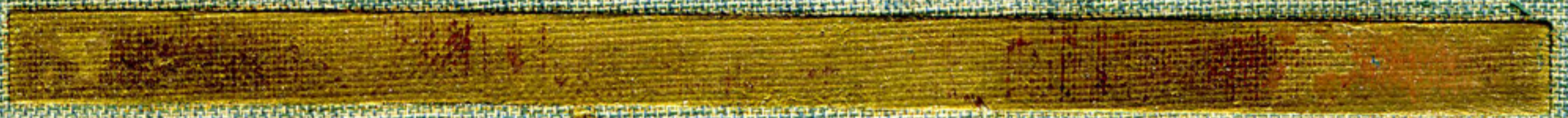


La Locomotiva



RULOT & HENNIG

Exploitation du service de traction des trains.

Cours de l'École Nationale des Chemins de fer

par
Rulot N.,

Ingénieur en chef, Inspecteur de Direction
des Chemins de fer de l'Etat belge,

avec la collaboration

de

Hennig, E., Ingénieur principal,
Chantrel, A., Ingénieur.

A l'usage des ingénieurs, des fonctionnaires et des agents de sur-
veillance des remises.

Traduction et reproduction
interdites.

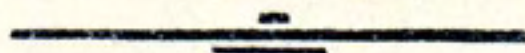
Dédié

à Monsieur

H. Vanderydt,

Administrateur

de la Traction et du Matériel.



ERRATA

- Pages 77 et 79. Dans la colonne „ Poids adhérent / Poids total „, intervertir les chiffres qui sont au numérateur et au dénominateur.
- Page 354. 12^e ligne : au lieu de „ et égale à la production totale, comptée depuis la même heure de l'installation.... " il faut : „ est égale à la production totale, comptée depuis la même heure, de l'installation... „
- Page 386. 4^e ligne : au lieu de „ § 3 " il faut „ § 89 ".
- Page 541. Dans le tableau I systèmes de manutention en une phase, 4^e colonne, en face de „ à la grue électrique (déchargement à la main) „, il faut 0,1 kWh au lieu de 1 kWh.
- Page 875. 16^e ligne, il y a : remplacer ; il faut : remployer.
- Page 878. remplacer les lignes 4 à 9 par les suivantes :
boussinets de boîtes à huile sans garnissage de métal blanc.
 Dans ces derniers temps, les belges de fer belges ont envisagé l'emploi de coussinets en bronze au plomb sans garnissage de métal blanc ; c'est ainsi qu'ils ont prescrit l'utilisation, aux locomotives de manœuvres, de coussinets en „ bearing metal " (cuivre 70,5 %, étain 5 %, plomb 24,5 %) et mis à l'essai, aux locomotives de route, un second type de métal ayant la composition suivante : cuivre 78 %, étain 10 %, plomb 10 %, phosphore de cuivre 2 % ; les résultats obtenus après deux ans de service sur
- Page 881. 20^e ligne, il y a : $l_1 - l_2$; il faut $l'_2 - l'_1$.
- Page 883. 9^e ligne, il y a : fig. 677, il faut : fig. 675.
- Page 929. 5^e ligne, il y a : le premier ; il faut : le second.
- Page 955. 4^e ligne, il y a : $\frac{1}{2}$ mm ; il faut $\frac{1}{4}$ mm.
- Page 981. 4^e ligne, il y a : ils sont ainsi plus élastiques ; il faut : ils pensent ainsi obéir plus facilement à leur élasticité.
- Page 996. 12^e ligne, il y a : 30 à 35 mm ; il faut : 30 à 35 %.

Préface.

Le cours d'exploitation du service de traction des trains conçu par M^r l'ingénieur en chef Puleot et rédigé par lui avec la collaboration de M. M^s les ingénieurs Hennig et Chastrell, répond à un besoin et comble une lacune.

Le choix et l'utilisation des locomotives pour des remorques déterminées constituent une des parties essentielles d'un service de traction. Ils ont leurs lois, qu'il importe de dégager et de formuler. M^r Puleot le fait avec la science d'un ingénieur averti, au courant des moindres détails de construction de la locomotive moderne, et la compétence d'un praticien entraîné à surmonter les difficultés quotidiennes d'un service de traction.

Le prix élevé de la main-d'œuvre et l'application de la journée de huit heures font surgir des problèmes importants que seuls peuvent résoudre économiquement, d'une part, l'organisation judicieuse du travail des machinistes et des chauffeurs, d'autre part, le développement des installations mécaniques pour le déchargement des combustibles, le ravitaillement des tenders en charbon, en eau et en sable, le chargement et l'utilisation des cendres. Le lavage à l'eau chaude devient une nécessité et comporte un appareillage varié. Au-dessus de ce problème d'hygiène pour les machines se posent les problèmes nombreux intéressant la santé et le bien-être du personnel: évacuation des fumées, création de lavoirs, de salles de bains, de dortoirs et de restaurants, installations pour le séchage des vêtements rendus humides par la pluie ou le travail.

Toutes ces questions et bien d'autres, notamment l'organisation de l'entretien des machines et la détermination des cadres et des primes, sont étudiées dans le cours de M^r Puleot, et je le félicite, ainsi que ses collaborateurs, de l'œuvre utile qu'ils ont menée à bonne fin.

H. Vandervydt.

4-

Introduction.

Les remises aux locomotives (ou dépôts de locomotives) sont les services chargés de fournir les locomotives nécessaires pour remorquer les trains et effectuer les manœuvres dans les gares.

Les remises disposent à cet effet d'un certain nombre de locomotives composant leur effectif et d'un cadre d'agents, c'est-à-dire d'un nombre déterminé d'agents proportionné à l'importance des trains à remorquer, les uns chargés de la conduite des locomotives, les autres employés à leur mise en ordre.

Lorsqu'elles ne sont pas utilisées, les locomotives stationnent dans les dépendances de la remise. Pendant leur stationnement, elles subissent diverses opérations tendant à leur approvisionnement et à leur mise en ordre. Ces opérations nécessitent des installations appropriées et sont exécutées par des agents sédentaires ou à poste fixe. En dehors de la remise, c'est-à-dire lorsqu'elles sont utilisées, les locomotives sont conduites par le personnel roulant.

Les rentrées des locomotives à la remise sont journalières et se répètent même souvent plusieurs fois par jour. La durée des séjours à la remise est variable, de quelques heures à plusieurs mois, suivant l'importance et la nature des opérations à effectuer.

x x

L'exploitation ou la gestion d'une remise comporte la connaissance de la locomotive et des installations nécessaires à sa mise en ordre, ainsi que l'étude de l'organisation du service dans toutes ses branches; cette dernière

partie est de beaucoup la plus importante.

Nous devons supposer connus la description et le fonctionnement de la locomotive; nous ne devons avoir ici en vue que son utilisation. Nous recevons les locomotives neuves ou remises à neuf et nous devons les mettre en ordre et les entretenir pour les faire produire.

Puisque c'est pour tractionner des trains et pour effectuer des manœuvres dans les gares, c'est-à-dire pour satisfaire aux besoins du service de l'exploitation que les remises existent, les moyens d'action en locomotives et en personnel d'une remise déterminée dépendent du service dont cette remise est chargée. Il faut donc connaître d'abord la nature et l'importance de ce service; c'est de là que découlent la détermination de l'effectif de locomotives nécessaires et la fixation du cadre du personnel correspondant.

En d'autres termes, les données du problème étant connues, c'est-à-dire le travail que doivent effectuer les locomotives, tous les autres éléments s'en déduisent. Nous devons donc en premier lieu dresser l'organisation du service des locomotives. Nous déterminerons ensuite les installations nécessaires, et enfin, nous étudierons l'exploitation proprement dite de la remise à adopter.

De là, les trois grandes subdivisions du cours :

- 1) Organisation du service des locomotives.
- 2) Description des installations.
- 3) Exploitation de la remise.

x^x
x x

Dans le service des remises, nous aurons toujours successivement en vue:

- 1) La sécurité du service.
- 2) La régularité.
- 3) L'économie.

Le but final est d'assurer la remorque des trains. Ceux-ci transportent des voyageurs et du personnel, dont la vie dépend de l'état de la locomotive et de la bonne conduite de celle-ci. Nous avons donc une obligation morale supérieure de chercher avant tout à éviter les accidents. Des sanctions administratives sont d'ailleurs prévues contre les fautes et les négligences ayant entraîné des accidents; dans les cas graves, des sanctions pénales peuvent même intervenir. Le personnel des remises doit avoir une saine et claire notion de ses devoirs dans ce domaine; il ne doit à aucun moment se laisser détourner de ceux-ci, surtout lorsqu'il est en présence d'un fait anormal ou irrégulier.

La sécurité étant assurée, nous devons nous préoccuper de la régularité. Les trains doivent partir à l'heure prévue, passer à l'heure prescrite aux différentes gares qui jalonnent leur parcours et arriver à destination à l'heure réglementaire. Pour remplir cette obligation, il faut aussi que toutes les opérations qui tendent à la fourniture des locomotives aux stations, ainsi que les opérations dans celles-ci même, se fassent avec régularité, c'est-à-dire avec ordre et méthode. La régularité de la marche des trains assurés par une remise est un indice de la bonne marche des services qu'elle assure. Tout doit donc tendre vers la régularité.

Il ne faut cependant pas que, sous prétexte de régularité, on engage des dépenses trop fortes et non en rapport avec le but à atteindre. Par là, on voit que la condition de régularité est intimement liée à celle d'économie, en ce sens qu'il ne faut pas imposer à l'exécution du service des conditions qui sont incompatibles avec une gestion financière bien comprise. Car contre, l'irrégularité de la marche des trains entraîne une augmentation correspondante des dépenses.

Il est relativement facile de remplir les conditions de sécurité et de régularité. Il est beaucoup moins facile

d'obtenir les meilleurs résultats économiques. On doit même considérer qu'on n'y atteint jamais, qu'on peut toujours réduire davantage les dépenses en perfectionnant sans cesse les appareils, les méthodes de travail et l'organisation. C'est pourquoi l'économie restera notre préoccupation essentielle, la condition qui retiendra le plus notre activité.

Première Partie

Organisation du service des locomotives.

Chapitre I. - Les trains.

1 Classification des trains. Nous pourrions entendre par trains, en donnant à ce mot une signification tout-à-fait générale, toutes les prestations que nous avons à fournir pour le compte du service de l'exploitation. En réalité, le mot train revêt une signification plus étroite: le train est composé d'une ou de plusieurs locomotives, accrochées à un certain nombre de véhicules, le tout constituant un convoi qui effectue un parcours déterminé mesuré en kilomètres, entre une gare de départ et une gare d'arrivée, suivant un itinéraire fixé et dans un temps donné, s'écoulant entre l'heure de départ et l'heure d'arrivée. Ce que nous résumerons en disant que la notion de train comporte trois choses: la composition, l'itinéraire et l'horaire.

En ce qui concerne la composition, il faut distinguer la ou les locomotives, et les véhicules.

Généralement, il n'y a qu'une locomotive de remorque et le train est en simple traction. Lorsqu'il y a une seconde locomotive, allège, celle-ci se place en tête ou en queue du train (allège en tête ou en queue). Il peut y avoir une seconde ou très exceptionnellement une troisième machine d'allège; nous expliquerons plus loin dans quels cas la

ou les allèges intersiennement.

Nous avons ainsi une première classification en trains en simple traction, ou bien en double, triple, quadruple, traction.

Les véhicules se classent d'après la nature du transport en véhicules à voyageurs (voitures), véhicules à marchandises (wagons) et véhicules de service (fourgons spécialisés à voyageurs ou à marchandises, wagons de secours, wagons-grues, wagons pour transport de terre ou transports de service, wagon-dynamomètre, voiture d'inspection, etc). On arrive ainsi à diviser les trains suivant la nature du transport en trains de voyageurs, trains de marchandises, trains mixtes composés à la fois d'une tranche de matériel à voyageurs utilisée comme telle et d'une tranche de matériel à marchandises, trains de service, effectuant exclusivement des transports pour le service. Les trains de la route (trains de ballast, trains de charbon pour le ravitaillement des postes en pleine voie, etc) desservant les services de la voie, sont des trains de marchandises en service. Les trains militaires sont en réalité des trains mixtes ou à voyageurs affectés exclusivement à des transports militaires, etc.

L'itinéraire comporte un certain parcours kilométrique entre la station de départ et la station d'arrivée, suivant un chemin jalonné par une succession de stations ou gares intermédiaires, où le train fait arrêt ou non et où le stationnement est plus ou moins long.

L'horaire comprend les heures de départ et d'arrivée successivement dans chaque station du parcours. On déduit de ces heures la durée de parcours obligée entre deux stations successives. Les durées de parcours sont variables d'après la nature des trains, plus grandes par exemple pour les trains de marchandises que pour les trains de voyageurs, de sorte qu'elles supposent pour les différents trains une marche plus ou moins rapide, ce qui

amène à classer les trains d'après la vitesse.

Généralement, les trains effectuant de longs parcours sans arrêt seront ceux auxquels on pourra imprimer le plus aisément et le plus économiquement la plus grande vitesse. En combinant la condition de vitesse avec celles de la fréquence des arrêts et du poids, on arrive à classer les trains en directs, semi-directs et omnibus. Les trains de voyageurs se subdivisent en internationaux et directs ou rapides, semi-directs et ordinaires (de banlieue, omnibus ou légers); les trains de marchandises, en trains directs, semi-directs et omnibus ou locaux, comprenant les trains de messageries et de transbordement.

Enfin, on peut encore classer les trains d'après la fréquence de leur mise en marche en trains réguliers (circulant tous les jours), facultatifs (mis en marche en cas de nécessité suivant un horaire fixé), spéciaux (dont l'horaire est fixé au moment du besoin), de dédoublément (dédoublent un autre insuffisant et le précèdent ou le suivent à un intervalle fixé).

Remarquons qu'une locomotive voyageant seule, c'est-à-dire effectuant un parcours à vide, est assimilée à un train.

2. Désignation des trains Un train déterminé est, comme nous l'avons vu, caractérisé par sa composition, son itinéraire, son horaire; on le distingue en le numérotant. La numérotation pour l'Etat Belge est la suivante:

- Les n° 1 à 199 sont réservés aux trains internationaux,
- 200 à 4999 ----- à voyageurs ordinaires
- 5000 à 5999 ----- de messageries et de transbordement.
- 6000 à 10.999 ----- de marchandises ordinaires etc.

En outre, sur une ligne donnée, les trains sont pairs dans un sens et impairs dans l'autre, les trains pairs étant autant que possible ceux qui sont dirigés vers le midi.

Ainsi le train n° 14 est un train international; comme il roule sur la ligne de Bruxelles-Nord à Luxembourg, on en conclura qu'il roule dans le sens Bruxelles vers Luxembourg; le train

15 roulera en sens inverse.

En langage télégraphique, on fait usage des abréviations suivantes : hka = train - hkrv = train de voyageurs - hkm = trains de marchandises - hkat = trains de troupes - hke = train spécial - hki = train international - hkev ou hkem = train spécial à voyageurs ou à marchandises, etc.

Les numéros des trains non réguliers (R) sont affectés de lettres caractéristiques de fréquence : SD = supprimé le dimanche - SL = supprimé le lundi - SS = supprimé le samedi - F = facultatif - FSD = facultatif supprimé le dimanche, etc.

Certains trains sont organisés momentanément ; tel est le cas pour les trains de la route. Ces trains figurent à un bulletin de marche où ils portent par exemple un littéra. Exemple : hka A Bulletin n°14"

3. Composition des trains . Ordinairement, un train se compose d'un certain nombre de véhicules de types différents. Chaque type se distingue par une longueur déterminée entre les extrémités des buttoirs et le poids total du véhicule. Il en résulte que, suivant le nombre de véhicules dont il est composé, un train a une certaine longueur et un certain poids qui sont évidemment limités suivant des règles fixées.

Nous nous occupons plus loin du poids des trains.

Quant à la longueur, il faut distinguer entre les trains de voyageurs et les trains de marchandises.

Pour les premiers, on obtient une limitation convenable en ne dépassant pas 60 essieux (15 voitures à 4 essieux, ou 20 à 3 essieux, etc) avec un maximum de 25 véhicules. (ces limites sont portées à 70 et 30 pour les trains militaires).

La longueur des trains de voyageurs est limitée par la longueur des quais. Ces limites pratiques tiennent compte de la résistance des attelages et de la possibilité d'obtenir un bon freinage, sans chocs ni réactions.

Les trains de voyageurs sont freinés au frein automatique à air comprimé (Westinghouse ou Knorr). Les locomotives à voyageurs sont donc obligatoirement montées à ce système de frein, ainsi

d'ailleurs qui au chauffage à la vapeur, qui est à peu près généralisé dans notre matériel à voyageurs.

Les voitures (hv) sont classées d'après leur affectation, leur type et le nombre des essieux. On distingue les voitures à voyageurs proprement dites, les fourgons à voyageurs et les voitures à affectation spéciale. Le livret du service des rames indique les principaux types de véhicules de l'espèce et les abréviations qui servent à les désigner.

La conduite du frein ne pouvant être interrompue, un train de voyageurs ne pourra comporter que du matériel équipé au frein continu. Les véhicules spéciaux (wagons-vitesse, boxes, voitures-pastes, voitures mortuaires, etc) sont munis du frein continu ou sont tout au moins pourvus de la conduite de continuité ou conduite blanche. On tolère un ou deux véhicules non montés au frein en queue du train dans des conditions déterminées par les instructions. En principe sur les lignes à inclinaisons supérieures à 5^m/m on impose un frein gardé en queue du train.

Les voitures sont précédées d'un véhicule de choc placé immédiatement derrière la locomotive, le fourgon, sauf pour les trains de 7 véhicules ou moins. Comme il n'est généralement pas possible de modifier la composition du train lorsque la rame rebrousse, on prévoit pour les trains de plus de 7 véhicules un fourgon à chaque extrémité du train.

Pour les trains de marchandises, la longueur est limitée par la longueur des voies de réception et de garage. Elle correspond généralement en pratique à 60 véhicules (120 essieux); mais sur certaines lignes, cette composition est souvent inférieure. Si le train comporte des wagons à 4 essieux, ces wagons ne comptent par exception que pour trois essieux. En tous cas les limites de 60 véhicules et 120 essieux ne peuvent être dépassées sur notre réseau.

Les trains de marchandises sont freinés par freins isolés à mains, comme nous le verrons. Ils sont sujets à décompo

sition en cours de route, tandis que les trains de voyageurs forment un bloc (rame) complété exceptionnellement par l'addition de navettes ou groupes de voitures ajoutées entre deux points déterminés du parcours de la rame pour la renforcer.

Les voitures suivent un service régulier, tandis qu'il n'en est pas de même pour les wagons à marchandises. Il existe un livret du service des rames et des navettes (voir plus haut).

4. Charge des trains. Le but final de l'exploitation des chemins de fer est de transporter un poids déterminé à une distance déterminée. Deux éléments, le poids transporté et la distance parcourue, entrent donc en ligne de compte pour l'évaluation de la production. Si l'on prend la tonne comme unité de poids et le kilomètre comme unité de parcours, la production se chiffrera au moyen d'une unité nouvelle, la tonne-kilomètre.

Arrêtons-nous à l'évaluation du poids ou de la charge remarquée, la charge d'un train n'étant autre que le poids de ce train. Pour obtenir ce poids, il faut additionner les poids de chacun des véhicules. Dans le poids d'un véhicule, il y a deux parties: la tare ou poids à vide, inscrit sur le véhicule, et la charge utile ou poids de la matière transportée.

La tare, quoique très approximativement la même pour un même type de wagon, varie avec chaque wagon. Elle est inscrite sur le longeron et très souvent sur la caisse; elle est vérifiée périodiquement. Il existe donc une tare théorique pour un même type de wagon, et une tare réelle variant d'un wagon à l'autre d'autant plus que le wagon est ancien.

Chaque type de wagon est caractérisé par une charge théorique utile; il existe ainsi des wagons de 10^T, 12^T, 15^T, 20^T, 30^T etc. En service, la charge utile est très varia-

ble et peut même légèrement dépasser la charge théorique; le wagon est à charge complète ou incomplète.

Pour avoir le poids total du wagon, il faut donc ajouter la charge utile à la tare; si la tare est t et la charge utile pu, le poids total est

$$P = pu + t.$$

Pour un wagon vide, on a donc: $P = t$.

Il y a deux systèmes essentiellement différents pour évaluer la charge des trains.

Le système le plus exact consiste à additionner le poids réel des wagons, obtenue en ajoutant la tare inscrite au chargement, le tout étant évalué en kilogs. On ne peut ainsi commettre d'autre erreur que celle qui résulte de l'évaluation même de la tare et du poids du chargement. Mais ce système est très compliqué et n'est pas compatible avec la célérité des opérations dans les gares de formation.

On obtient une précision suffisante en arrondissant les poids à la tonne ou à la demi-tonne. C'est le système qui sera adopté prochainement par l'état Belge, les poids étant arrondis à la tonne; un poids de 6500 à 7.499 kg est représenté par 7^T, un poids de 7500 à 8.499 par 8^T, et ainsi de suite. Pour faciliter les opérations, les wagons portent sur la caisse l'indication très apparente de la tare arrondie à la tonne: [7] [8], -----

La charge du train est donc ainsi évaluée en tonnes.

Actuellement, suivant le système en vigueur jusqu'à présent, on s'est contenté d'une évaluation moins précise afin d'effectuer plus rapidement les opérations d'évaluation de la charge des trains. On emploie une unité conventionnelle l'unité-charge qui vaut 5^T,5 théoriquement; un véhicule de poids P tonnes, a donc théoriquement une charge $\frac{P}{5.5}$ et l'on arrondit le résultat à la demi-unité; mais au lieu de partir du poids exact P, ce qui conduirait somme toute au même résultat que ci-dessus, on établit un barème une fois pour toute où chaque

type de wagon est évalué à la demi-unité près suivant qu'il est vide ou chargé; on commet ainsi une erreur plus ou moins grande sur la tare ou sur la charge, laquelle s'ajoute à celle qui résulte de l'abandon des fractions inférieures à la demi-unité. La pratique a montré que l'on arrive ainsi à des écarts de 10 à 15% et même plus entre la charge en unités de 5¹/₅ et celle obtenue par le système nouveau indiqué plus haut et adopté par les compagnies étrangères.

Or, la précision dans l'évaluation de la charge des trains est capitale, car moins cette évaluation est précise, plus on risque d'arriver soit à une utilisation moins complète de la puissance des moteurs, soit à des charges exagérées, qui ont comme conséquence une consommation exagérée de combustible et des incidents de traction tels que retards, détresses, etc.

Pour les véhicules à voyageurs, l'évaluation de la charge en unités est plus satisfaisante. La tare joue en effet un rôle prépondérant et la charge utile, quelque variable qu'elle soit, n'influence guère le poids total. C'est ainsi que l'on peut admettre une évaluation fixe de la charge et cette évaluation sera par conséquent aussi précise que l'on voudra. Par exemple, pour une voiture comportant n places assises, on tablera sur un poids de 70 kgs par voyageur et un coefficient d'utilisation de 0,8, ce qui donnera

$$P = t + 0,8 \times 70 n.$$

On voit qu'il y a intérêt à réduire t et à augmenter n .

Ainsi, une voiture de 22¹/₅ de tare et comportant 65 places assises sera évaluée comme suit en unités de 5¹/₅:

$$P = \frac{22,5 + 0,8 \times 0,070 \times 65}{5,5} = 4,5 \text{ environ.}$$

Cette même voiture compterait pour 4 unités à vide. L'évaluation serait évidemment plus précise si l'on admettait la tonne comme base, mais l'on arriverait à des nombres plus élevés et par suite moins maniables.

Pour le matériel à voyageurs, la charge est inscrite en

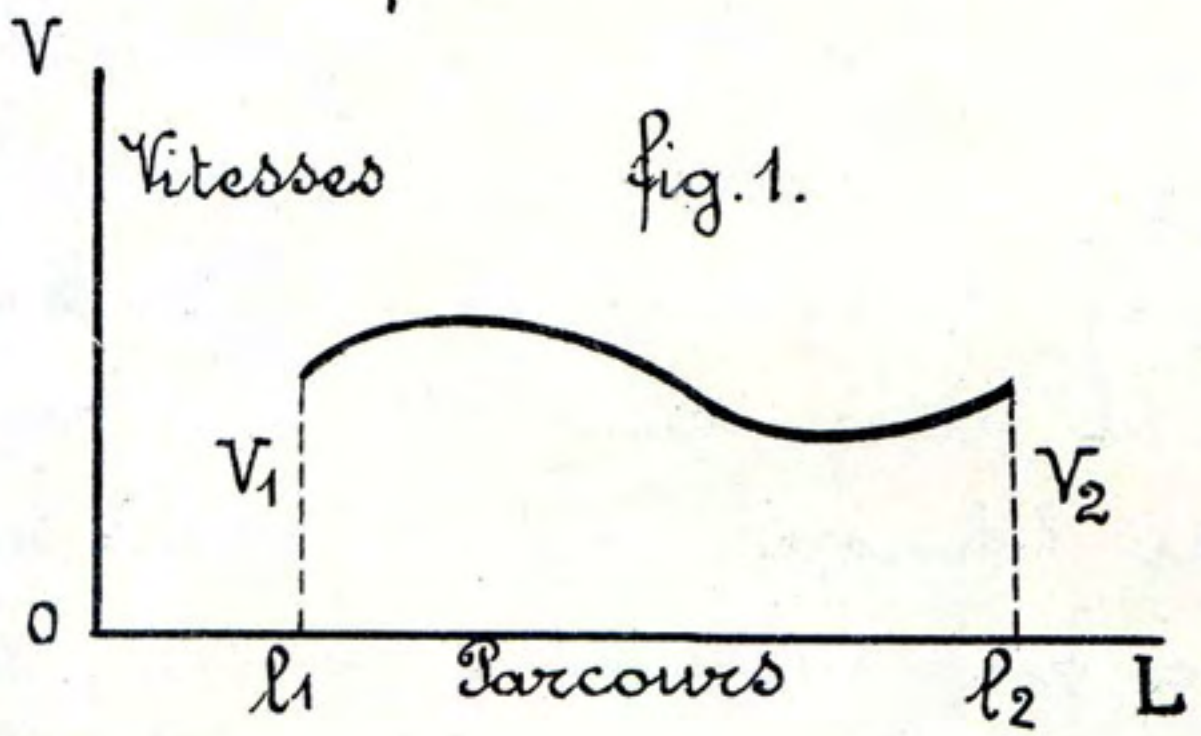
unités sur le longeron ou la caisse et cette charge est invariable

Un train donné aura donc une charge de N unités ; cela signifiera que son poids est très approximativement de $N \times 5,5$ tonnes.

5. Horaires des trains. L'horaire d'un train dépend de la vitesse de marche de ce train. Nous devons d'abord étudier la notion de la vitesse.

La vitesse d'un mobile est le chemin qu'il parcourt pendant l'unité de temps. Cet élément se mesure habituellement soit en mètres par seconde, soit plus généralement en kilomètres à l'heure. Si V est la vitesse en km/heure, la vitesse correspondante en mètres par seconde est $v = \frac{V \times 1000}{60 \times 60} = \frac{V}{3,6}$. Un train qui roule à 36 km/h. a donc une vitesse de $10^m/sec$.

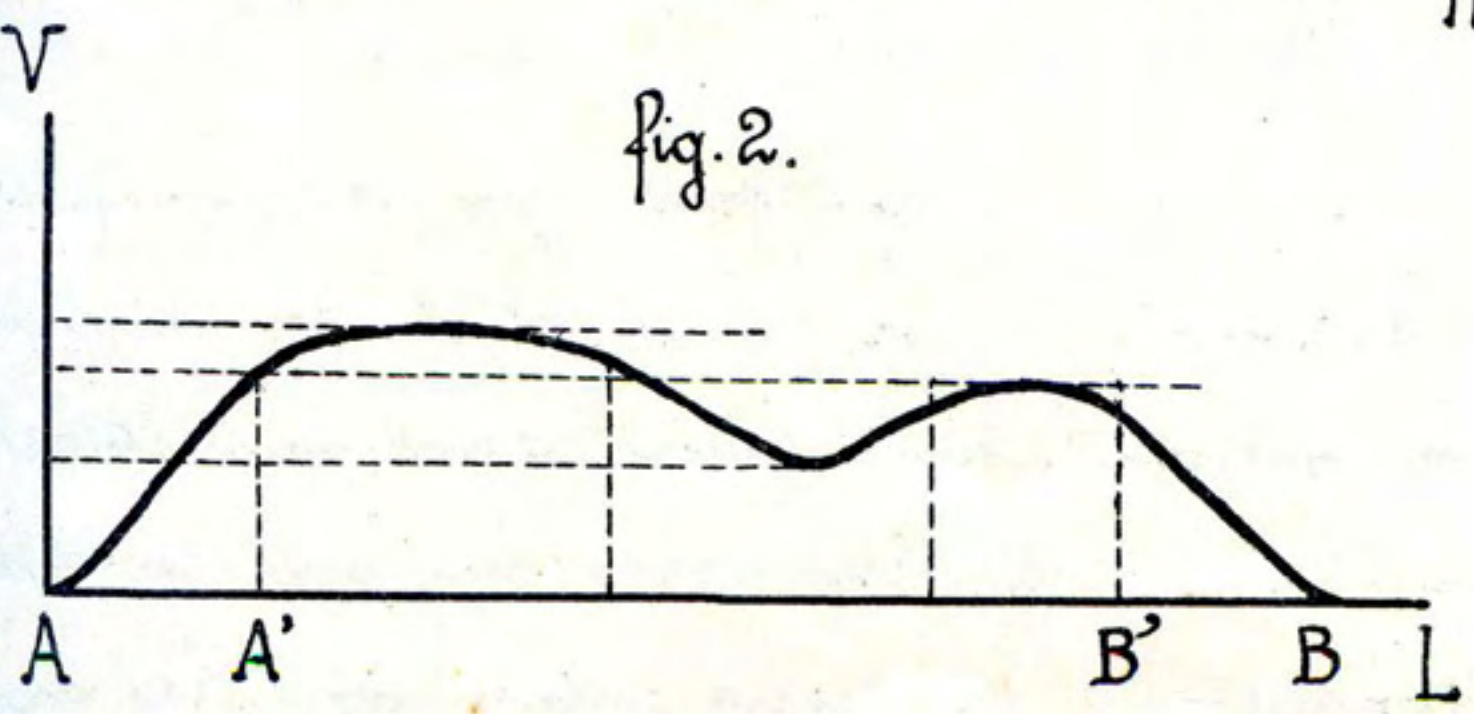
La vitesse des trains est essentiellement variable. Ce qui nous intéresse surtout, c'est de savoir ce qu'elle est à un endroit donné du parcours. Il est donc utile de la rapporter à celui



ci et l'on obtient alors un diagramme de la forme fig 1 ci-contre qui montre la variation de la vitesse pendant le parcours l_1 et l_2 .

En point de vue de la vitesse, on distingue trois périodes dans la marche d'un train :

le démarrage, la marche normale, et l'arrêt, et le diagramme de la marche du train affecte la forme de la fig 2.



Sur la distance AA' a lieu le démarrage, le levier de changement de marche à fond qui porte la vitesse de 0 à une vitesse variant de 10 à 20 km à l'heure,

suisant la nature du train. Le levier de changement de marche étant ramené au cran normal de détente, la vitesse

-16-

continue à s'élever et varie entre certaines limites d'après les conditions particulières de la traction du train; c'est la période de marche normale A'B'. Enfin le modérateur est fermé et éventuellement les freins fonctionnent, et la vitesse tombe rapidement à 0; c'est la période d'arrêt B'B.

Les périodes de démarrage et d'arrêt sont peu importantes par rapport au parcours total parce qu'elles sont très courtes; c'est surtout la marche normale qui nous intéresse.

Le cas le plus simple serait celui où la vitesse serait constante. Ce serait le cas pour un train qui ne ferait arrêt ni en A, ni en B et où la vitesse constante serait figurée par le diagramme fig. 3. Si $V^{km/h}$ est la vitesse et L^m , la distance,

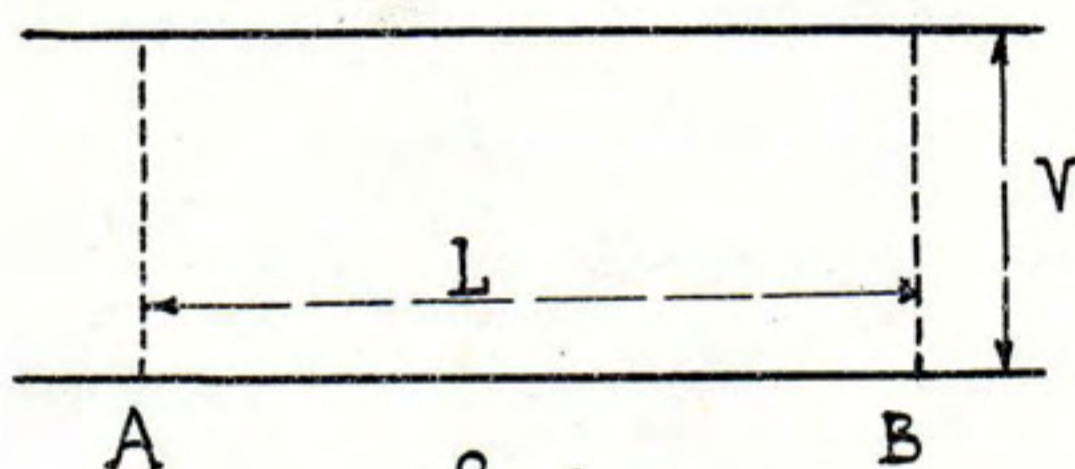


fig. 3

la durée du parcours serait $T : (\frac{V}{3.6})$ en secondes.

En réalité, nous l'avons vu, la vitesse varie toujours, même quand le train ne fait arrêt ni

en A ni en B; mais on peut imaginer un horaire à vitesse constante tel que l'horaire fig. 3 qui donne le même temps de parcours que l'horaire réel; la vitesse dans cet horaire idéal est la vitesse moyenne de l'horaire réel. On peut aisément évaluer cette vitesse moyenne pour un horaire donné; si le temps de parcours est T^s et le parcours est L^{km} , cette vitesse V_m est :

$$V_m^{km/h} = \frac{L^{km} \times 3600}{T^s}$$

Si T était exprimé en minutes, la formule serait :

$$V_m^{km/h} = \frac{L^{km} \times 60}{T^m}$$

On ramène les cas les plus compliqués au cas simple de la vitesse constante en subdivisant le parcours total en autant de parcours partiels où l'on pourra considérer approximativement la vitesse comme constante; celle-ci sera en réalité la vitesse moyenne du parcours considéré. Si nous supposons le diagramme ABC, les vitesses étant respectivement V^1, V^2, V^3 en A, B, et C, on prendra (fig 4) pour le parcours A'B' la vitesse moyenne $\frac{V_1 + V_2}{2}$ et

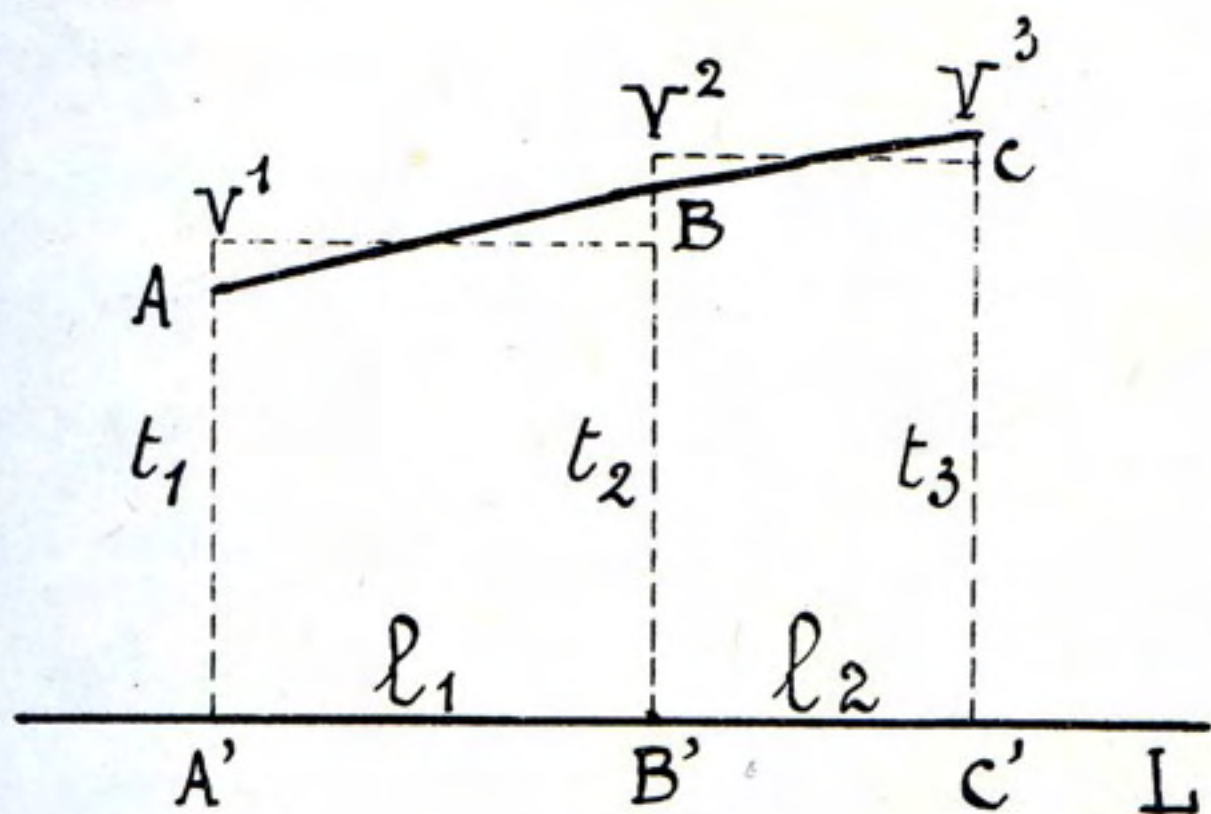


Fig. 4.

