

Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 58 (1932)
Heft: 9

Artikel: Les caractéristiques techniques actuelles des moyens de transport terrestres
Autor: Kummer, W.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-44833>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 05.05.2025

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

BULLETIN TECHNIQUE

Rédaction : H. DEMIERRE et
J. PEITREQUIN, ingénieurs.

DE LA SUISSE ROMANDE

Paraissant tous les 15 jours

ORGANE DE PUBLICATION DE LA COMMISSION CENTRALE POUR LA NAVIGATION DU RHIN

ORGANE DE L'ASSOCIATION SUISSE DE TECHNIQUE SANITAIRE

ORGANE EN LANGUE FRANÇAISE DE LA SOCIÉTÉ SUISSE DES INGÉNIEURS ET DES ARCHITECTES

SOMMAIRE : *Les caractéristiques techniques actuelles des moyens de transport terrestres*, par le Dr W. KUMMER, professeur à l'Ecole Polytechnique fédérale. — *Calcul des cercles de vannage des turbines hydrauliques (suite)*, par H. MEYER, ingénieur E. I. L., à Genève. — *L'alimentation de Lausanne en eau potable*. — *La centrale automatique de Montreux*. — BIBLIOGRAPHIE. — *Service de Placement*.

Les caractéristiques techniques actuelles des moyens de transport terrestres

par le Dr W. KUMMER,
professeur à l'Ecole Polytechnique fédérale.

Leçons faites au Cours sur « Problèmes actuels de la circulation » organisé par la Société suisse des ingénieurs et des architectes. — Traduction de la rédaction du « Bulletin technique ».

L'objet de cette étude est l'analyse des principaux caractères technico-économiques des méthodes de transport terrestres. Il sera fait abstraction des moyens de transport jugés aujourd'hui irrationnels, tandis qu'il en était autrement jadis, par exemple les tramways urbains à câble, et de certains autres moyens, rationnels mais d'importance restreinte, tels les traîneaux.

Il ne faut toutefois pas en inférer que les moyens de transport passant aujourd'hui pour importants et rationnels, du point de vue technique et économique, le resteront indéfiniment. La clarification de certaines notions, l'examen des principes techniques à la base des moyens de transport et la discussion de certaines manifestations issues de la concurrence de ces moyens seront les principaux points visés dans ce qui suit.

1. Principes généraux.

Le but de tout transport est toujours le déplacement d'un certain poids « utile », mais ce but ne peut être atteint que par le déplacement concomitant d'un certain « poids mort ». Il en résulte que le poids total transporté, mesuré en tonnes, P , comprend deux éléments P_u et P_m reliés par l'égalité

$$P = P_u + P_m$$

Si de tels poids se succèdent à intervalles moyens de d km, à une vitesse v , en km/h, une mesure de l'intensité du trafic est le débit pondéral horaire D , exprimé par

$$D = \frac{v}{d} P$$

Le produit du chemin parcouru par le poids transporté est propre à mesurer, à l'aide de statistiques, l'activité de ce genre de transports. Dans la suite, les longueurs seront exprimées par l et mesurées en km. Mais, dans certains cas, il est expédient de mesurer l'activité d'un service de transport non d'après le poids transporté, mais d'après le nombre d'objets transportés, particulièrement quand il s'agit de voitures isolées du même type (par exemple, les autos). Dans ce cas, le nombre

$$n = \frac{v}{d}$$

de voitures véhiculées par heure est aussi une mesure de l'intensité du trafic. Cherchons à déterminer la limite supérieure de cette intensité. Elle est fixée par des raisons de sécurité d'exploitation qui ne dépendent pas exclusivement de la vitesse maximum admise. En effet, le souci de cette sécurité exige, déjà pour des valeurs de v inférieures à la valeur maximum admise, une « distance de bloc » minimum, qui croîtra avec v , autrement dit, d croît avec v . Il en résulte que D et n sont reliés à v par une fonction représentée graphiquement par la figure 1. Quand il s'agit de poids P formés par des wagons constituant un convoi, la sécurité exige encore, au delà de certaines valeurs de v , la réduction de la longueur du

