Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 79 (1953)
Heft: 19

Artikel: Cout du démarrage des trains et conduite économique des locomotives
Autor: Sthioul, Chs.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-59807

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 15.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

COUT DU DÉMARRAGE DES TRAINS ET CONDUITE ÉCONOMIQUE DES LOCOMOTIVES

par Chs. STHIOUL, ing. en chef-adjoint à la Division Traction
du Ier arrondissement CFF

Les nombreux retards de trains dus aux ralentissements occasionnés par les travaux à la voie et à d'autres causes diverses, incitent le personnel des locomotives à regagner le temps perdu dans la mesure du possible. Un ancien contrôle des bandes tachygraphiques de tous les trains, étendu à l'ensemble du réseau des C.F.F., avait démontré en son temps qu'il était rattrapé plus de 10 000 minutes en un seul jour. C'est certainement encore le cas aujourd'hui. Il en résulte nécessairement une dépense d'énergie supplémentaire, que ce soit du charbon sur les locomotives à vapeur ou du courant de traction sur les locomotives électriques.

Le travail accompli par une locomotive est le produit de la force utilisée par le chemin parcouru. Il s'exprime en kilogrammètres (Kg.m), en cheval-heure (CV.h) ou en watt-heure (W.h), comme il suit :

$$1 \text{ CV.h} = 270\,000 \text{ Kg.m} = 736 \text{ W.h ou}$$

$$1 \text{ W.h} = \frac{270\,000}{736} \text{ Kg.m.}$$

Pour une locomotive à vapeur, il faut compter par cheval-heure une consommation moyenne de 1,5 kg de charbon en marche continue et de 2 kg au démarrage. Ces chiffres sont des moyennes et varient beaucoup selon la composition du train, le type de locomotive, la qualité du charbon et la façon de conduire, ainsi que selon la vitesse maximum à atteindre et le profil de la ligne parcourue.

Une première constatation s'impose déjà. Compte tenu du prix actuel moyen du charbon (houille et briquette) qui est encore très élevé et variable, ainsi que de celui de l'énergie électrique prise au pantographe du véhicule moteur, le coût d'un démarrage de train remorqué par une locomotive à vapeur est environ *quatre fois* plus élevé qu'avec une locomotive électrique de même puissance et travaillant dans les mêmes conditions.

Voyons maintenant comment peut s'établir le coût d'un tel démarrage :

Le *travail d'une locomotive* sert à vaincre :

a) la résistance au roulement du train ;
b) la rampe à gravir ;
c) le démarrage à effectuer.

Les diverses formules pour le calcul de ce travail s'établissent comme il suit :

Résistance au roulement. W en kg par tonne de train (Kg/T) approximativement :

$$W = 2{,}5 + \frac{v^2}{2000} \qquad v = \text{vitesse de marche km/h,}$$

ce qui donne les résultats suivants :

2,8 kg/T à 25 km/h ; 3,5 kg/T à 45 km/h ;
4,3 kg/T à 60 km/h ; 5,3 kg/T à 75 km/h
et 6,55 kg/T à 90 km/h.

La moyenne est donc de 4,0 kg/T (vitesse moyenne 50 à 55 km/h).

1. *Travail Aw*, en Kg.m, pour vaincre la résistance au roulement :

$$Aw = \left((2{,}5 + \frac{v^2}{2000}\right) . Q . s . 1000$$

Q = poids du train et de la locomotive en t.
s = parcours en km.

Ce *travail moyen* est alors à environ 50 km/h : $Aw_{moy} = 4 . Q . s . 1000$ en Kg.m, soit de *4000 Kg.m* par tonne transportée sur 1 km (T.Km).

2. *Travail Ah*, en Kg.m, pour vaincre les rampes :
$Ah = 1000\ Q . h = 1000 . Q . i . s$
h = dénivellation en m.
i = rampe ‰.
Exemple : $Ah = 10\,000$ Kg.m sur du 10 ‰ par tonne et km.
La résistance au roulement est vaincue sur les pentes dépassant 2,5 ‰.

3. *Travail d'accélération* au démarrage du train *Aa* en Kg.m :

$$Aa = \frac{1000 . Q}{g} \cdot \frac{V^2}{2} = \frac{1000 . Q}{g} \cdot \frac{v^2}{2 . 3{,}6^2}$$

g = accélération de la pesanteur 9,81 m/sec².
V = vitesse en m/sec $\frac{v}{3{,}6}$
v = vitesse en km/h.

$Aa = 4 . Q . v^2$ pour un démarrage :

$$\frac{1000}{g . 2 . 3{,}6^2} = 3{,}94 \cong 4$$

$Aa = 4 . n . Q . v^2$ pour n démarrages.
Ce travail varie beaucoup avec la vitesse à atteindre.