Si t_1 est le temps du parcours en A', il faudra y ajouter pour les parcours l_1 et l_2 , les temps respectifs

$$t_2 - t_1 = \frac{l_1}{\left(\frac{v_1 + v_2}{2 \times 3,6}\right)}$$

$$t_3 - t_2 = \frac{l_2}{\left(\frac{v_2 + v_3}{2 \times 3,6}\right)}$$

Reste à déterminer le temps pour démarrage et arrêt. On compte en pratique 1' à 2' pour les trains de marchandises et $\frac{1}{2}$ ' à 1' pour les trains de voyageurs; le plus généralement les temps respectifs de 1' et $\frac{1}{2}$ ' suffisent; mais pour le démarrage il arrive, lorsque celui-ci est particulièrement pénible, que l'on doive forcer exceptionnellement à 2' et 1'; pour l'arrêt les temps de 1' et $\frac{1}{2}$ ' suffisent toujours; en appelant a_d et a_r ces deux temps, le temps total à admettre est donné par la formule

$$T = a_d + \sum \frac{l}{\frac{v + v'}{2 \times 3,6}} + a_r$$

Pour pouvoir dresser l'horaire, il reste à connaître la vitesse que le train considéré peut atteindre aux différents endroits de la ligne, c'est-à-dire qu'il faut pouvoir tracer le diagramme 2 ci-dessus. Cette vitesse s'établit expérimentalement au moyen de trains d'essais, organisés dans les conditions normales de remorque à prévoir. On doit donc pouvoir mesurer la vitesse à un endroit quelconque et connaître la limite que la vitesse peut atteindre.

La mesure de la vitesse peut se faire du train ou de la voie.

Dans le premier cas, on dispose d'appareils précis qui

pour B'C' la vitesse moyenne $\frac{v_2 + v_3}{2}$, ce qui revient à substituer au diagramme plein les diagrammes pointillés. L'erreur que l'on commettra sera d'autant plus faible que l'on subdivisera le parcours en de plus nombreuses sections et que la vitesse variera moins.

transmettent à un enregistreur la vitesse des roues auxquelles ils sont reliés par une transmission (Wagon-dynamomètre, enregistreurs de vitesse). Mais le machiniste-instructeur qui effectue généralement ces mesures doit se contenter de mesures approximatives. Généralement, on observe le temps employé à parcourir l'espace compris entre deux bornes kilométriques; si α est le nombre de secondes nécessaires pour parcourir ainsi 1 km, la vitesse en km/h est $\frac{3.600}{\alpha}$. Il est utile de posséder pour cela une montre spéciale appelée tachymètre à aiguille indépendante avec déclenchement; ces montres sont graduées pour donner directement la vitesse.

On peut reprocher à cette méthode le manque de précision lorsque la vitesse varie, la prise de la vitesse durant trop longtemps; on peut remédier à cela si la ligne est jalonnée de bornes hectométriques; le résultat ci-dessus devra alors être divisé par 10. On peut encore atteindre ce résultat, à défaut de bornes hectométriques, en notant le nombre de rails parcourus en un temps donné grâce au choc qui se produit à l'about de chaque rail, ou encore en comptant le nombre des tours de roues de la locomotive. Soit l mètres la longueur du rail ou la circonférence de la roue observée n fois en α secondes; on aura en km/h :

en α secondes, le parcours est nl mètres;

" 1 " " " " " $\frac{nl}{\alpha}$ mètres;

" 3600 " ou une heure, le parcours $V = 3600 \frac{nl}{\alpha}$ mètres
 $= 3.6 \frac{nl}{\alpha}$ km

On s'arrange pour que $n = V$. Si par exemple $l = 9$ m.,
 $V = \frac{9 \times 3.6}{\alpha} V$ ou $\frac{9 \times 3.6}{\alpha} = 1$ ou $\alpha = 9 \times 3.6$
 ou encore $\alpha = 32^{\circ} 4$.

Ce procédé est rapide et n'exige aucun calcul.

On peut également observer la vitesse de la voie, cette observation s'effectue en des points fixes au moyen d'appareils installés à demeure, ayant pour objectif principal la vitesse. Tantôt ces appareils sont de simples indicateurs composés

essentiellement d'une aiguille se mouvant sur un cadran gradué, déclenchée au zéro par le passage du premier essieu sur une pédale et arrêtée sur le nombre indiquant la vitesse en km/h par le passage du même essieu sur une pédale située à une certaine distance de la première; ce sont les dromoscopes. Le machiniste est ainsi renseigné sur la vitesse de son train. Dans les dromopétards, un mécanisme analogue provoque l'éclatement d'un pétard lorsque la vitesse dépasse une vitesse limite imposée. Ces appareils sont installés aux endroits spéciaux où la vitesse doit être limitée pour les raisons que nous indiquerons ci-après.

Il existe une vitesse limite qu'on ne peut dépasser. En outre la vitesse subit des limitations locales :

1) Elle est réduite à certains endroits par suite de circonstances particulières à la voie : ponts-tourelles, traversée des stations, bifurcations, fortes courbes. Ces limitations permanentes figurent dans les recueils administratifs.

2) Elle subit parfois des limitations temporaires justifiées par des travaux à la voie ou par d'autres causes passagères. Celles-ci, à cause de leur caractère provisoire, n'ont généralement aucune influence sur l'horaire en vigueur au moment de leur application; les pertes de temps qu'elles occasionnent doivent être autant que possible comblées par le machiniste.

D'autre part, la vitesse maximum théorique dictée par la solidité de la voie ne peut pas toujours être atteinte :

1) En régime normal, une locomotive d'un type donné ne peut dépasser une vitesse déterminée compatible avec son bon rendement et surtout avec sa bonne conservation, sa stabilité.

2) La vitesse du train est limitée par la condition de réaliser l'arrêt sur une distance convenable, laquelle dépend du profil de la voie, de la signalisation, et du degré de sécurité que l'on veut réaliser. Nous ne nous étendrons pas

d'avantage sur cette question qui fait partie du problème du freinage. Il faut seulement retenir que le freinage du train joue un rôle primordial quant au choix de la vitesse maximum. A ce point de vue, il y a une différence fondamentale entre les trains de voyageurs et ceux à marchandises; les premiers sont freinés sur tous les essieux ou à peu près; la question du freinage ne se pose pas et la vitesse maximum à admettre est celle donnée par la résistance de la voie; pour les seconds, le freinage impose une vitesse qu'on ne peut dépasser, et inversement toute augmentation de vitesse entraîne un renforcement correspondant des moyens de freinage.

3) La charge du train influe évidemment sur la vitesse maximum, on ne fait pas d'horaire spécial sous ce rapport, et la charge dépend de l'horaire admis, de la puissance de la locomotive et du profil de la voie.

On voit que sur une ligne donnée, il y aura plusieurs horaires et, en principe, un horaire à voyageurs et un horaire à marchandises, sauf peut-être sur certaines lignes secondaires où un type unique de locomotive assure tous les trains. De même, il pourra y avoir des horaires différents suivant la vitesse, et pour les trains de voyageurs et pour les trains à marchandises.

On peut alors passer au calcul de l'horaire. ayant déterminé les différentes phases de la vitesse entre deux stations A et B, on calcule les temps partiels et on les additionne d'après le modèle ci-après.

	Distances		Vitesse	Temps de parcours		Démarrages et arrêts	Temps total
A	0,5		20	1'30		2'	
	0,6		30	1'12			
	2,4		36	4'			
	2,5		25	6'			
	0,5		20	0,40			1'
B		6,5		13'22	14'	3'	17'

L'horaire ainsi établi d'après les conditions normales de marche des trains est l'horaire-type. Cet horaire-type, établi pour chaque ligne et pour chaque espèce de trains, figure aux documents horaires, à l'élaboration desquels il sert de base. Nous en donnons deux exemples ci-dessous, l'un pour voyageurs, l'autre pour marchandises.

	Km.	Voyageurs				Marchandises.			
		Ordinaires		Rapides					
Bruxelles Nord	0								
Schaerbeek	2,7	6	6	6	5				
Dieghem	7,6	1	1	1	1	12	1	13	
Saventhem	9,7	8	9			2		1	3
Mosseghem	12,3	4				4	1		7
Cortenbergh	15,0	5				5	2	2	8
Erps-Auerls	18,0	5	7			4	2	1	8
Velthem	21,4	5		26	26	5	1	2	7
Herent	24,3	5	17			5	1	1	7
Souwain	29,1	7		P	P	8	1	2	11

L'horaire d'un train comprend, indépendamment des temps de parcours, les temps de stationnements dans les gares intermédiaires; ceux-ci augmentent parfois sensiblement la durée du parcours total. Si l'on prend celle-ci comme base, on peut déterminer une vitesse moyenne pour le parcours total, que l'on obtiendra en divisant la longueur de parcours par le temps total de parcours, durée des arrêts compris. On obtient alors ce qu'on appelle la vitesse commerciale. Cette notion a son importance, car elle donne somme toute le résultat pratique de l'horaire; en faisant entrer la durée des arrêts en ligne de compte, on peut voir si les sacrifices consentis en vue d'accélérer la marche des trains sont bien en rapport avec le résultat pratique obtenu.

6. Graphiques-horaires. ayant établi les horaires-types applicables à chaque ligne, il reste à tracer l'horaire de chaque train, c'est-à-dire de fixer l'horaire dans le temps à

déterminer l'heure de départ de la station d'origine, les heures de passage à chaque station ou point important des lignes, les heures d'arrivée et de départ dans les stations intermédiaires où le train fait arrêt, et l'heure d'arrivée à la station terminus. Pour effectuer ce travail convenablement et aisément, il est utile de se servir de graphiques, d'où le nom de graphiques-horaires qui leur est donné.

Le graphique-horaire est un rectangle dont l'un des côtés est divisé en 24 parties égales correspondant aux 24 heures de la journée et dont l'autre côté représentant la longueur du parcours est divisé en kilomètres et porte l'indication des stations et d'autres endroits intéressants de la ligne (bifurcation, postes de block). Par chaque point de division, on trace des parallèles à l'autre côté du rectangle; on obtient ainsi un double réseau de lignes perpendiculaires; sur ce réseau on repère chaque train de la façon suivante.

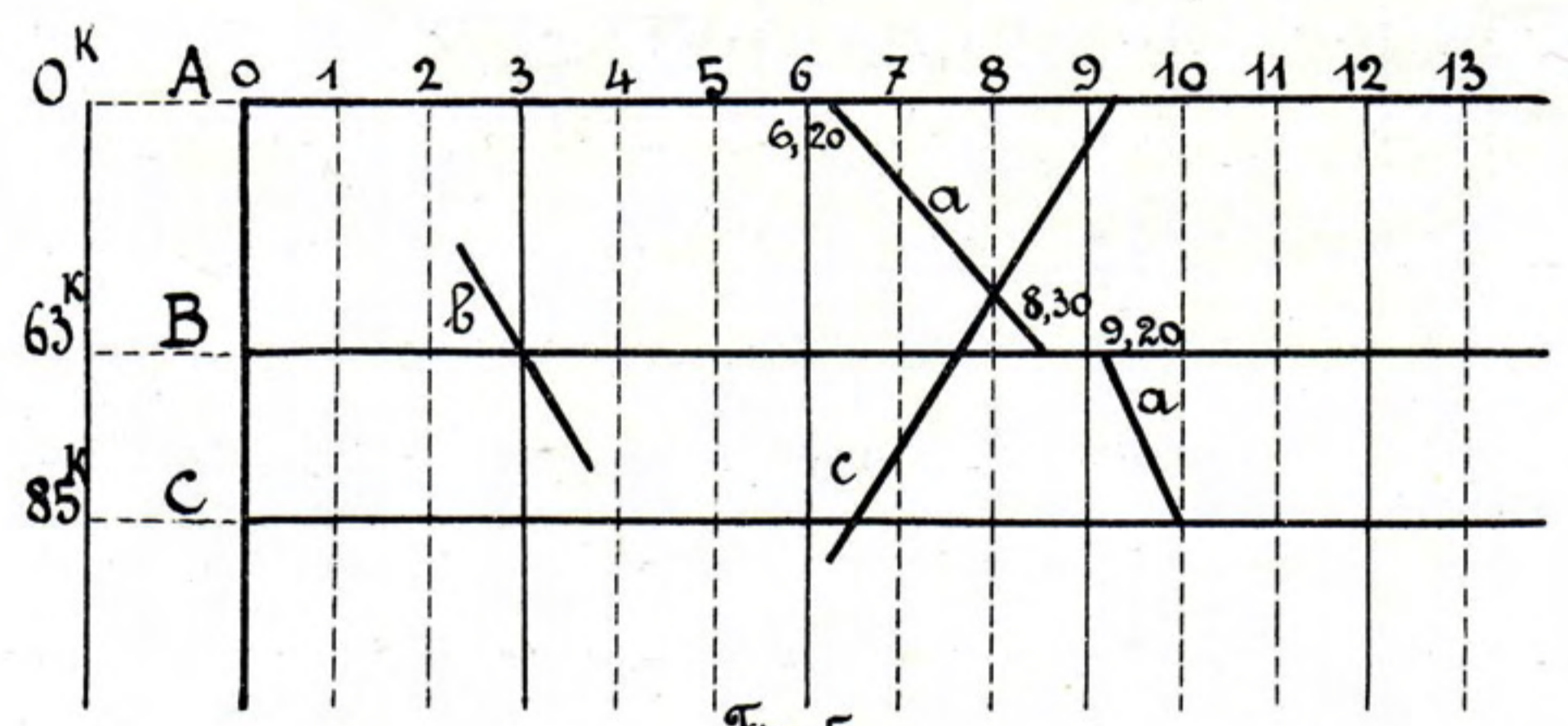


Fig. 5.

Le train a qui part de A à 6^h 20 et arrive à B à 8^h 30 est représenté par une ligne droite joignant les points A - 6.20

et B - 8.30 ; le même train a qui repart de B à 9.20 pour arriver à C à 10 h. est représenté par le second trait a ; le trait b indique un train passant à la station B à 3 h. Tout train est donc représenté par une succession de traits ; ces traits forment une suite continue, lorsque, comme pour le train b, il n'y a pas d'arrêt dans les stations intermédiaires ; ils forment une suite interrompue lorsque, comme pour le train a, il y a des arrêts intermédiaires. Les traits inclinés dans le sens de a et b vont de A vers C ; ceux inclinés en sens contraire vont de C vers A (train représenté

par le trait c). Ce graphique-horaire comprendra donc une double série de droites inclinées, les unes dans un sens pour l'un des sens de marche, les autres dans l'autre sens pour le sens de marche opposé.

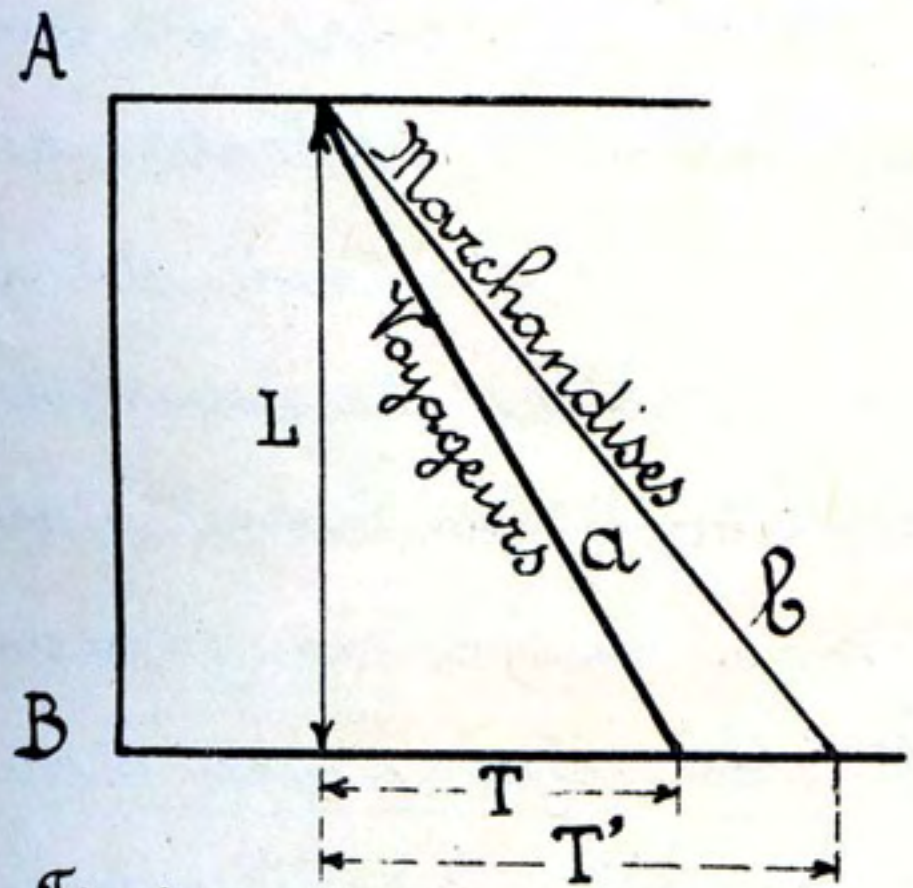


Fig. 6.

Si nous observons le trait représentatif du train a allant de A à B (fig 6) nous constatons que l'inclinaison du trait dépend du rapport $\frac{L}{T}$ entre le parcours et le temps de parcours, rapport qui représente la vitesse moyenne du parcours. Plus la vitesse est grande, plus T est petit et plus le trait se rapproche de la verticale.

Le train b roule donc moins vite que le train a. Deux traits parallèles représentent deux trains roulant à la même vitesse.

Si donc, dans un graphique, tous les traits inclinés dans le même sens sont parallèles, c'est que tous les trains roulent à la même vitesse; généralement, il n'en est pas ainsi et il y a dans les deux séries de traits plusieurs inclinaisons correspondant aux deux régimes de vitesse; on rencontre tout au moins un régime pour les trains de voyageurs et un autre pour les trains de marchandises.

Deux trains successifs se suivent à un certain intervalle qui est l'espacement entre ces trains; cet espacement e (fig 7) varie

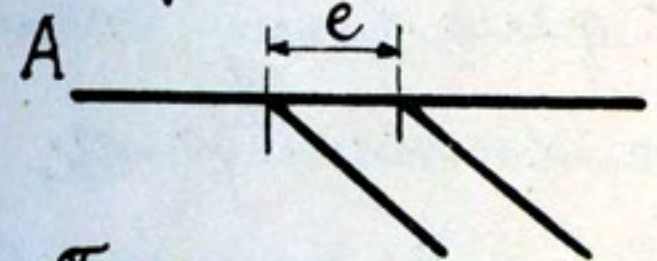


Fig. 7.

évidemment suivant le mode de signalisation adopté; dans le cas du block-system, l'espacement entre les trains est d'autant plus petit

que les sections de block sont plus courtes et les appareils de signalisation plus perfectionnés; il est également d'autant plus faible que les trains roulent plus vite. Chaque train comporte donc un espacement avec le train suivant qui, pour une ligne donnée, dépend de son régime de vitesse.

On appelle débit d'une ligne le nombre de trains que cette ligne peut écouler par 24 heures. Si les trains possèdent tous le même régime de vitesse, les trains ayant tous le même espacement e , on peut en écouler théoriquement $\frac{24}{e}$. C'est le système des marches parallèles, qui donne le débit maximum.

On l'utilisera donc pour les transports militaires, par exemple, lorsqu'on veut réaliser ce débit maximum. Il peut arriver que l'on n'ait à obtenir ce résultat que momentanément, par exemple pour les trains de banlieue du matin et du soir, ou pour les trains de courses; on expédie alors un groupe de train à horaires parallèles en rafale. Même si l'on veut ainsi obtenir le débit maximum sur les 24 heures, il est utile de compter avec les incidents de route et, tout en conservant les horaires ou marches parallèles, de ménager de temps à autre un espacement plus grand E (fig 8) entre les rafales. Il est clair que l'on

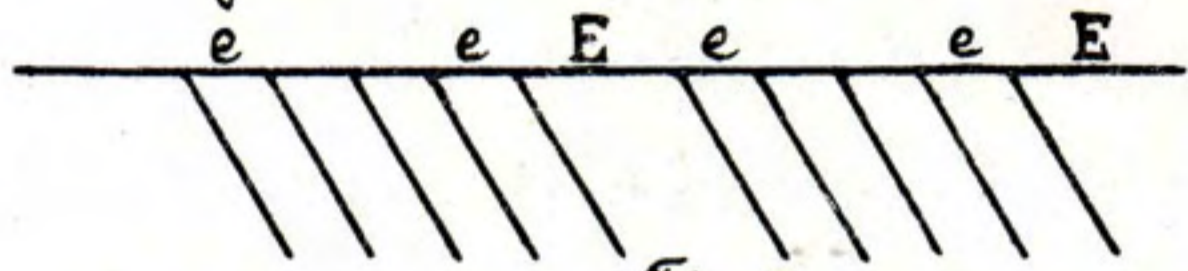


Fig. 8.

tient déjà compte des éventualités en fixant de façon pas trop étroite les espacements et les horaires; néanmoins le débit étant lui-même lié au respect des horaires, on

obtiendra celui-ci d'autant mieux que la vitesse est plus faible; dès lors, on conçoit que l'on ait recours aux vitesses lentes pour les marches parallèles, d'autant plus qu'on écoule ainsi de plus fortes charges.

Examinons maintenant ce qui se passe lorsqu'on intercale un train plus rapide dans une série de trains à marche parallèle; nous supposons l'espacement e constant, son influence étant d'autant plus faible que le parcours est plus long. Soient

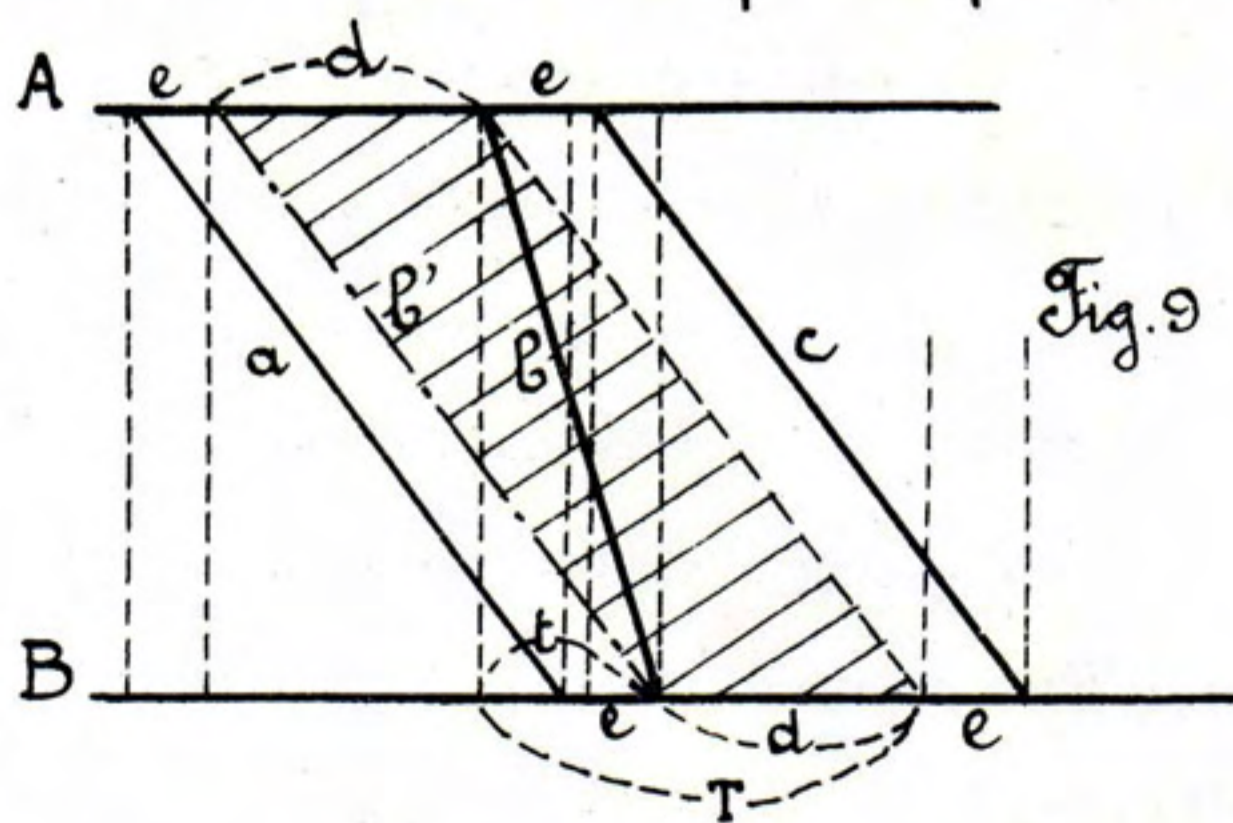


Fig. 9

(fig 9) trois trains consécutifs a, b, c dont le train b a une allure plus rapide que celle des deux autres. Nous supposons bien entendu que l'espacement à l'arrivée en B est le même qu'au départ en A. On voit que pour

que le train b ne soit pas entravé par a en cours de route, il faut expédier a avec un espacement $e+d$ au lieu de e d étant la différence des temps de parcours T et t des trains a et b: $d = T - t$. ainsi donc, en introduisant après le train a, un train plus rapide b, on a diminué la capacité

de la journée du temps dont on a réduit le temps de parcours de b par rapport à a. Le temps perdu en A avant le départ du train b est perdu de même en B après l'arrivée de b. Si le train b est suivi de trains roulant à la même vitesse que lui, l'espace-ment normal existe à nouveau, et il en est de même si l'on reprend le régime de vitesse de a. Mais le même déchet se reproduit chaque fois que l'on repasse à une allure plus rapide.

En conclusion, chaque fois que, sur une ligne, on introduit un train à allure plus rapide que le précédent, on crée un déchet au débit de la ligne, déchet correspondant à la différence des temps des parcours des deux trains. L'organisation des trains internationaux et extra-rapides est donc pour cette raison essentiellement nuisible et dispendieuse.

Il va de soi que l'on réduit ce déchet en rapprochant les gares A et B où l'on peut créer des évitements, puisqu'on réduit ainsi la durée des parcours. C'est ce que l'on obtient en créant des garages intermédiaires, à condition que ces garages s'effectuent rapidement et que leur durée ne doive pas grever sensiblement le temps de parcours.

En pratique, l'horaire se rapportant à un régime de vitesse déterminé n'est pas absolu. Pour des raisons d'exploitation on est souvent amené à augmenter cet horaire. De plus, si l'on veut avoir une exploitation régulière, il est bon d'adopter un horaire suffisamment large afin de faire la part des incidents normaux et de rattraper éventuellement le temps perdu: il vaut mieux établir des horaires larges et de les respecter, que de faire des horaires serrés que l'on ne réalise pas tous les jours, du reste plus on serre les horaires, plus on augmente les dépenses et moins on enlève de charge.

Tout horaire doit donc présenter une certaine élasticité. On entend par là l'écart qui existe entre l'horaire-type ou l'horaire minimum, et le temps maximum qui est accordé pour tenir compte des conditions spéciales d'exploitation.

Il existe pour chaque ligne un graphique-horaire, donnant

-46-

le graphique complet de chaque train. Ce graphique est très précieux pour l'étude des modifications à apporter aux horaires pour la création de nouveaux trains, etc.

7. Marche des trains. En pratique, les horaires prévus aux documents ne sont pas toujours respectés. Les temps sont accidentellement supérieurs aux temps prévus, c'est-à-dire que les trains sont en retard. Ces retards constituent des irrégularités qui sont classées d'après leur importance et d'après le service en cause : traction, exploitation, voie. Ces irrégularités donnent lieu à une instruction et à des sanctions.

Au point de vue technique, et indépendamment de l'instruction et des sanctions consécutives, l'irrégularité doit constituer une leçon pour l'exécution ultérieure du service. Il faut s'attacher à en réduire la fréquence et l'importance.

Pour cela, il importe de bien en analyser les causes, et de les classer d'après la nature de celles-ci. Ses statistiques seront très utiles à cette fin.

8. Annexe au Chapitre I Freinage des trains de marchandises.

Comme nous le verrons, le mouvement du train se produit sous l'action de la résultante de deux forces antagonistes, l'effort de traction de la locomotive et la résistance du train. Le freinage a pour but de créer une résistance artificielle qui s'ajoute aux résistances du train :

1) pour provoquer l'arrêt du train dans un temps et sur une distance relativement courts soit en cas de danger soit dans le but de maintenir plus longtemps une vitesse élevée. C'est en augmentant la puissance du freinage que l'on a pu atteindre des vitesses de plus en plus fortes.

2) pour permettre de respecter les signaux. Dès que le machiniste a connaissance de ce que le signal qu'il va aborder est à l'arrêt, il dispose d'une certaine distance pour provoquer l'arrêt du train, distance qui le sépare à ce moment du signal à l'arrêt, le train roulant à une vitesse déterminée.

3) pour éviter l'emballement dans les pentes, c'est-à-dire

pour empêcher que la vitesse de marche ne dépasse la vitesse maximum imposée;

4) pour éviter la dérive dans les rampes, c'est-à-dire le rebroussement de la partie arrière d'un train scindé.

Nous n'avons en vue ici que le freinage des trains de marchandises. Pour ceux-ci, ce sont les points 2, 3 et 4 qui sont seuls à considérer.

La résistance de freinage s'obtient par l'application de blocs en fonte sur les bandages. En exerçant une certaine pression sur ces blocs, on produit une résistance appelée frottement, qui est proportionnelle à la pression et qui va en diminuant au fur et à mesure que la vitesse augmente.

Cette pression, et par suite la résistance qui en résulte, est toutefois limitée. En effet, si on augmente cette pression progressivement, il arrivera un moment où les roues glisseront sur le rail; c'est qu'alors la résistance de frottement des blocs sur les bandages est égale à la résistance au glissement des roues sur le rail. Or, on doit éviter le glissement des roues sur le rail ou patinage, parce que dès que ce glissement a commencé, la résistance au frottement diminue rapidement. La résistance au glissement des roues sur le rail est elle-même d'autant plus élevée que le poids qui pèse sur les roues est plus élevé; de sorte que la résistance que l'on peut obtenir par la pression des blocs sur les roues d'un même essieu est proportionnelle au poids qui pèse sur cet essieu. En admettant que l'on exerce une pression appropriée sur les blocs, on pourra donc dire que la valeur d'un essieu freiné au point de vue du freinage est mesurée par son poids.

Si tous les essieux d'un train sont freinés, le poids freiné du train est égal à son poids total; le poids freiné d'un train, généralement inférieur au poids total, est égal à la somme des poids des essieux freinés. Le poids freiné d'un wagon dont tous les essieux sont freinés est égal au poids du wagon; si deux essieux sur trois seulement sont freinés, le poids freiné est égal aux 2/3 du poids du wagon.

En principe, tous les essieux d'un train de voyageurs sont

freinés, le freinage est total ou peu s'en faut. En outre, les freins sont mus par l'air comprimé d'un seul point du train; c'est le frein continu.

Dans les trains de marchandises, au contraire, les freins de chaque véhicule, à part ceux de la locomotive, sont mus à la main, du véhicule lui-même. Les freins sont isolés et le poids freiné est notablement inférieur au poids total du train.

On appelle proportionnelle de freinage le rapport $\frac{p}{P}$ entre le poids freiné p d'un train et le poids total P du même train. La proportionnelle peut s'entendre soit sur le train complet γ compris la ou les locomotives, soit sur le train non compris les locomotives, l'intervention de celles-ci dans le freinage étant comptée à part. Dans notre réglementation actuelle, la proportionnelle de freinage porte sur le poids du train, locomotives exclues.

Le problème du freinage consiste à déterminer la proportionnelle nécessaire pour remplir les conditions de sécurité indiquées ci-dessus. La proportionnelle obtenue dépend avant tout de la vitesse maximum des trains et du profil de la voie; la vitesse étant habituellement uniforme, c'est le profil qui permet de fixer la proportionnelle, au point que pour un régime de vitesses donné, la plupart des chemins de fer formulent un barème de proportionnelles par taux d'inclinaison de la voie.

A titre d'exemple, nous donnons ci-après le barème de l'Etat Belge pour les trains roulant à 45 km/h ou moins.

Inclinaison maximum de la voie en millimètres	Proportionnelle à admettre.
De 0 à 4 ^{m/m} exclusivement	1/17
" 4 à 8 ^{m/m} "	1/14
" 8 à 12 ^{m/m} "	1/11
" 12 à 15 ^{m/m} "	1/8
" 15 à 18 ^{m/m} "	1/6
" 18 à 21 ^{m/m} "	1/5
" 21 au delà	1/4

ce sera donc en général la plus forte rampe d'une ligne qui permettra de fixer la proportionnelle à admettre. Toutefois, on tiendra compte des circonstances spéciales qui tendent à diminuer les difficultés du freinage; ainsi une courte rampe ou pente pourra ne pas entrer en ligne de compte; de fortes courbes pourront faire éliminer une pente ou rampe plus forte que les autres.

Chaque ligne sera donc caractérisée au point de vue du freinage par une inclinaison déterminée et par la proportionnelle correspondante. Si sur une même ligne, l'inclinaison varie dans de grandes limites, il pourra y avoir intérêt à subdiviser la ligne en sections de freinage caractérisées par une proportionnelle différente. Ces lignes seront évidemment limitées aux stations où l'on pourra modifier le poids du train et les conditions du freinage.

Il va de soi que si l'on adopte une vitesse maximum plus élevée, il faudra admettre des proportionnelles plus fortes et que l'on peut inversement admettre des proportionnelles plus faibles si la vitesse est elle-même plus faible.

Comme pour l'évaluation de la charge des trains, on adopte une unité de freinage, celle-ci étant en rapport avec celle choisie pour le calcul de la charge. Si l'on évalue celle-ci en tonnes, on évaluera de même le poids freiné en tonnes; on aura ainsi, et pour les mêmes raisons, l'unité la plus précise; on calculera en tonnes de freins ou en tonnes freinées, comme on calculera en tonnes de charges; c'est le système qui sera prochainement appliqué à l'Etat Belge.

Actuellement, on emploie une unité conventionnelle de freinage qui équivaut à 5 tonnes environ. Pour plus de précision on comptera en demi-unités freins comme en demi-unités charges. Pour les nombres intermédiaires, on force au multiple inférieur de la demi-unité frein, tandis que pour les charges, on force à la demi-unité supérieure. ainsi pour un véhicule pesant 14.900 kg ou $14^{\text{I}} 9$, on comptera $12^{\text{I}} 5$ comme frein ou $2 \frac{1}{2}$ unités et $16^{\text{I}} 5$ comme charge ou 3 unités-charge. D'où un manque de précision auquel l'évaluation en tonnes remédiera grandement car on comptera dans ce cas 15^{I} comme frein et 15^{I} pour la charge. Un wagon de 14.300 kg ou $14^{\text{I}} 3$ comptera en tonnes 14^{I} comme frein et comme

charge.

En pratique, de même qu'il existe un tableau des unités-charges par type de wagon vide ou chargé, il existe aussi un tableau des unités-freins dressé dans les mêmes conditions et figurant aux documents du service des trains à l'usage du personnel des trains et des stations.

Un train de marchandises comporte donc un certain nombre de freins isolés desservis répartis dans le corps du train. On choisira comme freins les wagons les plus lourds, et par conséquent les wagons chargés et de plus fort tonnage. Le fourgon, desservi normalement par le chef-garde, et placé généralement en queue du train, constitue l'un des freins du train; pour en augmenter le poids, on complète le fourgon par un lestage convenable. Parfois, sur les lignes accidentées, où l'on ne peut trouver le nombre de freins voulus dans le corps du train, on constitue des freins au moyen de wagons à freins à fort tonnage chargés complètement au moyen d'un lestage inaltérable (pierrailles, queues de fonte); ce sont les wagons-lestés auxquels il faut assimiler les wagons-traineaux en service sur les plans inclinés de Siège.

Le choix des freins étant fait jusqu'à concurrence du poids freiné nécessaire, il reste à les répartir dans le corps du train. La répartition des freins est basée sur le principe de continuité. Le freinage idéal est réalisé dans les trains de voyageurs, où chaque wagon est freiné et où l'on obtient ainsi un minimum de réactions et de chocs, qui entraînent des avaries au matériel et notamment les ruptures d'attelages. Dans un train de marchandises, on cherchera à s'approcher de la continuité en répartissant les freins de façon aussi uniforme que possible sur toute la longueur du train. Si, par exemple, tous les freins sont de même poids, on partagera le train en tranches égales par les freins; ainsi s'il y a un fourgon et trois freins, le fourgon étant en queue, les trois freins diviseront le train en quatre parties égales.

En réalité, le partage du train en tranches égales par les freins est théorique et suppose des freins de même valeur. Comme dans la pratique les freins peuvent avoir des poids différents, il faut avoir égard, pour préciser cette règle du classement, à

la nécessité de placer les freins de telle façon que sur une ligne inclinée, ils soient disposés de façon à se trouver devant la tranche correspondante dans le sens de la pente; de la sorte, en cas de scindage, dans les conditions les plus défavorables, on dispose toujours au moins du freinage strictement nécessaire. C'est ainsi que les tranches, au lieu d'être strictement égales, sont proportionnelles au poids des freins correspondants.

Mais nous avons vu que, dans notre réglementation, la proportionnelle s'applique au train seulement, locomotive non comprise. L'intervention de la locomotive dans le freinage peut s'énoncer comme suit :

1) Lorsque la ligne a une inclinaison de 5‰ ou moins et que la locomotive est munie du frein à air, celle-ci intervient pour 4 unités-freins dans le freinage du train. Sur de telles lignes, les trains sont d'ailleurs remorqués en simple traction.

2) Lorsque la ligne a une inclinaison de plus de 5‰ , la locomotive intervient comme réserve, qu'elle soit munie ou non du frein à air.

3) Lorsque le train est allégé, il faut distinguer deux cas :

a) Si la ligne est en pente ou rampe continue, la locomotive d'allège se place le plus souvent respectivement en tête ou en queue et elle intervient dans le freinage pour un certain nombre d'unités-freins, proportionnel à son poids.

b) Si la ligne est en pente ou rampe alternatives, la locomotive d'allège se place généralement en queue et elle intervient dans le freinage pour un certain nombre d'unités, proportionnel à son poids. Si elle est en tête, elle ne compte pas, à cause de la dérive.