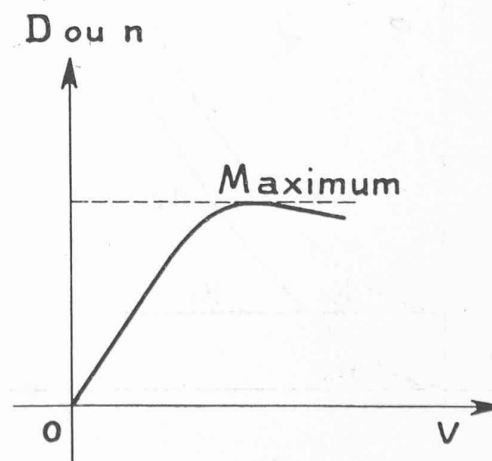


Fig. 1.

convoi, c'est-à-dire du poids transporté P ; ce qui accentue le maximum de D , conformément à la figure 1. La présence d'un maximum de n , en fonction de v , est particulièrement apparente dans la circulation des automobiles sur des chaussées à sens unique. Les entreprises de transport peuvent viser encore autre chose qu'un maximum de D : ce sera, par exemple, un maximum de v , ou de P_u , dans certains secteurs, ou, seulement, la réalisation d'un trafic régulier, sans acception de maximum.

Pour juger de l'économie d'un transport terrestre, il faut, en première ligne, considérer son prix de revient. Ce prix de revient, K , exprimé en francs, correspondant à un certain travail de transport $\Sigma(lP)$, en t. km, est, généralement, pour la commodité de la discussion, décomposé en deux éléments, l'un K_1 , indépendant de l'intensité du trafic, l'autre K_2 , en dépendant. Si nous représentons par

$$T = \Sigma(lP)$$

le travail de transport, en t. km, le prix de revient spécifique sera exprimé par

$$p = \frac{K}{T}, \text{ en Fr/t.km}$$

La variation typique de K , en fonction de T , est généralement représentée par la figure 2. La variation de p peut affecter différentes allures, puisque p , suivant les circonstances, est constant, ou bien croît, ou encore décroît, quand T croît. Dans les entreprises économiquement gérées, on escompte que p décroîtra quand T croîtra. Mais la considération du prix de revient des transports n'en éclaire l'économie que par la face des dépenses et il faut prendre en considération les recettes pour arriver à la notion de « rentabilité » qui est le critère complet de cette économie. Or, les recettes des entreprises de transport accusent, en général, une dépendance étroite avec la longueur du transport, et en ce sens qu'elles diminuent considérablement quand cette longueur augmente. Cette interdépendance est une conséquence du fait qu'il existe toujours dans le territoire

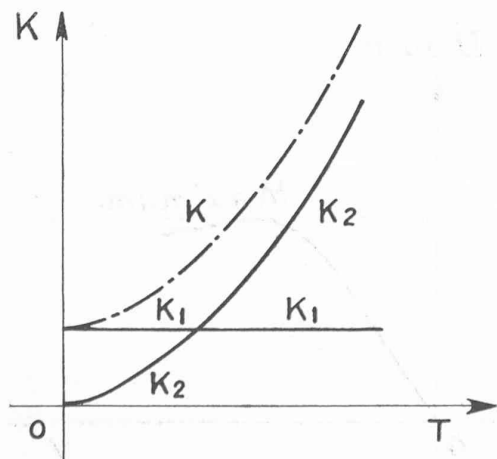


Fig. 2.

desservi des centres où le trafic se concentre et diminue donc rapidement avec la distance.

Les entreprises de transport, grevant, par la force des choses, le poids utile, P_u , d'un poids mort, P_m , on peut faire intervenir un certain « coefficient de remplissage », mesuré par une fraction b , à l'aide duquel le nombre y des objets de remplissage (voyageurs, marchandises, messageries) semble pouvoir être exprimé, en fonction de la longueur du transport x , à partir d'un centre, par l'égalité

$$y = Cb^x$$

où C est une constante caractéristique du trafic envisagé.