4. *Travail total* de la locomotive en Kg.m :

$$A = Aw + Ah + Aa =$$

$$= \left[\left(2{,}5 + \frac{v^2}{2000}\right) s . 1000 + 1000\, h + 4nv^2\right] Q$$

$$\text{ou } A_{moy} = (4000 . s + 1000 . h + 4n . v^2) Q.$$

On voit dans cette formule que le travail qui varie le plus avec la vitesse est celui du démarrage.

Par exemple, pour arriver à 75 km/h, le travail par tonne de train sera de $Aa = 4Qv^2 = 22\,500$ Kg.m pour un seul démarrage, ce qui représente aussi le travail d'une tonne sur rampe de 10 ‰ et 2,25 km de longueur ou aussi le travail d'une tonne de train, en palier, sur 5 km de parcours à 63 km/h.

Le travail d'un train omnibus, effectuant de nombreux arrêts, est ainsi bien supérieur à celui d'un train direct (le double ou le triple selon le nombre des démarrages, pour le même tonnage et sur le même parcours). Une plus grande vitesse maximum augmente le travail de la locomotive, principalement du fait du travail de démarrage plus considérable. Par conséquent, il suffit d'envisager de plus près ce travail de démarrage et son coût pour comparer le travail total de la locomotive sur un parcours déterminé et avec diverses catégories de trains.

Selon chiffre 3 ci-dessus, le travail de démarrage est obtenu par la formule : $Aa = 4Q\varphi^2$ en Kg.m pour un seul démarrage.

La transformation en chevaux-heures et en watts-heures donne :

$$5.\quad Aa = 4Q\varphi^{2\,\mathrm{Kg\,m}} = \frac{4}{270\,000}\,Q\varphi^{2\,\mathrm{CV.h}} =$$

$$= 0{,}000015\,Q\varphi^{2\,\mathrm{CV.h}} = \frac{4.736}{270\,000}\,Q\varphi^{2\,\mathrm{W.h}} = 0{,}011\,Q\varphi^{2\,\mathrm{W.h}}.$$

Si la vitesse doit passer de φ_1 km/h à φ_2 km/h, le *travail supplémentaire* est :

$$Aa = 0{,}000015\,Q\,(\varphi_2^2 - \varphi_1^2)^{\mathrm{CV.h}} = 0{,}011\,Q\,(\varphi_2^2 - \varphi_1^2)^{\mathrm{W.h}}.$$

Il ne s'agit là que du travail d'accélération. Le travail complet selon chiffre 4 ci-dessus comprendrait encore l'addition du travail Aw pour vaincre la résistance au roulement et du travail Ah pour vaincre les rampes, selon formules des chiffres 1 et 2 ; nous n'en avons pas besoin pour comparer le coût d'un démarrage à l'aide d'une locomotive à vapeur ou électrique.

Exemple du calcul de la *dépense supplémentaire* occasionnée par un démarrage avec une locomotive à vapeur ou électrique.

Pour une *locomotive à vapeur*, nous aurons :

Coût supplémentaire en centimes =

$$= 0{,}000015\,Q\,(\varphi_2^2 - \varphi_1^2)\,Kg.Pc.$$

Pour une *locomotive électrique*, la formule devient :

Coût supplémentaire en centimes =

$$= 0{,}011\,Q\,(\varphi_2^2 - \varphi_1^2)\,\frac{1}{\eta}\cdot Pe \quad \text{où}$$

Q = poids total du train en tonnes.
φ_1 et φ_2 = vitesses en km/h.
Kg = consommation de charbon au démarrage en Kg/CV.h.
Kg = 2, comme indiqué au début de cet exposé.
Pc = prix du charbon en cts/kg.
Pe = prix du courant électrique pris au pantographe en cts/W.h.
η = rendement des locomotives électriques = = 60 à 80 %.

Ce rendement $= \dfrac{\text{Puissance à la jante}}{\text{Puissance à la caténaire}}$ est très variable ; il dépend du type de locomotive et des conditions de charge des moteurs (poids du train, vitesse, accélération). Les rendements mentionnés dans le tableau ci-dessous sont tirés des essais effectués sur diverses locomotives électriques de ligne ; ils ne sont qu'approximatifs, ce sont des valeurs moyennes. Pour fixer les idées, nous avons admis un Pc moyen de 12 cts/kg pour le charbon et un Pe de 0,006 cts/Wh pour l'électricité ; ces prix diffèrent selon les années et les conditions de production et d'appréciation ; ils n'ont été admis que pour permettre d'établir un tableau comparatif et doivent être calculés dans chaque cas particulier.