On admet généralement qu'il ne faut se préoccuper spécialement de la dérive que pour les lignes de 10‰ et au-delà et que, lorsqu'il y a une allège en queue, la dérive n'est pas à craindre avec les règles ordinaires.

On place sous des réglementations spéciales les lignes dites à fortes rampes (20‰ et au-delà); pour ces lignes, on place un

certain nombre de freins groupés en tête ou en queue.

Si nous reprenons le cas d'une ligne à pente et rampe alternatives, pour un train en simple traction ou une ligne à inclinaison de 5 m/m ou moins, il est aisé de voir que si, en rampe, chaque frein desservi se trouve à l'arrière de la partie qu'il retient, en pente, on peut admettre que la locomotive se substitue au fourgon et qu'ainsi il y a toujours un frein en tête d'une tranche approximativement proportionnelle au frein correspondant.

Supposons par exemple un train de 180 unités sur une ligne dont la proportionnelle est 1/14; il faudra $180 : 14 = 12,8$ ou 13 unités freins. Les tranches seront constituées comme suit, supposant que le fourgon compte pour 4 unités freins et qu'on dispose de 3 freins de 3 unités chacun:

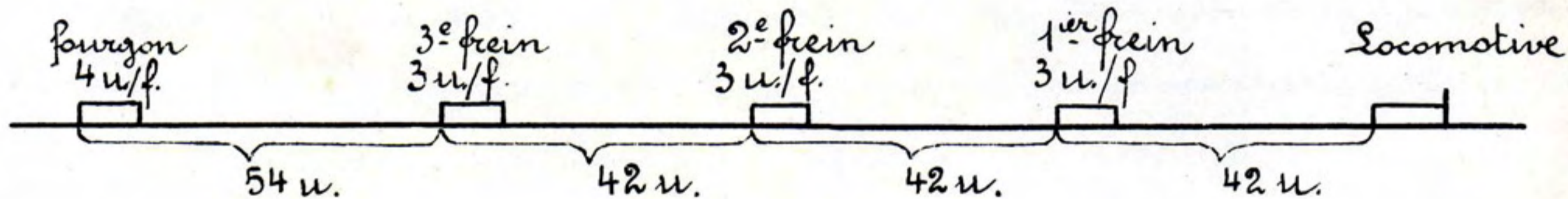
1^{er} frein, 3 unités, retient $3 \times 14 = 42$ unités.

2^d " , 3 " , " $3 \times 14 = 42$ "

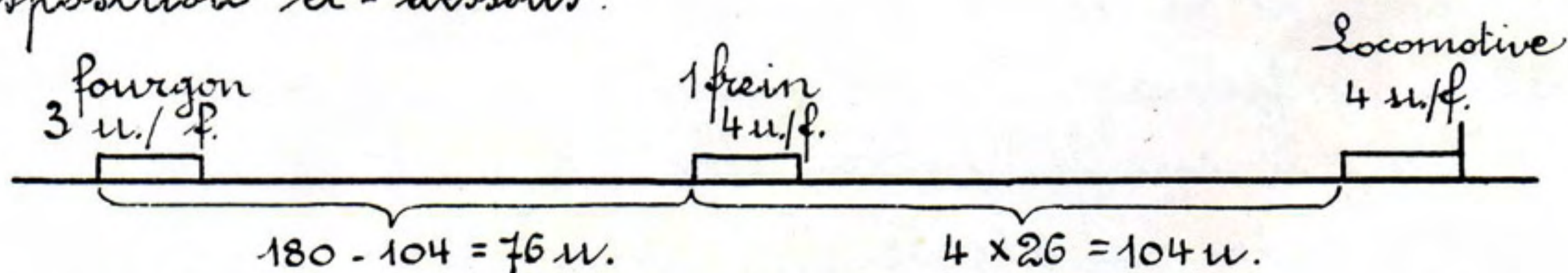
3^e " , 3 " , " $3 \times 14 = 42$ "

4^e " , 4 " , " le reste ou 54 unités, ce qui donne

la disposition ci-après



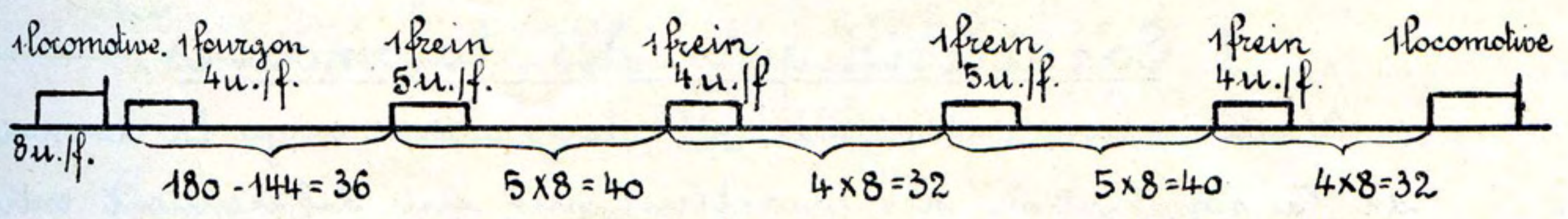
Soit encore un train de 180 unités sur une ligne de 3 m/m, locomotive avec frein à air, proportionnelle 1/17. Il faut $180 : 17 = 10,6$ ou 11 u/f. En décomptant le moteur, il faut $11 - 4 = 7$ u/f dans le train. Soit un fourgon de 3 u/f. et un frein de 4 u/f. On aura la disposition ci-dessous:



Il reste 7 u/f dans le corps du train soit $180 : 7 = 26$ u. par unité-frein.

Enfin supposons le cas de la double traction, une locomotive d'allège en queue comptant pour 8 u/f, charge 180 u, proportionnelle 1/6. Il faut $180 : 6 = 30$ u/f soit $30 - 8 = 22$ u/f dans le corps du train constituées par exemple par 2 freins à 5 u/f, 2 à 4 u/f et un

fourgon à 4 u./f. On devra diviser le train en tranches de $180 : 22 = 8 \text{ u.}$, soit le classement suivant:



Les règles ne sont pas toujours très judicieuses: on ne tient pas un compte systématique du poids freiné de la locomotive ou on n'en tient compte que d'une façon plus ou moins arbitraire. Lorsqu'on a fait ces règles, peu de locomotives disposaient du frein à air; celles-ci étaient munies du frein à contre-vapeur qui, tout en n'intervenant pas dans le calcul du freinage, était utilisé d'une façon courante; le frein du tender était considéré comme frein de réserve.

Actuellement la plupart des locomotives sont munies du frein à air, leur poids freiné a fortement augmenté et si l'on évalue de façon plus précise le poids des trains, on pourra faire intervenir les locomotives dans le freinage de façon plus judicieuse, sauf à modifier la proportionnelle en conséquence.

Soient toujours P le poids du train, locomotives non comprises, p son poids freiné, T et t le poids total et le poids freiné de la ou des locomotives, k la proportionnelle. On devra avoir:

$$k = \frac{p + t}{P + T}$$

ce qui donne, car c'est p que l'on cherche:

$$p = k(P + T) - t$$

$$= kP - (t - kT) = kP - A$$

si $A = t - kT$.

On interprète aisément ce résultat en remarquant que A est l'excédent du poids freiné t de la locomotive sur le poids freiné kT nécessaire pour la retenir elle-même; cet excédent A réduit d'autant le poids freiné kP qui serait nécessaire pour retenir le train, locomotive non comprise.

S'il faut faire intervenir la dérive, et que k' soit la proportionnelle correspondant à la dérive, il faudra dans le train un poids freiné k'P dont on ne tiendra compte que si k'P est plus grand que p.

Chapitre II. Les locomotives.

I Caractéristiques des locomotives.

L'utilisation rationnelle des locomotives exige la connaissance de la signification des caractéristiques qui différentient entre eux les divers types de machines. Les caractéristiques doivent décider du choix du moteur qui convient le mieux dans des conditions de remorques déterminées. Nous examinerons successivement les caractéristiques essentielles qui intéressent les services du mouvement au point de vue de la chaudière, du moteur (machine) et du véhicule.

9. Chaudière. - A. Foyer. Le genre de foyer est intimement lié à la nature du combustible que l'on brûle et au régime de chauffe qui doit y correspondre. Il y a lieu de distinguer:

1°) au point de vue de leur profondeur:

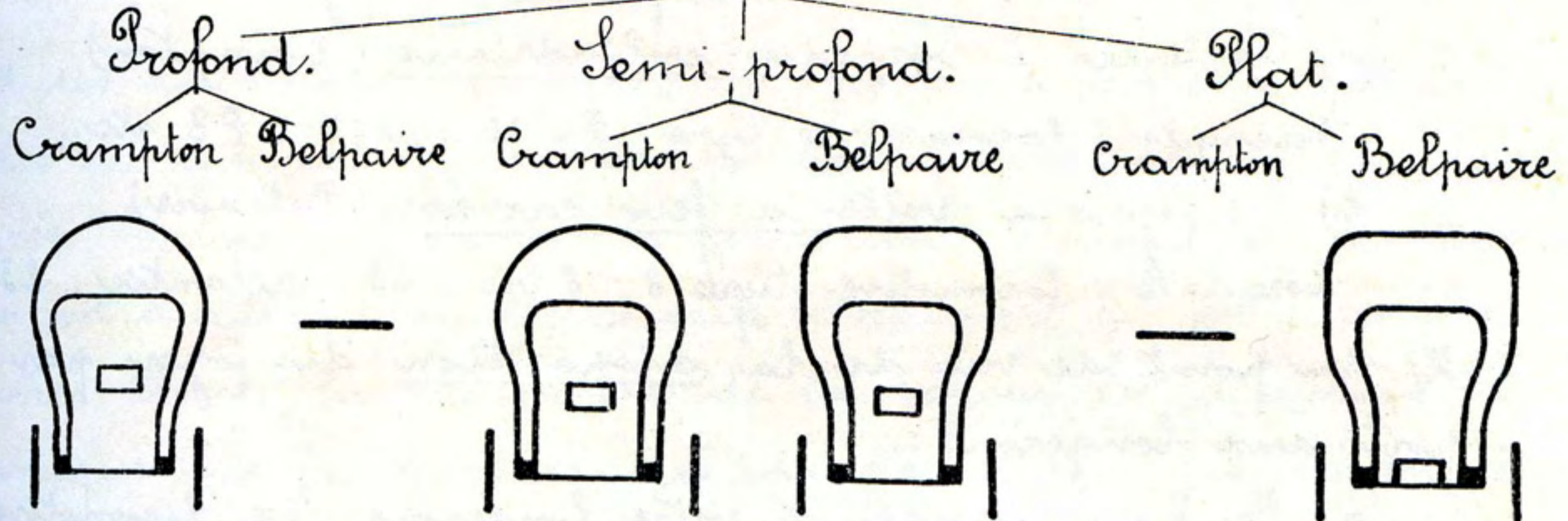
a) les foyers profonds, primitivement utilisés pour y brûler exclusivement du combustible en gros morceaux (briquettes), sous forte épaisseur (locomotives type 17 et 15 F.P.). Les foyers ont presque totalement disparu de notre réseau.

b) les foyers semi-profonds, qui permettent de brûler un mélange de briquettes et de menu. L'expérience a prouvé que la proportion de menu peut être poussée très loin dans ce genre de foyer, selon la nature du service à effectuer. Dans bien des cas, l'on y brûle même couramment 100% de menu. Le foyer semi-profond s'est généralisé d'une façon presque absolue sur notre réseau. Grâce à une patiente et méthodique éducation du personnel, il a été possible d'atteindre dans l'alimentation de ces foyers une proportionnelle de 20 à 30% de briquettes;

c) les foyers plats (ou foyers "Belpaire" des locomotives dites "charbonnières"), qui permettent de brûler en toute circonstance du charbon menu exclusivement sous faible épaisseur. Ce genre de foyer (locomotives type 2-4-5-11-23-25-28-29) tend à disparaître complètement en Belgique. Toutefois, notre

Classification des divers types de foyers des locomotives en service sur le réseau de l'Etat Belge.

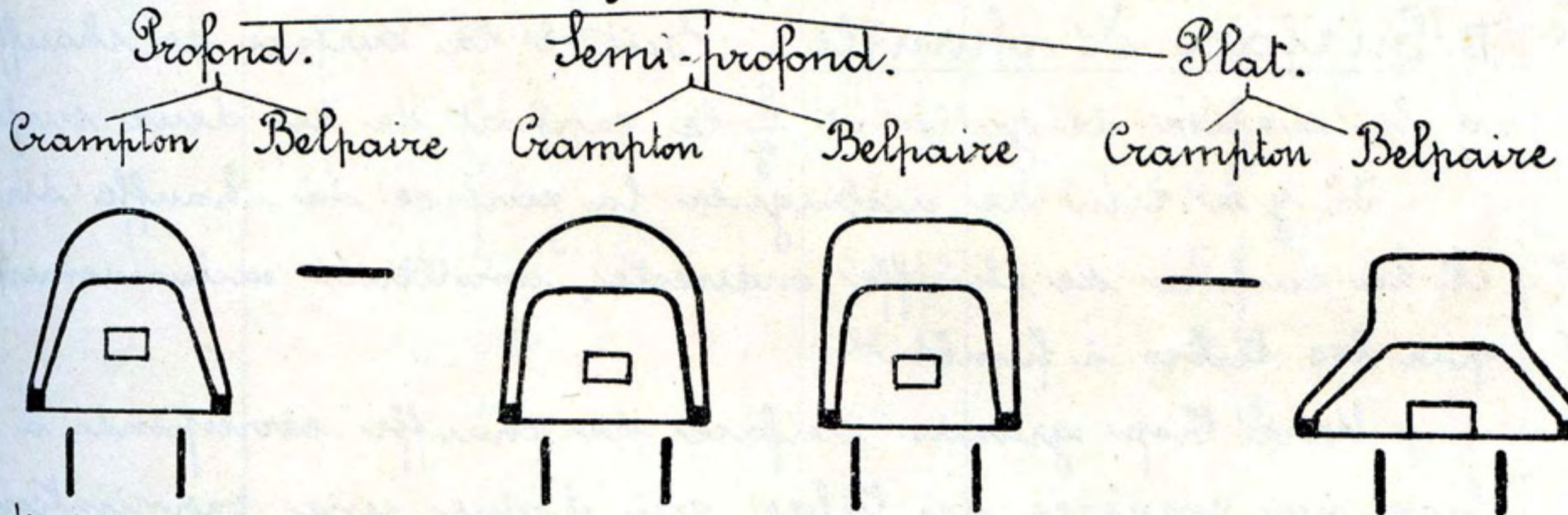
I Foyer plongeant.



Types de locomotives

15 fr. - 17 - 22	Néant	9 - 12 ^b - 13 - 15 mp. 16 ^b - 18 - 18 ^b - 18 ^s - 25 ^b 30 - 32 - 32 ^s - 35 ^s - P8. S6 - S10 - S10 ¹ - S10 ² G5 - G7 - G8 - G8 ¹ - G9 G10 - T9 ³ - T12 - T13 T14 - T16.	Atlantic 8 - 8 bis 33 - 37	Néant	1 - 2 - 4 - 11 - 23 - 28 - 29 51.
---------------------	-------	--	----------------------------------	-------	---

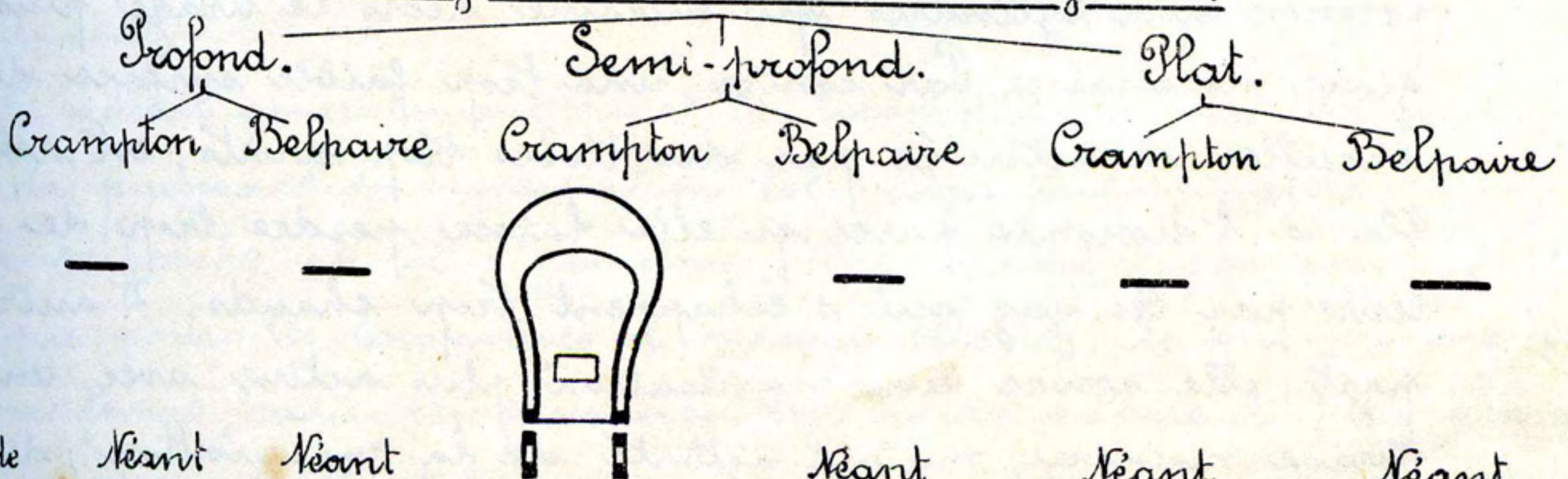
II Foyer débordant.



Types de locomotives

S9	Néant	10 - 36 - 38. G-12.	14	Néant	12 - 25
----	-------	------------------------	----	-------	---------

III Foyer à cadre au droit des longerons.



Type de locomotives.

Néant	Néant	40	Néant	Néant	Néant
-------	-------	----	-------	-------	-------

réseau en conservera, en principe, encore quelques spécimens pour certaines locomotives légères ou de manœuvres (locomotives type 23-11-51);

2°) au point de vue de la forme du foyer :

a) les foyers à berceau cylindrique (Crampton)

Exemple : locomotives type 9-10-510-P8 etc.;

b) les foyers à boîte à feu carrée (Belpaire)

Exemple : locomotives type 8-8 bis-33-Atlantic-23 etc.;

3°) au point de vue de la disposition du foyer par rapport aux longerons :

a) le foyer plongeant entre longerons. Ex: locomotives type 9-8-8 bis-Atlantic, etc.;

b) le foyer débordant. Ex: locomotives type 25-type 10 etc.;

c) le foyer à cadre disposé au droit des longerons (locomotives type 40).

Le tableau ci-contre donne le classement de nos types de locomotives à ce triple point de vue.

B. Surface de chauffe. Soit S la surface de chauffe, g la surface de grille et $\frac{S}{g}$ le rapport de ces deux surfaces.

Il y a lieu de distinguer la surface de chauffe directe et la surface de chauffe indirecte, constituée exclusivement par les tubes à fumée.

Une trop grande surface de chauffe correspond à une longueur exagérée des tubes, qui donne une vaporisation plus économique mais moins active. Cette économie est d'ailleurs rapidement compensée par la perte due à la contre-pression aux cylindres qui entraîne alors le tirage plus énergique nécessaire. Par contre, une trop faible surface de chauffe, caractérisée par des tubes trop courts, est défavorable à l'économie parce qu'elle laisse perdre trop de chaleur par les gaz qui s'échappent trop chauds. D'autre part, elle assure une vaporisation plus active avec un tirage moindre, mais l'activité de la vaporisation, d'abord

augmentée au fur et à mesure de la diminution de la longueur des tubes, finit elle-même par devenir insuffisante en raison de l'utilisation de plus en plus défectueuse de la chaleur des gaz.

Ces deux cas extrêmes correspondent donc deux valeurs-limites du rapport $\frac{S}{g}$, en dehors desquelles l'économie n'est pas assurée. Entre ces limites, le rendement économique de la chaudière est d'autant meilleur que le rapport $\frac{S}{g}$ est plus élevé. En d'autres termes, la production de la vapeur est d'autant plus économique que la surface de chauffe est plus grande en proportion de la surface de grille. A ce point de vue il y a donc avantage à augmenter le rapport $\frac{S}{g}$ sans toutefois exagérer celui-ci. Dans les locomotives modernes, la plupart à foyer semi-profond, le rapport $\frac{S}{g}$ oscille entre 45 et 75.

Exemples.

Types	$\frac{S}{g}$	Types	$\frac{S}{g}$
8 et atlantix	72	37	55
9 et 185	49,5	38	45,3
10 et 8 bis	52	G 8 ¹	55
S10 et S10 ²	53,25	G 9	64,8
S10 ¹	52,80	G 10	57,15
P 8	57	G 12	66
36	47		

Il semble que la valeur 75 soit la limite supérieure du rapport $\frac{S}{g}$ qu'il convient de ne pas dépasser pour ne pas nuire au bon rendement.

On admet généralement pour les locomotives à marchandises, où la puissance de vaporisation est moins prédominante et où l'on recherche plutôt l'économie, un rapport $\frac{S}{g}$ un peu plus élevé que pour les locomotives à grande vitesse, ce qui prouve en même temps, pour les premières, un poids adhérent plus grand. Ce principe n'a toutefois rien d'absolu, attendu que pour les

puissantes locomotives modernes à marchandises, l'on ne peut exagérer la longueur de la chaudière déjà suffisamment lourde.

Il convient de remarquer qu'avec une combustion peu active (faible poids de combustible brûlé par mètre carré de surface de grille et par heure) une surface de chauffe réduite peut suffire. C'est ainsi que nos locomotives charbonnières qui brûlent du charbon menu sous faible épaisseur et par conséquent un poids réduit par mètre carré de grille, offrent une surface de chauffe relativement petite comparativement à la surface de grille. Pour ces locomotives le rapport $\frac{S}{g}$ descend, en effet, sensiblement plus bas que pour nos locomotives modernes à foyer semi-profond qui brûlent un plus grand poids de combustible par m² de grille.

Exemples.

types	$\frac{S}{g}$
1	32.4
2. 4. 28. 29	39.7
11	25.6
12	25.1
16	23.5
25	23.75

Dans le même ordre d'idées, nos locomotives types 15 et 18, à foyer mi-profond, qui brûlent le combustible sous une moyenne épaisseur (intensité de chauffe moyenne) offrent un rapport $\frac{S}{g}$ moins élevé que celles types 15 et 17, à foyer profond et à surface de chauffe sensiblement égale, mais qui brûlent le combustible sous forte épaisseur.

Exemples.

Locomotives à foyer profond				Locomotives à foyer semi-profond			
types	S	g	$\frac{S}{g}$	types	S	g	$\frac{S}{g}$
type 17	126.48	1.92	66	type 18	127.6	2.07	61.5
type 15 F.P.	95.78	1.82	52.5	type 15 F.S.P.	97.22	2.52	38.5

Enfin l'application de la surchauffe, qui augmente la puissance de la chaudière, permet de réduire d'une manière assez sensible la surface de chauffe, ce qui conduit à constater qu'à égalité de surface de grille les chaudières à surchauffe se caractérisent par un rapport $\frac{S}{Q}$ plus faible que celles à vapeur saturée.

Exemples :

Nos locomotives type 8, atlantique et 8 bis offrent la même surface de grille, mais pour les deux premières, à vapeur saturée, le rapport $\frac{S}{Q} = 72$, tandis que pour la 8 bis, à surchauffe, ce rapport n'est plus que de 52.

C. Surface de grille. Sa surface de grille dépend de la nature du combustible utilisé et de la quantité de chaleur à produire par heure.

Sa nature du combustible détermine l'épaisseur sous laquelle il est brûlé sur la grille.

En principe, des combustibles de faible pouvoir calorifique ou de faible grosseur, tels que le bois, la tourbe, la lignite, le charbon menu et en général les charbons maigres ou à combustion lente, sont brûlés sous faible épaisseur et exigent de grandes surfaces de grilles (locomotives "charbonnières"). Car contre, les combustibles en roche, les briquettes, etc. permettent l'usage de grilles plus petites parce qu'ils doivent être brûlés sous une épaisseur plus grande (foyers semi-profonds).

Cependant, pour un même combustible, l'épaisseur du feu sur la grille est d'autant plus élevée que l'activité du feu est plus grande.

Pour un même combustible, il existe donc un poids moyen brûlé par m^2 de surface de grille et par heure, poids qui variera entre certaines limites suivant l'activité du feu. C'est ce poids moyen, nécessaire pour obtenir par heure la quantité de chaleur correspondant à la vaporisation à produire, qui sert à déterminer la surface de grille.

Celle-ci augmentera donc, toutes choses égales, avec la puissance de la chaudière.

Enfin, à égale activité de feu (même poids de combustible brûlé par heure et par m² de surface de grille), la vaporisation sera d'autant plus abondante et par conséquent, la chaudière d'autant plus puissante, que la surface de grille est plus grande en proportion de la surface de chauffe; cet accroissement de puissance n'est toutefois acquis qu'au détriment du rendement économique. Nous avons vu, en effet, que, dans certaines limites, l'économie est d'autant meilleure que le rapport $\frac{S}{g}$ est plus grand.

D. Influence de l'activité de la combustion sur l'économie.

La surface de la grille rapportée à la surface de chauffe n'est pas le seul facteur qui influence le rendement de la chaudière. Celui-ci, en effet, dépend en outre de l'activité du feu, c'est-à-dire du poids de combustible brûlé dans l'unité de temps par mètre carré de surface de grille. Pour une même locomotive, et pour des conditions de remarque données, la production de vapeur rapportée au mètre carré de surface de chauffe, augmente avec l'activité du feu.

En service normal, l'on peut compter sur une combustion de 250 à 300 kg par heure et par mètre carré de surface de grille. Dans les locomotives assurant des trains rapides, qui nécessitent une vaporisation plus abondante, l'on arrive souvent à brûler jusqu'à 500 et même 800 kg par heure et par mètre carré de surface de grille. Il en est de même dans le cas de la remarque de trains lourds devant gravir des rampes d'une certaine longueur.

Mais toute augmentation de puissance de vaporisation redevable à une activité de feu plus grande, est acquise au détriment du rendement économique de la chaudière

celui-ci, en effet, varie en raison inverse de l'activité du feu; il est d'autant meilleur que l'activité du feu est moindre, pour autant bien entendu que celle-ci reste compatible avec les conditions de remorque imposées. autrement dit: avec une activité de combustion relativement faible, la vaporisation est moins intense, mais chaque kilo de vapeur est obtenu plus économiquement, la chaleur fournie par le combustible étant mieux utilisée par la surface de chauffe.

Ainsi, pour fixer les idées, avec un rapport $\frac{S}{q} = 50$, en brûlant 500 kg de charbon par heure et par mètre carré de surface de grille, le rendement de la chaudière sera, par exemple, 60%, alors qu'en ne brûlant que 300 kg par heure et mètre carré de surface de grille, le rendement peut s'élever à 75%. Avec un rapport plus élevé soit $\frac{S}{q} = 60$, et les mêmes activités de combustion de 500 kg. et de 300 kg., le rendement sera, par exemple, respectivement de 71% et de 76%.

Conclusions, ceci nous montre tout l'intérêt qu'il y a, au point de vue économique, à brûler le combustible sous la plus faible épaisseur compatible avec les conditions de remorque. Or, la quantité d'un combustible donné qu'il est possible de brûler par unité de temps et par mètre carré de surface de grille dépend essentiellement du tirage qui, lui-même, dépend de la tuyère d'échappement.

Pour un type de locomotive déterminé, c'est donc sur la tuyère qu'il faut agir si l'on recherche la chauffe la plus économique, toutes conditions égales d'ailleurs.

B. Vaporisation. La production de vapeur d'une même chaudière ou vaporisation varie, dans une certaine limite, d'après la nature du combustible et l'allure de la combustion. Mais on peut obtenir une vaporisation plus ou moins abondante en consommant un même combustible, l'activité du feu étant la

même. Toutes choses égales, une bonne vaporisation dépend : a) du degré d'efficacité de la combustion; b) du degré de perméabilité plus ou moins grande qui offrent les parois de la surface de chauffe à la transmission de la chaleur.

a) Une efficacité satisfaisante de la combustion s'obtient par la conduite rationnelle du feu, combinée avec de bonnes conditions de tirage.

— La conduite rationnelle du feu, dont les règles seront exposées en détail par la suite, nécessite un appel d'air le plus régulier possible et approprié à l'activité du feu : de toute façon, un léger excédent d'air paraît devoir donner la combustion la plus complète et, par suite, la plus économique. Un appel d'air insuffisant provoque une combustion incomplète, tandis qu'un appel d'air trop abondant est nuisible également. Dans des conditions de bonne combustion, la température du foyer est élevée (feu clair ou ardent suivant l'allure). Avec une activité de feu élevée (combustible brûlé sous forte épaisseur, par exemple dans les foyers profonds) la température à l'intérieur du foyer peut atteindre 1500 à 1600° au maximum. Avec une épaisseur de feu moindre, et un excédent d'air un peu plus grand, l'on ne peut guère compter sur plus de 1200 à 1300°C.

La température la plus élevée se rencontre le plus souvent vers l'avant du foyer, sous la voûte, ou bien, vers le milieu de la grille, à l'arrière de celle-ci et sur les côtés, la température est moins élevée.

— Quant au tirage, dont dépend essentiellement la quantité d'air appelée au travers de la grille, il résulte en partie des coups d'échappement anticipé, et en partie de l'écoulement de la vapeur lors de l'échappement proprement dit.

Par conséquent, l'appel d'air sera d'autant plus régulier, et par suite la vaporisation, d'autant meilleure, que la pression d'échappement anticipé est moins élevée. C'est à cette particularité que les locomotives compound doivent

leur supériorité sur celles à simple expansion au point de vue du rendement économique de la chaudière aux grandes vitesses. En outre, l'expérience a démontré que les locomotives à double expansion et à 2 cylindres vaporisent aussi bien que celles à simple expansion, bien que, dans le même temps, les locomotives à double expansion ne donnent que la moitié du nombre de coups d'échappement. Cela tient à ce que la vitesse d'écoulement de la vapeur à la sortie de la tuyère d'échappement augmente avec la surface du piston. Dans le même ordre d'idées, il a été reconnu que des locomotives avec des cylindres relativement grands se caractérisent par une combustion plus parfaite que celles à cylindres plus petits.

La dépression dans la boîte à fumée, qui donne la mesure de l'intensité du tirage et, par conséquent, le degré d'activité de la combustion, peut, avec du bon combustible, atteindre 100 à 120 m/m d'eau, et même se maintenir à ce taux, aussi longtemps que la locomotive fournit son travail maximum.

Un tirage trop énergique augmente l'activité de la combustion au détriment de l'économie (arrachement du feu). Insuffisant, il ralentit la vaporisation et nuit également à l'économie (combustion incomplète).

L'influence du vide dans la boîte à fumée sur la vaporisation est capitale. Aussi l'on ne saurait assez veiller à obtenir, en tout temps, une raréfaction aussi parfaite que possible (étanchéité absolue de la boîte à fumée, tuyère de section et de hauteur judicieusement établies, cheminée et tuyère parfaitement centrées, etc). Sous ce rapport, il serait désirable et avantageux que toutes les locomotives fussent munies d'un déprimomètre à colonne d'eau renseignant à tout moment le machiniste sur le vide réalisé dans la boîte à fumée et par conséquent sur le degré d'étanchéité de celle-ci.

A défaut d'une indication de l'espèce, certains in-

dices permettent cependant de se rendre compte d'anomalies de tirage, nuisibles à une bonne vaporisation. En effet, l'écoulement continu des gaz au travers du faisceau tubulaire et l'égalité de répartition de la combustion sur toutes les parties de la grille dépendent essentiellement du niveau occupé par la tuyère d'échappement par rapport au niveau de la section la plus étroite de la cheminée. Or, un niveau trop élevé provoque l'entraînement des gaz au travers des tubes des rangées supérieures ainsi qu'une activité de combustion et des arrachements de fer plus violents du côté de la porte, avec production abondante de fraisil. D'autre part, une tuyère trop basse provoque le passage de gaz au travers des tubes des rangées inférieures, une activité de combustion et un arrachement de fer plus marqué du côté de la tôle tubulaire, beaucoup de fraisil et, le plus souvent, une ébullition tumultueuse et le primage de la chaudière.

b) La transmission de la chaleur au travers de la surface de chauffe est d'autant plus parfaite :

1°) que la différence de température entre les deux milieux : gaz et eau, est plus élevée. Sous ce rapport, il semble donc que les tubulures trop longues soient désavantageuses, l'écart de température entre les gaz et l'eau devenant relativement faible vers l'extrémité du faisceau tubulaire ; l'expérience semble indiquer qu'une longueur de tubes de 4 m à 4.50 m paraît convenable et préférable aux longueurs de 5 et 5.50 m qui sont employées dans certaines locomotives. D'autre part, la vaporisation diminue également quand les tubes sont trop courts ; la longueur de 3 mètres semble constituer un minimum.

En marche normale la température dans la boîte à fumée varie entre 300 et 400° ;

2°) que le débit des gaz, c'est-à-dire la quantité lé

chant la surface de chauffe dans l'unité de temps, est plus grand, la vitesse d'écoulement des gaz qui correspond à ce débit restant compatible avec la longueur des tubes. Cette condition est réalisée moyennant des données constructives judicieusement établies et avec une intensité de tirage régulière et suffisante;

3°) que la répartition de la surface de chauffe indirecte au sein de la masse d'eau est plus parfaite. Sous ce rapport le nombre de tubes doit être le plus grand possible, qualité qui assure dans la chaudière une dispersion plus rapide de la chaleur fournie par le combustible;

4°) que l'état de propreté des surfaces de chauffe, tant du côté du fer que de celui de l'eau, est plus parfait. A ce point de vue apparaît toute l'utilité, voire la nécessité absolue, du ramonage fréquent des tubes, d'une épuration convenable des eaux, et du lavage périodique des parois intérieures de la chaudière.

F. Mesure de la vaporisation. Suivant que l'on a en vue a) la production ou b) le rendement, on rapporte la vaporisation à un élément fixe de la surface de chauffe ou au kilogramme de combustible brûlé.

a) Dans la première hypothèse, on considère par exemple le poids d'eau vaporisée par heure et par mètre carré de surface de chauffe. Celui-ci peut atteindre 60 kg avec un combustible de bonne qualité. En service normal, la vaporisation horaire atteint en moyenne 50 kg par mètre carré de surface de chauffe dans les locomotives à voyageurs, et 40 kg dans les machines à marchandises. Dans les cas les plus favorables (combustible à pouvoir calorifique élevé) la vaporisation horaire atteint quelquefois 65 à 70 kg. par m²/h. de chauffe.

b) Le coefficient de vaporisation, ou poids d'eau vaporisé par kg de combustible brûlé varie avec la nature

du combustible utilisé, avec l'activité du feu et selon la qualité de la vapeur produite. Toutes choses égales, il donne la mesure du rendement de la chaudière au point de vue de l'utilisation de la chaleur fournie par un combustible donné. Dans une même locomotive le kg de charbon brûlé produira un poids de vapeur d'autant plus élevé et une qualité de vapeur d'autant meilleure⁽¹⁾ que, dans certaines limites, l'activité du feu est moindre.

Un combustible de bonne qualité fournit un coefficient de vaporisation plus élevé. ainsi avec de bons charbons en roche ou de bonnes briquettes, on vaporise facilement 8 à 9 kg. d'eau. avec un combustible moyen on peut atteindre 8 kg., mais il est préférable de ne compter que sur 7 kg (vapeur saturée).

Il est à remarquer que, toutes choses égales, pour les locomotives à surchauffe, le coefficient de vaporisation est un peu moins élevé, ce qui est d'ailleurs logique, attendu qu'une partie de la chaleur fournie par le combustible est utilisée pour produire la surchauffe: le kg. de charbon engendre moins de kg de vapeur, mais chaque kg de vapeur produite contient plus de chaleur, donc plus de capacité de travail. En d'autres termes, la quantité de vapeur produite est moindre, mais sa qualité est meilleure. On estime généralement qu'en service courant, avec une activité de feu normale, un kg. d'un combustible moyen produit 6,5 kg de vapeur à haute surchauffe (300 à 350°).

Ses chiffres suivants, présentés sous forme de graphique (fig 10) montrent, à titre d'exemple, l'influence de l'activité du feu sur la production de vapeur rapportée au kg de combustible brûlé et sur la qualité de la vapeur obtenue (titre et surchauffe).

⁽¹⁾ La vapeur saturée sèche est celle qui ne contient pas d'humidité ou d'eau en suspension; son titre est 1. Sa qualité de la vapeur va en diminuant à mesure qu'elle se condense, c'est-à-dire qu'elle contient plus d'eau; le titre devient 0.9 quand 0.1 du poids de la vapeur s'est transformé en eau.

