

Meuble.....

Dossier.....

Communications

DE LA

Commission suisse d'études
pour la traction électrique des chemins de fer,

rédigées par

M. le Professeur-D^r W. WYSSLING

Secrétaire général.

N° 2.

NORMES ET PRINCIPES D'UN SERVICE DE TRACTION

POUR

L'EXPLOITATION ÉLECTRIQUE DES CHEMINS DE FER SUISSES

D'après les travaux de M. L. THORMANN, ingénieur,
par le D^r W. KUMMER.

Extrait du *Bulletin technique de la Suisse romande*,
35^{me} année. Nos 3 et 4 de 1909.

**Communications de la Commission suisse d'études
pour la traction électrique des chemins de fer.**

Rédigées par M. le Secrétaire général Prof.-Dr WYSSLING.

N° 2.

**Normes et principes d'un service de traction
pour l'exploitation électrique des Chemins
de fer suisses.**

D'après les travaux de M. L. THORMANN, ingénieur,
par le Dr W. KUMMER.

Dans sa première communication, la Commission suisse d'études pour la traction électrique des chemins de fer a résumé les résultats de ses recherches sur l'énergie nécessaire pour la traction électrique des chemins de fer suisses. Les calculs en sont basés sur les dispositions actuelles de l'exploitation des chemins de fer suisses et les chiffres qui en résultent, pour la quantité maximum d'énergie, ne seront vraisemblablement jamais dépassés (voir Communication N° 1). Cette assertion est justifiée par le fait que les conditions économiques actuelles de l'exploitation ne sont pas adaptées aux particularités de la traction électrique, d'où il résulte que les calculs effectués dans l'hypothèse d'une exploitation électrique basée sur les dispositions actuelles de l'exploitation à vapeur conduisent à une dépense d'énergie très considérable.

L'application de la traction électrique aura pour conséquence une transformation dans le mode d'exploitation en vigueur aujourd'hui, transformation indispensable pour assurer à la traction électrique tous ses avantages et notamment l'avantage d'utiliser de la façon la plus économique les chutes d'eau de notre pays. De plus, comme la traction électrique devra permettre, dans la mesure du possible, une exploitation plus intense que celle obtenue

par la traction à vapeur, la Commission avait à élaborer, en vue des calculs futurs, de nouvelles normes pour le service de traction des chemins de fer suisses et à rechercher en particulier comment on pourrait améliorer les dispositions du service actuel de traction sans qu'il en résultât un bouleversement des installations existantes. C'est précisément le résumé de ces recherches qui fait l'objet de la présente « Communication ».

La sous-commission chargée de ces études en confia l'exécution à M. Thormann, ingénieur, dont elle discuta et détermina les résultats.

La présente communication reproduit, dans ses grandes lignes, le rapport détaillé de M. Thormann.

* * *

Les conditions d'exploitation sont déterminées par la disposition des horaires et par la formation des trains. Pour l'établissement de l'horaire les données déterminantes sont : les conditions du démarrage et du freinage, les vitesses admises, l'espacement des trains et la disposition des stations. Pour la formation, il faut prendre en considération les quantités à transporter par les différentes catégories de trains, la composition des trains, le mode de traction et l'aménagement des voitures.

Les études ont porté sur les lignes principales et secondaires, à voie normale, du réseau suisse dont la déclivité ne dépasse pas 26 ‰.

Démarrage.

Des relations pour déterminer le travail et la puissance maximum absorbée pendant le démarrage d'un train et pour la discussion de la relation entre l'effort total de traction et le poids adhérent, nous utilisons l'équation suivante, qui n'est d'ailleurs qu'approximative :

$$P = Q (w \pm s + 100 \cdot p)$$

dans laquelle

P = la force totale de traction, exprimée en *kg.*

Q = le poids du train, en tonnes.

w = la résistance au roulement, en *kg.* par tonne.

$\pm s$ = la déclivité de la voie, en ‰.

p = l'accélération moyenne, supposée constante, en *m.-sec.².*

Comme la résistance au roulement croît avec la vitesse, on doit prendre, dans chaque cas, pour w , une valeur particulière correspondante. Dans l'équation ci-dessus, p étant la variable indépendante, il est important de connaître exactement l'influence de cette quantité.

Nous chercherons, pour différentes valeurs de l'accélération, en particulier pour $p = 0,1$, $p = 0,2$, $p = 0,3$, $p = 0,4$ *m.-sec.²*, la variation de la vitesse, de la puissance absorbée par tonne transportée, du chemin parcouru pendant le démarrage et de l'effort de traction, en fonction de la durée de parcours. Si nous adoptons une distance horizontale de 4 *km.* correspondant à l'espacement moyen de deux stations sur nos lignes suisses et les valeurs ci-dessus de l'accélération au démarrage et si nous admettons une période de freinage dont l'accélération négative constante soit de 0,5 *m.-sec.²* (valeur usuelle) nous pouvons calculer l'influence des différentes valeurs de l'accélération au démarrage pour tout le parcours entre les deux stations.