EXEMPLE DU COUT SUPPLÉMENTAIRE D'UN DÉMARRAGE AVEC UNE LOCOMOTIVE A VAPEUR OU ÉLECTRIQUE

Poids en T		Km/h		Consommation				Démarrage Prix en francs	
Compos.	Loc.	v_1	v_2	Charbon	Electricité			Vapeur	Electr.
				Kg	W.h jante	η	W.h. catén.	120 frs/t	6 cts/kWh
1000	100	0	45	67	24 500	60	41 000	8.00	2.45
1000	100	30	45	37	13 600	60	22 700	4.45	1.35
600	100	0	45	42,5	15 550	65	24 000	5.20	1.45
600	100	30	45	23,5	8 520	65	13 000	2.80	0.80
400	100	0	90	122	44 500	80	55 600	14.90	3.35
400	100	0	75	84,5	31 000	75	41 400	10.15	2.50
400	100	0	60	54	19 800	70	28 300	6.50	1.70
400	100	0	45	30,5	11 150	65	16 900	3.65	1.00
400	100	75	90	37,5	13 600	80	17 000	4.50	1.00
400	100	60	75	30,5	11 150	75	16 900	3.65	1.00
400	100	45	60	23,5	8 650	70	12 400	2.80	0.75
200	100	0	90	73	26 700	80	33 400	8.75	2.00
200	100	0	75	50,5	18 600	75	24 800	6.05	1.30
200	100	0	60	32,5	11 850	70	17 000	3.90	1.00
200	100	0	45	18	6 700	65	10 300	2.15	0.60
200	100	75	90	22,5	8 150	80	10 200	2.70	0.60
200	100	60	75	18	6 700	75	8 900	2.15	0.55
200	100	45	60	14,5	5 200	70	7 400	1.75	0.45

Observation : Ces prix n'ont qu'une valeur comparative.

Conclusion : Les démarrages au charbon sont donc bien environ quatre fois plus coûteux que ceux à l'électricité, dans les conditions normales de marche aux C.F.F., ce qui démontre à ce sujet l'intérêt qu'il y aurait à remplacer dès que possible les locomotives à vapeur par des véhicules plus économiques.

Conduite économique d'une locomotive

A la lumière des formules établies ci-dessus, examinons encore la façon la plus économique de conduire un train qui n'a pas de retard à rattraper.

Supposons un train de 400 t, remorqué par une locomotive de 100 t, devant faire un parcours de 10 km en palier. La vitesse maximum de la locomotive étant admise de 90 km/h et le parcours normal de 11 minutes. Il n'y a aucun retard à rattraper. Quelle est la conduite la plus économique ?

1er cas : Le mécanicien doit-il accélérer le train jusqu'à 90 km/h sur un certain parcours, puis déclencher le combinateur et laisser couler le train pour arriver en 11 minutes à destination ?

2e cas : Est-il préférable de ne pas dépasser environ 60 km/h sur tout le parcours en maintenant le combinateur enclenché ?

En utilisant les formules précédentes ainsi que les prix pour le charbon et l'électricité déjà admis à titre d'exemple, la dépense de courant électrique s'établit comme il suit dans les deux cas :

1er cas : Vitesse maximum 90 km/h

Travail de démarrage :

$$Aa^{cts} = \frac{0,000066}{\eta} Q v^2$$

Aa = Fr. 3.35.

Q = 500 t total train et locomotive.

v = 90 km/h $v^2 = 8100$.

η = 80 %.

Pour tenir le temps de parcours, la vitesse de 90 km/h devra être maintenue sur 0,5 km avant le déclenchement complet du combinateur. Puis la vitesse diminuera progressivement sous l'effet de la résistance au roulement.

Travail pour vaincre la résistance au roulement sur 0,5 km :

$$Aw^{cts} = \left(2,5 + \frac{v^2}{2000}\right) Q.s.1000 \cdot \frac{736}{270\,000} \cdot 6$$

$Aw = 0,27$ $s = 0,5$ km.

Coût total 1er cas $= Aa + Aw = 3,35 + 0,27 =$ Fr. 3.65.

2e cas : Vitesse maximum 60 km/h

Travail de démarrage :

$$Aa^{cts} = \frac{0,000066}{\eta} Q v^2 \quad v = 60 \text{ km/h} \quad \eta = 70\ \%$$

Aa = Fr. 1.70.

Travail pour vaincre la résistance au roulement sur 9 km :

$$Aw^{cts} = \left(2,5 + \frac{v^2}{2000}\right) Q.s.1000 \cdot \frac{736}{270\,000} \cdot 6$$

Aw = Fr. 3.15. $s = 9$ km.

Coût total 2e cas $= Aa + Aw = 1.70 + 3.15 =$ Fr. 4.85.