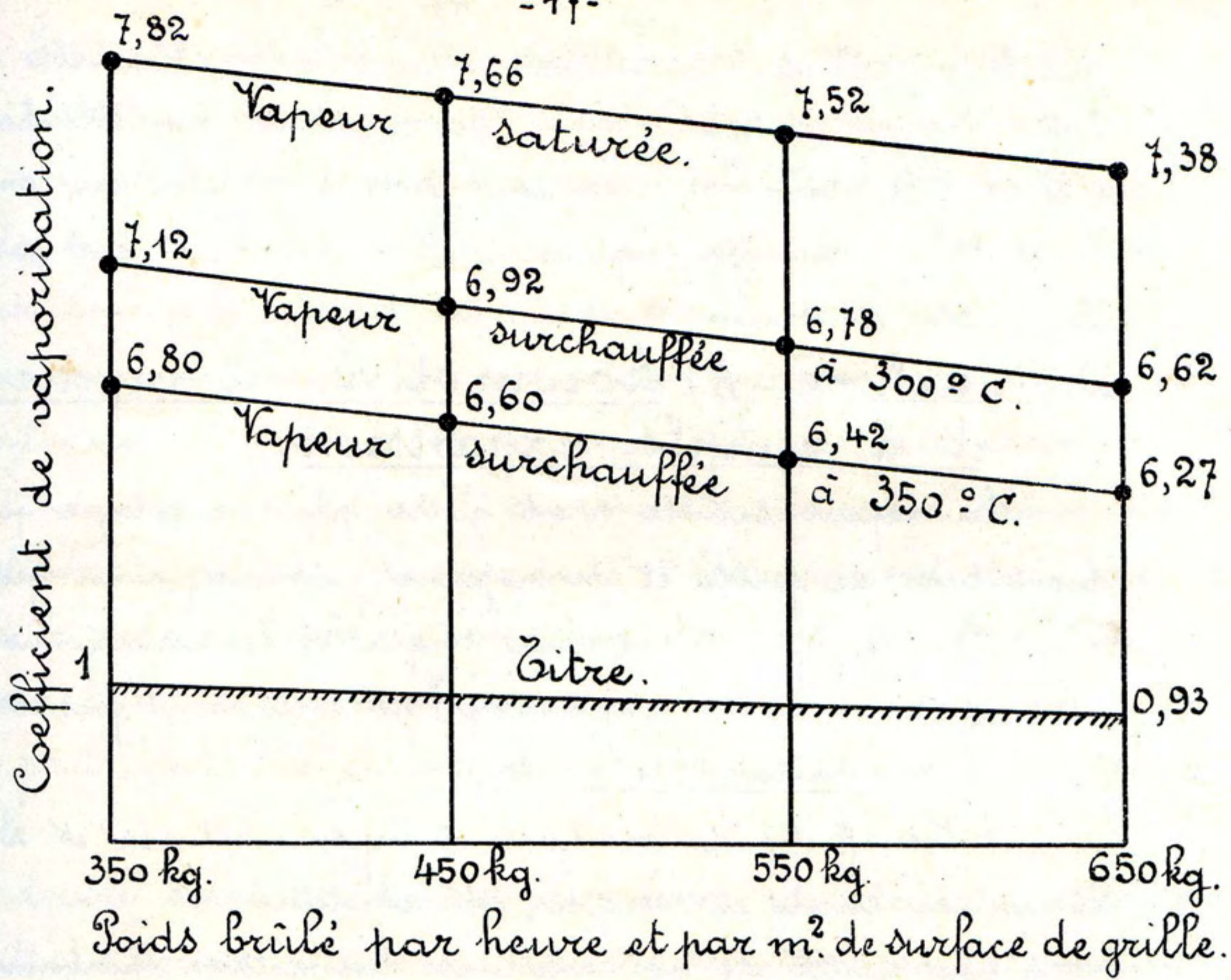


Fig. 10.

Il ressort nettement de ce graphique qu'une activité relativement faible de la combustion améliore le coefficient de vaporisation et le titre de la vapeur, et par suite le rendement économique de la chaudière. S'en voit en même temps que, pour chaque allure du feu, la surchauffe diminue le coefficient de vaporisation, et cela d'autant plus que la surchauffe est poussée plus loin, c'est-à-dire que la qualité de la vapeur est rendue meilleure.

G. Titre. Un facteur important qui influe sur l'utilisation économique de la vapeur est entre autres le titre de la chaudière, c'est-à-dire la pression de travail. On sait, en effet, que le rendement de la machine à vapeur est d'autant plus élevé que l'écart des températures entre lesquelles la vapeur évolue dans le cylindre est lui-même plus élevé. Sous ce rapport les hautes pressions sont donc favorables à l'économie attendu qu'à l'augmentation de pression correspond l'augmentation de la température d'admission aux cylindres. C'est ainsi que dans les locomotives modernes, le titre a été porté à une valeur aussi élevée

que le permettent les conditions de construction normales de la chaudière locomotive et le souci de maintenir son étanchéité. On s'est limité dans ces conditions à 14 à 15 kilos par cm^2 pour les locomotives à simple expansion et 16 kilos par cm^2 pour les machines à double expansion.

10. Machine. - A.) Locomotives à vapeur saturée et à simple expansion.

La vapeur saturée n'est guère plus employée que dans les locomotives de faible et de moyenne puissance, ainsi que dans les machines de manœuvres pour lesquelles les perfectionnements modernes (surchauffe et double expansion) ne sortiraient pas leurs effets.

a) Locomotives de route.

Notre effectif de machines à vapeur saturée et à simple expansion encore en service, est constitué :

- 1°) d'une partie de nos anciennes locomotives charbonnières (types 11 légères à voyageurs - 2 - 4 mixtes - 25 - 28 - 29 à marchandises), parmi lesquelles certaines ont reçu une chaudière à foyer mi-profond (12 bis à voyageurs - 25 bis à marchandises);
- 2°) de machines de conception anglaise (types 15 - 17 - 18 à voyageurs - 30 et 32 mixtes);
- 3°) de quelques locomotives à marchandises du type allemand (G 9 et G 7¹).

Toutes ces machines sont à 2 cylindres seulement, disposés intérieurement aux longerons, sauf dans le cas de la G 9 dont les cylindres sont extérieurs.

b) Locomotives de manœuvre. Notre effectif comprend :

- 1°) les machines des types 23 et 51 de construction belge ainsi que les machines n° 150 à 223 G.C.B.;
- 2°) celles des types 22 - 50 et 52, de construction américaine;
- 3°) enfin, celles de construction allemande, des types T 9³ et T 13

Toutes ces machines sont également à 2 cylindres disposés extérieurement aux longerons, sauf dans le cas du type 51 dont les cylindres sont intérieurs.

B). Locomotives à double expansion.

Au point de vue économique l'avantage de la double expansion sur la simple expansion réside essentiellement dans le fait que l'écart total des températures extrêmes de la vapeur est partagé entre deux cylindres successifs. De là, une réduction notable des pertes de chaleur par condensation de la vapeur sur les parois de chacun des deux cylindres. Or, ces pertes ne s'ajoutent pas, attendu que la quantité de vapeur qui s'est condensée pendant l'admission dans le 1^{er} cylindre s'y reévapore pendant l'échappement pour être récupérée par le second. Dans ces conditions la perte finale se trouve réduite à celle relativement peu élevée du second cylindre.

On peut ajouter à cet avantage essentiel les avantages secondaires suivants :

1) la double expansion permet de pousser plus loin la détente et, par suite, d'arriver à une meilleure utilisation de la vapeur. En outre, après détente finale, la pression de la vapeur d'échappement, à la sortie du second cylindre, est moins élevée que dans les locomotives à simple expansion, mais encore suffisante pour assurer le tirage. De là une activité de combustion moindre, un rendement meilleur de la chaudière et un arrachement plus réduit du feu;

2) les admissions étant plus longues dans chacun des deux cylindres et les différences de pressions moyennes des deux côtés des pistons, moins importantes, il en résulte :

a) une régularité plus grande du travail moteur, d'où meilleure utilisation de l'adhérence de la locomotive;

b) moins de fatigue pour le mécanisme, par suite d'une moindre variation des efforts pendant le tour;

c) une étanchéité meilleure des distributeurs et pistons.

- Il faut noter que l'étendue plus grande de la surface totale des cylindres offerte à la condensation réduit un peu les avantages économiques des locomotives à double expansion.

La supériorité de la locomotive à double expansion sur celle à simple expansion et à vapeur saturée est actuellement reconnue

d'une manière presque générale, notamment pour les grandes vitesses, pour de longs trajets comportant peu d'arrêts, et sur des lignes de profil peu accidenté. L'économie de consommation réalisée avec les locomotives à double expansion, comparées à des locomotives à simple expansion de même puissance et de construction similaire, peut se chiffrer par 10 à 12% de charbon et par 8 à 10% d'eau. A égalité de consommations de combustible et d'eau, et moyennant une appropriation judicieuse des dimensions de la chaudière et du moteur, on peut atteindre, pour les locomotives à double expansion, un accroissement de puissance du même ordre.

À noter que la double expansion ne convient absolument pas pour les locomotives de manœuvres. Elle convient tout aussi peu pour les locomotives destinées à circuler sur des lignes à profil accidenté, et également très peu pour les locomotives de trains de banlieue à arrêts fréquents et de trains de marchandises.

Les considérations se justifient en tenant compte de ce que l'économie de la double expansion ne commence à se faire réellement sentir qu'à partir d'un degré d'admission et d'une vitesse déterminés, c'est-à-dire au-delà d'une certaine puissance développée. Les locomotives à double expansion, en effet, offrent sur celles à simple expansion les avantages dus à une moindre activité de la combustion, avantages qui s'accroissent aux grandes vitesses.

C'est pourquoi l'utilisation de locomotives à simple expansion est souvent plus économique sur des lignes difficiles (profil accidenté à dents de scie, à fortes rampes, etc.). Il convient, dans ces conditions, d'éviter, dans la mesure du possible, l'utilisation de locomotives à double expansion sur les lignes telles que Bruxelles-Orlon, Bruxelles-Charleroi, Bruxelles-Courtrai, Liège-Herbethal, etc..

- Un inconvénient des locomotives à double expansion réside

dans les difficultés de démarrage et l'impuissance à gravir de fortes rampes sous forte charge.

On a remédié à ces deux inconvénients en munissant les locomotives à double expansion d'appareils spéciaux permettant de transformer momentanément et à volonté la locomotive à double expansion en locomotive à simple expansion. De là une certaine complication. En outre l'utilisation de ces appareils a pour effet d'entraîner des fatigues exagérées pour le mécanisme.

Les machines à double expansion peuvent fonctionner en mode compound ou en mode Woolf.

- Dans la disposition Woolf, la vapeur qui sort du premier cylindre (petit cylindre ou cylindre H.P.) est transvasée directement dans le second cylindre (grand cylindre ou cylindre de détente, ou cylindre B.P.). L'échappement du H.P. correspond à l'admission du B.P. Dès lors les deux manivelles motrices correspondantes doivent être calées à l'opposé l'une de l'autre.

Le système Woolf ne peut donc s'employer qu'avec deux groupes de deux cylindres, soit au total avec 4 cylindres. Les deux manivelles de chaque groupe sont à 180° , et les deux groupes entre eux, à 90° , ce qui correspond à deux machines Woolf absolument indépendantes et décalées de 90° entre elles, soit une machine Woolf de chaque côté de la locomotive.

A remarquer que dans le dispositif Woolf, comme la communication existe entre les deux cylindres d'un même groupe pendant l'échappement H.P. et l'admission B.P., il en résulte que la pression pendant ces deux phases de la distribution n'est pas constante. Lors des démarrages et sur les rampes, l'admission directe de la vapeur au B.P. se fait par le conduit d'équilibre H.P., le conduit d'équilibre B.P. étant maintenu fermé. Les locomotives S10¹ et S9 sont de ce système.

- Dans la disposition compound, par contre, la vapeur, à la sortie du cylindre H.P., se rend dans un réservoir intermédiaire dit "receiver", d'où elle est distribuée au B.P.

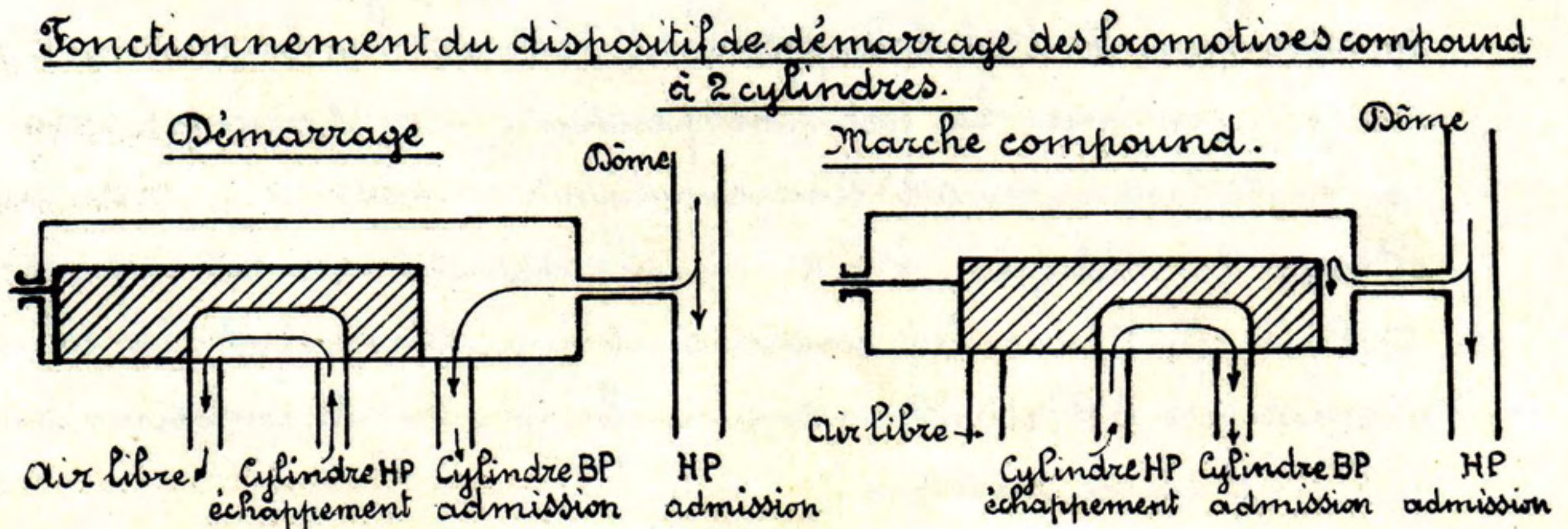
On peut ainsi caler les manivelles se rapportant à un même groupe H.P. - B.P. à 90°, et la pression peut rester constante dans les deux cylindres pendant toute la durée de l'admission comme pendant toute la phase de l'échappement. En outre, avec la disposition "compound", on peut grâce au receiver avoir soit 2, soit 3, soit 4 cylindres.

Les locomotives compound de notre effectif sont à 2 ou à 4 cylindres.

Locomotives Compound à 2 cylindres. L'état belge n'a pas, à ce jour, construit de locomotives compound à 2 cylindres. Celles que nous possédons depuis l'armistice sont de construction allemande. Citons les types G5⁴, G7² et G7³ à marchandises encore en service. Elles sont munies d'un dispositif de démarrage à tiroir du genre Wallett permettant de réaliser simultanément au moyen d'une seule commande :

- 1°) le découplément des deux cylindres;
- 2°) l'échappement direct du cylindre H.P.;
- 3°) l'arrivée de vapeur vive au cylindre B.P. (laminée par son passage dans un tuyau de faible section).

Nous donnons ci-après le principe de fonctionnement de ce type d'appareil :



Locomotives "compound" à 4 cylindres, actuellement les seules locomotives compound à 4 cylindres en service sur notre réseau sont les machines des types 8 et atlantic, à vapeur saturée, 8 bis et 33 à vapeur surchauffée, toutes de construction belge. Les deux mécanismes H.P. et B.P. sont à distributions indépendantes. Le dispositif de démarrage est du type français de la Compagnie du Nord. Le découplément des cylindres H.P. et B.P. ainsi que l'échappement direct des cylindres H.P. sont réalisés moyennant un système d'obturateurs à lanternes tournantes, commandées par un servo-moteur à air comprimé.

L'admission directe de la vapeur aux B.P. se fait par injection de vapeur vive, à pression réduite, dans la chapelle commune des cylindres B.P. constituant le receiver.

Les locomotives type atlantic ne conviennent que sur des lignes plates où elles permettent de réaliser de grandes vitesses, sous charge relativement élevée.

Les locomotives 8 et 8 bis peuvent être utilisées sur des lignes dont les rampes ne dépassent pas 10 m/m. En principe elles ne conviennent pas sur des lignes accidentées, à fortes variations de profil et offrant des rampes supérieures à 10 m/m. Leur utilisation rationnelle et économique est tout indiquée sur les lignes plates et faiblement accidentées de Bruxelles à Ostende et à Anvers, de Bruxelles à Liège et de Bruxelles à Mons.

Enfin, les locomotives du type 33, destinées au service à marchandises, sont transitoirement utilisées concurremment aux locomotives type 38 pour des services de banlieue et semi-directs sur les lignes parcourues par ces dernières.

C). Locomotives à surchauffe. La surchauffe permet d'augmenter notablement la température à laquelle il est possible de porter la vapeur sans dépasser les pressions de 14 à 16 atmosphères auxquelles on est limité dans la pratique par des dimensions et la résistance d'organes

ou de matériaux.

Théoriquement la surchauffe augmente le rendement de la machine puisqu'elle accentue l'écart des températures extrêmes entre lesquelles évolue la vapeur. Pratiquement cet accroissement de rendement est dû, en ordre principal, à la diminution, voire à la suppression, des condensations initiales dans les cylindres. La vapeur surchauffée jouit, en effet, de la propriété de pouvoir se refroidir jusqu'au voisinage de sa température de saturation sans se condenser.

Elle est appliquée actuellement aux locomotives à double expansion comme à celles à simple expansion. L'économie de combustible que son application procure, paraît atteindre 20% en moyenne dans les cas où la température de surchauffe est portée à 100° environ au-dessus de la température de saturation.

Mais l'emploi de la vapeur surchauffée n'évite pas seulement les condensations dans les cylindres : elle accroît encore sensiblement le volume de vapeur, la pression de celle-ci restant la même. Il en résulte que la production de la chaudière augmente, ainsi que la puissance de traction sous réserve de majoration correspondante du diamètre des cylindres.

Pour les mêmes raisons la surchauffe donne lieu à une économie notable de consommation d'eau, et celle-ci est plus élevée que l'économie de combustible. Or, la forte économie d'eau permet de choisir un tender plus petit. À capacité égale de soutes à eau, on peut parcourir des distances plus longues sans prise d'eau, ce qui est un avantage appréciable pour les locomotives-tenders.

Il est à remarquer que les chiffres d'économies de combustible et d'eau énoncés plus haut n'ont rien d'absolu. Il a été établi notamment, à la suite de nombreux essais effectués méthodiquement, que la surchauffe ne commence

à devenir économique qu'à partir d'une élévation de température de 50° au-dessus du point de saturation, et que, au delà de cet écart, l'économie croît rapidement. En d'autres termes, à timbre égal, l'économie devient d'autant plus sensible que le degré de surchauffe est plus élevé. De là résulte: qu'à égalité de température de vapeur surchauffée, l'économie devient plus appréciable aux timbres moins élevés parce que à ces derniers correspond une température de saturation plus basse et, par suite, un degré de surchauffe plus élevé (écart plus grand). Ainsi, par exemple, la surchauffe à 300°C donnera plus d'économie à la pression de 6 atm. (degré de surchauffe = $300^\circ\text{C} - 164^\circ\text{C} = 136^\circ\text{C}$) qu'à la pression de 12 atm. (degré de surchauffe = $300^\circ\text{C} - 191^\circ\text{C} = 109^\circ\text{C}$). Il y a lieu de conclure de là qu'à un timbre élevé doit correspondre une température de surchauffe élevée pour que la surchauffe devienne réellement économique. En outre le calcul démontre que la surchauffe est d'autant plus efficace que le degré d'admission est plus élevé.

Le graphique ci-contre donne une idée des économies en eau et en charbon que la surchauffe permet de réaliser à des degrés de surchauffe, à des timbres et à des degrés d'admission différents. Ces chiffres résultent toutefois de calculs purement théoriques et il est nécessaire, pour se faire une idée plus exacte de la valeur réelle de l'économie réalisée, de s'en rapporter aux résultats de nombreux essais de route et de ceux d'une expérience prolongée.

L'application de la surchauffe n'est cependant pas sans offrir certains inconvénients qui, en fin de compte, en réduisent le bénéfice:

1°) Il faut des huiles minérales (coûteuses) pouvant résister aux hautes températures ainsi que des métaux convenables

Combustible

Economies de combustible en % réalisées à égalité de travail avec la vapeur surchauffée à 250° par rapport à la vapeur saturée sèche.

Economies de combustible en % réalisées à égalité de travail avec la vapeur surchauffée à 350° par rapport à la vapeur saturée sèche

Admission

60%	12,30	10,57	9,07	7,77	6,64
40%	10,38	8,53	6,99	5,67	4,52
20%	7,00	5,07	3,48	2,10	0,90

17,39	18,06	18,79	19,66	20,69	22,17
16,19	16,94	17,83	19,09	20,40	22,17
15,51	13,01	13,80	14,73	16,02	17,39
12,32					

Niveau de comparaison des économies.

Température de la vapeur surchauffée à 250°

Température de la vapeur surchauffée à 350°

Degré de surchauffe

Degré de surchauffe

Pressions absolues en kgs. par cm²

151	164	174	183	191	197	191	183	174	164	151
5	7	9	11	13	15	13	11	9	7	5

Température de la vapeur saturée sèche.

Eau.

Economies d'eau en % réalisées à égalité de travail avec la vapeur surchauffée à 250° par rapport à la vapeur saturée sèche.

Economies d'eau en % réalisées à égalité de travail avec la vapeur surchauffée à 350° par rapport à la vapeur saturée sèche.

Admission

60%	18,56	16,26	14,35	12,69	11,20
40%	16,70	14,35	12,39	10,70	9,18
20%	13,55	11,11	9,08	7,32	5,74

26,44	27,78	28,22	29,31	30,44	32,27
25,62	26,59	27,70	29,04	30,78	32,27
24,76	22,80	23,81	25,97	26,35	28,11
21,92					

Niveau de comparaison des économies.

Température de la vapeur surchauffée à 250°

Température de la vapeur surchauffée à 350°

Degré de surchauffe

Degré de surchauffe

Pressions absolues en kgs. par cm²

151	164	174	183	191	197	191	183	174	164	151
5	7	9	11	13	15	13	11	9	7	5

Température de la vapeur saturée sèche.

et suffisamment résistants pour la construction des surchauffeurs et celle des boîtes à bourrages.

2°) L'emploi de la vapeur surchauffée exige une série de modifications constructives aux organes en contact avec elle, tels que les cylindres, les pistons, les bourrages, les robinets etc. Tous ces organes doivent être conçus en tenant compte des propriétés spéciales de la vapeur surchauffée (température élevée, fluidité plus grande). A cet égard, l'on peut considérer la température de 320° comme étant la plus rationnelle. Des surchauffes plus hautes sont, il est vrai, plus économiques au point de vue des consommations d'eau et de combustible, mais elles peuvent être préjudiciables à la bonne conservation des divers organes du moteur en contact avec la vapeur surchauffée (usures anormales et grippements dus à la carbonisation des huiles, fusion des garnitures de bourrages, etc.).

3°) Enfin la conduite des locomotives à surchauffe exige des précautions toutes spéciales; l'entretien de ces moteurs est plus assujettissant et plus coûteux que celui des locomotives à vapeur saturée.

Au point de vue exploitation, la surchauffe, comparée à la double expansion, offre sur celle-ci l'avantage d'une plus grande élasticité d'utilisation. Elle se prête, mieux que la double expansion, à toutes les exigences du service et s'adapte, avec de bons résultats, à n'importe quel régime de vitesse et de charges comme à n'importe quelle condition de remorque (lignes plates et lignes accidentées).

Notre effectif en service de locomotives à surchauffe comprend les types suivants:

1°) à 2 cylindres, simple expansion: types 32° - 35° - 18° - 18 bis
 15° - 37 - 38 de construction belge;

P8. S6. G8. G8¹. G10. T16. T14. T12, de construction allemande;

40, de construction américaine;

2°) à 3 cylindres, simple expansion: S10² et G12, de construction allemande.

3°) à 4 cylindres, simple expansion: 9. 10. 36, de construction belge; S10, de construction allemande.

4°) à 2 cylindres compound: néant.

5°) à 3 cylindres compound: néant.

6°) à 4 cylindres compound: 33 - 8 bis.

7°) à 4 cylindres Woolf: S10¹.

11. Véhicule. A. Chassis. Les longerons des locomotives du réseau B. P. sont, pour la plupart, du type dit en "tôle découpée". On reproche à ce genre de longeron les difficultés d'accès aux organes intérieurs (roues, boîtes, ressorts, etc). Avec les locomotives américaines (types 38. 22. 40) sont apparus, en Belgique, les longerons du type dit "en barres" ou "longerons américains". Non seulement ces longerons dégagent mieux la machine, mais en outre ils offrent un avantage de grande valeur quant au mode de fixation des cylindres. Ceux-ci, en effet, reposent alors sur les longerons, au lieu d'être appliqués latéralement, et dès lors les dislocations, si fréquentes et si onéreuses dans le cas de la fixation latérale, ne sont plus à craindre.

Un grand nombre de locomotives prussiennes (exemple: les locomotives S10. S10¹. S10²) possèdent des longerons mixtes obtenus par combinaison des deux systèmes: la partie arrière de ces longerons est en "tôle découpée", tandis que l'avant constitue un bout de longeron américain sur lequel viennent reposer les cylindres.

B. Essieux. Les différents essieux comprennent les essieux couplés et les essieux porteurs.

Le poids qui pèse sur les essieux couplés est le poids

adhérent. ainsi qu'il sera démontré par la suite, c'est du poids adhérent que dépend toute l'efficacité de l'effort de traction. Un effort élevé exige donc un poids adhérent élevé, que l'on obtient en couplant plusieurs essieux.

Parmi les essieux couplés, on distingue notamment les essieux moteurs. Dans nos plus récents types de locomotives l'on rencontre jusqu'à 5 essieux couplés, le nombre d'essieux moteurs ne dépassant jamais deux. Lorsque il y a 4 cylindres, c'est le plus souvent le premier essieu couplé qui est attaqué par les cylindres intérieurs, tandis que les cylindres extérieurs attaquent généralement le 2^e essieu (exemple: les locomotives type 8 - 8 bis - 10 - S10¹).

Quelquefois les 4 cylindres sont disposés en ligne et attaquent alors le même essieu (1^{er} essieu) (exemple: les locomotives type 9 - S10 et S9). Dans certaines locomotives à 3 cylindres le même essieu est également attaqué par les 3 cylindres (exemple: les locomotives S10² et une partie des locomotives G12).

Quant aux essieux porteurs, ils sont répartis à l'avant et à l'arrière de la machine, ou seulement à l'avant, ou seulement à l'arrière. A l'avant, ils peuvent être au nombre de un ou de deux. L'essieu porteur unique à l'avant peut être soit un "bissel" (exemple: la locomotive type 38), soit un essieu rayonnant (à boîtes radiales, exemple: la locomotive type 12), soit un porteur ordinaire (exemple: la locomotive type 1). Si le train porteur est formé d'un groupe de deux essieux, ceux-ci forment alors un "bogies" (exemple: les locomotives types 17 - 18 - 9 - 10 - atlantique - P8 - S10 - etc). Les mêmes dispositions peuvent se rencontrer à l'arrière.

exemple: les locomotives type 4 possèdent un essieu rayonnant à l'arrière;

" " type 22 " un bissel à l'arrière;

les locomotives type 13 possèdent un bogie à l'arrière.

Remarque. Dans les locomotives récentes, de forte puissance, le bissel tend à supplanter le bogie à l'avant, voire l'essieu porteur arrière. Exemples : les dernières locomotives "Mikado" du P.L.M., de l'Etat Belge (type 14 à 3 cylindres, type en projet) et des chemins de fer allemands (P 12 à 3 cylindres).

Empattement. On entend par empattement la distance entre les essieux extrêmes de la locomotive.

On peut, selon le cas, envisager :

a) l'empattement total de la locomotive y compris le tender ou distance du 1^{er} essieu de la locomotive au dernier essieu du tender. Cet empattement total détermine le diamètre des plaques tournantes nécessaires au virage ; pour notre effectif cet empattement ne dépasse en aucun cas 22 mètres, diamètre de nos plus grandes plaques tournantes.

b) l'empattement rigide de la locomotive seule, ou distance entre les essieux couplés extrêmes. La valeur de cet empattement est liée à la possibilité d'inscription en courbe. En égard à l'accroissement du nombre d'essieux couplés et par suite de la valeur de l'empattement rigide (valeur anciennement égale à 4,200 m. pour les locomotives type 25 par exemple, et portée actuellement à 5,941 m. pour les locomotives types 37 et 38, voire à 6 m. pour les locomotives G 10 et même à 9 m. pour les locomotives G 12) on adopte autant que possible, pour les voies de circulation dans les nouvelles remises, des courbes d'un rayon de 175 mètres au minimum.

Toutefois, dans nos anciennes remises, ce rayon descend souvent à 125 mètres et même en dessous, cas auquel la circulation dans les courbes d'aussi faible rayon doit se faire avec précaution et à faible vitesse.

c) la longueur de la locomotive seule, y compris les buttoirs.

Il est intéressant de connaître cette longueur au point de vue des dispositions à prendre pour le levage des machines en réparation.

d) la longueur totale de la locomotive et de son tender y compris les buttoirs. Cette longueur définit l'encombrement total de la machine en ordre de marche, notamment au point de vue du remisage.

c) Frein et accessoires. a) Machines belges. à l'exception de certaines de nos anciennes locomotives à marchandises types 25 - 28 - 29 qui n'ont d'autre frein que celui à main du tender, et des locomotives de manœuvres type 51 qui ont le frein à vapeur, toutes nos locomotives de construction belge sont équipées au frein Westinghouse automatique et continu. En outre, les locomotives types 38 - 37 et 33 sont pourvues du frein direct combiné au frein automatique.

b) Machines américaines. Les locomotives type 40 - 22 - 52, sont toutes équipées au frein Westinghouse n° 6 E. I. (automatique et direct combinés). Les machines type 50 ne possèdent que le frein à vapeur.

c) Machines allemandes. Sauf certaines machines des types G 5⁴ - G 7¹ - G 7² - G 8 - G 9 et G 10 qui ne possèdent que le frein à vapeur, toutes les locomotives allemandes sont équipées au frein automatique continu, soit du système Westinghouse, soit du système Knorr (modèle A ou B). Le frein Westinghouse ou le frein Knorr du modèle B sont généralement combinés au frein direct tandis que le frein Knorr du modèle A est combiné au robinet à 3 voies et à 4 positions.

D. Tenders. En principe tous les tenders possèdent le frein à main. Sauf quelques types anciens, tous possèdent en outre le frein automatique et continu Westinghouse ou Knorr combiné ou non avec le frein direct.

Capacité en eau et en charbon. Désignation des tenders d'après leur capacité, a) les tenders belges se désignent par un numéro de type qui leur est propre. Ainsi, on dira par exemple : tender type 6, tender type 15, etc.

La capacité en eau des tenders belges standardisés varie de 9.000 litres à 24.000 litres, et leur capacité de transport de combustible, de 3.600 kg à 9.850 kg.

Les capacités sont les suivantes :

Types de tenders	Eau en litres	Charbon en kg	Type de locomotive auquel ces tenders sont accouplés normalement.
6 62 63 64	9.000	3.600	2 - 25 - 28 - 29 - 25 bis
8	14.000	3.000	12 bis
11	18.000	5.450	17
12	13.000	7.000	30
14	18.000	5.450	18 - 18 bis - 18 ^a
15	13.000	7.000	32 - 32 ^a
16	21.000	6.000	35 - 35 ^a
17 et 17 bis	20.000	6.000	8 - 8 bis - 9 - 18 - 18 bis - 35 et all.
18	24.000	7.000	10 - 33 - 36 - 37 - 38.
20	21.000	9.850	40.

b) les tenders allemands se désignent par la lettre T précédée du nombre d'essieux et suivie de la capacité en eau exprimée en mètres cubes. Exemple : le tender 3.T.15 est un tender à 3 essieux et de 15 mètres cubes de capacité en eau. La capacité en eau des tenders allemands varie de 12 mètres cubes à 31,5 mètres cubes, et la capacité de transport de combustible de 5 tonnes à 7 tonnes.

Les capacités sont les suivantes :

Types de tender	Eau en litres	Charbon en kg.	Type de locomotive auquel les tenders sont normalement accouplés.
3 T 12	12.000	7.000	G5 ⁴ - G7 ¹⁻²⁻³ - G8 - G8 ¹ - S9.
3 T 16 1/2	16.500	7.000	G8 - G8 ¹ - G10 - G12
3 T 20	20.000	6.500	G12
4 T 16	16.000	5.000	G7 ¹⁻²⁻³
4 T 20	20.000	6.500	S6
4 T 21 1/2	21.500	5.000	S6 - P8
{ 4 T 30	30.000	6.500	} S10 - S10 ¹ - S10 ² - S9.
{ 4 T 31 1/2	31.500	7.000	

II. Classification des locomotives.

12. Dans l'établissement de la classification des locomotives on peut se placer aux points de vue suivants :

- A) agencement général;
- B) répartition du poids adhérent;
- C) nombre et disposition des essieux moteurs et porteurs;
- D) genre de service à assurer.

A). Classification au point de vue de l'agencement général. On distingue les locomotives à tender séparé, exclusivement réservées aux services de route et les locomotives-tenders utilisées soit aux services de manœuvres de gare (exemple : les locomotives type 22-23-51), soit à certains services de trains de banlieue ou de navette (exemple : les locomotives type 4-15-13), ou d'allège sur fortes rampes (exemple : la locomotive type T16).

B). Classification au point de vue du poids adhérent. Cette classification comprend les locomotives à adhérence partielle (locomotives dont tous les essieux ne sont pas couplés) (exemple : les locomotives type 9) et les locomotives à adhérence totale (locomotives dont tous les essieux sont couplés) (exemple : les locomotives type 25).

Les locomotives à adhérence partielle sont le plus souvent des locomotives à voyageurs et à grande vitesse, tandis que celles à adhérence totale conviennent plus spécialement aux services à marchandises, d'allège sur fortes rampes et de manœuvres. L'accouplement de tous les essieux assure à ces locomotives une adhérence plus grande et, partant, un effort de traction plus élevé, nécessaire pour enlever les fortes charges que comportent ces services.

C) Classification d'après le nombre d'essieux moteurs et porteurs et d'après leur disposition. La classification américaine désigne chaque type de locomotive par un nom conventionnel tiré du code télégraphique. Exemples: type atlantique, Pacific, Moqui, Prairie, etc.

La classification anglaise indique respectivement le nombre de roues porteuses à l'avant, - le nombre de roues couplées, - le nombre de roues porteuses à l'arrière. Cette classification a été adoptée à l'état Belge.

Ainsi, la locomotive type 9 (○○⊕⊕⊕) est désignée par: 4-6-0. La locomotive type 10 (○○⊕⊕⊕○) par 4-6-2, et ainsi de suite.

La classification fractionnaire classe les locomotives sous la forme d'une fraction dont le numérateur représente le nombre de paires de roues couplées et le dénominateur, le nombre total de paires de roues.

Ainsi, la locomotive type 9 serait classée sous la forme $\frac{3}{5}$, la locomotive type 10, sous la forme $\frac{3}{6}$. Ceci explique la désignation $S\frac{3}{5}$, $S\frac{3}{6}$ et $G\frac{4}{5}$ sous laquelle nous avons connu les locomotives bavaroises en service sur notre réseau au cours des premières années consécutives à l'armistice. La remarquer que cette méthode prête à confusion. (Exemple: ○○⊕⊕⊕ = $\frac{3}{5}$ de même que ○⊕⊕⊕○ = $\frac{3}{5}$).

La classification allemande est comparable à la classification anglaise mais elle se différencie de cette dernière quant à la manière de désigner les roues couplées. Dans la classification allemande les chiffres relatifs aux roues porteuses indiquent les nombres de paires de roues, et ceux relatifs aux nombres de roues couplées sont remplacés par les lettres et l'alphabet dont le rang correspond au nombre de paires de roues couplées. Ainsi, la locomotive type 9, serait désignée par 2-C, la locomotive type 10, par 2-C-1, la locomotive S 6 par 2-B, la locomotive atlantique ou S 9 par 2-B-1.

Nous donnons ci-dessous un tableau classant d'après ces différentes méthodes, les divers types de moteurs en service sur le réseau de l'Etat Belge:

Genre de trains porteurs	Figuration des roues couplées et porteuses.	Appellation américaine	Rotation anglaise	Rotation fractionnaire	Rotation allemande	Types de moteur
		réservee aux locomotives à tender indépendant.	adoptée à l'Etat Belge	Locomotives tchacoises	Locomotives prussiennes.	
à roues porteuses ou à bissel à l'avant seulement		—	2-4-0	$\frac{2}{3}$	1-B	1
		Masgul	2-6-0	$\frac{3}{4}$	1-C	T12-T9 ³ -P6-6-16
		consolidation	2-8-0	$\frac{4}{5}$	1-D	G5 ⁴ 37-38-33
		Décapod	2-10-0	$\frac{5}{6}$	1-E	36 (à bogie moto-porteur). G12.
à roues porteuses ou à bissel à l'avant et à l'arrière		Columbia	2-4-2	$\frac{2}{4}$	1-B-1	12
		Prairie	2-6-2	$\frac{3}{5}$	1-C-1	4-22
		Michado	2-8-2	$\frac{4}{6}$	1-D-1	14-T14.
à bogie à l'avant seulement		American	4-4-0	$\frac{2}{4}$	2-B	17-18-18 ^a -S6
		Gen Wheeler	4-6-0	$\frac{3}{5}$	2-C	8-8 ^{bis} -35-35 ^a -40-P8-S10-S10 ¹ -S10 ² .
à bogie à l'avant et à bissel ou roues porteuses à l'arrière		atlantique	4-4-2	$\frac{2}{5}$	2-B-1	atl.-S9-15-15 ^a .
		Pacifique	4-6-2	$\frac{3}{6}$	2-C-1	10
à bogie à l'avant et à l'arrière		Baltic	4-6-4	$\frac{3}{7}$	2-C-2	13-I 18.
à adhérence totale		—	0-4-0	$\frac{2}{2}$	0-B-0	50
		—	0-6-0	$\frac{3}{3}$	0-C-0	2-11-25-28-29-30-32-51-52.
		—	0-8-0	$\frac{4}{4}$	0-D-0	G7 ¹⁻² -G8-G8 ¹ -G9
		—	0-10-0	$\frac{5}{5}$	0-E-0	G10.