Temps et puissances absorbées par tonne pour un parcours entre deux stations.

p	Pour une vitesse maximum de 75 <i>km.</i> à l'heure.			Pour une vitesse maximum de 100 <i>km.</i> à l'heure.		
	Temps en secondes pour le démarrage	Total	Puissance en HP absorbée par tonne	Temps en secondes pour le démarrage	Total	Puissance en HP absorbée par tonne
0,1	208	317	5	278	314	8
0,2	104	285	8	139	242	11,6
0,3	69	248	10,5	93	219	15
0,4	52	239	13,3	70	208	19

Les résultats les plus intéressants de ces calculs sont résumés dans le tableau page 3 pour les vitesses maximum de 75 km. et de 100 km. à l'heure.

Pour la relation entre l'effort de traction et le poids adhérent, on obtient, d'après l'équation ci-dessus et en se reportant à la définition du poids adhérent G

$$G = \frac{P}{n}$$

où n , le coefficient d'adhérence, est choisi $= \frac{1}{6}$, le tableau suivant qui donne, pour deux résistances au roulement différentes, correspondant à des vitesses maximum de 75 km.-heure et 100 km.-heure, le rapport du poids adhérent au poids du train, pour différentes rampes.

Rapports du poids adhérent au poids du train.

p	$w = 7,5$ correspondant à 75 km.-h.				$w = 11,0$ correspondant à 100 km.-h.			
	Rampe s en ‰				Rampe s en ‰			
	10	15	20	25	10	15	20	25
0,1	0,165	0,195	0,225	0,255	0,186	0,216	0,246	0,276
0,2	0,225	0,255	0,285	0,315	0,246	0,276	0,306	0,336
0,3	0,285	0,315	0,345	0,375	0,306	0,336	0,366	0,396
0,4	0,345	0,375	0,405	0,435	0,366	0,396	0,426	0,456
0,5	0,405	0,435	0,465	0,495	0,426	0,456	0,486	0,516

Ces tableaux fournissent les données pour le choix de l'accélération, en fonction de la distance entre stations, de la vitesse maximum à atteindre, de la puissance maximum par tonne donnée, du poids adhérent nécessaire et du temps de parcours minimum désiré. Il y a lieu de faire ressortir, en outre, ce qui suit : plus la distance entre les stations est petite, plus l'accélération au démarrage devra être grande, mais, dans ce cas, il sera moins important d'obte-

nir une vitesse considérable à la fin de la période de démarrage. En ce qui concerne les installations, centrales et lignes des chemins de fer électriques, il y aurait avantage à choisir une faible accélération et à pouvoir la régler de façon à démarrer plus lentement sur les rampes. L'influence de l'accélération sur la grandeur du poids adhérent est particulièrement importante quant au choix qu'on devra faire entre la locomotive et la voiture automotrice.

Le rapport entre le poids adhérent et le poids du train est surtout défavorable pour les rampes, de telle sorte que sur les tronçons dont le profil présente de fortes rampes, l'adoption d'accélération élevées nécessiterait l'emploi de voitures automotrices.

Les recherches précédentes nous permettent de conclure que pour les express une accélération de $0,2 \text{ m.-sec.}^2$ paraît être la limite supérieure ; pour les omnibus $0,3 \text{ m.-sec.}^2$ est la valeur la plus favorable et, pour les trains de marchandises on n'aurait pas intérêt à dépasser $0,1 \text{ m.-sec.}^2$. Ces accélérations sont supérieures à celles admises aujourd'hui pour la traction à vapeur, savoir $0,1$ à $0,15 \text{ m.-sec.}^2$ pour les express et les omnibus, $0,05$ à $0,1 \text{ m.-sec.}^2$ pour les trains de marchandises.

Freinage.

Nous avons vu plus haut l'influence de l'accélération positive au démarrage sur la valeur du rapport de la force de traction au poids adhérent : nous allons étudier maintenant l'influence de l'accélération négative sur le rapport entre l'effort de freinage et le poids freiné.

Pour la résistance P' , opposée par le freinage nous avons la relation

$$P' = Q (100 p' - (\pm s) - w)$$

dans laquelle $p' =$ accélération négative (retard) en m.-sec.^2 et les autres quantités sont les mêmes que leurs correspondantes dans la première équation ci-dessus.

De cette relation et de l'équation de définition du poids freiné G'

$$G' = \frac{P}{n'}$$

on déduit, en adoptant $n' = \frac{1}{7}$ pour le coefficient d'adhérence du freinage et une résistance moyenne au roulement de 6 *kg.* par tonne, le tableau suivant qui donne les valeurs du rapport du poids freiné au poids du train, pour différentes valeurs de la pente et de l'accélération.