Cette fonction y satisfait les statistiques qui donnent — primo — le nombre des objets qui interrompent leur voyage après x km de parcours et les statistiques qui — secundo — indiquent le nombre d'objets qui accomplissent un trajet de x km et plus. La figure 3 représente la variation de y en fonction de x pour $b = 0,6$, valeur fréquente dans les chemins de fer à voie normale, et pour $C = 1$. Le trafic effectif correspondant à la courbe calculée est représenté sur la figure 3 par le diagramme en gradins. La distance $x=1$ peut correspondre soit à l'espacement moyen des stations, soit à une certaine section, par exemple 10 ou 20 km. En général, les sommets des gradins de la figure 3 se rapprochent d'autant plus de la courbe calculée que la distance $x=1$ est plus grande. C'est par l'aménagement d'horaires et de tarifs

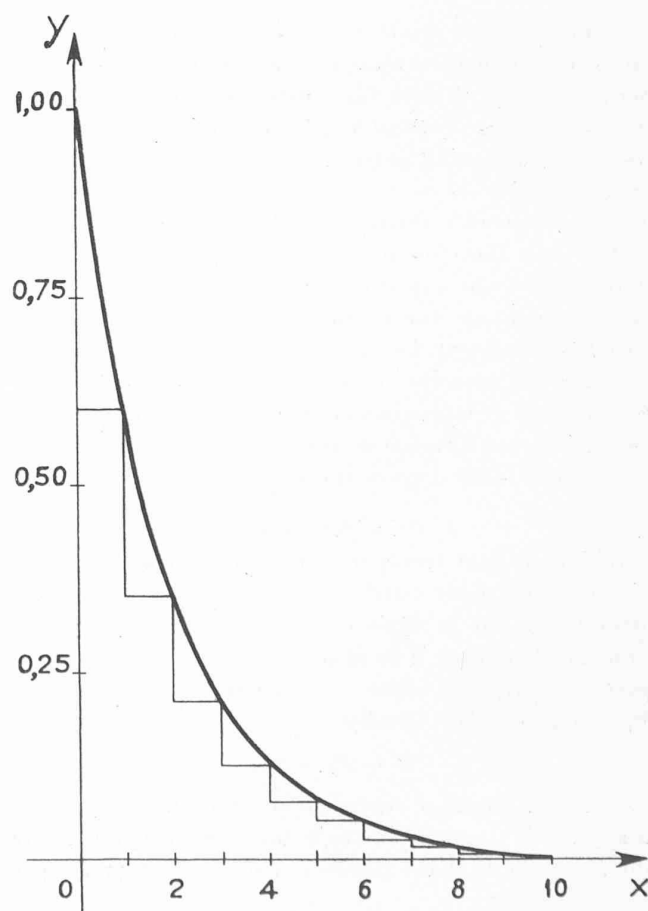


Fig. 3.

appropriés aux besoins du public et aux conditions techniques que les entreprises de transport réalisent des recettes dont l'excédent sur les dépenses constitue le « produit net ». Le rapport des dépenses d'exploitation pures, soit dépenses pour le personnel et le matériel, aux recettes encaissées, est appelé *coefficient d'exploitation*.

A l'aide de ce coefficient, toute entreprise de transport exploitant depuis un temps convenablement long, est à même d'évaluer rapidement sa rentabilité au bout d'une période quelconque d'exploitation, donc avant les prélèvements, exécutés en fin d'exercice, des sommes nécessaires pour l'intérêt et l'amortissement du capital d'établissement et pour l'alimentation des fonds de renouvellement ou autres.

2. Principes techniques.

Pour exécuter n'importe quel transport, il est nécessaire de mettre en œuvre un effort de traction dont la grandeur revêt une importance fondamentale, du point de vue technique et économique. L'effort F , mesuré en kg, nécessaire pour transporter une charge $P = P_u + P_m$ est exprimé, la vitesse étant constante, par la relation