D. Classification d'après le service à assurer.

Les locomotives peuvent enfin se classer selon le genre des trains à remorquer ou la nature du service à assurer.

A ce point de vue il convient de distinguer:

a) Locomotives à tender séparé:

1°) les locomotives à voyageurs à grande vitesse (trains rapides, directs et internationaux). Ex: les locomotives type 10-14 (en projet) S10 - S10¹ - S10² - 8 - 8 bis - 9 - 18 - 18² - atlantic - S6 - S9;

2°) les locomotives à voyageurs pour trains ordinaires (semi-directs et banlieue). Ex: les locomotives type 2 - 35² - P8;

3°) les locomotives mixtes pour trains de voyageurs banlieue et trains de marchandises à marche accélérée. Ex: les locomotives type 28 - 30 - 32 - 32² - 33 - 35 - 37 - 38 - 40;

4°) les locomotives à marchandises proprement dites. Ex: les locomotives type 25 - 29 - G5⁴ - G7 - G8 - G8¹ - G9 - G10 - G12;

b) Locomotives-tenders:

5°) les locomotives de petite banlieue (et trains-navette comme par exemple les trains blanc Bruxelles - Anvers). Ex: les locomotives type 11 - 4 - 15 - 15² - T9³ - T12 pour la petite banlieue, la locomotive type 13 pour les trains-navette Bruxelles - Anvers;

6°) les locomotives d'allège sur fortes rampes. Ex: les locomotives type T16;

7°) les locomotives de manœuvres. Ex: les locomotives type 50 - 51 - 52 - 22 - T13 - 23.

Remarque. Une même catégorie de locomotives, soit à voyageurs, soit à marchandises, peut encore se subdiviser en plusieurs sous-catégories selon les difficultés du profil des lignes qu'elles ont à desservir; autrement dit, selon les conditions topographiques de la partie du pays qu'elles ont à traverser. A ce point de vue, notre réseau peut se partager en 3 régions caractéristiques, à savoir:

la Basse-Belgique (lignes plates) Ex: Bruxelles - Ostende;

Bruxelles - Anvers ;

la Moyenne - Belgique (lignes moyennement accidentées) profils à inclinaisons $i = 5$ à 7 mm. par mètre. Ex: Bruxelles - Liège, Bruxelles - Courtrai, Bruxelles - Tournai, Bruxelles - Mons.

la Haute - Belgique (lignes fortement accidentées $i = 7$ à 20 mm. par mètre et davantage. Ex: Bruxelles - Charleroi; Bruxelles - Arlon; Liège - Herbesthal.

Il faut donc des locomotives appropriées à chacune de ces trois catégories de profils. Cette considération justifie les distinctions qui il y a lieu de faire, par exemple, parmi nos locomotives à voyageurs à grande vitesse, ainsi que parmi nos locomotives à marchandises.

On peut observer notamment les groupements suivants :

a) Locomotives à voyageurs.

les locomotives type 10 et 14 à très forte puissance pour la ligne d'arlon.

les locomotives type 9 - 8 - 8 bis - S10 - S10¹ - S10² à forte puissance pour les lignes de Liège, Courtrai, Mons.

les locomotives type 18 - 18^s - atl. S9 - S6 à puissance moyenne pour les lignes d'Ostende et d'Anvers.

b) Locomotives à marchandises:

les locomotives type 36 et G12 à très forte puissance, pour la ligne d'arlon.

les locomotives type G8 - G8¹ - G9 - G10 (à forte puissance) pour nos lignes moyennement accidentées.

les locomotives type 25 - 28 - 29 - G5⁴ - G7² (de moyenne puissance) pour nos lignes plates ou faiblement accidentées.

Examinons maintenant les caractéristiques essentielles qui différentient les 7 catégories de machines reprises ci-dessus.

1°) Locomotives à voyageurs à grande vitesse

elles sont caractérisées par deux ou trois essieux couplés, à roues de grand diamètre (1 m. 800 à 2 m.). Le plus souvent elles ont un bogie à l'avant.

a) Les machines à grande vitesse de moyenne puissance, peuvent remorquer à grande vitesse des trains déjà assez lourds (400 T.) sur des lignes plates ou tout au plus faiblement accidentées; elles n'ont généralement que deux essieux couplés. Elles peuvent être à 2 ou à 4 cylindres.

Les locomotives à 2 cylindres n'ont évidemment qu'un essieu moteur sur les deux couplés.

En général, ce genre de machines est du type "américain", = 4-4-0. Ex :

Type	Vapeur	Cylindres	Essieux		Diamètre des roues couplées	Disposition des essieux
			couplés	moteurs		
18	sat.	2 ég. intér.	2	1	1,980	4-4-0
18bis	surch.	2 ég. intér.	2	1	1,980	4-4-0
18 ^a	surch.	2 ég. intér.	2	1	1,980	4-4-0
56	surch.	2 ég. ext.	2	1	2,100	4-4-0

Chez les machines à 4 cylindres, les deux essieux couplés sont généralement moteurs. Dans ce cas, la machine est le plus souvent à double expansion (compound ou woolf).

Normalement les cylindres extérieurs (généralement cylindres H.P.) attaquent le 2^e essieu, tandis que les cylindres intérieurs (B.P.) attaquent le 1^{er} essieu, sauf toutefois dans le cas de la locomotive à double expansion 59 dont les 2 cylindres H.P. et les 2 cylindres B.P. attaquent le même essieu (1^{er} essieu).

Ce genre de machines à 4 cylindres est du type "atlantique", = 4-4-2. Ex :

Type	Vapeur	Cyl. H.P.	Cyl. B.P.	Genre de détente	Distribution.	Essieux		Diamètre des roues couplées	Disposition des essieux.
						couplés	moteurs		
atl.	sat.	2 ext.	2 int.	Compound	de Ghehn	2	2	1,980	4-4-2
59	sat.	2 ext.	2 int.	Woolf	V. Borriss	2	1	1,980	4-4-2
57	sat.	2 ext.	2 int.	Compound	de Ghehn	2	2	1,980	4-4-2

b) les locomotives à grande vitesse et à forte puissance, destinées à remorquer, à grande vitesse, des trains lourds sur des lignes moyennement accidentées, possèdent, dans tous les cas, 3 essieux couplés. Elles sont généralement du type "Ben Wheeler", et plus rarement du type "Pacific". Elles

ont le plus souvent 4 cylindres, et plus rarement 3.

Chez machines à 4 cylindres et à 3 essieux couplés, il y a généralement deux essieux moteurs. Les cylindres intérieurs attaquent le 1^{er} essieu et les cylindres extérieurs, le 2^e essieu. Les 4 cylindres peuvent être égaux ou à double expansion (compound ou woolf). Dans ce dernier cas les cylindres B.P., généralement intérieurs, attaquent le 1^{er} essieu, tandis que les cylindres H.P., extérieurs, attaquent le 2^e essieu. Ex:

Type	Vapeur	Cylindres		Genre de détente	Distribution	Essieux		Diamètre roues couplées	Disposition des essieux
		H.P.	B.P.			couplés	moteurs		
8	saturée	2 ext.	2 int.	Compound	de Ghehn	3	2	1,800	4-6-0
8 bis	surch.	2 ext.	2 int.	Compound	de Ghehn	3	2	1,800	4-6-0
S 10 ¹	surch.	2 ext.	2 int.	Woolf	—	3	2	1,980	4-6-0

Exceptionnellement, 4 cylindres égaux peuvent attaquer le même essieu (1^{er} essieu); ex:

Type	Vapeur	4 cylindres égaux		Essieux		Diamètre des roues couplées	Disposition des essieux
		ext.	int.	couplés	moteurs		
9	surch.	2	2	3	1	1,980	4-6-0
S 10	surch.	2	2	3	1	1,980	4-6-0

Dans le cas de 3 cylindres, il y a obligatoirement 2 cylindres extérieurs et 1 cylindre intérieur. Les 3 cylindres sont égaux (la double expansion ayant été abandonnée pour les locomotives à 3 cylindres). A noter que la tendance actuelle est très en faveur des 3 cylindres égaux. Ex:

Type	Vapeur	3 cylindres égaux		Essieux		Diamètre des roues couplées	Disposition des essieux
		ext.	int.	couplés	moteurs		
S 10 ²	surch.	2	1	3	1	1,980	4-6-0

c) les locomotives à grande vitesse et à très forte puissance, destinées à remorquer à grande vitesse des trains relativement lourds sur des lignes à fortes rampes, sont le plus souvent du type "pacifique", en raison de la nécessité de pouvoir disposer d'une grande surface de grille indispensable à l'obtention d'une puissance élevée. Exemple: la locomotive type 10 (4-6-2) à 4 cylindres égaux à surchauffe, dont les 2 intérieurs attaquent le 1^{er} essieu

et les 2 extérieurs, le 2^e essieu. Cette machine possède ainsi 2 essieux moteurs sur les 3 couplés. En présence des exigences toujours croissantes des services d'exploitation, exigences qui se traduisent par un accroissement continu de la charge des trains, les services de traction en sont arrivés aujourd'hui à devoir recourir à un type encore plus puissant: le type Mikado (2-8-2) à 4 essieux couplés. On peut arriver ainsi à un poids adhérent de $4 \times 22 = 88$ tonnes (et même davantage) qui laisse loin derrière lui les 57 tonnes de poids adhérent de la locomotive type 10 considérée, encore récemment et à juste titre comme la type "pacifique" la plus forte du continent. C'est ainsi que l'Etat Belge envisage la construction de la machine type 14 "Mikado" à 3 cylindres égaux et à surchauffe, à roues de 1m.700 et à 88 tonnes de poids adhérent, capable de remorquer à allure accélérée, des trains internationaux de 500 tonnes sur la ligne du Luxembourg, alors que le type 10 ne peut enlever sur cette ligne que 350 tonnes à allure plus modérée. Citons, dans le même ordre d'idées, les récentes locomotives "Mikado" à 4 cylindres du P.L.M. et les locomotives P12 prussiennes à 3 cylindres.

2^o) Locomotives à voyageurs pour trains ordinaires.

En principe ces locomotives possèdent des roues plus petites que les locomotives à grande vitesse (ce qui, toutes choses égales, augmente l'effort de traction nécessaire en égard aux charges quelquefois élevées des trains à voyageurs ordinaires et aux profils plus ou moins accidentés des lignes diverses qu'elles ont à desservir). C'est ainsi que le diamètre des roues couplées des locomotives à voyageurs ordinaires est d'habitude compris entre 1m.700 et 1m.800. Elles possèdent, en règle générale, trois essieux couplés (question d'adhérence).

Exemples:

Types	Vapeur	Cylindres	Essieux		Diamètre des roues couplées	Disposition des essieux
			couplés	moteurs		
2 à adhés. totale	saturée	2 intér.	3	1	1 m 700	0-6-0
35 ^o à bogie	surch.	2 intér.	3	1	1 m 700	4-6-0
P.8 à bogie	surch.	2 extér.	3	1	1 m 750	4-6-0

On peut remarquer que parmi les locomotives allemandes par exemple, certaines machines à voyageurs ordinaires (machines de la catégorie P) dérivent de certaines machines à grande vitesse (machines de la catégorie S) dont elles présentent d'ailleurs le même indice de catégorie. Exe :

Locomotives à voyageurs à grande vitesse (désignées par la lettre S)	Locomotives à voyageurs ordinaires (désignées par la lettre P)
S6: 2 cylindres égaux 2 essieux couplés Roues de 2 m. 100	P6: 2 cylindres égaux. 3 essieux couplés Roues de 1 m. 600
S7: 4 cylindres compound 2 essieux couplés Roues de 1 m. 980	P7: 4 cylindres compound 3 essieux couplés Roues de 1 m. 750

La locomotive P8 fait partie de l'effectif "standardisé" de notre réseau; on peut la considérer par excellence comme le prototype de la locomotive pour trains ordinaires à voyageurs. Elle convient sur toutes les lignes et se prête remarquablement à tous les services.

Parmi l'effectif belge, on peut citer la locomotive type 35^o à roues de 1 m. 700 à 2 cylindres égaux et à 3 essieux couplés comme réalisant le type se rapprochant le plus de la locomotive P8. Avant la guerre d'ailleurs, la locomotive type 35^o constituait le type caractéristique de la forte machine à voyageurs ordinaire et était utilisée un peu partout sur nos diverses lignes, comme l'est actuellement la locomotive P8.

3^o) Locomotives mixtes. ces machines comportent toujours

3 à 4 essieux couplés, à roues de 1m. 450 à 1m. 700 de diamètre. Ce type de locomotives tient à la fois de la machine à voyageurs et de la machine à marchandises. Exe:

Type	Vapeur	Cylindres	Essieux		Diamètre des roues couplées	Disposition des essieux
			couplés	moteurs		
28 à adhér. totale	sat.	2 intér. égaux	3	1	1, 450	0 - 6 - 0
30 à adhér. totale	sat.	2 intér. égaux	3	1	1, 520	0 - 6 - 0
32 à adhér. totale	sat.	2 intér. égaux	3	1	1, 520	0 - 6 - 0
32 ^s à adhér. totale	surch.	2 intér. égaux	3	1	1, 520	0 - 6 - 0
33 à bissel	surch.	2HP ext. - 2BP int.	4	2	1, 520	2 - 8 - 0
35 à bogie	sat.	2 intér. égaux	3	1	1, 600	4 - 6 - 0
37 à bissel	surch.	2 extér. égaux	4	1	1, 520	2 - 8 - 0
38 à bissel	surch.	2 extér. égaux	4	1	1, 520	2 - 8 - 0
40 à bogie	surch.	2 extér. égaux	3	1	1, 575	4 - 6 - 0

40) Locomotives à marchandises . Ses machines à marchandises possèdent en règle générale un plus grand nombre d'essieux couplés que les locomotives à voyageurs mixtes, et le diamètre de leurs roues couplées est plus petit. Ce sont ici l'adhérence et l'effort de traction disponible qui doivent jouer un rôle prépondérant, ce qui explique le grand nombre d'essieux couplés et le faible diamètre des roues couplées. Ce diamètre varie de 1m. 250 à 1m 450 et les essieux couplés sont au nombre de 3, 4 ou 5 selon que la remorque doit se faire en plaine, en pays moyennement accidenté, ou sur fortes rampes.

Exemples

Signes	Type	Vapeur	Cylindres	Essieux		Diamètre des roues couplées	Disposition des essieux.
				coupl.	mot.		
plates	25	sat	2 int. égaux	3	1	1m. 300	0 - 6 - 0
	29	sat	2 int. égaux	3	1	1m. 300	0 - 6 - 0
	G5 ⁴	sat	2 extér. compound	3	1	1m. 350	2 - 6 - 0

Signes	Type	Vapeur	Cylindres	Essieux		Diamètre des roues coupl.	Disposition des essieux.
				coupl.	mot.		
moyennement accidentées.	G 7 ²	sat.	2 extér. compound	4	1	1 m. 250	0 - 8 - 0
	G 8	surch.	2 extér. égaux	4	1	1 m. 350	0 - 8 - 0
	G 8 ¹	surch.	2 extér. égaux	4	1	1 m. 350	0 - 8 - 0
	G 9	sat.	2 extér. égaux	4	1	1 m. 250	0 - 8 - 0
	G 10	surch.	2 extér. égaux	4	1	1 m. 400	0 - 10 - 0
fortement accidentées.	36	surch.	4 { 2 extér. égaux 2 int. égaux	5	2	1 m. 450	2 - 10 - 0
	G 12	surch.	3 { 2 extér. égaux 1 int. égaux	5	1 ou 2	1 m. 400	2 - 10 - 0
	T 14	surch.	2 extér. égaux	4	1	1 m. 350	2 - 8 - 2

5° Locomotives de petite banlieue, (trains omnibus et navettes)

Ce sont le plus souvent des machines-tenders, à forte, moyenne ou faible puissance. Elles sont agencées pour circuler dans les deux sens. Elles possèdent 2 ou 3 essieux couplés. Exe :

Puissance	Types	Vapeur	Cylindres	Essieux		Diamètre des roues coupl.	Disposition des essieux.
				coupl.	mot.		
faible	11	sat.	2 extér. égaux	3	1	1 m. 200	0 - 6 - 0
moyenne	4	sat.	2 int. égaux	3	1	1 m. 700	2 - 6 - 2
moyenne	15	sat.	2 int. égaux	2	1	1 m. 800	4 - 4 - 2
moyenne	15 ²	surch.	2 int. égaux	2	1	1 m. 800	4 - 4 - 2
moyenne	T 12	surch.	2 extér. égaux	3	1	1 m. 500	2 - 6 - 0
moyenne	T 9 ³	sat.	2 extér. égaux	3	1	1 m. 350	2 - 6 - 0
forte	13	surch.	4 { 2 int. égaux 2 extér. égaux	3	1	1 m. 800	4 - 6 - 4

On peut remarquer que la plupart du temps les machines-tenders pour petite banlieue ou pour trains-navettes (train-bloc Bruxelles-Anvers) dérivent d'un type déterminé de locomotives à voyageurs avec réduction du diamètre des roues couplées et éventuellement, adjonction d'un train porteur à l'arrière, ou à l'avant, ou à l'avant et à l'arrière. C'est ainsi que l'on observera que : les locomotives type 4-15-15²-13-T 12 dérivent respectivement des locomotives type ----- 2-17-18-9-P 6

6° Locomotives d'allège pour fortes rampes. Ces locomotives se réduisent généralement à un ou tout au plus à deux modèles-

Type	Note	Nombre de cylindres	C = compound W = woolf S = surchauffe	Cylindres				Diamètre des roues	Chaudière.						
				H. P.		B. P.			Zimbre	Surf. de chauffe	Surf. de grille	Surf. de surch.	Rapport $\frac{S}{g}$	Rapport $\frac{S'}{g}$	
				diamètre	course	diamètre	course								m.
m/m.	m/m.	m/m.	m/m.	m.	kg/cm ²	S m ²	g m ²	S' m ²	$\frac{S}{g}$	$\frac{S'}{g}$					
I Locomotives à voyageurs à grande vitesse pour lignes fortement accidentées.															
10	4-6-2	4	-	S	500	660	-	-	1,980	14	{ 240,00 239,59	{ 5 4,58	62	{ 48 52	{ 0,257 0,258
14	2-8-2	3	-	S	610	670	-	-	1,700	14	297,80	5	110	59,6	0,37
II Locomotives à voyageurs à grande vitesse pour lignes moyennement accidentées.															
8	4-6-0	4	C	-	360	640	600	640	1,800	16	{ 232,98 160,73	3,08	-	{ 72 48	-
8 ^{bis}	4-6-0	4	C	S	400	640	600	640	1,800	16	159,96	3,08	54,83	52	0,343
9	4-6-0	4	-	S	445	640	-	-	1,980	14	155,31	3,13	37,80	49,5	0,243
S10	4-6-0	4	-	S	430	660	-	-	1,980	14	153,09	2,82	61,50	53,25	0,40
S10 ¹	4-6-0	4	W	S	400	660	610	660	1,980	15	164,68	3,12	58,50	52,80	0,353
S10 ²	4-6-0	3	-	S	500	630	-	-	1,980	14	153,09	2,82	61,50	53,25	0,40
III. Locomotives à voyageurs à grande vitesse pour lignes plates.															
all.	4-4-2	4	C	-	360	640	600	640	1,980	16	232,98	3,08	-	72	-
17	4-4-0	2	-	-	482,5	660	-	-	1,980	12,5	126,48	1,92	-	66	-
18	4-4-0	2	-	-	500	660	-	-	1,980	13,5	127,62	2,07	-	61,5	-
18 ^B	4-4-0	2	-	S	500	660	-	-	1,980	13,5	109,81	2,07	26,85	53	0,245
18 ^A	4-4-0	2	-	S	500	660	-	-	1,980	13,5	102,11	2,07	24,51	49,5	0,240
S6	4-4-0	2	-	S	550	630	-	-	2,100	12	136,89	2,29	40,32	59,8	0,295
S9	4-4-2	4	W	-	380	600	-	-	1,980	14	229,71	4	-	57	-
IV Locomotives à voyageurs pour trains ordinaires (semi-directs et banlieues)															
35 ^D	4-6-0	2	-	S	520	660	-	-	1,700	14,5	144,96	2,84	33,10	51,1	0,228
P8	4-6-0	2	-	S	575	630	-	-	1,750	12	149,36	2,62	58,90	57	0,396
2	0-6-0	2	-	-	450	600	-	-	1,700	{ 8,5 9,5	109,38	2,76	-	39,7	-

Type	Poids adhérents total (en ordre de marche) tonnes	adhérence: 0,18 x poids adhérent). kg	Effort de traction calculé kg.	Poids total à vide kg	Longueur totale hors buttoirs		Empattement entre roues extrêmes		Empattement rigide	Tenders accouplés normalement.		
					m.		m.			Type	capacité en eau litres	combustible tonnes.
					Locom.	Loc.+tend	Locom.	Loc.+tend				
I Locomotives à voyageurs à grande vitesse pour lignes fortement accidentées.												
10	57/102	10.260	15.166	{ 92.000 88.000	14,391	21,494	11,425	17,884	4,100	18	24.000	7
14	88/118	—	—	—	—	—	—	—	—	4T 31.5	31.500	7
II Locomotives à voyageurs à grande vitesse pour lignes moyennement accidentées.												
8	56/76	10.080	9.800	69.450	12,031	18,764	8,200	15,496	4,100	17	20.000	6
8 ^{bis}	60/83	10.800	10.900	76.532	12,031	18,764	8,800	15,474	4,750	17	20.000	6
9	53/81	9.540	11.650	74.000	11,626	18,369	8,710	15,059	4,460	17	20.000	6
S10	52/80	9.360	8.236	73.270	12,000	19,390	9,100	16,405	4,700	4T 31.5	31.500	7
S10 ¹	52/84	9.360	8.400	77.650	12,160	19,550	9,100	16,515	4,700	4T 31.5	31.500	7
S10 ²	52/80	9.360	8.352	73.730	{ 12,450 12,250	{ 20,950 21,200	9,150	17,470	4,700	4T 31.5	31.500	7
III Locomotives à voyageurs à grande vitesse pour lignes plates.												
atl.	37/75	6.660	8.860	68.103	12,031	18,764	8,640	15,459	2,090	17	20.000	6
17	35/52	6.300	6.308	47.725	9,600	17,632	7,035	14,872	2,743	11	18.000	5,450
18	36/53	6.480	6.755	48.800	9,874	17,906	7,162	15,342	2,895	14	18.000	5,450
18 ^{bis}	37/56	6.660	7.260	54.000	10,628	18,660	7,645	14,056	2,895	17 ^{bis}	20.000	6
18 ^o	36/56	6.480	7.260	48.800	9,874	17,906	7,162	15,342	2,895	14	18.000	5,450
S6	35/61	6.300	8.200	56.000	10,950	18,350	8,000	15,100	3,000	4T 21.5	21.500	5
S9	33/74	5.940	7.150	68.400	13,110	20,510	10,750	17,350	2,300	4T 21.5	21.500	5
IV Locomotives à voyageurs pour trains ordinaires (semi-directs et banlieues).												
35 ^o	51/71	9.180	9.900	63.530	10,876	17,979	7,900	14,569	3,800	16	21.000	6
P8	50/75	9.000	7.500	69.180	11,200	18,600	8,350	15,500	4,580	4T 21.5	21.500	5
2	34/34	6.120	3.839	35.500	9,338	15,618	4,000	11,203	4,000	6 ³ -6 ⁴	9.000	3,600

Type	Position	Nombre de cylindres	G = compound	W = wool	Cylindres				Diamètre des roues	Chaudière					
					H. P.		B. P.			Cimbre	Surf. de chauffe	Surf. de grille	Surf. de surch.	Rapport $\frac{S}{g}$	Rapport $\frac{S'}{S}$
					diamètre	course	diamètre	course							
m/m.	m/m.	m/m.	m/m.	m.	kg/cm ²	S m ²	g m ²	S' m ²	$\frac{S}{g}$	$\frac{S'}{S}$					
<u>Locomotives mixtes</u>															
28	0-6-0	2	—	—	450	600	—	—	1,450	{ 8,5 9,5	109,383	2,7667	—	39,7	—
30	0-6-0	2	—	—	457	660	—	—	1,520	12,5	104,2948	2,5235	—	41,4	—
32	0-6-0	2	—	—	470	660	—	—	1,520	13	115,42	2,5235	—	45,8	—
32°	0-6-0	2	—	∅	500	660	—	—	1,520	13,5	96,13	2,5235	21,51	38,15	0,224
33	2-8-0	4	c	∅	420	660	600	660	1,520	16	179,30	3,24	59,50	55,3	0,332
35°	4-6-0	2	—	∅	520	660	—	—	1,600	14,5	144,96	2,84	33,10	51,1	0,228
37	2-8-0	2	—	∅	610	711	—	—	1,520	14	178,73	3,26	51,60	55	0,228
38	2-8-0	2	—	∅	610	711	—	—	1,520	14	172,20	3,73	56,10	46,1	0,325
40	4-6-0	2	—	∅	483	660	—	—	1,575	13,36	146,58	2,71	42,49	54	0,290
<u>Locomotives à marchandises pour lignes plates.</u>															
25	0-6-0	2	—	—	500	600	—	—	1,300	10,5	120,6860	5,149	—	23,75	—
29	0-6-0	2	—	—	450	600	—	—	1,300	9,5	109,383	2,7667	—	39,7	—
G5 ⁴	2-6-0	2	W	—	500	630	750	630	1,350	12	133,44	2,25	—	59	—
<u>Locomotives à marchandises pour lignes à moyennes inclinaisons.</u>															
G7 ²	0-8-0	2	W	—	530	630	750	630	1,250	12	138,99	2,25	—	62	—
G8	0-8-0	2	—	∅	600	660	—	—	1,350	12	137,52	2,39	40,40	58	0,294
G8 ¹	0-8-0	2	—	∅	600	660	—	—	1,350	14	144,42	2,63	51,58	55	0,359
G9	0-8-0	2	—	—	550	630	—	—	1,250	12	197,578	3,053	—	64	—
G10	0-10-0	2	—	∅	630	660	—	—	1,400	12	149,64	2,62	53	57	0,350
<u>Locomotives à marchandises pour lignes à fortes rampes.</u>															
36	2-10-0	4	—	∅	500	660	—	—	1,450	14	238,95	5,10	62	47	0,260
G12	2-10-0	3	—	∅	{ 560 570	{ 660 660	—	—	{ 1,400 1,000	14	{ 214,34 194,96	{ 3,25 3,90	{ 79 68,42	{ 66 50	{ 0,368 0,350
T14	2-8-2	2	—	∅	600	660	—	—	1,350	12	133,64	2,50	51,47	53	0,38

Type	Bois adhérent/Bois total (en ordre de marche) tonnes	adhérence: 0,18 x (poids adhérent). kg	Effort de traction calculé. kg	Bois total à vide kg	Longueur totale hors buttoirs		Empattement entre roues extrêmes		Empattement rigide	Tenders accouplés normalement		
					Locom. m.	Loc + tend. m.	Locom. m.	Loc + tend. m.		Type	capacité en eau litres	combustible tonnes
<u>Locomotives mixtes</u>												
28	36/36	6.480	{ 4.490 5.050	32.100	9,338	15,618	4,000	11,203	4,000	6	9.000	3,6
30	46/46	8.280	7.294	42.300	9,2095	16,3135	4,572	12,188	4,572	12	13.000	7
32	49,5/49,5	8.910	8.363	43.800	9,2095	15,3145	4,572	12,188	4,572	15	13.000	7
32°	52,2/52,2	9.360	9.450	48.400	9,460	15,565	4,572	12,188	4,572	15	13.000	7
33	85/75	13.500	14.050	81.576	12,434	19,537	8,560	16,029	5,960	18	24.000	7
35°	70/51	9.180	9.900	64.860	10,876	17,609	7,900	14,569	5,920	17	20.000	6
37	90/78	14.040	15.840	82.540	12,456	19,559	8,561	16,142	5,961	18	24.000	7
38	85/75	13.500	15.840	76.810	12,073	19,176	8,472	16,162	5,881	18	24.000	7
40	64/48	8.640	8.500	57.200	10,966	19,160	7,544	16,545	4,064	20	21.000	9,84
<u>Locomotives à marchandises pour lignes plates.</u>												
25	47/47	8.460	7.875	42.360	9,400	16,220	4,200	11,200	4,200	6	9.000	3,60
29	38/38	6.840	5.648	34.600	9,338	16,178	4,000	11,203	4,200	6	9.000	3,60
G54	54/43	7.740	9.550	48.050	9,818	16,168	6,000	12,626	3,300	3 T 12	12.000	7
<u>Locomotives à marchandises pour lignes à moyennes inclinaisons.</u>												
G72	53/53	9.540	10.200	47.400	10,270	16,620	4,500	11,775	4,500	3 T 12	12.000	7
G8	56/56	10.080	10.600	50.970	10,558	17,968	4,500	12,948	4,500	{ 3 T 12 3 T 16,5	{ 12.000 16.500	{ 7 7
G81	68/68	12.240	11.060	61.920	10,880	18,290	4,700	13,155	4,700	3 T 16,5	16.500	7
G9	60/60	10.800	11.000	52.150	10,408	16,958	4,500	11,775	4,500	3 T 12	12.000	7
G10	69/69	12.420	11.200	62.605	11,500	18,910	6,000	14,050	6,000	3 T 16,5	16.500	7
<u>Locomotives à marchandises pour lignes à fortes rampes.</u>												
36	107/91	16.380	20.700	98.800	13,041	20,144	10,115	16,834	7,615	18	24.000	7
G12	93/80	14.400	17.700	85.000	12,950	20,340	9,000	17,345	6,200	4 T 21,5	21.500	5
T14	94/63	11.340	10.000	73.130	13,800	—	9,300	—	4,500	(Locomotive tender)	11.000	4

Type	N ^o de cylindres	C = compound W = woolf S = surchauffe	Cylindres				Diamètre des roues m.	Chaudière							
			H.P.		B.P.			Poids	Surf. de chauffe	Surf. de grille	Surf. de surch.	Rapport $\frac{S}{g}$	Rapport $\frac{S'}{S}$		
			diamètre m/m.	course m/m.	diamètre m/m.	course m/m.								kg/cm ²	S m ²
<u>Locomotives de petite banlieue, faible puissance.</u>															
11	0-6-0	2	—	—	350	500	—	—	1,200	11,5	52,939	2,0647	—	25,6	—
<u>Locomotives de petite banlieue, moyenne puissance</u>															
4	2-6-2	2	—	—	450	600	—	—	1,700	{ 8,5 9,5	109,38	2,76	—	39,7	—
15	4-4-2	2	—	—	{ 430 440	610	—	—	1,800	12,5	97,22	2,5235	—	52,5	—
15 ^o	4-4-2	2	—	o	470	610	—	—	1,800	12,5	80,87	2,52	16,98	32	0,210
T9 ³	2-6-0	2	—	—	450	630	—	—	1,350	12	107,20	1,53	—	70	—
Ti2	2-6-0	2	—	o	540	630	—	—	1,500	12	107,81	1,73	33,40	62	0,31
<u>Locomotives pour trains-navettes (trains-blac Bruxelles-Anvers).</u>															
13	4-6-4	4	—	o	420	640	—	—	1,800	12	139,62	3,15	30,15	44,2	0,215
<u>Locomotives d'allège. (plans inclinés de Liège).</u>															
T16	0-10-0	2	—	o	610	660	—	—	1,350	12	137,046	2,25	41,40	61	0,302
<u>Locomotives de manœuvre. (faible puissance).</u>															
50	0-4-0	2	—	—	355,5	558,8	—	—	1,067	12,65	70,14	1,26	—	37	—
<u>Locomotives de manœuvre. (moyenne puissance).</u>															
51	0-6-0	2	—	—	380	460	—	—	1,200	8,50	61,4229	1,450	—	42	—
52	0-6-0	2	—	—	406,4	609,6	—	—	1,219	13,36	79,38	1,46	—	54,5	—
<u>Locomotives de manœuvre. (forte puissance).</u>															
22	2-6-2	2	—	—	432	610	—	—	1,118	12,63	147,44	1,41	—	104	—
T13	0-8-0	2	—	—	500	600	—	—	1,250	12	116,40	1,73	—	67,20	—
23	0-8-0	2	—	—	480	600	—	—	1,262	12	125,40	2,237	—	56,20	—

Type	Poids adhérent/ Poids total (en ordre de marche) tonnes	Adhérence: 0,18 x (poids adhérent). kg	Effort de traction calculé kg	Poids total à vide kg	Longueur totale hors buttoirs locom. m.	Empatement entre roues extrêmes locom. m.	Empatement rigide	Capacité	
								des soutes à eau litres	des soutes à charbon kg
<u>Locomotives de petite banlieue, faible puissance.</u>									
11	34/34	6.120	3.768	27.280	8,227	4,000	4,000	4.000	1.200
<u>Locomotives de petite banlieue, moyenne puissance.</u>									
4	59/38	6.840	4.318	46.000	12,030	8,400	4,000	9.794	1.700
15	64/30	5.400	5.042	52.000	11,821	8,551	2,650	} 5.000 6.500	} 2.000
15 ^o	69/35	6.300	6.010	57.250	11,939	8,551	2,650		
T 9 ³	61/46	8.280	6.800	47.200	10,700	6,000	3,300	7.000	2.000
T 12	64/50	9.100	8.500	51.480	11,800	6,350	3,850	6.000	3.000
<u>Locomotives pour trains-navettes (trains-bloc Bruxelles - Anvers)</u>									
13	117/56	10.080	9.784	89.000	16,078	12,710	3,900	14.000	6.000
<u>Locomotives d'allège (plans inclinés de Siège).</u>									
T 16	76/76	13.680	10.900	61.500	12,500	5,800	5,800	7.000	2.000
<u>Locomotives de manœuvre (faible puissance)</u>									
50	31/31	5.580	5.500	26.726	8,229	2,134	2,134	4.544	907
<u>Locomotives de manœuvre (moyenne puissance)</u>									
51	35/35	6.300	2.970	27.200	7,750	3,100	3,100	4.000	1.350
52	38/38	6.840	7.180	29.112	9,007	2,972	2,972	4.544	1.524
<u>Locomotives de manœuvre (forte puissance)</u>									
22	61/46	8.280	8.400	45.476	11,049	8,077	3,048	9.467	2.495
T 13	61/61	10.980	7.750	46.640	11,100	5,275	5,275	7.000	2.500
23	66/66	11.880	8.821	51.260	10,418	4,300	4,300	7.000	3.000

types différents. La locomotive d'allège classique, pour la desserte des "plans inclinés", est la machine-tender à effort de traction élevé, à adhérence totale et à grand nombre de roues couplées, de faible diamètre. Exemple, la locomotive-tender type T 16, à 5 essieux couplés, à adhérence totale (72 t) et à roues de 1 m. 350 de diamètre, utilisée à la desserte du "plan incliné" de Liège ($i = 30$ m/m par mètre).

7°) Locomotives de manoeuvres. Utilisées seulement dans les gares de triage et de formation, ainsi que dans les stations à voyageurs pour y effectuer des manoeuvres, ces locomotives n'ont à faire aucune vitesse, mais sont appelées à déplacer fréquemment des charges qui peuvent être assez fortes et à pousser des rames relativement lourdes sur des dos d'âne. En principe, les locomotives de manoeuvres doivent par conséquent pouvoir développer un effort de traction relativement élevé. Elles doivent en outre être spécialement étudiées pour ce genre de service, en égard aux conditions de ravitaillement et à la nécessité d'une desserte aisée dans les deux sens. C'est ainsi que les locomotives de manoeuvres sont, de par leur essence, des machines-tenders à plusieurs essieux couplés, le plus souvent à adhérence totale, et à roues de petit diamètre (de 1 m. à 1 m. 250).

On peut encore distinguer ici, selon la nature des manoeuvres à effectuer et selon la disposition des lieux, trois catégories : les machines de manoeuvres à faible puissance, (2 essieux couplés), celles à puissance moyenne (3 essieux couplés) et celles à forte puissance (3 à 4 essieux couplés et plus).