Rapport du poids freiné au poids du train.

p'	Pente en ‰				
	0	10	15	20	25
0,1	0,028	0,098	0,133	0,17	0,20
0,2	0,098	0,17	0,20	0,24	0,27
0,3	0,17	0,24	0,27	0,31	0,34
0,4	0,24	0,27	0,34	0,38	0,41
0,5	0,31	0,38	0,41	0,45	0,48
0,6	0,38	0,45	0,48	0,52	0,55
0,7	0,45	0,52	0,55	0,59	0,63
0,8	0,52	0,59	0,63	0,66	0,695
0,9	0,59	0,66	0,695	0,73	0,76
1,0	0,60	0,73	0,78	0,80	0,83

Par suite de l'imperfection des freins mécaniques on adopte des coefficients d'adhérence moins élevés que les coefficients effectifs de frottement entre les roues et le rail ou, en d'autres termes, on majore le poids freiné et on dit, par exemple, d'un poids freiné qui est le double de celui que fournissent les calculs théoriques que la « sécurité de freinage » est doublée, c'est-à-dire qu'on a doublé la « sécurité contre le glissement des roues ». En adoptant l'accélération négative usuelle de 0.5 *m.-sec.*² pour le freinage

continu de tous les axes et une résistance au roulement de 6 kg. par tonne, on trouve que :

Sur des pentes en ‰ de	0	10	15	20	25
n' est de	0,044	0,054	0,059	0,064	0,069
or, la sécurité, par rapport à $n' = \frac{1}{7} = 0,0143$	3,3	2,6	2,4	2,2	2,05

Le frein à air comprimé permet d'obtenir des accélérations négatives supérieures à $0,5 m\text{-}sec.^2$, surtout s'il est muni d'un dispositif de réglage automatique. La relation entre le chemin parcouru pendant le freinage et la vitesse initiale de la période de freinage est importante ; si le chemin parcouru pendant le freinage doit être le même pour des vitesses initiales différentes, les accélérations, supposées uniformes, devront être entre elles comme le carré des vitesses ; si, de plus, pour un même chemin parcouru pendant le freinage, la sécurité contre le glissement des roues doit aussi être la même, les poids freinés doivent être dans le même rapport que celui des résistances opposées par le freinage. Ces considérations jouent un grand rôle dans la détermination des accélérations de freinage.

Les études précédentes permettent en effet de choisir l'accélération de freinage en tenant compte du chemin minimum de freinage qu'on désire adopter, de la vitesse maximum, de la sécurité contre le glissement et de la possibilité de récupérer l'énergie en aménageant les moteurs de façon à ce qu'ils puissent fonctionner comme générateurs. Il y a lieu de considérer encore les points suivants : la réduction au minimum du chemin parcouru pendant la période de freinage s'impose, soit parce qu'elle diminue le temps de parcours, soit surtout parce qu'elle permet de bloquer plus rapidement le train en cas de besoin. Pour

les grandes vitesses, on sera obligé de prévoir des accélérations plus élevées et des poids freinés plus considérables afin d'obtenir une sécurité suffisante contre le glissement des roues. Mais lorsque l'accélération négative augmente, la possibilité de récupérer, sous forme électrique, l'énergie constituée par la force vive du train diminue, parce que, d'une part la force vive ne sera plus utilisée que sur un faible parcours directement à vaincre les résistances au roulement, d'autre part, on sera obligé d'accroître le nombre des essieux moteurs, accroissement qui est préjudiciable à une récupération pratique d'énergie. Une accélération de freinage élevée et une récupération notable d'énergie sont donc incompatibles. D'un autre côté, on ne saurait, eu égard aux considérations précédentes, préconiser une accélération supérieure à celle de 0.5 m.-sec.^2 qui est en usage aujourd'hui, pour les freins continus, de telle sorte que nous arrivons à la conclusion : l'accélération négative de freinage pour les trains express et les omnibus sera de 0.5 m.-sec.^2 .

Vitesses.

Les vitesses actuelles des chemins de fer suisses sont fixées par l'ordonnance fédérale du 25 mars 1905. D'après cette ordonnance, la vitesse maximum autorisée sur des pentes de 0 à 10 ‰ , pour les express et les omnibus munis du frein continu et comprenant 40 essieux de wagons au plus est de 90 km.-heure ; elle est de 75 km.-heure pour des trains de 50 essieux au maximum et de 65 km.-heure pour des trains de 60 essieux au plus ; pour les pentes plus considérables et dans les courbes dont le rayon est inférieur à 500 m. , ces chiffres sont réduits graduellement. Pour les trains qui ne sont pas munis du frein continu et sur des pentes de 0 à 22 ‰ , la vitesse maximum autorisée est de 45 km.-heure pour les trains de voyageurs comprenant 60 essieux au plus et pour les trains de marchandises de 120 essieux

au maximum ; sur les pentes plus considérables, ces chiffres sont aussi réduits graduellement.

