nombre N de tonnes-kilomètres qui seront accomplis dans ces voies jusqu'à leur abandon; la part à porter sur le prix de la tonne-kilomètre sera de $\frac{S}{N}$; si t est le travail moyen que l'on compte faire accomplir par machine-poste, le coût journalier de celle-ci s'augmentera de $p = \frac{S t}{N}$ du fait des travaux d'aménagement.

La valeur de cet élément p peut dans certains cas déterminer de l'opportunité du remplacement d'un mode de transport par l'autre. L'avantage journalier que donne la locomotive par rapport aux chevaux a été évalué à fr. 43-15 — 25-86 = fr. 17-29; ce devrait être la limite de la valeur p. En réalité, le remplacement des chevaux par la locomotive à benzine ne paraîtra déjà plus recommandable bien avant cette limite; estimons qu'on puisse aller jusque 7 à 8 francs tout au plus.

Exemple: Le remplacement des chevaux par des locomotives à benzine a coûté dans une installation donnée:

1° Remise et retour d'air	fr. 10,000
2° Recarrages divers	» 12,000
3° Renforcement de la voie et des aiguillages	» 5,000
4° Renforcement du matériel roulant »	3,000
	S = » 30,000

On estime que ce transport permettra encore le passage de $N = 2,000,000$ de tonnes-kilomètres et que les machines feront en moyenne $t = 150$ tonnes-kilomètres par poste.

On trouve $p = \frac{30,000 \times 150}{2,000,000} = \text{fr. } 2.25$.

La charge sur le prix de la tonne-kilomètre s'évaluera à $\frac{30,000}{2,000,000} = \text{fr. } 0.015$.

Locomotives à air comprimé.

Les locomotives à air comprimé présentent aussi le plus grand intérêt comme agent de la traction souterraine dans les mines de houille. Jusque maintenant une seule application, à ma connaissance du moins, a été réalisée en Belgique et les chiffres publiés par les *Annales des Mines* (1) comparés à ceux des locomotives à benzine dans le tableau F montrent que les deux systèmes peuvent aboutir à des résultats économiques comparables.

Tableau F

Prix de revient du transport par locomotives à air comprimé dans une installation comptant six machines comparé au prix de revient du transport par locomotives à benzine.

	Par machine-poste					Salaire	Coût du travail d'une machine-poste	Travail en tonnes-kilomètres	Charge par rame	Chemin moyen parcouru par poste	Prix de la tonne-kilomètre
	Force motrice	Graissage	Entretien	Amortissement	Coût par machine-poste						
	Fr.	Fr.	Fr.	Fr.	Fr.	Fr.	Fr.		Tonnes	m.	Fr.
Air comprimé	7.30	0.54	1.33	8.45	17.62	8.73	26.35	156	18.6	16,800	16.8
Benzine . .	8.00	1.10	1.72	5.05	15.87	9.86	25.73	212	16.3	26,000	12.1

Les dépenses par machine-poste sont peu différentes ; quant à la différence dans le travail fourni, elle provient probablement de l'organisation du seul exemple à air comprimé, puisque le chemin parcouru par poste n'est que de 16,800 mètres alors que les locomotives à benzine montrent une moyenne de 26,000 mètres. Il y a bien la perte de temps pour remplissage aux stations de chargement, mais

(1) Année 1912, 3^e liv., p. 631.

elle est loin de motiver une différence aussi sensible, qui ne peut être que la conséquence de circonstances spéciales de lieu. On peut admettre que placés dans des conditions identiques, les deux engins produiraient le même travail, ce qui amènerait des prix de revient identiques.

Il faut cependant remarquer qu'il y a une différence essentielle entre ces deux systèmes. Dans les locomotives à benzine, la dépense par poste est indépendante de l'importance de l'exploitation ; un transport de 200 tonnes-kilom. peut être tout aussi économique qu'un de 2,000. Dans les locomotives à air comprimé au contraire, la force motrice dépend d'une centrale spéciale de compression d'air dont les frais (amortissement, main-d'œuvre, puissance, graissage) grèveront le coût journalier de chaque machine d'autant plus fort que leur nombre sera plus réduit. Ce système ne se recommande donc que dans des cas de très grand trafic ; celui du Levant du Flénu comportant six machines est une application heureuse de ce procédé. Sauf l'amortissement tous les chapitres du prix de revient paraissent plus avantageux avec l'air comprimé qu'avec la benzine.

Ces quelques notes montrent les sérieux avantages que ces deux genres de locomotives ont apportés au transport souterrain des mines de houille de notre pays et donnent l'explication du grand développement qu'elles prennent à l'heure actuelle.