$$F = (P_u + P_m) \cdot (r + 1000 \cdot \sin \alpha)$$

où r est le coefficient de résistance, en kg/t, et α la « rampe » de la voie, par rapport à l'horizontale. Comme c'est seulement le transport de P_u qui est désiré, des valeurs élevées du rapport P_m/P_u peuvent, dans certaines circonstances, avoir pour conséquences des majorations très indésirables des efforts de traction¹. Les différents moyens de transport terrestres sont caractérisés par différentes valeurs de r . L'allure des profils en long des sections parcourues est déterminante de la valeur de α , tandis que le tracé en plan influence r selon les rayons des courbes. La vitesse aussi, quand elle atteint des valeurs élevées, exerce une influence considérable sur r . Comme moyen fondamental de transports terrestres, auquel nous rapporterons nos comparaisons, nous choisissons les véhicules moteurs à adhérence. Ces véhicules roulent soit sur des voies de fer formées par des rails, fixés au sol ou suspendus, soit sur la surface des chaussées ; c'est à la jante des roues motrices de ces véhicules qu'est développé l'effort de traction, en proportion du frottement existant entre la roue et le rail ou la chaussée. Les roues de ces véhicules sont munies de bandages qui, généralement, sont en acier pour le transport sur rails et en caoutchouc pour le transport sur chaussées. Pour les bandages en acier roulant sur voie de fer, le coefficient d'adhérence, dans le cas de vitesses faibles, est d'environ 200 kg par tonne de charge sur la roue ; cette adhérence diminue quand v croît et n'est plus guère que de 100 kg/t quand v atteint 100 km/h. Pour des bandages en caoutchouc roulant sur des rails en acier ou sur une très bonne chaussée, le coefficient d'adhérence s'élève au triple de ces valeurs. La résistance mécanique

des bandages en acier est suffisamment grande pour faire face à toutes les charges par roue désirables, tandis que la résistance mécanique des bandages en caoutchouc, même gonflés d'air, est étroitement limitée et, en général, ne permet que des charges par roue inférieures à 1 t. Or, de fortes charges par roue sont indispensables quand un petit nombre de roues motrices doit effectuer la propulsion non seulement de la charge qui les intéresse directement, mais encore de celle qui repose sur plusieurs autres roues non motrices. Comme, d'autre part, la pression par roue admissible sur les chaussées est restreinte, il s'établit les deux couples suivants d'appartenance : Sur la voie de fer : trains de wagons, à bandages métalliques, remorqués par une locomotive. Sur les chaussées : véhicules automoteurs isolés, à bandages en caoutchouc. Mais, il va sans dire que la propulsion de véhicules automoteurs, à bandages quelconques est aussi possible sur rails.

En raison de la grande pression par roue qu'elle admet, c'est à la voie de fer qu'appartient le maximum de « débit pondéral horaire » et la capacité maximum de transport des charges individuelles.

Demandons-nous maintenant lequel des deux moyens de transport à adhérence, le chemin de fer ou le véhicule routier, convient le mieux pour les transports à très grande vitesse. La réponse est conditionnée par la question de sécurité. La diminution de l'adhérence avec l'accroissement de la vitesse est toujours désavantageuse, mais elle est particulièrement nuisible à la sécurité dans la prise des virages par les véhicules routiers. Il est vrai que, par une construction appropriée de la superstructure des voies et par l'emploi de courbes à grand rayon, il est possible de réaliser des vitesses supérieures aux maximum admis actuellement. En principe, la sécurité et la tranquillité de la marche sont plus grandes sur des rails que sur une chaussée nue. La forte augmentation de r , aux grandes vitesses, étant surtout imputable au frottement de l'air, les inventeurs devaient être incités à utiliser, comme organe de propulsion, une hélice aérienne, éliminant ainsi la sujétion d'augmenter le poids adhérent pour compenser, aux grandes vitesses, la diminution du coefficient d'adhérence. Mais il est improbable que les vitesses extrêmement grandes que ce système de propulsion exige pour être tout à fait rationnel soient économiquement justifiables, à cause des dépenses considérables engagées dans la construction des voies spéciales qui sont nécessaires. Tout système de véhicule moteur à adhérence trouve la limite naturelle de ses applications quand la rampe est telle que le coefficient d'adhérence, mesuré en kg/kg, n'atteint plus au moins le double ou le triple de la tangente trigonométrique de la déclivité accusée par le profil en long de la voie. Cette limite correspondra donc à une déclivité de 3° pour les véhicules moteurs à bandages métalliques roulant sur rails et à 9° pour les véhicules moteurs à bandages en caoutchouc. Aussi, pour vaincre de plus grandes rampes, abandonne-t-on l'adhérence pour re-

¹ Dans le service des voyageurs, le rapport $\frac{P_m}{P_u}$ est environ égal à 1 pour la motocyclette ; pour un train de luxe ce rapport peut atteindre 50.

courir soit à la pression exercée par un pignon du véhicule moteur sur une crémaillère, ce qui est une solution avantageuse pour les rampes atteignant jusqu'à 25°, soit à la traction par un câble, employée dans les funiculaires terrestres et suspendus et qui s'accommodent de pentes s'élevant à 35° environ pour les terrestres et 60° pour les suspendus. Quant à l'ascenseur vertical, il ne peut être compté parmi les moyens techniques de transports terrestres parce qu'il lui manque le caractère d'une composante horizontale du déplacement.