Le tableau suivant résume les vitesses maximum autorisées par l'ordonnance fédérale pour les pentes et les nombres d'essieux les plus fréquents :

Tableau des vitesses maximum en *km.* par heure.

Pente en ‰	Express et omnibus munis du frein continu, jusqu'à 40 essieux	Trains sans frein continu (Trains de voyageurs comprenant 60 essieux au plus et trains de marchandises de 120 essieux au plus)
0	90	45
5	90	45
10	90 — 80	45
15	75 — 70	45
20	65 — 60	45
25 (et plus)	55 — 50 (— 40)	40 (— 35)

Les vitesses sont en outre réduites au passage des aiguilles, de certains ouvrages et des stations. Au point de vue technique il est évidemment possible de marcher à des vitesses supérieures dont la réalisation est d'ailleurs désirable en vue de la réduction des temps de parcours, bien que ce dernier point soit moins important pour notre réseau suisse — où deux centres importants sont rarement distants de plus de 60 à 70 km. — que pour les réseaux étrangers ; il reste à discuter plus en détail les conditions qui seront déterminantes pour arrêter les valeurs de la vitesse, savoir la dépense d'énergie, la sécurité de freinage et les dispositions constructives du matériel roulant. Etant données les rampes de notre réseau qui dépassent rarement 20 ‰, sur les lignes principales des C. F. F. et 25 ‰ sur le Gothard, on pourra facilement augmenter les vitesses en

usage actuellement, et cela même en admettant que les moteurs des trains et les installations de transport de force n'aient pas à fournir une puissance supérieure à celle qui est exigée pendant les périodes de démarrage.

En ce qui concerne les courbes, le nombre des voies et leur disposition (aiguilles), il ne sera pas possible de s'écarter des prescriptions actuelles tant que les obstacles qui s'opposent à une marche plus rapide n'auront pas été supprimés.

Quant à l'énergie nécessaire, notre « Communication n° 1 » montre que : 1° pour différentes vitesses, les quantités d'énergie absorbée par la résistance au roulement sont entre elles comme les ordonnées de la courbe donnant la résistance au roulement en fonction de la vitesse ; 2° la quantité d'énergie destinée à accélérer la masse du train est proportionnelle au carré de la vitesse ; 3° le travail dépensé pour gravir les rampes est indépendant de la vitesse. Les études précédentes ont permis de conclure qu'une accélération élevée au démarrage contribue à diminuer la durée du trajet mais, par contre, a pour conséquence une augmentation considérable de la puissance absorbée. Les mêmes considérations s'appliquent aux express malgré le moindre nombre d'arrêts parce que, à cause de la diminution obligatoire de vitesse au passage des stations et de certains ouvrages, les périodes d'accélération ne sont guère moins fréquentes. Le calcul montra qu'il peut être avantageux de laisser les trains progresser sous l'influence de la force vive ce qui réalise une notable économie d'énergie tout en n'augmentant que faiblement le temps de parcours. Le tableau suivant donne, en adoptant un coefficient constant de sécurité de 2,6 et un chemin de freinage de 625 m., le rapport entre le poids freiné nécessaire et le poids du train pour différentes vitesses et les accélérations correspondantes.

Rapport entre le poids freiné et le poids du train pour une
sécurité constante et un chemin de freinage constant.

Vitesse en <i>km.-heure</i> Accélération en <i>m.-sec.²</i>		90	80	70	60	50
		0,5	0,395	0,30	0,22	0,155
Valeur du rapport pour $s = 0/_{00}$	0	0,82	0,63	0,46	0,31	0,19
	10	1,00	0,81	0,64	0,49	0,37
	20		0,99	0,82	0,67	0,55
	30			1,00	0,85	0,74
	40				1,03	0,92
	50					1,10

Ces chiffres montrent que, pour une même sécurité contre le glissement sur les pentes, on peut adopter des vitesses supérieures à celles qui sont en usage aujourd'hui conformément au tableau ci-dessus. Le tableau précédent permet aussi de déterminer la vitesse maximum admissible sur les déclivités pour les express et les omnibus munis du frein continu. Les dispositions constructives du matériel roulant sont telles qu'il est possible d'augmenter la vitesse des express et des omnibus, mais ce ne sera pas le cas pour les trains de marchandises tant que tous les wagons ou au moins la plupart d'entre eux ne seront pas pourvus du frein continu.

Des études théoriques précédentes on conclut :

1. Les vitesses maximum prescrites actuellement, soit 90 *km.-heure* pour les trains munis du frein continu et 45 *km.-heure* pour les trains sans frein continu, pourraient être augmentées, mais devront être maintenues telles quelles.

2. Par contre, tout en restant dans ces limites, il faudra s'efforcer de marcher à la plus grande vitesse possible, notamment sur les tronçons en déclivité.