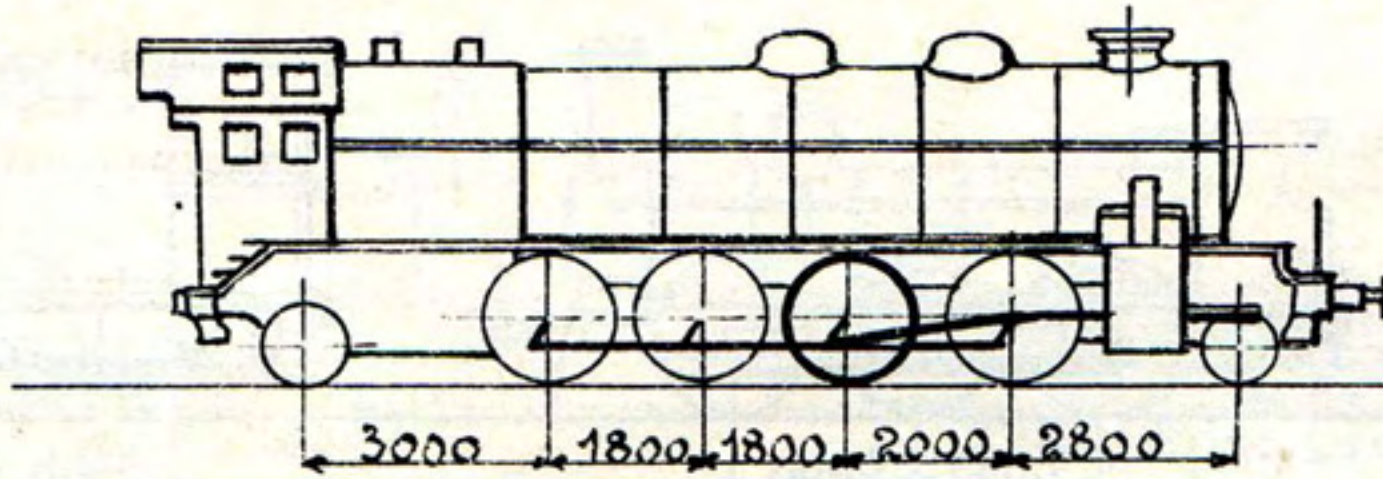
Enfin, les locomotives de manoeuvres n'ont que 2 cylindres et ne sont ni compound, ni à surchauffe. Ex :

Puissance	Type	Cylindres	Essieux		Diamètre des roues coupl.	Disposition des essieux.
			coupl.	mot.		
faible	50	2 ext. égaux	2	1	1 m. 067	0 - 4 - 0
moyenne moyenne	51	2 intér. égaux	3	1	1 m. 200	0 - 6 - 0
	52	2 ext. égaux	3	1	1 m. 219	0 - 6 - 0
forte forte forte	22	2 ext. égaux	3	1	1 m. 118	2 - 6 - 2
	T 13	2 ext. égaux	4	1	1 m. 250	0 - 8 - 0
	23	2 ext. égaux	4	1	1 m. 262	0 - 8 - 0

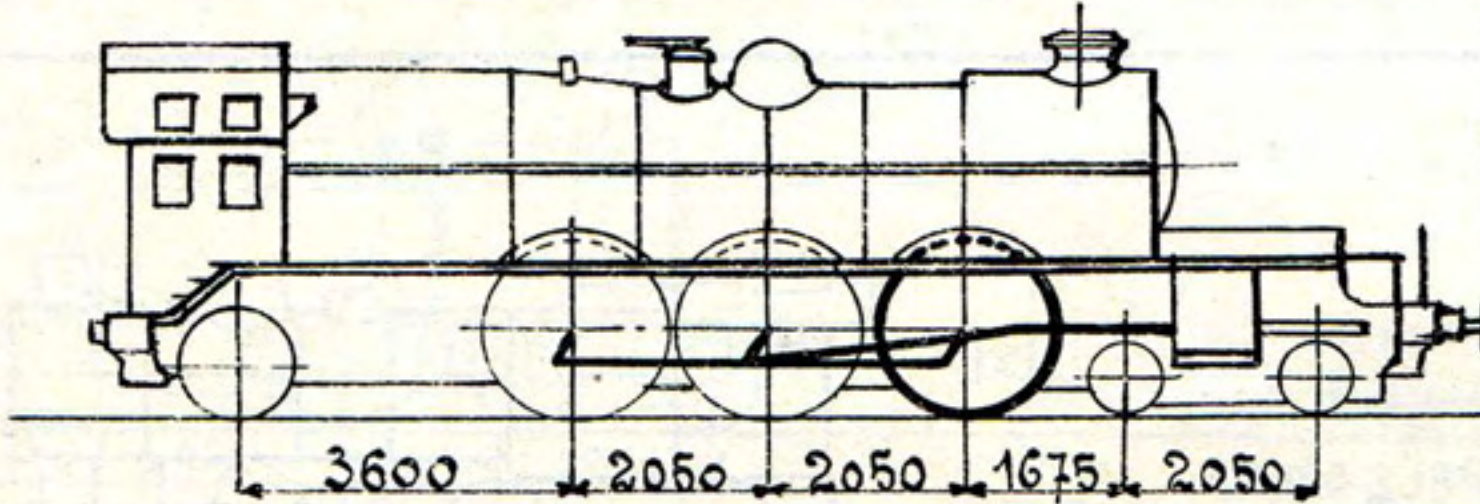
Les tableaux des pages 74 à 79 donnent le classement des divers types de locomotives en service sur le réseau de l'Etat Belge avec indication des principales caractéristiques. Les planches des pages 81 à 84 donnent les schémas d'ensemble des divers types de locomotives repris à ces tableaux.

Locomotives à voyageurs à grande vitesse pour lignes fortement accidentées

14



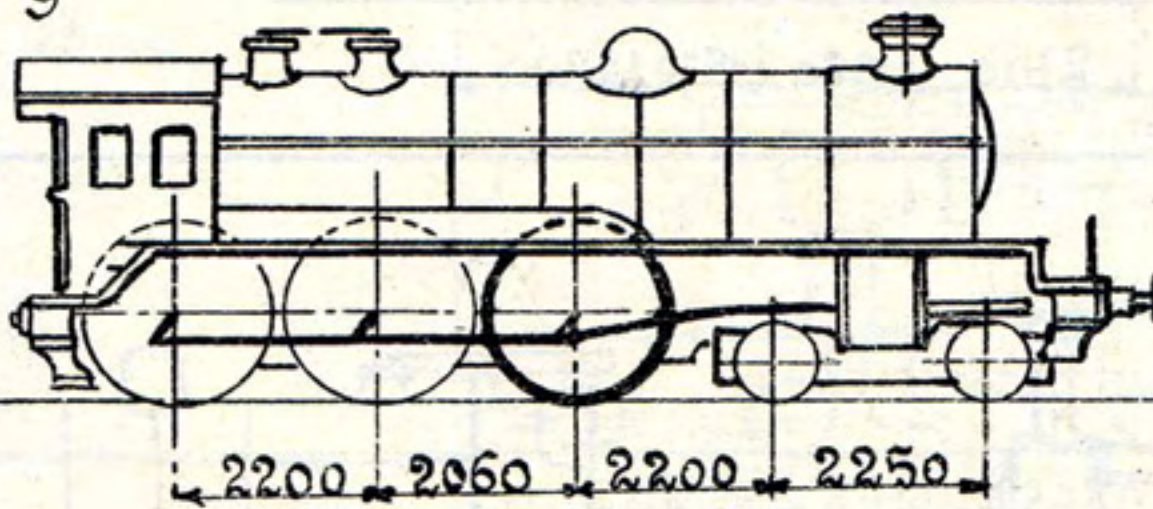
10



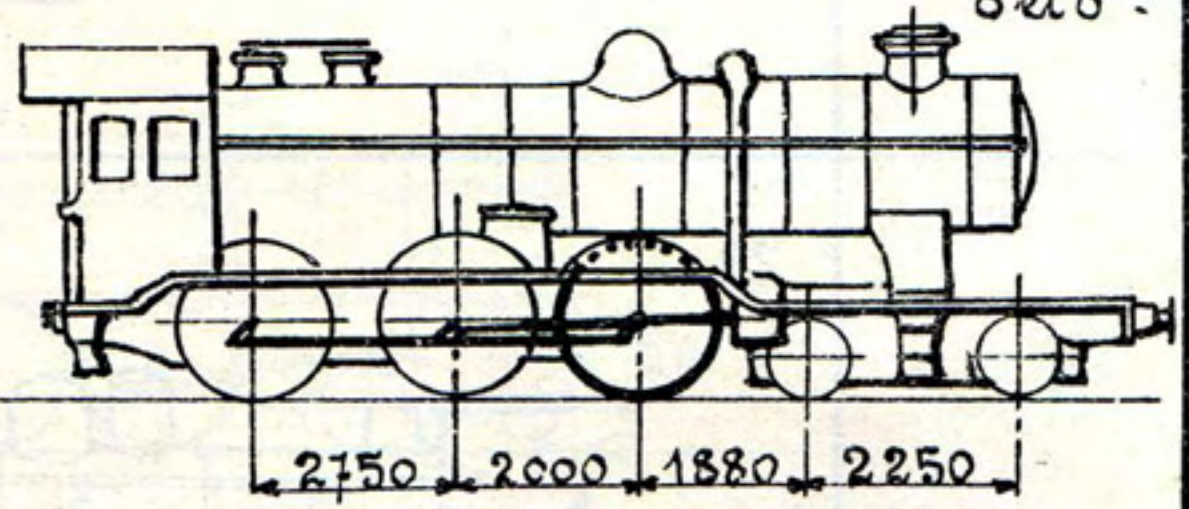
Remarque relative aux 4 planches pages 81. 82. 83. 84: La roue représentée en trait renforcé (O) correspond à l'essieu courbé

Locomotives à voyageurs à grande vitesse pour lignes moyennement accidentées

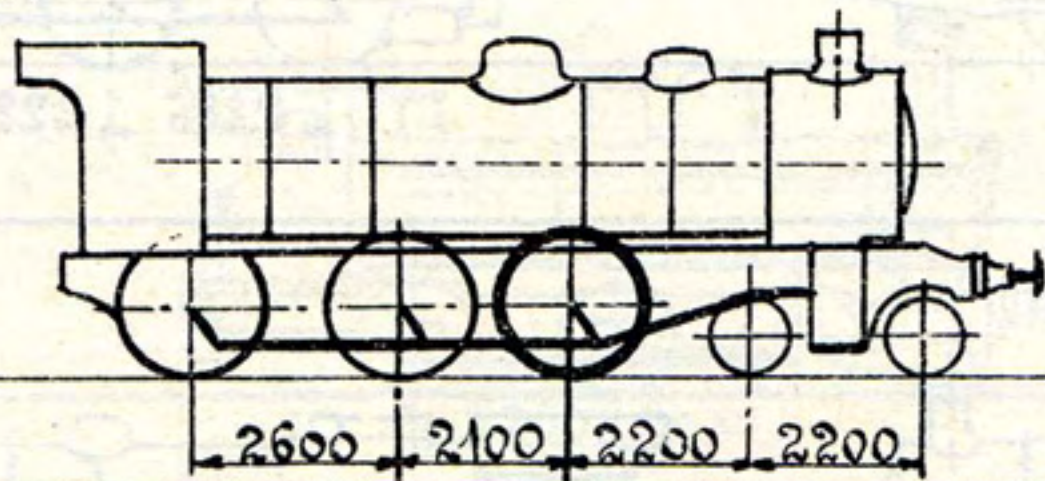
9



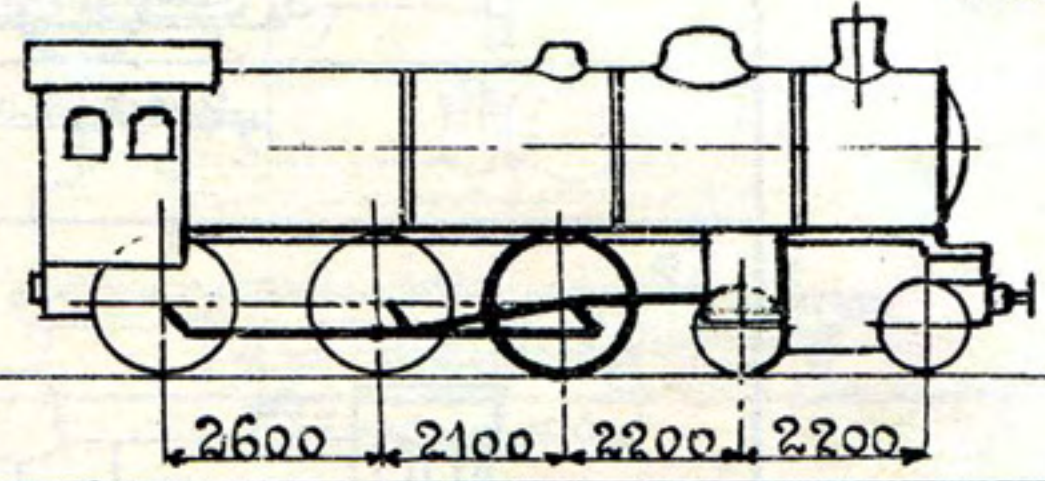
8 et 8 bis



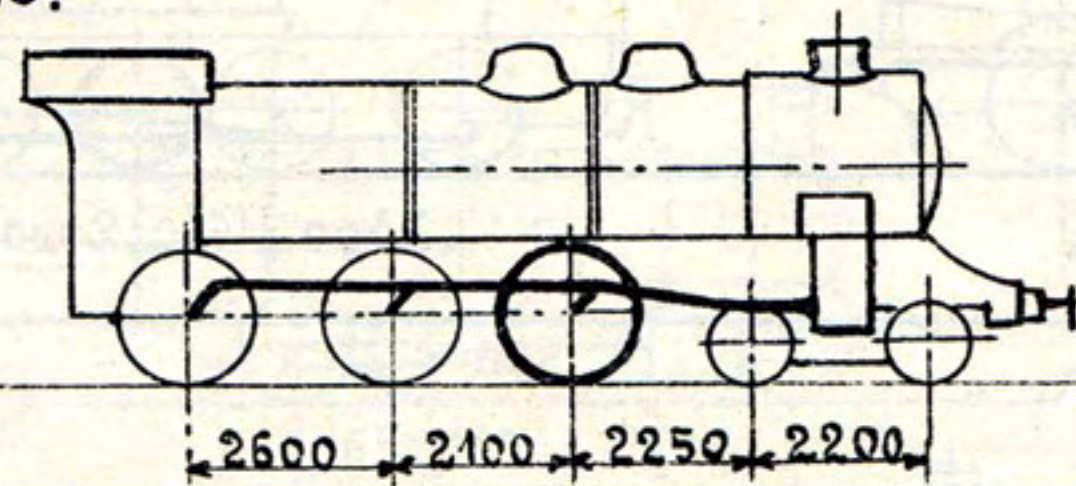
S10.



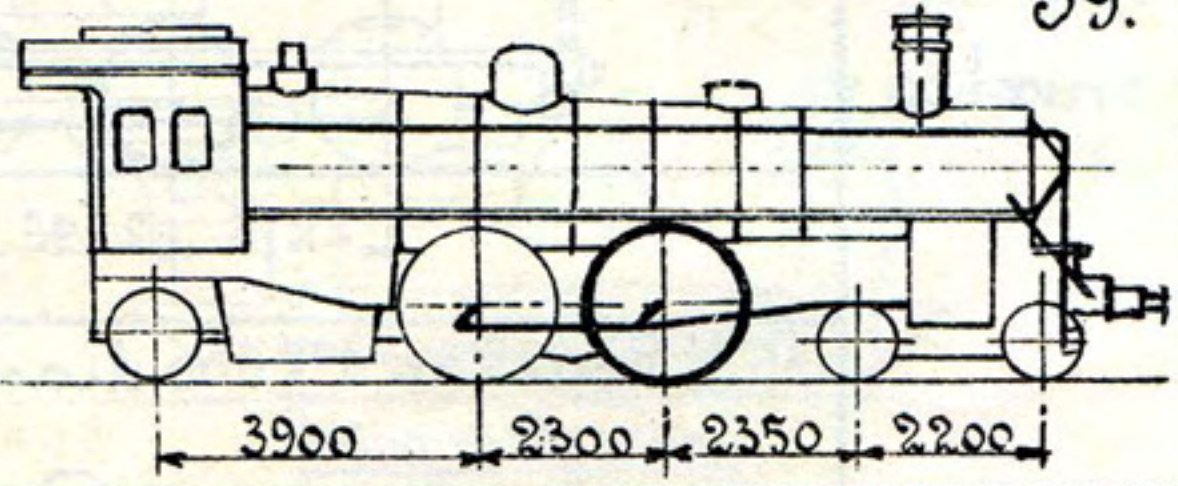
S10.1



S10.2

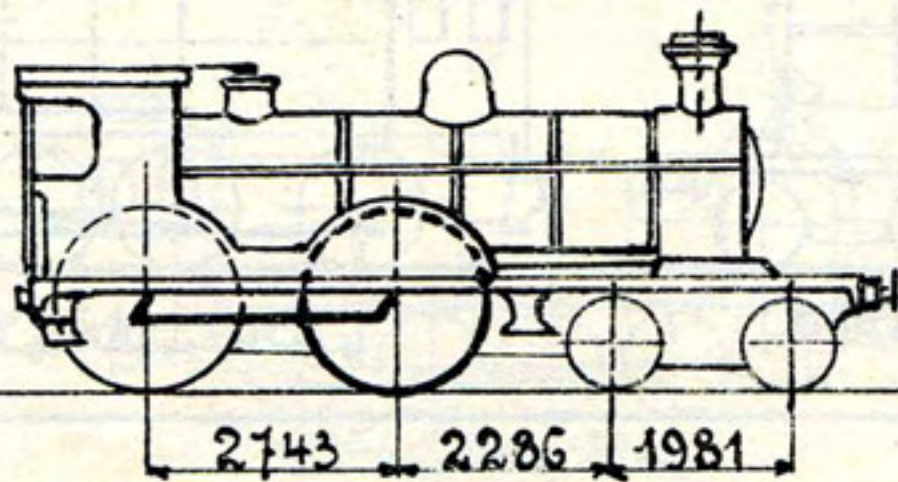


S9.

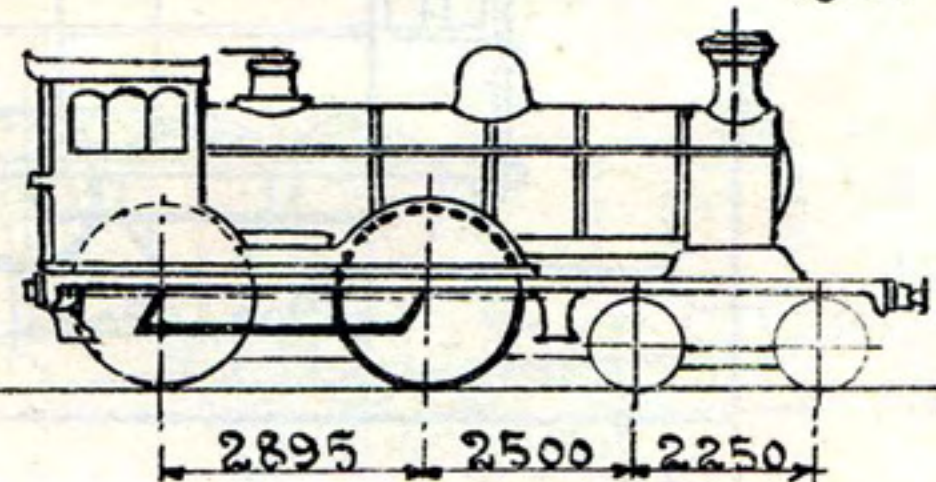


Locomotives à voyageurs à grande vitesse pour lignes plates.

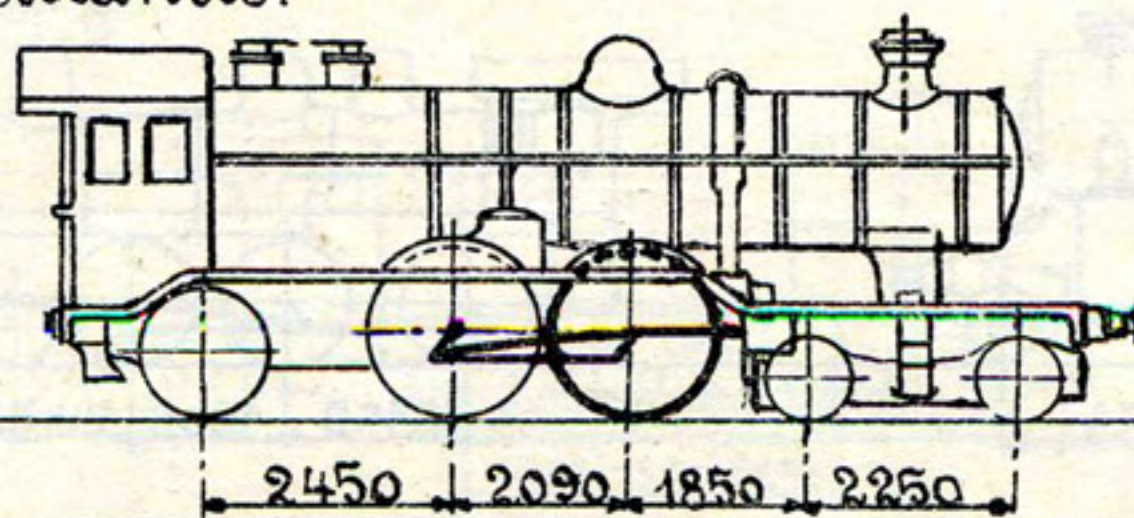
17



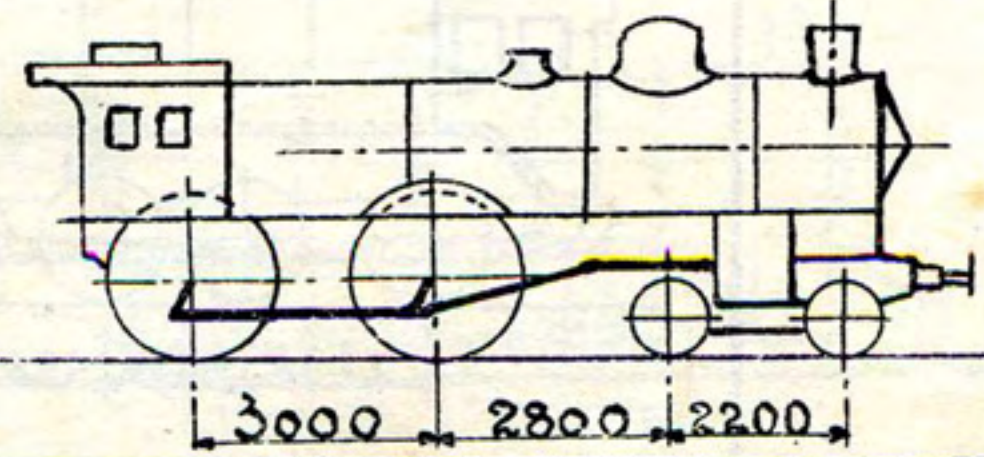
18 et 18 bis



atlantic.



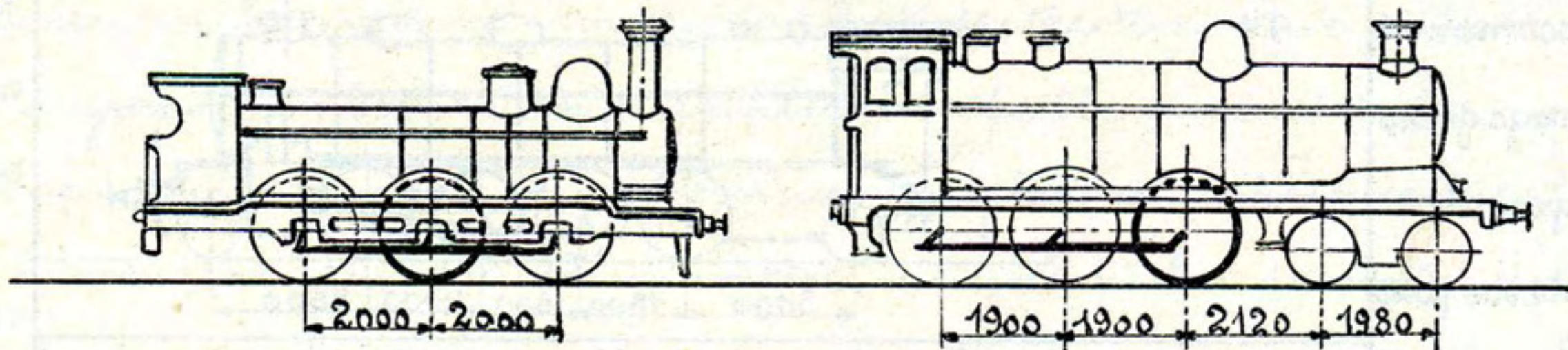
S6



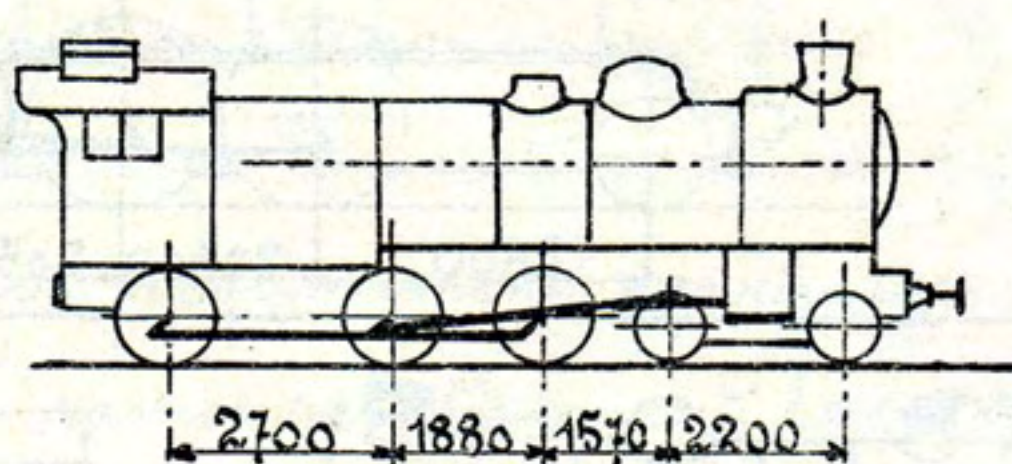
Locomotives
à voyageurs
pour trains
ordinaires

2

35.. Roues de 1^m.700 diam.

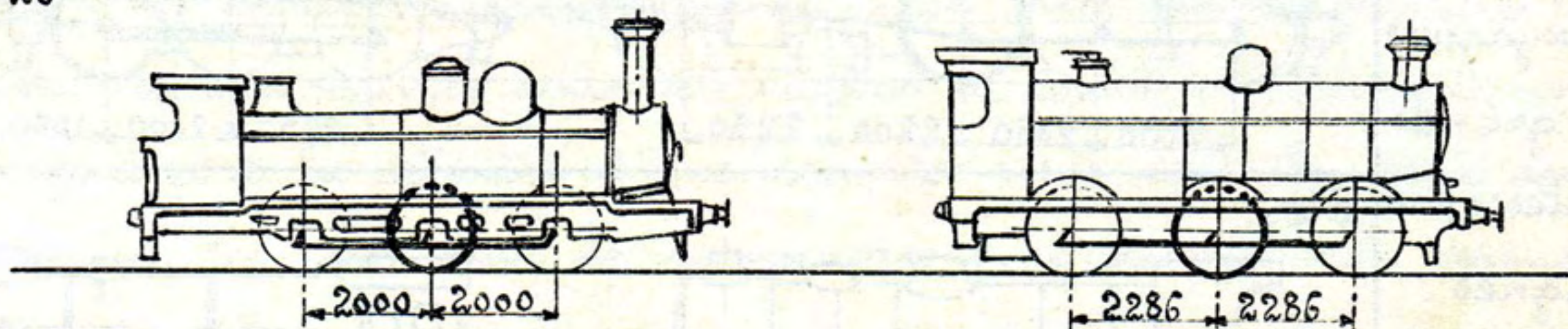


P.8.



28

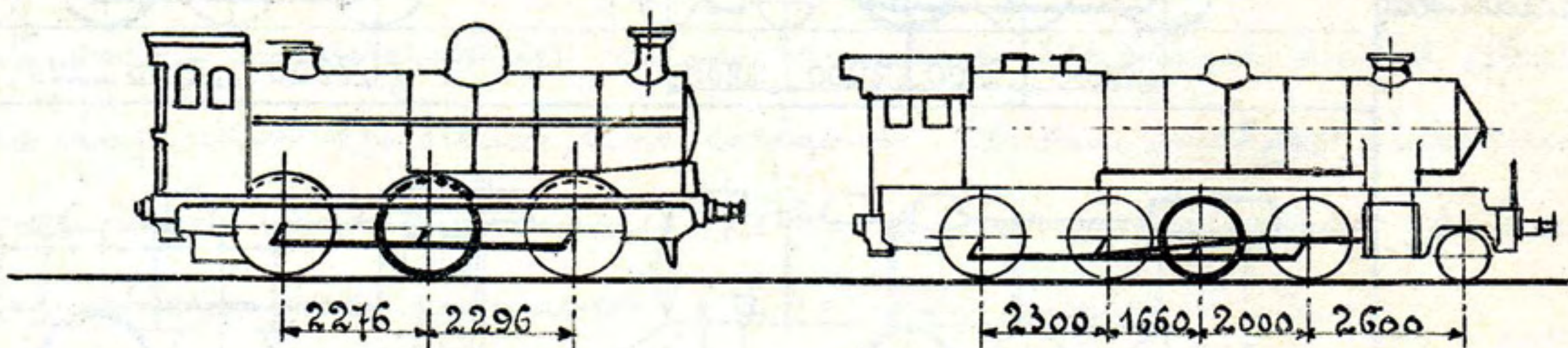
30



32

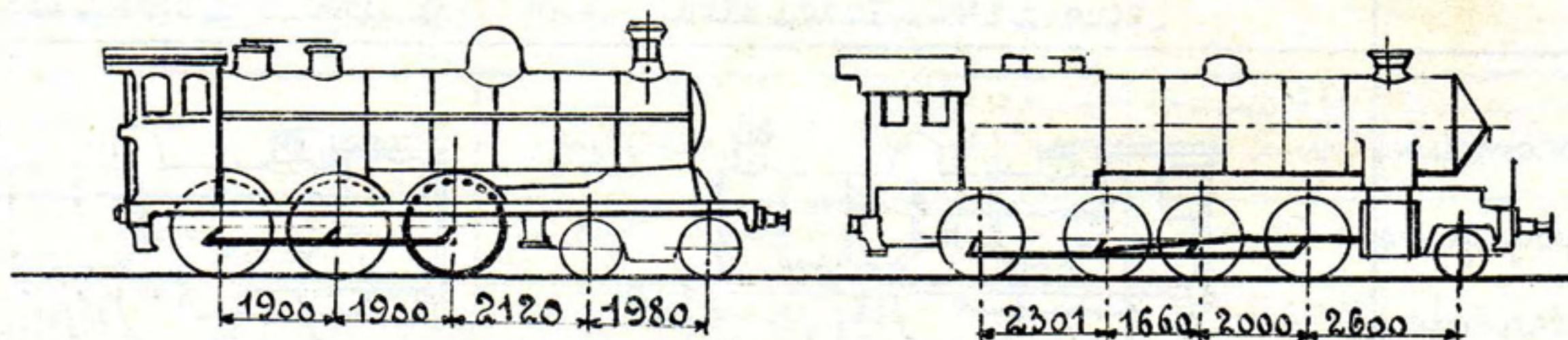
33

Locomotives
mixtes.



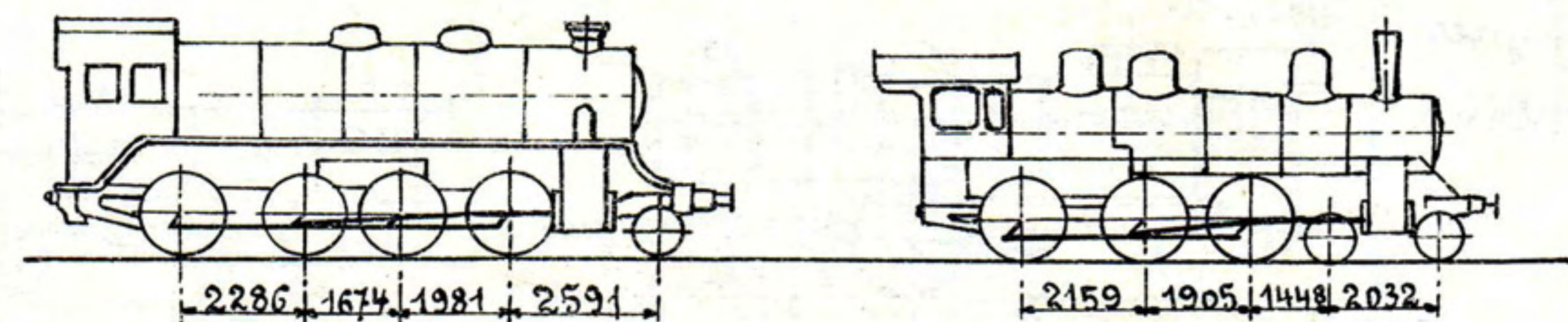
35.. Roues de 1^m.600 diam.

37



38

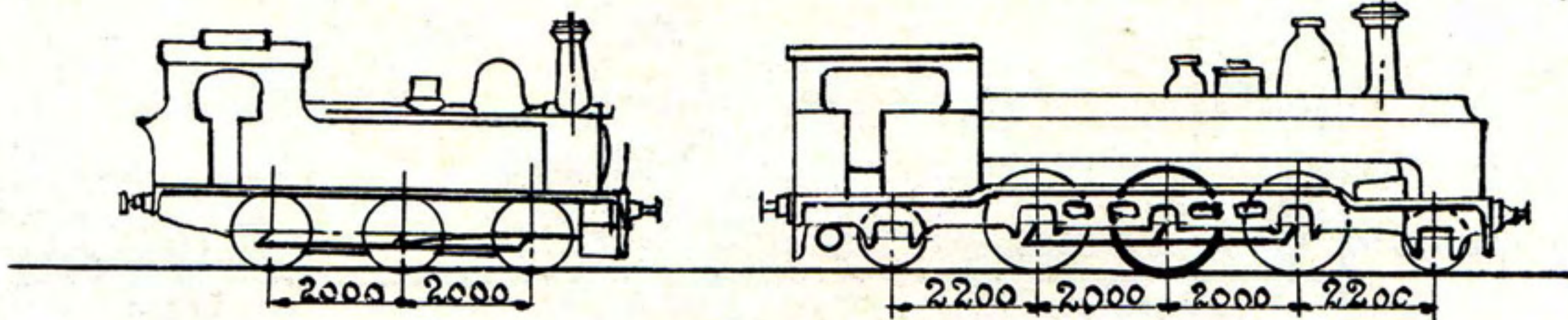
40



Locomotives
de petite
banlieue,

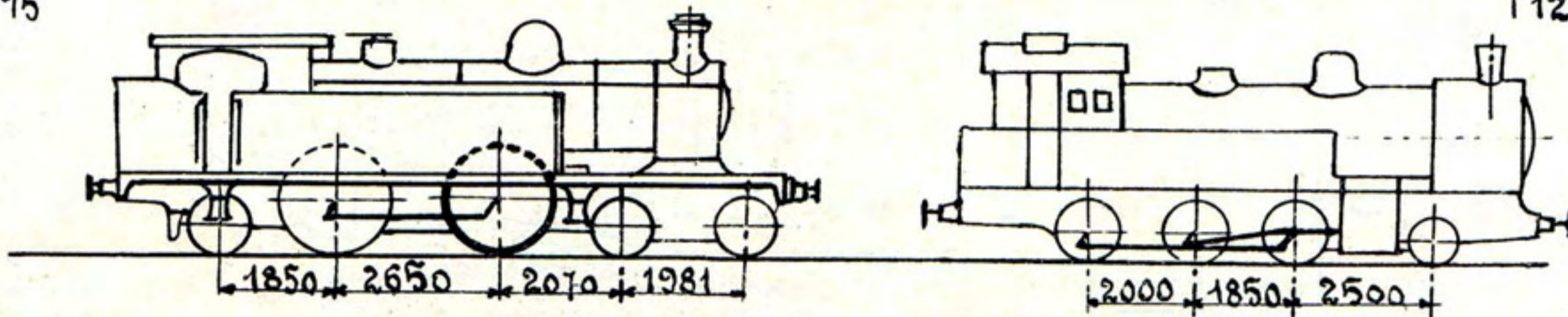
11

4



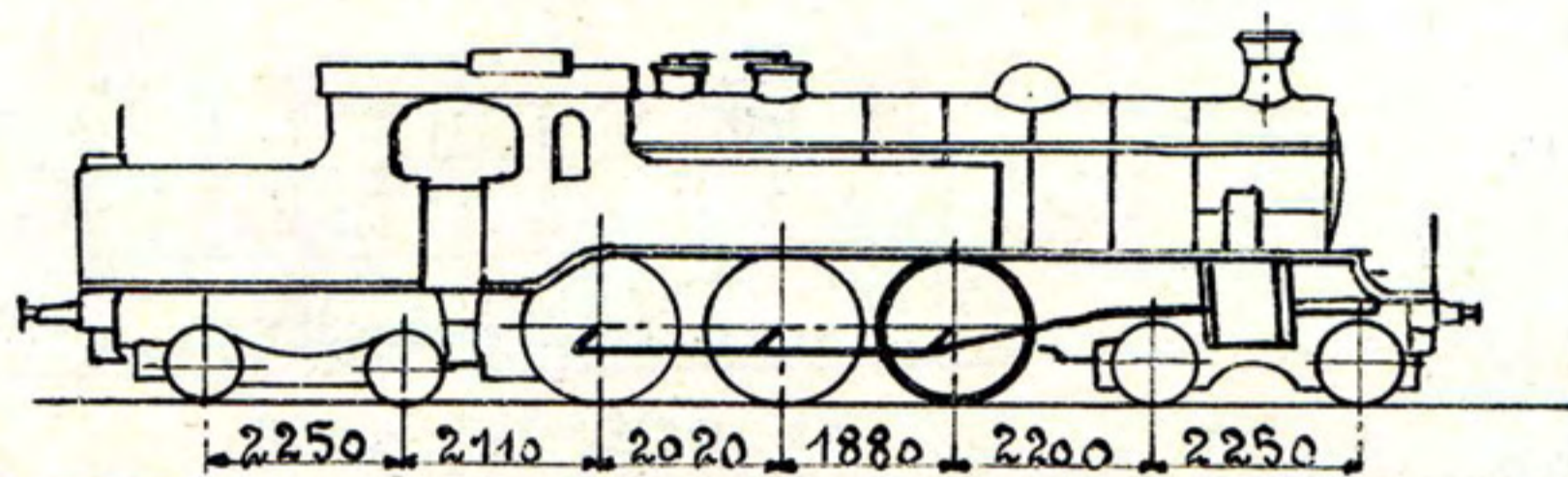
15

T12



Locomotive
pour trains
navettes
(trains-Blocs
Bruxelles-
Anvers)