Au point de vue du développement de l'effort de traction, il est nécessaire d'envisager encore ici les différences qui interviennent dans la résistance en palier rectiligne, que nous désignerons par r_0 , suivant qu'il s'agit, d'une part, du chemin de fer et, d'autre part, des moyens de transport qui le concurrencent, savoir la batellerie pour le transport des marchandises en grandes masses et l'automobile pour le transport des personnes et des marchandises en petites masses. La figure 4 représente

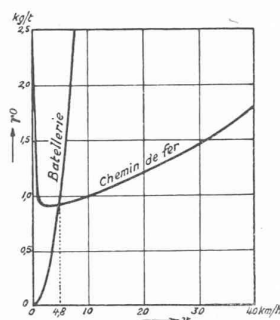


Fig. 4.

graphiquement, en fonction de la vitesse, le coefficient de résistance r_0 , en kg/t, pour les wagons à marchandises et les péniches. Il ressort de cette figure que la traction sur les canaux est avantageuse pour les vitesses restreintes¹. Pour comparer judicieusement le coefficient de résistance r_0 du chemin de fer avec celui de l'automobile, il faut considérer individuellement les composantes de r_0 , savoir, le frottement de roulement des bandages sur la voie, le frottement de roulement ou de glissement des fusées et dans les coussinets et le frottement de l'air. En ce qui concerne le frottement de roulement, nous différencierons les bandages suivant leur déformabilité et nous admettrons que le bras de levier de la résistance au roulement de bandages métalliques sur rails est de 0,5 mm et qu'il est 5 à 10 fois plus grand pour les bandages en caoutchouc roulant sur rails ou sur une chaussée en bon état. A charge par roue égale, les roues à bandage métallique peuvent donc très bien accuser une résistance r_0 plus petite que les roues à bandage en caoutchouc roulant sur les voies les mieux appropriées. Au reste, la grandeur des efforts de traction ne jouant pas un rôle déterminant dans les questions de concurrence entre les différents moyens de transport,

¹ Ainsi, cette traction atteint les grands débits D pour de grands poids P .

ces comparaisons ne visent qu'à préciser des détails d'un caractère purement technique.

Poursuivant l'examen des principes techniques des transports terrestres, nous devons, maintenant, porter notre attention sur l'adduction de l'énergie nécessaire à la propulsion des véhicules. Dans le cas des funiculaires terrestres ou aériens, c'est le câble tracteur qui transmet l'énergie. Mais, toujours en opposition avec les sources d'énergie transportées par les véhicules moteurs, et qui équivalent à une forme de poids mort, on peut concevoir un autre système d'apport continu d'énergie produite par des sources extérieures.

L'installation transmettant continuellement de l'extérieur, en l'absence de câble tracteur, l'énergie de propulsion aux véhicules est la ligne électrique et les chemins de fer ainsi propulsés sont les chemins de fer électriques. Pour juger ce système d'approvisionnement en énergie, du point de vue purement technique et technico-économique, un facteur d'une importance particulière est l'espacement des points principaux d'alimentation de la ligne de contact. Cette distance, que nous désignerons par λ , mesurée en km, est reliée à la tension d'alimentation E , mesurée en volts et au débit pondéral horaire du trafic D , par la relation

$$\lambda = \frac{E}{\sqrt{D}} \cdot \frac{1}{C}$$

où C est une caractéristique du système de traction appliqué. Cette fonction est représentée par la figure 5 où E est un paramètre qui prend des valeurs caractéristiques pour les différents systèmes d'alimentation. Soit le courant continu, soit le courant alternatif sont propres, sous la réserve que leur tension soient dans le rapport 1,0 : 1,6 kV, à satisfaire aux différentes valeurs de la tension entrant en ligne de compte.