3. La vitesse maximum des trains de voyageurs doit être comptée à 75 *km.-heure* en moyenne.

La fixation des vitesses maximum n'est pas seule à déterminer les conditions du service de traction pour tant qu'il intéresse la vitesse ; il y a lieu d'envisager encore le *réglage de la vitesse*. Ce point est important eu égard aux prescriptions qui limitent la vitesse au passage des aiguilles et de certains ouvrages. Il faut aussi s'efforcer de rendre le temps de parcours indépendant du poids des trains et envisager l'éventualité de vitesses exceptionnelles en vue d'atténuer les retards. Les retards peuvent être atténués par les moyens suivants : réduction des temps d'arrêt dans les stations intermédiaires, augmentation de l'accélération pendant les périodes de démarrage et de freinage, augmentation de la vitesse maximum, utilisation aussi complète que possible, sur tout le parcours, de la vitesse maximum tolérée. Mais ces divers moyens ne peuvent être employés, séparément ou conjointement, que si l'horaire est établi assez largement et cette restriction s'applique aussi bien à une exploitation future qu'à l'exploitation actuelle.

La question des réductions de vitesse sur les pentes, dans ses rapports avec la puissance absorbée mérite d'être étudiée minutieusement. Etant donné que l'ordonnance fédérale autorise les mêmes vitesses en palier et sur les pentes ne dépassant pas 10⁰/₀₀ on conçoit facilement l'intérêt qu'il y a à atteindre réellement ces vitesses sur les déclivités inférieures à 10⁰/₀₀, en vue de rendre la marche du train indépendante des accidents du profil en long, sur la plupart des lignes du plateau suisse.

Sur les montées plus fortes, la vitesse serait diminuée et atteindrait à peu près la valeur qu'elle a pour les descentes correspondantes.

Le tableau suivant donne, comme conclusion de toutes ces études, les différentes valeurs de la vitesse pour les trois catégories de trains et la puissance absorbée par tonne. Ce tableau comprend, outre les vitesses proposées pour les différentes sortes de trains, les vitesses maximum autori-

sées actuellement et les vitesses usuelles pour les express et les omnibus de 40 essieux au plus et pour les trains de marchandises comprenant 120 essieux au plus.

**Normes proposées pour les vitesses, les accélérations, etc.
en vue de l'exploitation électrique future.**

Déclivité en ‰	Vitesse en km. à l'heure			Accélérations proposées en m. sec. ²	HP par tonne proposée pour la locom.	HP par tonne proposée pour le démarrage	Catégories de trains
	proposées	autorisées actuellement	usuelles actuellement				
0	90	90	75—90	0,22	3,2	10,0	Express ¹
5	90	90	70—85	0,16	5,0	10,0	
10	90	90—80	40—60	0,12	6,6	10,0	
15	75	75—70	40—50	0,12	6,8	10,0	
20	65	65—60	30—42	0,12	7,0	10,0	
25	60	55—50	25—35	0,12	7,2	10,0	
0	75	90	60—75	0,35	2,0	12,0	Omnibus ²
5	75	90	60—70	0,30	3,5	12,0	
10	75	90—80	40—60	0,25	4,8	12,0	
15	70	75—70	35—50	0,23	5,6	12,0	
20	65	65—60	30—40	0,22	6,2	12,0	
25	60	55—50	25—35	0,22	7,0	12,0	
0	45	45	45	0,20	0,7	4,2	Trains de marchandises
5	45	45	30—45	0,13	1,5	4,2	
10	45	45	20—30	0,09	2,4	4,2	
15	42	45	15—25	0,06	2,9	4,2	
20	38	45	15—25	0,04	3,4	4,2	
25	36	45	15—20	0,04	3,9	4,2	

¹ Au Gothard, les trains marchent sur toutes les rampes (mais pas en palier) à des vitesses jusqu'à 5 km.-heure supérieures aux vitesses « usuelles actuellement » qui se rapportent aux C. F. F. Sur les pentes jusqu'à 25 ‰ les trains marchent, au Gothard, à une vitesse atteignant même 62 km.-heure.

² Les omnibus plus légers (200 t.) ont parfois des vitesses égales aux vitesses usuelles des express.

La discussion des projets définitifs d'exploitation permettra de se rendre compte si les chiffres proposés dans le tableau ci-dessous seront compatibles avec les frais d'installation et d'exploitation. Même en n'arrêtant pas, pour le moment, les vitesses sur les tronçons en pente, il faut envisager en tout cas la question du réglage de la vitesse.

1. Il faut que la vitesse puisse varier à volonté entre des limites aussi éloignées que possible.

2. La durée du trajet doit pouvoir être rendue indépendante du poids des trains.

3. Sur les rampes, jusqu'à 10 ‰ (éventuellement un autre chiffre qui sera fixé ultérieurement), les vitesses maxima autorisées doivent pouvoir être réellement pratiquées sur tout le tronçon considéré, cela dans l'hypothèse qu'il n'en résulterait pas des dépenses de construction ou d'exploitation inadmissibles; sur les rampes plus fortes les vitesses devront pouvoir être diminuées.