Conclusion

A 60 km/h, la dépense de courant est plus forte de 1 fr. 20. Avec une locomotive vapeur, la différence serait plus grande encore. Il vaut mieux accélérer le train à la vitesse maximum admissible, puis laisser couler en utilisant la force vive. Toutefois, d'autres considérations d'exploitation peuvent exiger de ne pas diminuer la vitesse au-dessous d'un certain minimum pour entrer dans les gares. En pratique, le mécanicien s'en tiendra à un compromis entre les deux méthodes, selon le temps de parcours du train considéré fixé par l'horaire et les retards éventuels à rattraper.

Lausanne, juin 1953.

BIBLIOGRAPHIE

Pratique du percement des tunnels, par *H. W. Richardson*, associate editor « Engineering New-Record », et *R. S. Mayo*, Construction engineer. Traduit de l'américain par C. Magne, ingénieur. Paris, Dunod, 1953. — Un volume 16×25 cm, xx + 494 pages, nombreuses figures et illustrations photographiques. Prix : relié toile, 4900 fr. français.

Bien qu'il existât jusqu'à ce jour de nombreux ouvrages traitant des études préliminaires, des installations de chantier, du creusement et du revêtement des puits et tunnels, aucun de ceux-ci ne pouvait prétendre donner de la *pratique* du percement des tunnels une étude des moyens spécifiquement propres à cette catégorie d'ouvrages d'art.

Les auteurs, en remédiant à cette lacune, ont dû se limiter à ne rappeler que brièvement les notions indispensables de topographie, ventilation, compression, roulage, etc., pour offrir aux ingénieurs et entrepreneurs un ouvrage de base dans lequel sont étudiées les très nombreuses variantes des opérations de percement d'une galerie. Perforation, tir, marinage, installation des voies et roulage, soutènements, fonçage du puits, épuisements et revêtement, sont ici toujours décrits en tenant compte non seulement des modifications apportées aux anciennes méthodes par l'apparition du matériel le plus récent, mais aussi des dispositions particulières qu'il y a lieu d'adopter lorsqu'on se trouve en face de difficultés imprévues.

Le traducteur qui a participé personnellement à la recherche des solutions dans un grand nombre de questions délicates, a introduit avec l'accord des auteurs quelques remarques nouvelles et des précisions sur les réalisations postérieures à la rédaction de l'édition originale. Dans cette édition française, qui contient un grand nombre de schémas et d'illustrations photographiques, le lecteur trouvera, transposés dans le système métrique, les tableaux et abaques qui permettent d'évaluer les pertes de charges dans les tuyauteries d'air comprimé ou de ventilation, la puissance à prévoir pour les stations de pompage, la résistance électrique dans les amorces et circuits de tir, etc.

Ce traité s'adresse donc tout particulièrement aux ingénieurs chargés des études préliminaires, ingénieurs-constructeurs d'équipements hydroélectriques, ingénieurs des travaux publics et des chemins de fer, exploitants de mines et carrières, et ingénieurs militaires. Il sera tout aussi utilement le guide de l'entrepreneur chargé de l'exécution des galeries et du chef de chantier.

Extrait de la table des matières

Historique. Conception et technique des tunnels. Implantation et contrôle topographique. Sécurité. Fonçage des puits. Marinage. Roulage. Treuils et charpentes. Ventilation et élimination des poussières. Pompages et épuisements. Matériel et installations annexes. Tunnels boisés en terrain tendre. Exécution en mauvais terrains avec blindage en plaques métalliques. Méthode du bouclier. Boucliers. Travaux à l'air comprimé. Sas à air comprimé. Tunnels au rocher. Perforation. Explosifs. Etaiement et boisage. Bétonnage. Terrains exceptionnels. Forages par tuyaux avancés au moyen de vérins.

Les aciers résistant à la corrosion. Aciers inoxydables, anticorrosifs et réfractaires, par *Paul Maser*, ingénieur E. P. F. Zurich 23, Hertsch & Cie, 1953. — Une brochure 15×21 cm, 10 figures, tableaux.

Les établissements *Hertsch & Cie*, à Zurich, ont édité en 1945 une première brochure, *L'acier, traité élémentaire*, suivie en 1947 de *L'acier rapide, une matière première indispensable.*

Ils continuent la série par *Les aciers résistant à la corrosion*, qui présente les renseignements de base nécessaires pour pouvoir *choisir, acheter et utiliser* avec un rendement maximum les aciers inoxydables, anticorrosifs et réfractaires. Cette publication contient en outre un exposé des principes généraux qui commandent la corrosion et, en annexe, un tableau de résistances à la corrosion.

L'auteur s'est efforcé d'exposer ces notions avec le maximum de simplicité et de clarté, afin de les mettre à la portée de tous ceux qu'intéresse l'application des aciers spéciaux, ainsi que des élèves des Ecoles techniques et professionnelles.