L'espacement des points d'alimentation, la valeur de la tension et le débit pondéral horaire doivent être combinés rationnellement au point de vue technico-économique.

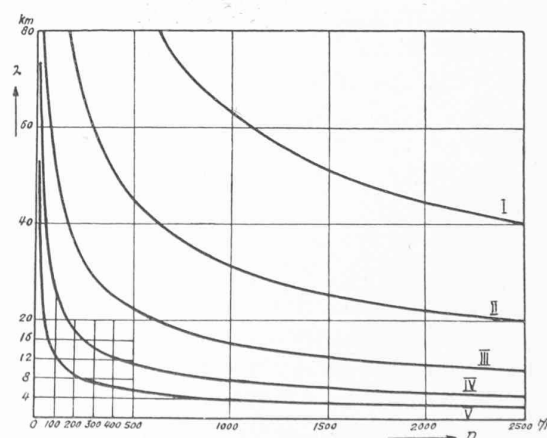


Fig. 5.

Légende :

- I. Courant alternatif 16 000 V (ou courant continu 10 000 V)
- II. " " 8 000 V (" " 5 000 V)
- III. " " 4 000 V (" " 2 500 V)
- IV. " " 1 000 V (" " 625 V)

En ce qui concerne les sources d'énergie véhiculées, la question se pose de savoir quel est le travail de transport $P \cdot l$, en t. km, que l'unité de poids du générateur-accumulateur d'énergie, y compris le matériel auxiliaire (par exemple, chaudière, avec le charbon et l'eau, dans le cas de la traction à la vapeur) est capable d'accomplir. Exprimée en chevaux-heures, la dépense de travail mécanique nécessaire à l'accomplissement du travail de transport $P \cdot l$ est égale à

$$F P l \frac{1}{\eta} \cdot \frac{1}{270}$$

où F désigne l'effort de traction moyen, en kg/t, et η , le rendement moyen.

L'énergie mécanique correspondante fournie par le générateur-accumulateur d'énergie, avec ses accessoires, de poids P_g , en tonnes, et d'une capacité d'accumulation k_g en ch.h/t, est mesurée par $P_g k_g$. En égalant les deux expressions de ce travail, on dégage la caractéristique

$$\delta = \frac{Pl}{P_g} = \frac{k_g \eta}{F} \cdot 270$$

qui exprime le travail de transport, en t. km, correspondant à chaque tonne de générateur-accumulateur d'énergie et de ses accessoires. Il est facilement compréhensible que les lourds accumulateurs électriques ne sont pas particulièrement avantageux et qu'ils ne donnent pour δ , en palier, que des valeurs comprises entre 500 et 1000 t.km/t; mais on est étonné que la traction à la vapeur accuse un δ double seulement. En revanche, pour les véhicules équipés de moteurs à combustion interne, les générateurs-accumulateurs d'énergie et leurs accessoires accusent des valeurs de δ s'élevant à 20 000 et 30 000 t.km/t. Il est manifeste que la traction électrique par alimentation au moyen d'une ligne de contact ne peut être caractérisée par le $\delta = \infty$ qui résulterait de l'application de la formule. Mais une grandeur mieux appropriée à la comparaison des services de transport, sans ou avec générateurs-accumulateurs d'énergie véhiculés, est la « longueur virtuelle ». Par quoi il faut entendre la longueur horizontale équivalant à une longueur donnée de rampe donnée, au point de vue du travail mécanique dépensé pour le transport d'un certain poids utile. Le rapport de ces deux longueurs, soit le « coefficient virtuel », constitue le critère de comparaison le plus simple. Si, sur la base de ce coefficient, on compare la traction à la vapeur avec la traction électrique alimentée par ligne de contact, on constate immédiatement la grande supériorité de la traction électrique pour gravir les rampes. Si on étend cette comparaison aux véhicules de choix à moteurs à combustion interne, on s'aperçoit qu'à ce point de vue, ils le cèdent à peine à la traction électrique. Cependant, il faut relever qu'actuellement, les efforts de traction et les puissances développables par les véhicules à moteurs à combustion interne, par exemple les locomotives Diesel-électriques, sont bien inférieurs aux efforts de traction et aux puissances fournis par les locomotives

électriques alimentées par une ligne de contact. Un autre critère pour l'évaluation comparative des différents systèmes de traction peut être extrait de l'analyse des prix de revient, en vue d'établir le « prix paritaire » des systèmes d'approvisionnement d'énergie.