4. La puissance des moteurs devra, dans certains cas exceptionnels, pouvoir être augmentée, afin d'atteindre des vitesses supérieures sur certains tronçons en rampe, où elles étaient, jusque-là, inférieures au maximum autorisé.

Espacement des trains et temps de stationnement.

L'espacement des trains est déterminé par l'éloignement des stations sur les lignes dépourvues de blocs; sur les lignes qui en sont munies, la distance entre deux stations peut être subdivisée en « distances entre deux blocs » et l'espacement diminué.

Tandis qu'en pleine voie la distance moyenne entre deux appareils de bloc comporte 2,5 km., elle tombe à 1 km. à l'entrée des gares principales; mais, comme les trains marchent plus vite en pleine voie qu'à l'arrivée dans les gares, l'espacement minimum sera à peu près le même dans les deux cas, c'est-à-dire de trois minutes.

En ce qui concerne l'espacement des trains, l'intervalle minimum de temps entre deux trains qui se suivent sera donc, dans le cas le plus favorable, de trois minutes, que la ligne soit pourvue ou non de signaux de bloc ; en général l'espacement est réglé par l'éloignement, soit des stations soit des blocs.

Au point de vue du temps de stationnement, on peut admettre 3 à 4 minutes en moyenne pour les express, 1 à 2 minutes pour les omnibus et au moins 5 minutes pour les trains de marchandises. Il faut compter, en plus de ces chiffres, au moins 6 à 10 minutes pour les manœuvres.

On s'efforcera de réduire, pour les express, les manœuvres dans les stations principales en formant plusieurs trains ayant chacun une destination différente, contrairement à la façon actuelle de procéder par trains composés de différentes tranches ayant chacune une destination particulière.

Poids et composition des trains.

Les normes actuelles pour le poids « trainé » des trains sont déterminées par les dispositions constructives des appareils de traction et correspondent, en Suisse, à un effort de traction maximum de 10,000 kg. au crochet de la locomotive. Toutefois, l'effort de traction au démarrage est plus grand ; si l'on admet un effort de traction maximum de 15,000 kg. au démarrage, on trouve, pour différentes déclivités, les poids « trainés » spécifiés dans le tableau suivant.

Le poids maximum des trains n'est cependant pas déterminé uniquement par la résistance des appareils de traction ; il faut aussi considérer la puissance des moteurs. Ici il y a lieu, de nouveau, d'arrêter de combien on voudra que l'effort au démarrage surpasse l'effort normal de traction, en vue d'obtenir différentes valeurs de l'accélération sur des rampes différentes, ou bien il faudra déterminer quelle accélération pourra être atteinte sur différentes rampes sans que l'effort de traction dépasse une valeur donnée. Le ta-

bleau de la page 17 fournit les valeurs de l'accélération et des efforts de traction sur des rampes variant de 0 à

Poids des trains correspondant à un effort de traction maximum de 15,000 kg. au démarrage.

Rampe en ‰	pour $\begin{cases} p = 0,05 \\ w = 5 \end{cases}$	0,1 6	0,2 7	0,3 <i>m.sec.²</i> 9 <i>kg.t.</i>
0	1500	938	555	395
5	1000	715	469	349
10	750	576	405	312
15	600	484	357	283
20	500	416	319	259
25	428	366	289	238
30	375	326	263	220
40	300	268	224	192
50	250	227	195	170

20 ‰, pour des efforts de traction au démarrage doubles ou triples de l'effort normal en parcours libre.

Les lignes 1 et 2 de ce tableau donnent les accélérations p_1 et p_2 qu'on peut atteindre lorsque l'effort au démarrage P_d est égal à 2 ou 3 fois l'effort normal; les lignes 3 et 4 donnent, en multiples de l'effort normal, les efforts P_1 et P_2 qu'il faut exercer pour obtenir, au démarrage, des accélérations de 0,2 et 0,3. Par effort de traction normal des moteurs il faut entendre, pour le moment, la force de traction qui correspond à leur puissance nominale pour la vitesse normale; il y aura lieu de revenir sur cette définition à propos de l'étude plus détaillée des moteurs en vue de la traction électrique. Il ressort du tableau ci-dessous que, au point de vue de l'utilisation des moteurs, il n'est pas indiqué de marcher sur toutes les pentes avec une accélération déterminée sans prendre en considération la puissance normale des moteurs.

Valeurs de l'accélération, en $m \cdot sec.^2$, et de l'effort de traction correspondant, pour différentes rampes.