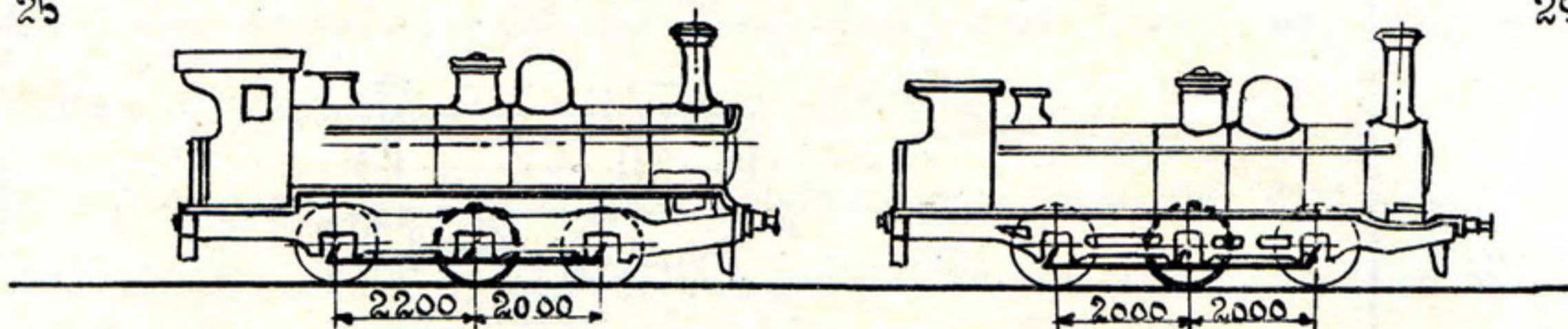
13



Locomotives
à
marchandises

25

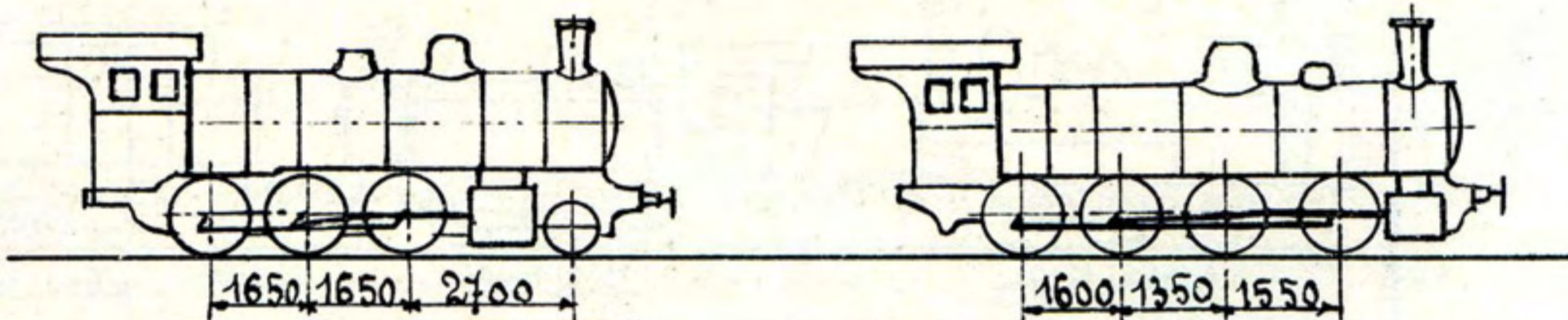
29



pour
lignes
plates
et pour
lignes à
moyennes
inclinations

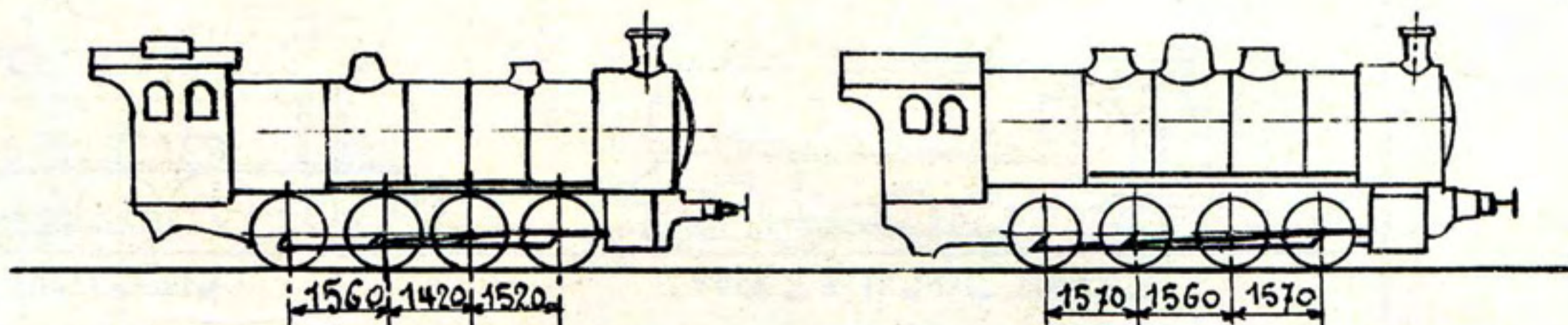
G5⁺

G7¹ - G7²



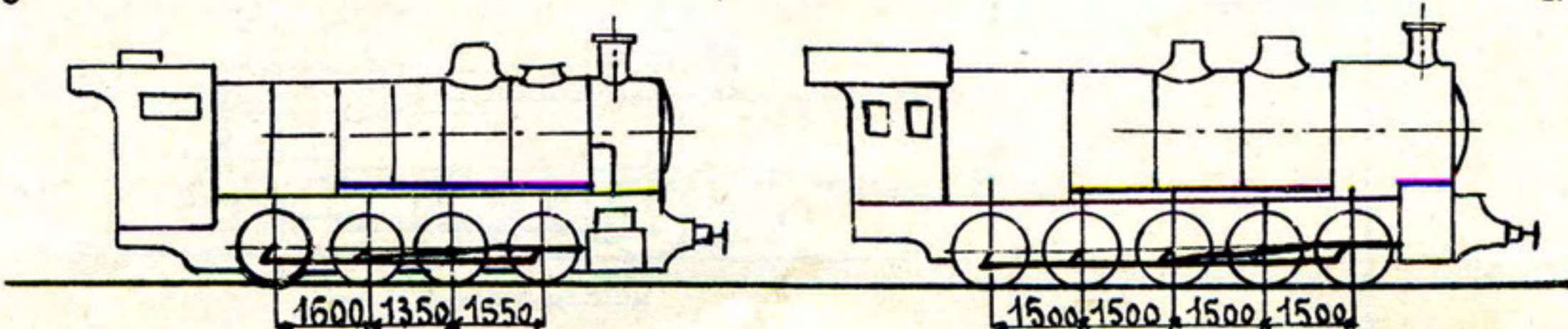
G8

G8¹



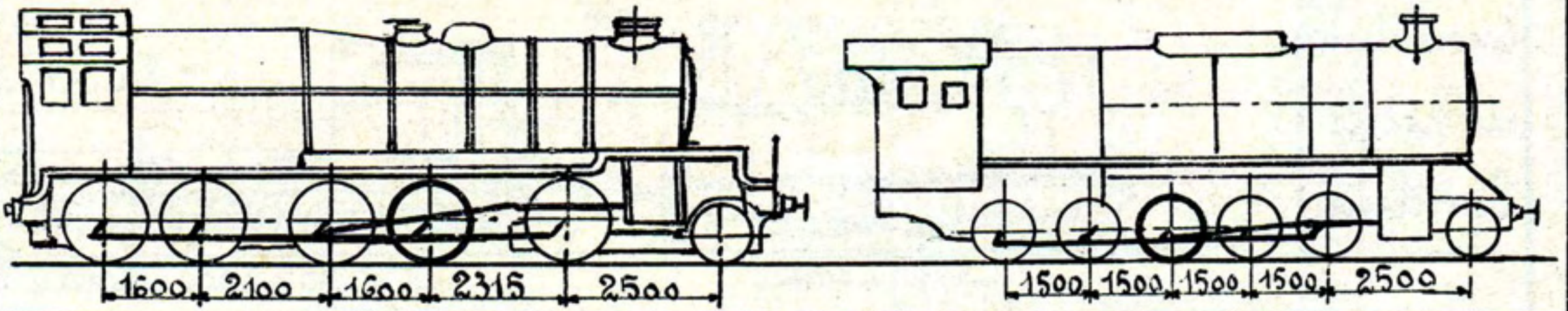
G9

G10

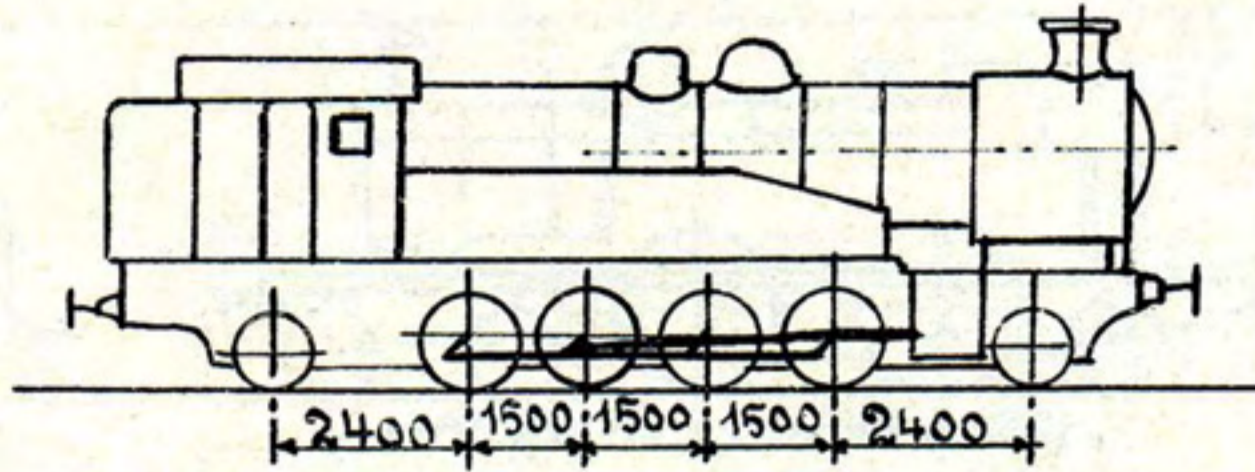


Locomotives à marchandises pour lignes à fortes rampes

36

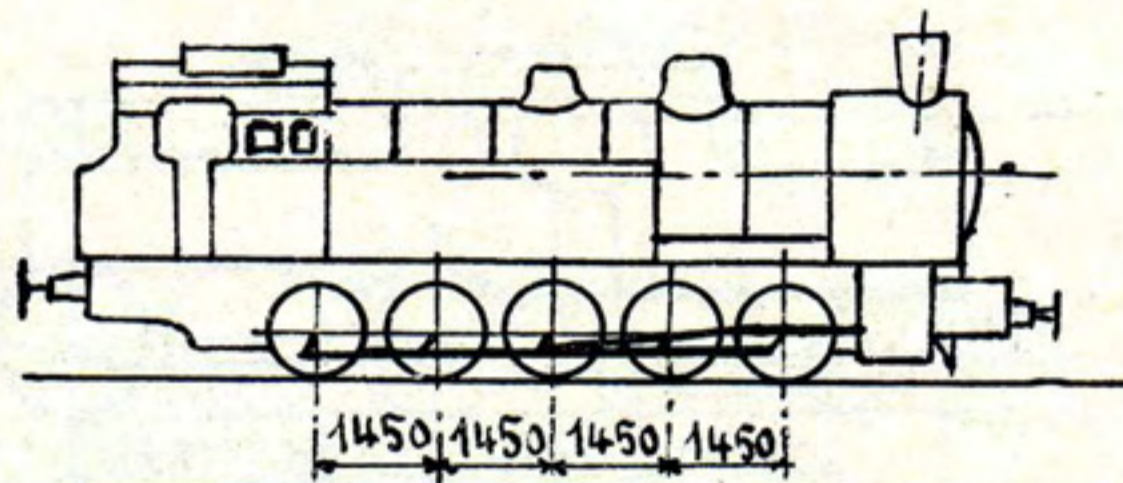


T14.

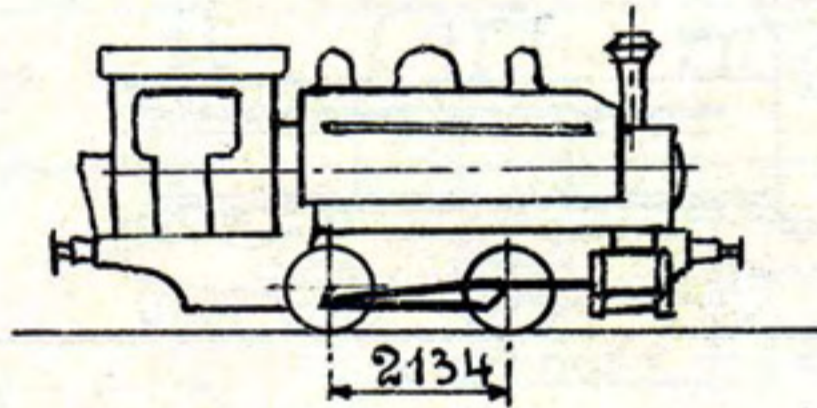


Locomotives d'allège (plans inclinés de Liège)

T16

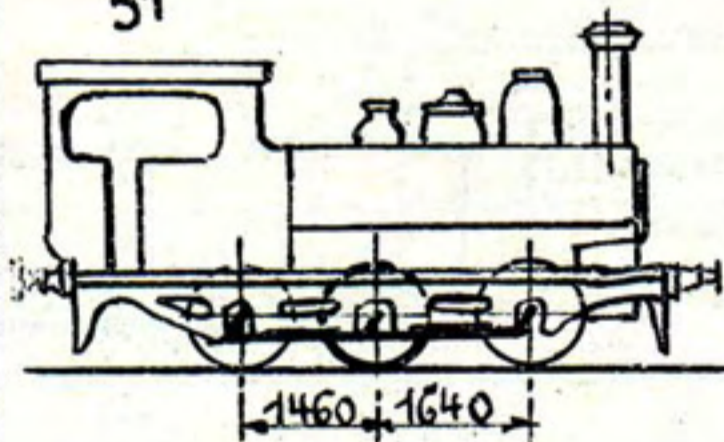


50

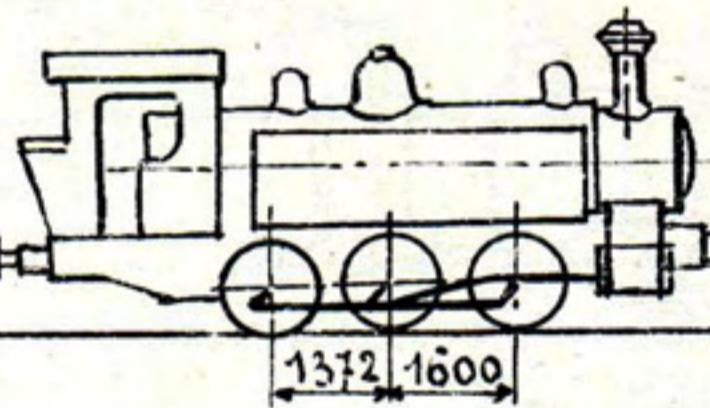


Locomotives de manoeuvre

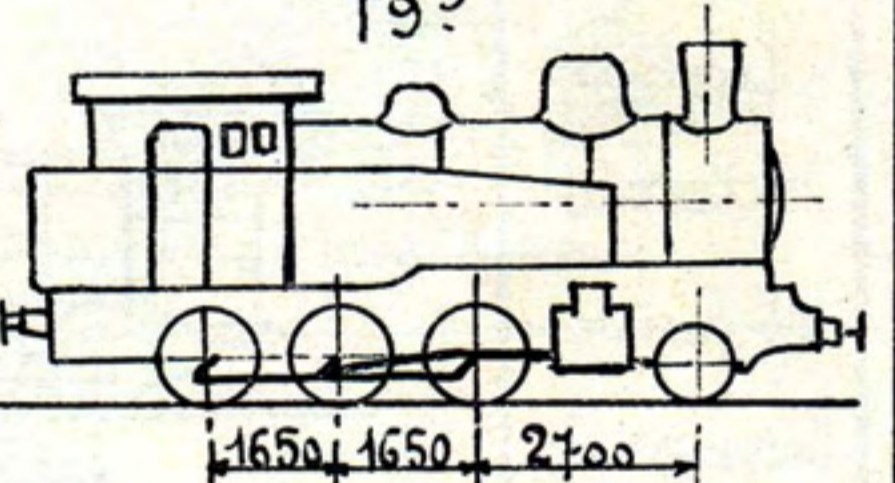
51



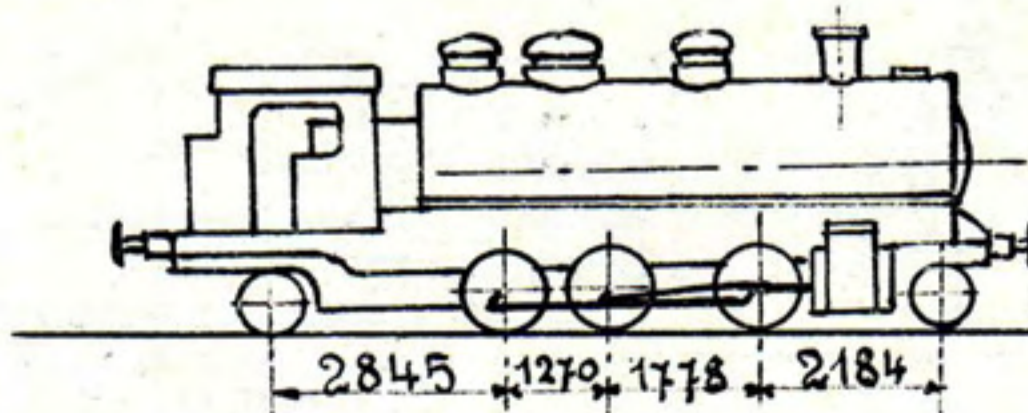
52



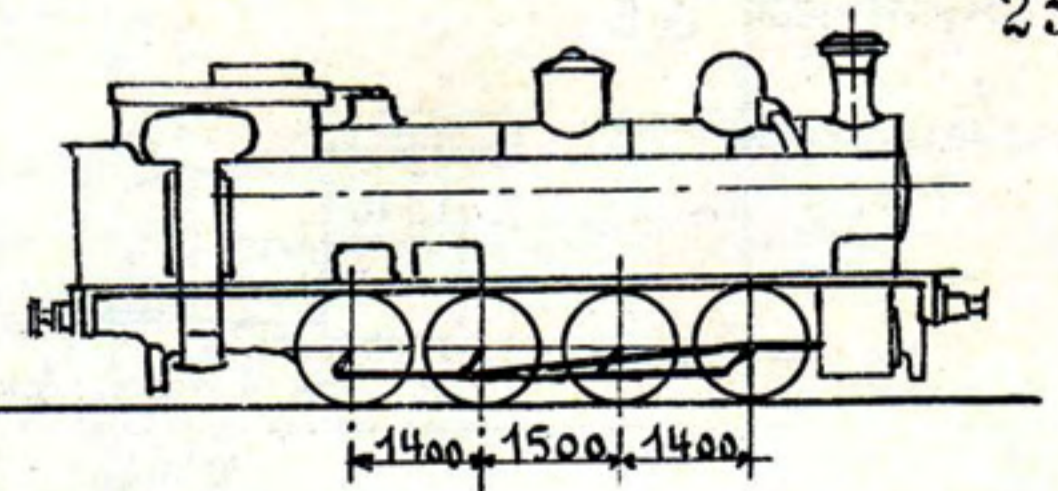
T9³



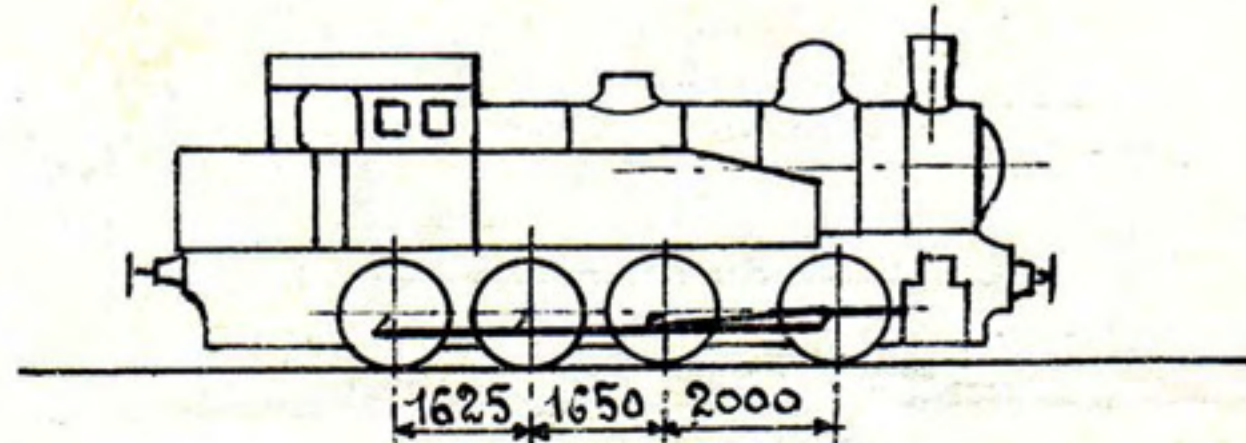
22



23



T13.



13. Standardisation des divers types d'un effectif. On a

toujours intérêt à avoir un parc ou effectif de locomotives comportant le moins possible de types différents. Ses avantages de la standardisation sont, en effet, nombreux. Ils peuvent se résumer comme suit :

A) Avantages essentiels. 1°) Le premier consiste à rendre la construction plus rationnelle en établissant les dimensions des pièces et organes d'après des principes logiques, ce qui conduit à une plus grande homogénéité de conception.

2°) Le second est de diminuer le coût de l'entretien et de la réparation. En effet, l'uniformité beaucoup plus grande des pièces constitutives et des pièces de rechange, qui résulte de la standardisation, permet le travail en série, l'emploi d'un nombre plus restreint de calibres différents, l'utilisation de machines-outils et de petit outillage de types moins divers et, enfin, la spécialisation des diverses brigades d'ouvriers.

3°) La standardisation permet de réduire le temps d'immobilisation des locomotives en réparation ou en entretien, ce que l'on pourrait appeler industriellement "réduire les délais de livraison des machines réparées au service de l'exploitation".

a) Tout d'abord, comme les pièces de locomotives standardisées se répètent constamment, on est assuré qu'il en faudra toujours; on peut donc les exécuter d'avance et les tenir en stock pour le moment du besoin.

b) En second lieu, l'étude des pièces, de leur usinage et de leur montage est notablement réduite et se borne à un travail préparatoire condensé dans des tableaux standards.

c) En troisième lieu, on peut commander plus aisément les stocks de matières premières nécessaires à la confection des pièces (telles que, par exemple, barres rondes et carrées, cornières, fers I, etc), les dimensions différentes des pièces à confectionner étant moins nombreuses.

4°) Enfin, la standardisation permet d'économiser également du travail intellectuel. En créant une fois pour toutes des types répondant à toutes les conditions exigées, on évite de devoir recourir chaque fois à un nouveau travail d'assimilation et de recherches. Si l'économie en main-d'œuvre et en matières est une source de bénéfices, il n'est pas moins important d'épargner le travail intellectuel des agents techniques et celui des employés.

B) Avantages secondaires. Nous mentionnerons :

a) l'amélioration de la qualité des réparations qui est une conséquence du travail en série. Dans la construction mécanique, cette amélioration de qualité revêt un aspect spécial, la précision qui se traduit à son tour par l'interchangeabilité, propriété avantageuse entre toutes.

b) La réduction du magasin des pièces de rechange, et, par suite, une immobilisation moindre des capitaux engagés dans la constitution des magasins.

c) Enfin, les économies sur la comptabilité industrielle : la standardisation ayant pour effet direct le travail en série, celui-ci ouvre à son tour la voie à tous les perfectionnements de l'organisation industrielle moderne avec tous les avantages qui en résultent pour la production. Ainsi, il en coûte bien moins, par exemple, de comptabiliser une série de 1000 boulons tournés d'un même type de moteur que de devoir reprendre ces éléments par assortiments de quelques-uns se rapportant à une multitude de types de moteurs.

14. Programme de standardisation de l'effectif des locomotives de l'Etat Belge. Dans la détermination de ce programme il a été tenu compte : 1°) des catégories de locomotives existantes et adéquates à chaque genre de services à assurer ; 2°) des effectifs de ces diverses catégories de locomotives. C'est ainsi que nous avons éliminé des types récents mais ne comportant qu'un nombre insuffisant d'unités et

dont on ne prévoit plus la construction ; 3°) de locomotives d'un type nouveau, à l'étude.

Tableau des types de locomotives constituant l'effectif standardisé de l'Etat Belge.

A) Locomotives à voyageurs à grande vitesse :

- 1°) Pour lignes fortement accidentées : type 14 (à l'étude);
- 2°) Pour lignes moyennement accidentées : type 8^{bis} et type 10;
- 3°) Pour lignes plates : types 18^a - 18^b - 56;

B) Locomotives à voyageurs pour trains ordinaires (semi-directs et omnibus) : type P 8.

C) Locomotives à voyageurs pour petite banlieue et trains navettes : types 11 - 15^a - 13.

D) Locomotives mixtes : types 32^a - 33 - 37 - 38.

E) Locomotives à marchandises :

- 1°) Pour lignes à faibles et moyennes inclinaisons : type G 8^a;
- 2°) Pour lignes à fortes rampes : types 36 et I 14;

F) Locomotives d'allèges des plans inclinés de Siège : type I 16.

G) Locomotives de manœuvres.

- 1°) de moyenne puissance : type 51;
- 2°) de forte puissance : type 23.

III. Étude du travail des locomotives.

Détermination des charges remorquées et des vitesses correspondantes.

15. Énoncé du problème de la traction des trains. Le problème de la traction des trains consiste, étant donné un type de locomotive, connaissant donc ses dimensions et ses caractéristiques, à déterminer la charge que ce type de locomotive peut remorquer sur une ligne déterminée, en indiquant le régime de vitesses qui correspond à cette charge.

Si l'on veut analyser ce problème, on se trouve en présence de deux éléments principaux : a) les résistances du train ; b) l'effort au crochet de traction de la locomotive que nous

allons d'abord étudier spécialement.

16. Les résistances du train. Pour mettre un train en marche, lui imprimer une certaine accélération et maintenir la vitesse acquise, la locomotive doit développer un effort de traction capable de vaincre un certain nombre de résistances variables. On admet que l'ensemble de ces résistances est proportionnel au poids du train. Dans ces conditions on peut évaluer la résistance des véhicules en kg par tonne de poids remorqué.

A. Résistances propres des véhicules. En palier et en alignement droit, la résistance d'un véhicule animé d'une vitesse constante (caractérisant l'état de régime) se compose essentiellement des diverses résistances ci-après:

1°) Les résistances au roulement qui comprennent : a) le frottement des coussinets sur les fusées. (Frottement de glissement). Cette résistance de frottement dépend surtout du poli des surfaces en contact, du graissage, ainsi que de la température de l'air ambiant. Elle est proportionnelle à la charge que le coussinet transmet à la fusée. On admet que dans certaines limites elle est indépendante de la vitesse. Quand la roue tourne elle donne naissance à un travail résistant qui, pour un tour de roues, est d'autant plus grand, que la circonférence de la fusée est plus grande, c'est-à-dire que le diamètre de celle-ci est plus grand.

D'autre part les roues de petit diamètre effectuent un plus grand nombre de tours par unité de parcours sur la voie (par km. parcouru par exemple) de sorte que pour les roues de petit diamètre, le travail résistant des frottements du coussinet sur la fusée sera relativement plus élevé que pour les roues de grand diamètre qui supporteraient la même charge et qui auraient les mêmes fusées. Ce sont donc les roues de petit diamètre et à grosse fusée qui donnent le plus de frottement aux coussinets et qui exigent par conséquent le graissage le plus abondant et le plus soigné. Exemple : les roues de

locomotives types 37 et 38, les roues de bogies, les roues porteuses.

b) Le frottement des roues sur les rails (frottement de roulement). Il est proportionnel à la charge transmise par la roue sur le rail et agit tangentiellement à la jante (surface de roulement du bandage). On admet qu'il est indépendant de la vitesse.

2°) Les résistances dues aux chocs de la voie. Ces résistances dépendent non seulement de l'état de la superstructure de la voie (ballastage imparfait, défauts dans la surface des rails, joints de rails défectueux, etc) mais encore des conditions de construction du véhicule au point de vue de sa stabilité. On admet généralement que la résistance due aux chocs augmente avec la vitesse et qu'elle est proportionnelle au poids du véhicule.

3°) La résistance de l'air. abstraction faite du vent, on admet que la résistance de l'air est proportionnelle au carré de la vitesse. Si le train marche contre le vent il faut dans l'évaluation de l'effort résistant, ajouter à la vitesse du train celle du vent.

L'influence de ces résistances est d'autant plus prononcée que le matériel offre plus de surface à l'action du vent; elle est plus grande pour le matériel fermé que pour le matériel ouvert ou plat et augmente encore lorsque le train est de composition hétérogène sous ce rapport.

— Les résistances énumérées plus haut, indépendantes du tracé de la ligne parcourue, sont celles qu'il faut vaincre de bout en bout, la vitesse étant supposée constante: ce sont les résistances propres du train. Certaines d'entre elles sont donc indépendantes de la vitesse du train, d'autres sont proportionnelles à cette vitesse, d'autres encore sont proportionnelles au carré de cette vitesse.

Il résulte de là que l'ensemble de ces résistances, rapporté à l'unité de poids (tonne) remorqué, peut se mettre

sous la forme générale :

$$r = a + bV + cV^2$$

r étant la résistance propre du train exprimée en kg. par tonne de poids remorqué, V la vitesse en km/h. et a , b , c , trois constantes déterminées par l'expérience. Ces constantes sont assez différentes selon l'espèce de matériel remorqué, selon la composition du train, ou selon qu'il s'agit de la rame, ou de la locomotive seule, ou du train entier.

Ainsi, d'après Barbier, on aurait :

pour les locomotives : $r = 3,8 + 0,027V + 0,0009V^2$.

pour le matériel : $r = 1,6 + 0,00456V + 0,000456V^2$.

La Compagnie du Nord donne pour les rames de wagons de charbon :

$$r = 1,45 + 0,008V^2$$

(valeur un peu faible aux vitesses peu élevées).

Une formule plus simple est celle de Clark, applicable au train entier :

$$r = 2,4 + 0,00077V^2$$

Cette formule donne des valeurs trop fortes aux grandes vitesses.

La Compagnie du P.L.M. donne $r = 1,5 + 0,1V$.

Enfin, pour le matériel à deux essieux à grand empattement, le P.O. a établi la formule très simple : $r = 0,06V$ qui semble donner de bons résultats.

Résistance propre des rames. On se rend compte, par ce qui précède, que la résistance à la marche d'une rame dépend d'un grand nombre de circonstances.

Pour fixer les idées, on peut estimer que la résistance propre d'un train de marchandises varie de 2 à 5 kg. par tonne de poids remorqué, suivant que ce train est formé de wagons du même type ayant leur chargement normal, ou bien de wagons vides plats et couverts, distribués sans ordre sur la longueur du train.

D'une façon plus générale, en palier et en alignement

droit (et sous réserve d'une vitesse constante) on peut conclure aux valeurs moyennes suivantes :

- trains de marchandises. . $r = 3\frac{1}{2}$ kg. par tonne.
- " mixtes..... $r = 5$ kg " " "
- " express..... $r = 7$ kg " " "

Bien entendu, ces valeurs se rapportent à la vitesse normale du type de train envisagé.

Pour le matériel à bogies, la résistance par tonne remorquée n'est que de 5 kg. pour des vitesses de 70 à 80 km et de 5,6 kg. aux vitesses de 90 km.

Résistance propre des locomotives. Il est à remarquer que dans la marche d'un train rapide, la locomotive développant sa puissance normale absorbe à elle seule près de la moitié de cette puissance. C'est en effet la locomotive qui reçoit le premier choc de l'air, de sorte que le terme cV^2 est très élevé; en outre, la résistance de ses mécanismes absorbe une part appréciable de sa puissance développée. Enfin, la résistance de la locomotive, considérée comme véhicule, est toujours plus considérable que celle du matériel de même poids, surtout dans le cas des locomotives à petites roues et à grand empattement. On peut estimer que la résistance propre des puissantes locomotives modernes, tant à marchandises qu'à grande vitesse est comprise entre 10 et 15 kg. par tonne de poids propre y compris le tender. D'une façon générale, la résistance de la locomotive au roulement dépend beaucoup de l'état d'entretien, du degré de poli des surfaces frottantes, et du graissage. On a donc toujours intérêt à ce que ce dernier soit aussi parfait que possible, notamment pour les cylindres et les distributeurs.

B. Résistances additionnelles. Celles-ci sont dues aux rampes et aux courbes que la ligne peut présenter.

1°) Résistance additionnelle due à l'inclinaison de la voie en rampe. Cette résistance n'est autre que la composante de la pesanteur dirigée selon l'inclinaison de la

voie (fig. 11). Elle peut s'élever, par tonne remorquée, à 1 kg.

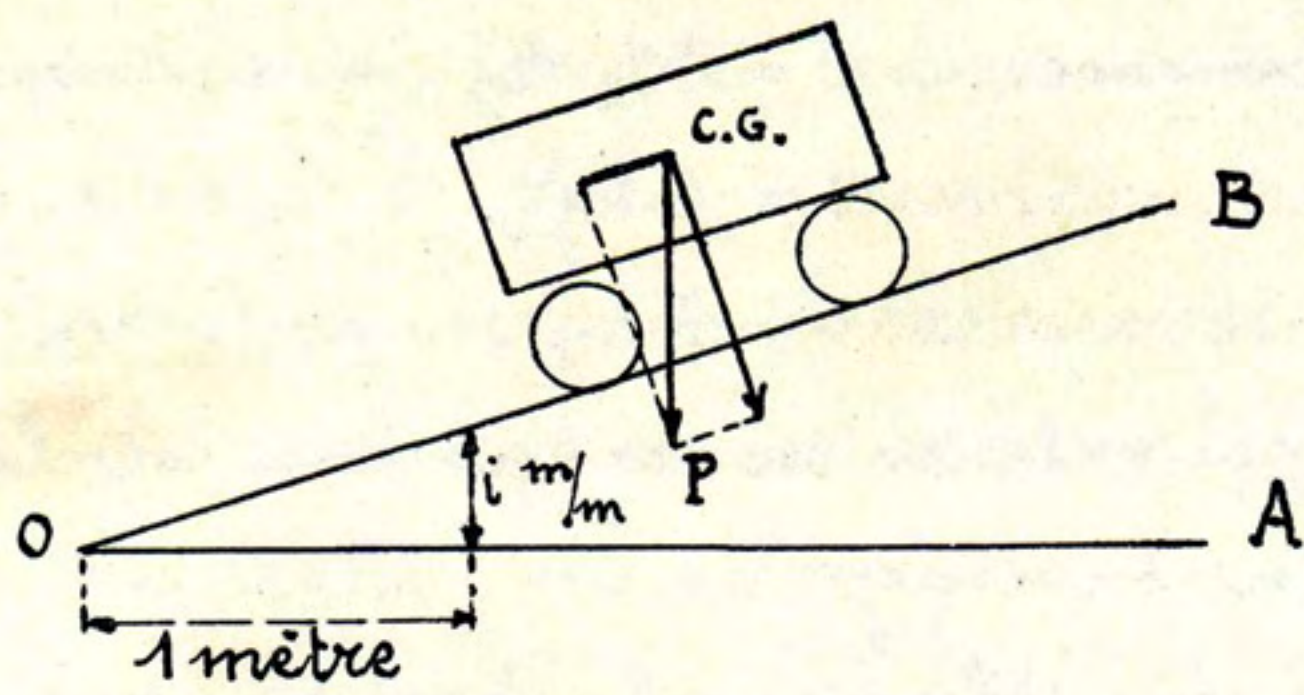


fig. 11

par millimètre d'inclinaison au mètre courant de voie, ce qui revient à dire qu'une rampe de i m/m. par mètre crée une résistance additionnelle de i kg. par tonne remorquée.

Ainsi, un train de P tonnes gravissant une rampe de i m/m. par mètre opposera une résistance additionnelle de rampe égale à $P \times i$ kilogrammes. Si la voie était en pente de i m/m. par mètre, le train subirait, au contraire, l'action d'une force motrice égale à $P \times i$ kg.

2°) La résistance additionnelle due aux courbes de la ligne, évaluée en kg. par tonne remorquée, peut se calculer de diverses manières. Il existe plusieurs formules, dont la plus simple $\frac{750}{R}$, donne des résultats suffisamment approchés pour les besoins de la pratique, R étant le rayon de la courbe en mètres.

C. Résistances au démarrage et à la mise en vitesse.

Ainsi qu'il a déjà été dit, les résistances envisagées plus haut, se rapportent exclusivement à l'état de mouvement du train en régime (vitesse constante). Or, la locomotive doit vaincre en outre la résistance de démarrage ainsi que l'inertie qu'offre la masse du train à l'accélération lors de la mise en vitesse de celui-ci.

1°) au moment du démarrage, les frottements sont en effet plus élevés et de plus il y a l'inertie au départ. Il est très difficile d'évaluer la résistance au démarrage : si l'on se contente d'interposer un dynamomètre entre la

locomotive et le train, on obtient des résultats fort peu comparables entre eux.

En pratique on peut admettre que la résistance au démarrage en palier oscille entre 15 et 20 kg. par tonne pour les trains de voyageurs et n'est que de 13 kg. par tonne pour les trains à marchandises. Pour les premiers, en effet, les attelages sont bien serrés et toutes les voitures démarrent en même temps, tandis que pour les trains de marchandises, le démarrage des véhicules a lieu de proche en proche. Toutefois l'influence du graissage des boîtes, de l'état des rails, des circonstances atmosphériques peuvent faire varier ces chiffres du simple au double.

2°) Lors de la mise en vitesse du train, la locomotive doit également fournir un effort supplémentaire (effort accélérateur) capable d'augmenter progressivement la vitesse du train. Nous reviendrons sur cette question dans l'étude de l'effort de traction.

17. Exemples de calcul de la résistance d'un train. Soit

à calculer la résistance d'un train de 600 T roulant à une vitesse de 30 km/h. sur une voie en courbe de 1500 mètres de rayon et en rampe de 5m/m. par mètre. En calculant les résistances propres d'après la formule du P.L.M., et en évaluant les résistances additionnelles, comme indiqué plus haut, on trouve, par tonne remorquée :

$$r = 1,5 + (0,1 \times 30) + \frac{750}{1.500} + 5. = 10 \text{ kg.}$$

et pour le train entier :

$$Pr = 10 \times 600 = 6000 \text{ kg.}$$

Si la charge n'était que de 400 T., mais la vitesse, 60 km. à l'heure, on aurait par tonne remorquée :

$$r = 1,5 + (0,1 \times 60) + \frac{750}{1.500} + 5. = 13 \text{ kg.}$$

et pour le train entier :

$$P \times r = 13 \times 400 = 5.200 \text{ kg.}$$

Conclusion. Ces exemples montrent que la vitesse d'une part, et l'inclinaison des rampes d'autre part, influent d'une façon prédominante sur l'ensemble des résistances du train tandis que les frottements des fusées et les frottements de roulement n'interviennent que pour une faible part.