3. La concurrence entre les moyens de transports terrestres.

Nous envisagerons seulement les principes de la violente concurrence qui sévit entre différents moyens de transport terrestres et nous porterons, avant tout, notre attention sur la concurrence entre les chemins de fer, d'une part, et l'automobile roulant sur chaussées nues, d'autre part. Les domaines d'application qui devraient être réservés à l'un et à l'autre de ces moyens de transport ne sont pas encore délimités. Mais il semble que cette délimitation se prépare et qu'il y aurait lieu de lui donner pour critères, d'une part, la longueur du trajet parcouru et, d'autre part, le poids utile véhiculable en un seul transport. La figure 6 représente la variation du

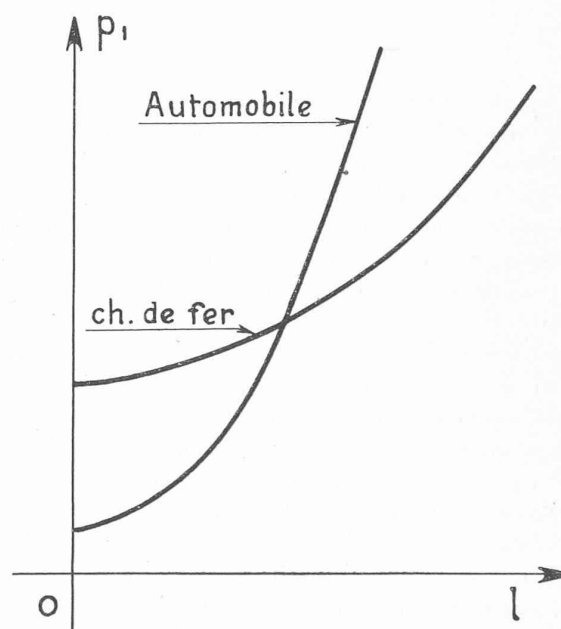


Fig. 6.

prix de revient, mesuré en fr/t et désigné par p_1 , du transport d'une tonne de poids utile en fonction de la longueur l de transport, mesurée en km, soit par chemin de fer, soit par automobile. Par rapport au chemin de fer, l'automobile accuse une proportion de dépenses fixes, indépendantes de l , bien inférieure, tandis que ses frais variables croissent plus rapidement avec l . Bornant notre analyse au trafic des marchandises, nous constaterons que le chemin de fer ne se soucie pas du fait qu'il y ait un peu plus ou un peu moins de poids à transporter en une seule fois et que les frais accessoires p_2 (camionnage, transbordement, etc.) sont à peu près invariables avec la longueur du transport. Au contraire, le camion automobile accuse une augmentation de 20 %, environ, de p_1 seulement pour couvrir les frais de trans-

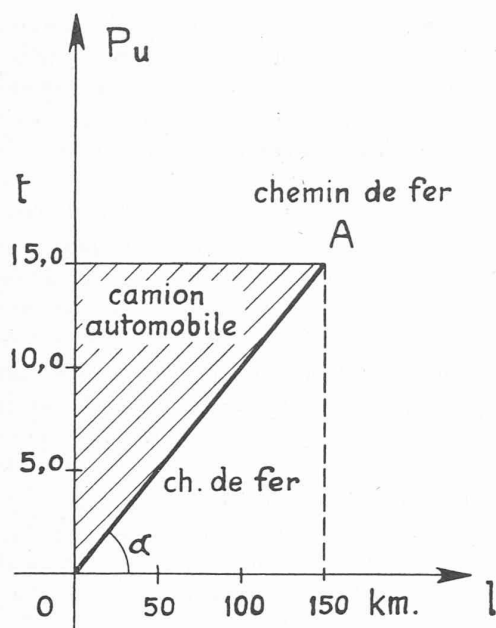


Fig. 7.

port à vide. Sur la base de ces considérations, on peut établir une délimitation, représentée par la figure 7, des domaines économiquement dévolus au chemin de fer et à l'automobile, la ligne de démarcation étant, approximativement, une droite partant de O et inclinée d'un angle α sur l'axe des longueurs.