Rampe correspondant à l'effort normal	10 ‰			15 ‰				20 ‰			
	0	5	10	0	5	10	15	0	5	10	20
Pour un démarrage sur ‰	0	5	10	0	5	10	15	0	5	10	20
p_1 pour $P_d = \frac{2}{3} P$	0,25	0,20	0,15	0,35	0,30	0,25	0,20	0,45	0,40	0,35	0,25
p_2 pour $P_d = 3 P$	0,40	0,35	0,30	0,55	0,50	0,45	0,40	0,70	0,65	0,60	0,50
P_1 pour $p = 0,2$	1,66	2,0	2,3	1,25	1,5	1,75	2,0	1,0	1,2	1,4	1,8
P_2 pour $p = 0,3$	2,3	2,6	3,0	1,75	2,0	2,25	2,5	1,4	1,6	1,8	2,2

Par contre, au moyen d'un effort de traction au démarrage égal au double ou au triple de l'effort de traction normal des moteurs, on peut atteindre réellement des accélérations de démarrage de 0,2 à 0,3 *m.-sec.*² sur des pentes de 10 à 20 ‰, c'est-à-dire les accélérations qui ont été signalées comme désirables.

Actuellement, avec la traction à vapeur, le poids des trains, déterminé par la force des locomotives et leur poids adhérent ne représente, en général, qu'environ la moitié du poids compatible avec la résistance des attelages, de sorte que, si l'on veut, actuellement, utiliser la force totale de traction admissible, il faut avoir recours à des locomotives de renfort; mais on travaille alors dans des conditions défavorables en ce qui concerne les dépenses relatives au matériel et au personnel.

Outre le « poids trainé », seul envisagé jusqu'à présent, le poids *total* du train comprend encore le poids des organes moteurs. Ce dernier est moindre pour les trains équipés de voitures automotrices que pour ceux qui sont mûs par une locomotive. Le poids *total* surpasse notablement le « poids trainé » dans l'exploitation au moyen de locomotives, tandis que la différence n'est guère que de 10-15 ‰ pour la traction au moyen d'automotrices.

Comme le poids d'une locomotive doit être au moins égal au poids adhérent nécessaire, il faudrait, pour le « poids trainé » seul, en supposant l'effort de traction maximum de 15,000 kg. que nous avons admis et un coefficient d'adhérence de $\frac{1}{6}$, un poids adhérent de la locomotive de 90 tonnes, auquel on devrait encore ajouter le poids adhérent qui correspond à l'effort nécessaire pour la progression de la locomotive elle-même.

En ce qui concerne les « poids trainés » maxima et la composition des trains, on peut résumer comme suit les principales bases du service de traction, pour les différentes catégories de trains.

Pour les trains de marchandises il y a lieu de maintenir, pour le moment, les dispositions actuelles de la traction à vapeur. Parmi les modifications qu'on peut toutefois envisager, citons la formation de trains de marchandises accélérés en vue de décharger les express et les omnibus du transport des marchandises en grande vitesse sur les lignes où ce transport est important. Ces trains pourraient marcher à la vitesse des trains omnibus.

Pour les omnibus, la charge peut être fixée en vue des calculs subséquents à 200 tonnes en moyenne (locomotive non comprise). On devra maintenir la possibilité, pour l'exploitation électrique, de remorquer, au moyen d'une locomotive, le maximum de 60 essieux, autorisé actuellement. Cette catégorie de trains permet d'utiliser parfaitement un des principaux avantages de la traction électrique, savoir la possibilité d'accroître le nombre des parcours sans qu'il en résulte de grosses dépenses. Sur les lignes où les exigences du trafic n'y font pas obstacle, ces trains ne devraient pas servir au transport des marchandises, à l'exception des colis en grande vitesse, facilement maniables, et des wagons complets. Le service local de la poste restera attribué à ces trains, pourvu qu'il ne soit pas nécessaire que tous les trains transportent la poste, surtout si le nombre en est encore notablement augmenté. Le poids des trains omnibus sera en moyenne d'autant moins considérable que le nombre de leurs courses journalières sera plus grand.

On ne peut guère envisager une réduction du poids des express (par rapport au poids actuel) eu égard à leur caractère le plus souvent international et aux exigences qui en découlent pour les correspondances. On maintiendra comme base pour les calculs 300 tonnes en moyenne (locomotive non comprise). Mais l'exploitation électrique ne devra pas être en état d'infériorité vis-à-vis de la traction à vapeur qui permet, actuellement, de remorquer un train de 380 tonnes, avec une locomotive, sur une rampe de 10‰.

à une vitesse de 40 km. Sur les tronçons dont le profil en long n'est pas trop accidenté on devra pouvoir remorquer au moyen d'une seule locomotive les 40 essieux prescrits comme maximum par le règlement du service de traction. Plus on accroîtra le nombre des omnibus qui desservent une ligne, moins il sera nécessaire de faire arrêter les express aux stations intermédiaires et plus grande sera la possibilité de les faire stationner seulement dans les gares principales et aux points de bifurcation. Ainsi leur composition pourra être rendue plus indépendante du trafic local, toujours variable, et, par suite, elle pourra être maintenue plus uniforme.