La limite supérieure admise, de 15 tonnes, pour P_u correspond à un camion traînant deux remorques. A l'intérieur du domaine ainsi dévolu à l'automobile, les prix de revient, comparativement aux prix de revient relatifs au chemin de fer, sont d'autant plus faibles que la longueur du transport est plus courte. Cette particularité a permis au camion de dérober au chemin de fer une partie du transport, très rémunérateur, des expéditions partielles à petite distance. Mais la grandeur de l'angle α qui régit la délimitation des deux domaines (fig. 7) est fortement influencée par les mesures administratives qui visent les systèmes de transport concurrents. Les pouvoirs publics détiennent donc une puissance d'action considérable sur les conditions de la concurrence entre ces moyens de transport.

Un cas particulier de cette concurrence est offert par le transport en commun des personnes dans les grandes villes où, généralement, chemins de fer à voie indépendante, tramways et autobus se partagent le trafic. Pour faire face à de très fortes « pointes » périodiques, ce sont les chemins de fer à voie indépendante qui conviennent le mieux, puis viennent les tramways et, enfin, ce sont les autobus qui sont le moins propres à desservir ce genre de trafic. Mais la variété des transports urbains laisse à chaque système un domaine qui lui est approprié.

Un autre cas de concurrence entre moyens de transport terrestres se pose quand il s'agit d'établir une installation de transport en commun destinée à gravir une

montagne. Généralement, le choix est tranché déjà lors de la rédaction du projet et ce sont les conditions topographiques, conjuguées avec la densité de trafic visée, dont la grandeur varie en raison inverse de la déclivité, qui décideront entre le tracé plus long, mais moins raide au moyen de la crémaillère et le funiculaire, plus court, mais à plus forte pente.

Calcul des cercles de vannage des turbines hydrauliques,

par H. MEYER, Ingénieur E. I. L., à Genève.

(Suite)¹

Les trois inconnues hyperstatiques du problème sont donc déterminées. Elles sont reliées par les équations que nous venons de trouver aux données du problème.

Ces valeurs caractérisent donc complètement les efforts que supporte le matériau du cercle dans la section où agit la réaction d'appui P_1 . La compression Q_0 et le cisaillement V_0 donnent des efforts relativement faibles, dans la section envisagée, par rapport à M_0 . Du reste, dans les calculs qui suivent, nous ne nous occuperons pas de la compression et de l'effort tranchant dans une section quelconque.

Nous observons que la valeur de M_0 est affectée du signe négatif. Cela signifie que ce moment fléchissant est dirigé dans le sens inverse de celui que nous avons choisi conventionnellement, c'est-à-dire que le moment tend à augmenter le rayon de courbure du cercle, dans le cas de la figure 1, lorsque l'appui est placé en dehors de celui-ci.

L'allure de la courbe

$$M_0 = f(\theta, \lambda_i)$$

où λ_i est une valeur quelconque fixe donnée à λ , varie suivant λ_i .

Dans la pratique, ce paramètre varie entre 1 et environ 0,75 et dépasse rarement cette limite inférieure.

De son côté, l'angle θ varie en général entre 60° et 90°.

La figure 2 donne la variation du moment M_0 pour différentes valeurs de λ en fonction de θ . Ce graphique montre que pour des valeurs courantes de θ , c'est-à-dire comprises entre 60° et 90°, M_0 augmente lorsque λ diminue, c'est-à-dire lorsque le point d'attaque des bielles s'écarte du rayon ρ , son minimum étant toujours obtenu pour $\lambda = 1$, c'est-à-dire lorsque les points d'attaque des bielles sont situés sur le cercle décrit par le centre de gravité de la section du cercle. Ce graphique est calculé pour les caractéristiques constructives données plus loin.

Dans le cas où l'on n'aurait qu'une seule bielle, c'est-à-dire si $\theta = 0$, le moment fléchissant M_0 est par contre maximum lorsque $\lambda = 1$.

¹ Voir Bulletin technique du 16 avril 1932, page 89.