Dans l'exploitation électrique les express auront aussi à transporter la poste et les marchandises en grande vitesse par wagons complets, sous la réserve toutefois que, par le fait de l'admission de ces derniers, le poids maximum prescrit ne sera pas dépassé et qu'il n'en résultera pas des manœuvres ayant pour conséquence une augmentation de la durée du trajet.

Locomotives et automotrices.

Considérant que, jusqu'ici, la traction à vapeur a été uniquement fournie par des locomotives et que la possibilité d'utiliser des automotrices est un point capital de la traction électrique, il faut étudier, en vue de l'exploitation électrique, auquel des deux moyens de traction, locomotive ou automotrice, reviendra la préférence et, cela, en envisageant les points suivants : poids adhérent et poids du train, dimensionnement des moteurs, formation des trains et utilisation du matériel.

En ce qui concerne le poids adhérent et le poids du train, on sait que le poids du train est bien plus considérable pour la traction au moyen de locomotives que pour la traction par automotrices ; cette différence entre les deux poids augmente encore avec la pente et la vitesse.

On en déduit déjà que l'emploi des automotrices sera plus avantageux pour les express et les omnibus que pour les trains de marchandises.

La question du dimensionnement des moteurs est étroitement liée à cette autre question : est-ce uniquement pour des raisons d'adhérence qu'une locomotive comportera un poids mort ? On peut répondre oui pour le cas où la rampe dépasse 20 ‰ et l'accélération au démarrage $0,2 \text{ m.-sec.}^2$ et, dans ce cas, le poids constructif de la locomotive entraînera une augmentation de la puissance des moteurs qui ne sera pas justifiée par le « poids traîné » seul. Cependant, il peut aussi arriver que des locomotives sans poids mort, c'est-à-dire dont la machinerie est suffisamment lourde pour l'adhérence, ne soient pas appropriées à la majorité des trains, surtout si elles ont été construites en vue du poids maximum de trains à remorquer, qui ne se présentera peut-être que rarement. Comme les charges élevées et les variations de charges les plus étendues affectent surtout les trains omnibus, ces derniers seraient donc avantageusement mûs par des automotrices.

Un des principaux avantages de la locomotive est de permettre une grande liberté dans la formation des trains et dans l'utilisation du matériel roulant. Cet avantage acquiert toute sa valeur lorsqu'il s'agit de la reprise de trains internationaux à la frontière de deux pays. Une telle liberté peut rendre aussi de grands services dans la formation des trains de marchandises. D'autre part, cet avantage sera moins sensible pour les trains omnibus et les trains directs du service interne qui pourront utiliser des automotrices. Les trains directs lourds, formés de plusieurs tranches ayant chacune une destination différente seront remorqués de préférence par des locomotives, aussi longtemps qu'on ne les aura pas divisés en trains indépendants.

La bonne utilisation du matériel roulant est compromise quelque peu par le fait qu'une automotrice, une fois

son équipement moteur mis hors de service, n'est plus utilisable pour les transports. Il est vrai que la mise hors de service d'un tel équipement n'a pas la même importance que pour les locomotives à vapeur ; on peut entr'autres prendre des dispositions en vue d'une remise en service très prompte, mais il y a tout de même là un facteur avec lequel il faut compter. En outre, un inconvénient des automotrices, préjudiciable à leur entretien et à leur réfection, est d'être à la fois un tracteur et un récipient pour des personnes ou objets à transporter.

De cette discussion sur la traction au moyen de locomotives ou d'automotrices, on peut conclure que l'application des automotrices n'est pas facile pour les trains de marchandises et leur emploi ne serait d'ailleurs pas avantageux, mais qu'on pourra fort bien les utiliser pour les omnibus et, dans plusieurs cas, pour les trains directs, en tenant compte qu'elles permettent de réaliser des économies quant à la dépense d'énergie et des durées de trajet très réduites.

* * *

Ainsi qu'il a été dit dans l'introduction de la présente « Communication » les normes et les principes qui résultent des études entreprises sur les conditions du service de traction constituent une des bases sur lesquelles sont établis les projets détaillés d'installation et d'exploitation que la Commission d'études élabore en vue de la traction électrique des chemins de fer suisses. Conformément à ces normes et principes, les projets sont élaborés d'une part sur la base des quantités à transporter, des vitesses et des dépenses d'énergie de la traction à vapeur actuelle, d'autre part, sur les bases d'une exploitation électrique plus intense que l'exploitation actuelle au moyen de la vapeur, en supposant un transport de 50 % environ supérieur à celui de 1904 et des vitesses et des dépenses d'énergie conformes à celles proposées dans le tableau de la page 13.