Ainsi, en palier et à une vitesse de 30 km/h. la résistance en kg. par tonne de charge, d'après la formule du P.L.M. ne serait que de $1,5 + 0,1 \times 30 = 4,5$ kg. alors que, à la même allure, en rampe de 16 mm. par mètre (ligne du Luxembourg) il s'y ajoute 16 kg. par tonne.

Si la vitesse était triplée, la résistance, en palier, deviendrait : $1,5 + (0,1 \times 90) = 10,5$ kg par tonne, ce qui correspond à une majoration de 6 kg. par tonne.

On déduit de cette conclusion que pour connaître l'effort que la locomotive devra fournir, il faut connaître le profil de la ligne et la vitesse à atteindre. Il résulte en outre, de ce qui précède, que pour une locomotive déterminée, la charge qu'elle peut remorquer est d'autant moindre que la vitesse à atteindre est plus élevée et que l'inclinaison du profil est plus forte.

18. L'effort de traction. L'effort de traction ou effort au crochet de traction est celui qu'enregistrerait un dynamomètre remplaçant l'attelage de la machine au premier véhicule de la rame.

On distingue aussi l'effort à la jante (ou effort de traction tangent à la circonférence des roues motrices et appliqué à son point de contact avec le rail) qui ne diffère de l'effort au crochet que parce qu'il contient en plus l'effort nécessaire pour vaincre les résistances de la machine considérée comme véhicule.

Si E' est l'effort de traction, E l'effort à la jante et R la résistance de la machine, on a donc :

$$E' = E - R$$

Au point de vue du problème de la traction des trains

c'est l'effort E' au crochet qui nous intéresse, c'est-à-dire celui qui est disponible pour vaincre la résistance de la charge utile.

Peu nous importe que l'on ait un effort (E) à la jante élevé, si l'on perd une partie importante pour remorquer la locomotive elle-même, soit en la surchargeant d'approvisionnement inutile, soit en la munissant d'accessoires dont la nécessité est discutable. Mais il faut noter toutefois que l'augmentation du poids de la machine, lorsque cette augmentation porte sur le poids adhérent, rend en même temps possible une augmentation de l'effort de traction lui-même. Il est donc toujours nuisible de surcharger un tender indépendant s'il n'y a pas nécessité, mais dans une machine-tender au contraire, le poids des approvisionnements augmente aussi l'adhérence.

A mesure que l'inclinaison des rampes croît, la résistance de la locomotive croît, de sorte que la partie de l'effort à la jante disponible au crochet diminue. Il existe une rampe (140 mm. par mètre en moyenne) sur laquelle une locomotive ne peut plus que se mouvoir elle-même. On est ainsi amené à considérer que, au-delà de l'inclinaison de 30 à 35 mm., la traction par simple adhérence n'est plus pratique. Il faut donc ou bien rester en dessous de ces limites ou recourir à d'autres moyens.

Il est intéressant, cependant, de connaître l'effort à la jante; c'est de celui-ci que l'on déduit d'ailleurs l'effort au crochet, parce qu'on peut en étudier directement les rapports avec le poids adhérent ainsi que nous allons le voir. Il est égal à l'effort produit sur les pistons, diminué de la résistance du mécanisme. En diminuant celle-ci par un bon montage, un entretien et un graissage soignés, on augmente donc la partie disponible à la jante et partant au crochet du tender.

19. Calcul de l'effort de traction à la jante d'après

les caractéristiques du moteur. Notion de l'indice caractéristique. A. Locomotives à simple expansion.

Soient:

N = le nombre de cylindres.

d = le diamètre des cylindres (en cm.).

l = la course des pistons (en cm.).

D = le diamètre des roues motrices (en cm.).

p = la pression à la chaudière (pression du timbre) (en kg/cm²).

p_m = la "pression moyenne" de travail dans les cylindres (en kg/cm²).

On entend par "pression moyenne" une pression fictive qui, appliquée d'une façon constante sur le piston pendant toute la course de celui-ci, produirait le même travail par coup de piston que celui réalisé effectivement. Cette pression moyenne ne représente donc qu'une fraction de la pression du timbre. Elle est d'autant plus petite que le degré d'admission est moindre, car à une admission réduite correspond évidemment un travail moindre par coup de piston. D'autre part, à égalité de degré d'admission, la pression moyenne varie encore avec la vitesse: cela tient à ce qu'une certaine chute de pression se manifeste inévitablement dans le cylindre pendant l'admission, chute de pression d'autant plus sensible que le mouvement du piston est plus accéléré. De là résulte que l'effort de traction diminue sensiblement quand la vitesse de la locomotive augmente, car à chaque régime de vitesse correspond un degré d'admission déterminé, compatible avec le pouvoir de vaporisation de la chaudière. En d'autres termes, à mesure que la vitesse augmente, il faut réduire le degré d'admission si l'on veut que le débit de la chaudière puisse suivre la consommation de vapeur aux cylindres. L'accroissement de vitesse ne peut donc s'acquiescer qu'au détriment de l'effort de traction; autrement dit l'effort de traction varie essentiellement avec la vitesse.

Soit E l'effort de traction à la jante (en kg.).

Pour un tour de roues, le travail de l'effort de traction à la jante (qui est tangent à la circonférence de la roue) sera égal au produit de cette force par le chemin parcouru πD à la circonférence de la roue et vaudra donc $\pi D \times E$.

Pour simplifier notre exposé, faisons abstraction des pertes par frottement du mécanisme moteur (pertes qui représentent environ 10% de l'effort moteur fourni par les pistons). Dès lors, le travail de l'effort à la jante, par tour de roues, peut être pris égal au travail fourni par les pistons pendant le même temps.

Si d est l'alésage des cylindres et p_m la pression moyenne de la vapeur dans les cylindres, l'effort moteur moyen de la vapeur agissant sur chaque piston sera égal au produit de cette pression par la section du piston, soit :

$$p_m \times \frac{\pi d^2}{4}$$

La course des pistons étant l , le travail de cette force par coup de piston sera égal à

$$p_m \times \frac{\pi d^2}{4} \times l$$

et comme le piston décrit 2 courses par tour de roues, le travail moteur par cylindre et par tour de roues sera égal à :

$$2 \times p_m \times \frac{\pi d^2}{4} \times l$$

Si il y a N cylindres, le travail total des pistons par tour de roues sera :

$$N \times 2 \times p_m \times \frac{\pi d^2}{4} \times l = \frac{N}{2} \times p_m \times \pi d^2 l$$

En égalant alors ce travail à celui de l'effort à la jante nous aurons :

$$\pi D \times E = \frac{N}{2} \times p_m \times \pi d^2 l$$

d'où
$$E = \frac{N}{2} \times p_m \times \frac{d^2 l}{D}$$

Dans la pratique on préfère exprimer l'effort de traction en fonction de la pression du timbre (p) en posant $p_m = K p$, K étant un coefficient de réduction. Celui-ci dépend de

plusieurs circonstances et essentiellement, d'après ce qui a été dit plus haut, du degré d'admission dans les cylindres et de la vitesse. Généralement, pour comparer entre elles diverses locomotives au point de vue de leur effort de traction, on évalue celui-ci à faible vitesse en prenant le coefficient $k = \frac{p_m}{p}$ égal à 0,65, d'où $p_m = 0,65 p$, ce qui correspond sensiblement à une admission de 40%. Appliquée dans ces conditions, la formule de l'effort de traction à la jante pour une locomotive à simple expansion à N cylindres, devient :

$$E = \frac{N}{2} \times 0,65 p \times \frac{d^2 l}{D}$$

Par suite :

avec 2	cylindres à simple expansion	$E = 0,65 p \times \frac{d^2 l}{D}$
" 3	" " " "	$E = \frac{3}{2} \times 0,65 p \times \frac{d^2 l}{D}$
" 4	" " " "	$E = 2 \times 0,65 p \times \frac{d^2 l}{D}$

Indice caractéristique. Le terme $\frac{d^2 l}{D}$ constitue l'indice caractéristique du moteur (C) parce que, à timbre égal et à égalité du nombre de cylindres, cet indice permet de comparer entre elles les divers types de locomotives à simple expansion au point de vue de leur effort de traction. Exemples :

1°) Soit la locomotive type 38, à 2 cylindres et à simple expansion dans laquelle $N = 2$

$$p = 14 \text{ Kg./cm}^2$$

$$C = \frac{d^2 l}{D} = \frac{61 \text{ cm.} \times 61 \text{ cm.} \times 71,1 \text{ cm.}}{152 \text{ cm.}}$$

d'où

$$E = \frac{0,65 \times 14 \times 61 \times 61 \times 71,1}{152}$$

$$= 15.840 \text{ kg.}$$

2°) Soit la locomotive type 510² à 3 cylindres et à simple expansion, dans laquelle $N = 3$

$$p = 14 \text{ kg./cm}^2$$

$$C = \frac{d^2 l}{D} = \frac{50 \text{ cm} \times 50 \text{ cm} \times 63 \text{ cm}}{198 \text{ cm}}$$

d'où

$$E = \frac{3}{2} \times \frac{0,65 \times 14 \times 50 \times 50 \times 63}{198}$$

$$= 10.524 \text{ kg.}$$

30) Soit la locomotive type 9 à 4 cylindres et à simple expansion dans laquelle

$$N = 4$$

$$p = 14 \text{ kg./cm}^2$$

$$C = \frac{d^2 l}{D} = \frac{44,5 \text{ cm.} \times 44,5 \text{ cm.} \times 64 \text{ cm.}}{198 \text{ cm.}}$$

$$\text{d'où } E = 2 \times \frac{0,65 \times 14 \times 44,5 \times 44,5 \times 64}{198}$$

$$= 11.650 \text{ kg.}$$

B. Locomotives à double expansion. Soient :

N = le nombre total de cylindres et par suite, $\frac{N}{2}$ le nombre de cylindres B.P.

p = la pression du timbre de la chaudière (en kg./cm²).

p' = la pression maximum admise pour le receiver (en kg./cm²).

d = le diamètre des cylindres H.P. (en cm).

d' = le diamètre des cylindres B.P. (en cm).

l = la course des pistons (en cm.) supposée la même pour les cylindres H.P. et B.P., ce qui est le cas général.

D = le diamètre des roues motrices (en cm).

Dans l'évaluation de l'effort de traction des locomotives à double expansion on doit se placer à deux points de vue. On peut, en effet, envisager l'effort développé soit pendant le démarrage, soit pendant la marche à double expansion:

1) Pendant le démarrage les deux groupes H.P. et B.P. sont séparés, l'échappement des cylindres H.P. se fait directement à l'air libre et les cylindres B.P. sont alimentés directement au moyen de vapeur vive à une pression réduite au timbre du receiver. On peut donc assimiler, pendant le démarrage, la locomotive à double expansion à un ensemble de deux machines à simple expansion dont l'une correspond au groupe des cylindres H.P. (recevant la vapeur à la pression (p) du timbre de la chaudière) et l'autre, au groupe des cylindres B.P. (recevant la vapeur à une pression réduite (p') ne dépassant pas la pression maximum admise pour le receiver.

C'est ainsi que la formule de l'Etat Belge donne,

pour l'effort de traction afférent au démarrage des locomotives compound à 4 cylindres :

$$E = 0,65 \left(\frac{p d^2 l}{D} + \frac{p' d'^2 l}{D} \right)$$

formule dans laquelle le coefficient 0,65 répond à des résultats d'expérience.

Exemple. Dans le cas de la locomotive 8 bis, on trouverait, en tablant sur une pression $p' = 6 \text{ kg/cm}^2$ (timbre du receiver), et en remplaçant les lettres par leur valeur : $E = 10900 \text{ kg}$.

2°) Marche à double expansion : il faut nécessairement admettre qu'une certaine vitesse soit déjà atteinte.

Tenant compte du rapport des volumes des cylindres H.P. et B.P., on peut, dans un but de simplification, rapporter le degré d'admission aux cylindres B.P., car, au point de vue théorique, le travail d'une machine compound est le même que si le cylindre B.P. existant seul, la vapeur de la chaudière y était admise directement et y subissait la détente totale. En effet, supposons, pour fixer les idées, que le rapport du volume des cylindres H.P. au volume des cylindres B.P. soit égal à $1/2$. Supposons d'autre part qu'un volume initial V de vapeur, à la pression de la chaudière, soit admis dans le cylindre H.P. pendant le $1/3$ de la course du piston. Après détente dans le cylindre H.P., ce volume sera donc devenu égal à $3V$. Passant alors au cylindre B.P., supposé 2 fois plus grand, ce volume $3V$, après détente dans le cylindre B.P., sera finalement devenu égal à $2 \times 3V = 6V$. En d'autres termes, en se détendant successivement dans les 2 cylindres, la vapeur a subi, en fin de compte, une détente totale égale à 6 fois le volume initial. Par suite, si le même volume initial (V) de vapeur prise à la chaudière avait été admis directement dans le cylindre B.P. pour y subir la même détente totale et y fournir par conséquent le même travail, ce volume n'aurait alors occupé que le $\frac{1}{6} = \left(\frac{1}{3} \times \frac{1}{2} \right)$ du volume de ce cylindre, soit une fraction de ce volume égale au degré d'admission ($\frac{1}{3}$) au cylindre H.P.

réduit dans le rapport ($\frac{1}{2}$) des volumes des cylindres H.P. et B.P.

Ces considérations permettent de conclure à la possibilité d'exprimer l'effort de traction des locomotives compound en fonction de l'indice caractéristique des cylindres B.P. dans lesquels la vapeur de la chaudière serait admise à un degré d'admission correspondant à la détente totale. Dans ces conditions, si p est la pression à la chaudière, d le diamètre des cylindres B.P., D le diamètre des roues motrices et K' le coefficient de réduction correspondant à la détente totale, la relation entre le travail moteur à la jante (E) et le travail fourni par les pistons nous donnera encore :

$$\pi D \times E = \frac{N}{2} \times 2 \times K' p \times \frac{\pi d'^2 l}{4} = \frac{N}{4} \times K' p \times \frac{\pi d'^2 l}{*}$$

d'où l'effort à la jante

$$E = \frac{N}{4} \times K' p \times \frac{d'^2 l}{D}$$

Le tableau ci-dessous donne, pour différents rapports

Valeur de K'				
Rapport des volumes.	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2,25}$	$\frac{1}{2,50}$	$\frac{1}{2,90}$
Locomotives express et à voyageurs	0,44	0,42	0,40	0,38
Locomotives à marchandises	0,50	0,48	0,45	0,40

de volumes, et selon qu'il s'agit de locomotives à voyageurs ou à marchandises, les valeurs correspondantes du coefficient de réduction K' fournies par l'expérience.

Exemples : Dans le cas de la locomotive à voyageurs type 8 bis, si l'on considère la marche normale à double expansion, et si dans ces conditions on rapporte le degré d'admission aux cylindres B.P., le rapport des volumes étant, pour cette locomotive, égal à $\frac{1}{2,25}$ ou 0,44, on trouve d'après le tableau ci-dessus, $K' = 0,42$, d'où

$$E = \frac{N}{4} \times 0,42 p \times \frac{d'^2 l}{D}$$

valeur qui correspond sensiblement à la vitesse de 30 km/h et à une admission de 65% aux cylindres H.P., laquelle,

rapportée aux cylindres B.P., serait égale à $65\% \times \frac{1}{2,25}$ ou $0,65 \times 0,44 = 0,286$ soit 28,6%.

En remplaçant les lettres par leur valeur, on trouverait :

$$E = \frac{4}{4} \times 0,42 \times 16 \text{ kg/cm}^2 \times \frac{60 \text{ cm} \times 60 \text{ cm} \times 64 \text{ cm}}{180 \text{ cm}}$$

$$= \frac{0,42 \times 16 \times 60 \times 60 \times 64}{180} = 8.600 \text{ kg.}$$

tenant compte de la vitesse relativement faible à laquelle il a été calculé, cet effort de traction est sensiblement l'effort le plus élevé que les cylindres peuvent fournir en marche compound.

20. Relation entre l'effort à la jante et les résistances.

a) à l'état de régime, c'est-à-dire lorsque le train roule à vitesse constante, l'effort à la jante ne doit vaincre en palier et en alignement droit que la somme des résistances propres de l'ensemble du train (y compris celles de la locomotive), c'est-à-dire les diverses résistances au roulement ainsi que la résistance de l'air.

Si la ligne comporte des rampes et des courbes, l'effort à la jante doit vaincre les résistances additionnelles correspondantes.

Dans ces conditions, à l'état de régime, l'effort à la jante (E) nécessaire doit être égal à la somme de ces diverses résistances.

b) Lors de la mise en vitesse du train la locomotive doit fournir un supplément d'effort à la jante pour vaincre l'inertie qui oppose la masse du train au mouvement accélééré qu'il s'agit de lui imprimer.

Un train partant du repos et devant atteindre une vitesse de régime v mètres par seconde au bout d'un temps t secondes, doit, en effet, gagner progressivement de vitesse depuis la vitesse zéro jusqu'à la vitesse donnée, c'est-à-dire prendre un mouvement accélééré. Cette accélération du mouvement ne s'obtient qu'au prix d'un effort de traction plus grand que celui nécessaire pour vaincre les résistances

propres du train. Le supplément d'effort à fournir (ou effort accélérateur) dépend de la masse du train à mettre en mouvement et de l'accélération que l'on désire lui imprimer. En assimilant la mise en vitesse d'un train à un mouvement uniformément accéléré (c'est-à-dire, caractérisé par une vitesse croissant régulièrement de la même quantité à chaque instant), il nous suffira, pour calculer l'effort accélérateur (X^{kg}) nécessaire, d'appliquer la relation fondamentale

$$X^{kg} = m \times j^{m/sec.}$$

qui existe entre la masse (m) du train et l'effort accélérateur (X^{kg}) nécessaire pour lui imprimer une accélération donnée ($j^{m/sec.}$).

La masse (m) du train se détermine en remarquant que, en vertu de la même relation, le poids (P^{kg}) du train = mg , g étant l'accélération de la pesanteur qui vaut $9^{m},81$ par seconde; d'où

$$m = \frac{P^{kg}}{9,81^{m/sec}} = \frac{P}{10} \text{ environ.}$$

Dans les applications courantes on peut donc prendre comme masse du train le dixième de son poids exprimé en kilogrammes.

L'effort accélérateur vaut donc:

$$X^{kg} = \frac{P^{kg}}{10} \times j^{m/sec.}$$

Or, comme nous avons supposé que la mise en vitesse se fait suivant un mouvement uniformément accéléré, l'accélération sera égale à la vitesse de régime ($v^{m/sec.}$) à atteindre, divisée par le temps ($t^{sec.}$) qu'il faut pour l'atteindre.

L'effort accélérateur nécessaire vaudra donc:

$$X^{kg} = \frac{P^{kg}}{10} \times \frac{v^{m/sec.}}{t^{sec.}}$$

Exemple: soit un train pesant 455 tonnes, y compris la locomotive. Supposons que, partant du repos, ce train doive atteindre la vitesse de 72 km/h. (soit $v = \frac{72^{km/h}}{3,6} = 20^{m/sec}$) au bout de 130 secondes (soit 2' 10") ce qui correspond à une accélération $j^{m/sec.} = \frac{v^{m/sec.}}{t^{sec.}} = \frac{20^{m/sec.}}{130^{sec.}} = 0^{m},154$ par seconde.

L'effort accélérateur sera donc

$$X^{kg} = \frac{455.000 \text{ kg}}{10 \text{ m/sec}} \times \frac{20 \text{ m/sec}}{130 \text{ sec}} = 7.000 \text{ kg.}$$

Remarque. Si l'accélération de 0,154 m/sec., ou en chiffres ronds 15 cm/sec. par seconde, correspond sensiblement, pour les trains de voyageurs, aux conditions de la pratique. Dans ces conditions, l'effort accélérateur nécessaire pour une mise en vitesse normale d'un train de voyageurs, est donné par la formule très simple

$$X^{kg} = \frac{P^{kg}}{10 \text{ m/sec.}} \times 0,15 \text{ m/sec.} = P^{kg} \times 0,015.$$

P étant le poids (en kg) du train entier y compris la locomotive.

c) Lors des reprises de vitesse en cours de route, la locomotive doit fournir également un effort accélérateur

$$X^{kg} = \frac{P^{kg}}{10 \text{ m/sec.}} \times \frac{v_2 \text{ m/sec.} - v_1 \text{ m/sec.}}{t \text{ sec.}}$$

$t^{sec.}$ étant le temps nécessaire pour passer de la vitesse $v_1 \text{ m/sec.}$ à la vitesse $v_2 \text{ m/sec.}$

Exemple. Pour passer en une minute de la vitesse de 36 km (10 m. par seconde) à la vitesse de 72 km (20 m. par seconde), une locomotive remorquant 455 tonnes devra fournir un effort accélérateur

$$X^{kg} = \frac{455.000 \text{ kg}}{10 \text{ m/sec.}} \times \frac{20 \text{ m/sec.} - 10 \text{ m/sec.}}{60 \text{ sec.}} = 7.583 \text{ kg.}$$

Tout se passe comme si ce même train, quittant le repos, devait atteindre, dans le même temps, une vitesse égale à la différence des vitesses données.

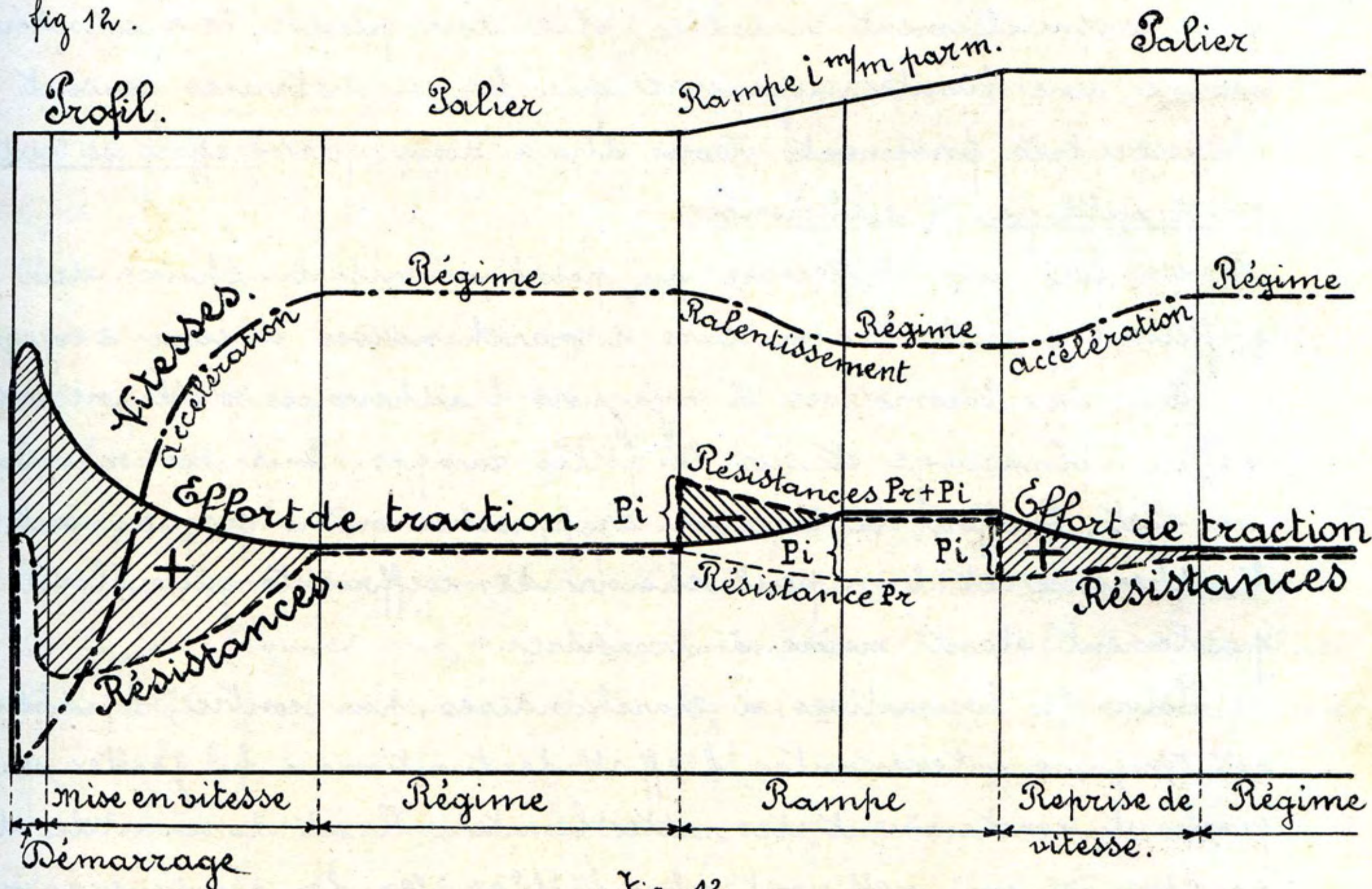
21. Représentation graphique de la relation entre l'effort de traction et les résistances pendant la marche du train.

Pour le démarrage, le levier de changement de marche est à fond de course afin d'obtenir le supplément d'effort de traction nécessaire de façon à vaincre la résistance au départ, qui est très élevée. Pendant les premiers tours de roues (démarrage) cette résistance diminue fortement. Après quelques tours de roues, on peut ramener le levier vers le centre de façon à adopter un degré d'admission compatible avec le pouvoir de vaporisation de la chaudière. A mesure que la vitesse augmente, la résistance du train s'élève, l'effort de traction diminue progressivement, et à partir du moment où ces deux éléments sont égaux, la vitesse est constante : on marche en régime. Si l'un des

deux éléments vient à varier (diminution de pression, rampe plus forte, courbe, etc) la vitesse diminue, à moins que l'on ne compense toute augmentation de la résistance par une augmentation du degré d'admission.

Toute reprise de vitesse en cours de route après un ralentissement peut être assimilée à la période de démarrage.

On peut résumer ces considérations dans le diagramme ci-dessous fig 12.



- Fig. 12 -

22. Relation entre l'effort à la jante et le poids adhérent de la locomotive. Ses caractéristiques du moteur proprement dit ne sont pas les seules dont dépend l'effort de traction celui-ci est en outre limité par l'adhérence.

P_a étant le poids adhérent de la locomotive, c'est-à-dire le poids total que le train de roues couplées reporte sur les rails, et f le coefficient d'adhérence, c'est-à-dire le coefficient de frottement de glissement entre bandage et rail, l'effort de traction effectif sera limité par l'adhérence, égale à $f P_a$.

En d'autres termes, l'effort de traction à la jante ne peut dépasser l'adhérence, sans quoi les roues motrices de la locomotive pivoteraient. Dans ces conditions, l'expression $E = f P_a$

est la relation donnant la mesure de l'effort de traction que la locomotive peut développer efficacement à la jante de ses roues motrices.

Le coefficient f varie d'après l'état des rails et les circonstances atmosphériques. Dans les circonstances favorables $f = 0,20$ et même plus, tandis qu'il peut s'abaisser à $0,10$ sur rails gras ou par pluie fine. Cette expression de l'effort de traction est donc essentiellement variable. Elle doit plutôt être considérée comme une limite supérieure que les circonstances peuvent abaisser très fortement. Nous dirons donc que l'effort de traction est limité par l'adhérence.

On fait une différence au point de vue du choix du coefficient f entre les moteurs à marchandises et ceux à voyageurs. Pour les locomotives à voyageurs l'adhérence n'est intéressante qu'au démarrage et sur les fortes rampes. Pour ces machines, en effet, l'effort de traction s'approche moins fréquemment de l'adhérence et l'on peut choisir des coefficients plus élevés, le pistement étant moins à craindre.

Pour les locomotives à marchandises, par contre, l'adhérence est toujours intéressante, l'effort de traction à la jante s'approchant constamment de cette limite. Il est donc utile de prendre ici un coefficient plus faible. On le diminuera encore pour les locomotives à fortes rampes qui travaillent constamment à la limite d'adhérence.

Dans le même ordre d'idées on tiendra compte du type de machine : ainsi, par exemple, dans un moteur compound, où l'effort de traction est plus régulier, on pourra prendre une valeur de f plus grande.

Au surplus, c'est surtout au point de vue des moteurs à marchandises que nous nous placerons ici et nous prendrons $f = 0,18$. Pour les moteurs à voyageurs, où la vitesse joue un rôle beaucoup plus important, nous nous contenterons des charges données par l'expérience ; celles-ci dépendent d'ailleurs beaucoup de la vitesse.

En général, pour ce qui concerne les locomotives à marchandises, l'adhérence pourra nous servir, mieux que l'effort de traction, à comparer deux types de moteurs, d'autant plus exactement que ces deux types de moteurs ont les mêmes caractéristiques, aux dimensions près. Connaissant les charges de l'un des types de moteurs, dans des conditions déterminées, nous en déduirons celles de l'autre type par un simple rapport.

À titre d'exemple de l'influence de l'adhérence sur la capacité de remorque des locomotives, nous citerons le cas typique de la locomotive type 8 bis, que nous voulons comparer à la locomotive type 9. On peut remarquer, en effet, que l'effort de traction théorique de la locomotive type 8 bis n'est que de 10.900 kg alors que la locomotive type 9 est susceptible de développer un effort théorique de 11.650 kg. Mais le poids adhérent de la locomotive 8 bis, égal à 59.736 kg, est sensiblement supérieur à celui de la locomotive type 9, égal à 53.300 kg seulement. Dans ces conditions, en tablant sur une adhérence moyenne de $\frac{1}{6}$, on trouve que, pour la locomotive 8 bis, l'effort de traction utile peut atteindre 9956 kg alors qu'il ne peut atteindre que 8883 kg dans le cas de la locomotive type 9. Ainsi s'explique qu'aux documents de service les charges admissibles pour la locomotive 8 bis sont nettement supérieures à celles admises pour la locomotive type 9.

23. Variation de l'effort de traction avec la puissance de vaporisation. Nous avons déjà fait remarquer (§19) que l'effort de traction est également limité par la puissance de vaporisation de la chaudière.

En effet, si pour un degré d'admission déterminé, on fait croître la vitesse de marche, le nombre de cylindrées par unité de temps augmente, et partant, la consommation de vapeur. Or, il arrive un moment où l'on atteint la limite de puissance de vaporisation de la chaudière. Cette puissance, il est vrai, croît avec le nombre de tours de roues par unité de temps, en raison de ce que le tirage est plus vif

lorsque la fréquence des coups d'échappement est plus grande. Mais elle atteint rapidement un maximum, et reste alors sensiblement constante, quel que soit l'accroissement de vitesse. On peut donc admettre que, entre certaines limites, la puissance de vaporisation est pratiquement indépendante de la vitesse. De là résulte qu'à chaque vitesse correspondra donc une limite supérieure de l'effort de traction déterminée par le pouvoir de vaporisation de la chaudière.

En résumé, l'effort de traction dépend donc essentiellement de la vitesse : il diminue quand la vitesse augmente. Il est limité d'une part par l'adhérence et, d'autre part, par la capacité de vaporisation de la chaudière.

Pour chiffrer l'effort de traction, il faut donc, avant tout, indiquer la vitesse que l'on considère. Comme nous l'avons vu, l'effort de traction à la jante, calculé d'après les formules que nous avons indiquées, est purement théorique ; il suppose une vitesse faible et ne peut être réalisé que si l'adhérence et la vaporisation le permettent. Il ne peut qu'être utilisé que pour comparer des moteurs de types différents et donner une idée relative de la puissance de traction dont ces moteurs sont capables.

L'adhérence, au contraire, indique plus exactement l'effort dont un moteur est capable, spécialement un moteur à marchandises. Encore faut-il que la limite que permet la vaporisation ne soit pas dépassée, et celle-ci n'intervient qu'à mesure qu'on veut augmenter la vitesse.

24. Application à la locomotive type 38. Pour nous rendre compte de l'influence relative de ces éléments, adhérence et vaporisation, aux différentes vitesses, et ainsi pouvoir choisir le régime de marche le plus avantageux, nous allons étudier les variations de l'effort de traction d'une de nos locomotives les plus intéressantes : la locomotive type 38.

Ces variations sont représentées dans le diagramme (fig. 13) où l'on a pris comme unités les vitesses suivant l'horizontale

et les efforts de traction suivant la verticale; ce diagramme a été établi par le calcul, mais on peut le vérifier par les essais pratiques. Nous y relevons deux lignes principales:

1) La ligne bb', limite des efforts (E) à la jante imposée par la vaporisation.

2) La ligne aa', limite donnée par l'adhérence. C'est une horizontale à la hauteur $0,18 Pa = 0,18 \times 75.200 \text{ kg} = 13.536 \text{ kg}$.

- Le point d'intersection c des lignes aa' et bb' correspond à la "vitesse critique", de la locomotive ou vitesse-limite jusqu'à laquelle l'adhérence de la locomotive est utilisée entièrement.

- Pour obtenir les efforts (E') au crochet de traction, il suffit de soustraire des efforts E à la jante, les résistances propres de la locomotive et du tender. A cette fin on peut faire usage des formules de résistance donnant par tonne de locomotive et de tender la résistance propre (r) aux différentes vitesses, et ensuite multiplier celle-ci par le tonnage donné du moteur et de son tender.

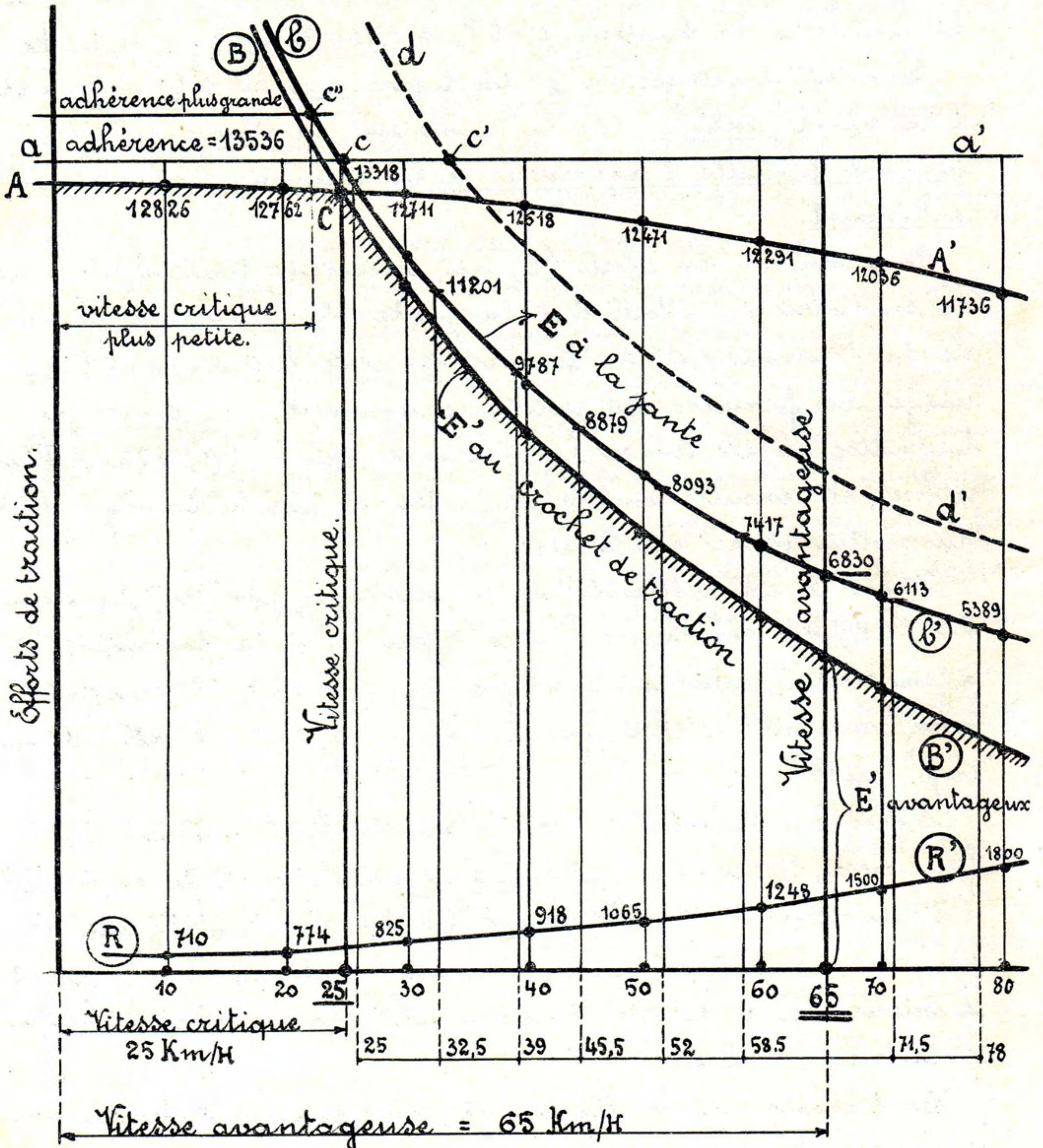
Mais il est préférable de se servir, si possible, du diagramme (RR') des résistances propres afférentes à la locomotive et à son tender, relevées au wagon-dynamomètre. On constate assez souvent, en effet, que les formules donnent des valeurs trop faibles.

Après soustraction de ces résistances, on trouve ainsi, finalement, les courbes AA' et BB' donnant les efforts de traction (E') au crochet, respectivement limités par l'adhérence et par la puissance de vaporisation de la chaudière. Le point d'intersection C de ces 2 courbes doit également correspondre à la vitesse critique.

De l'examen de ce diagramme, nous pouvons tirer les conclusions suivantes:

1) L'effort de traction pratiquement le plus élevé, étant limité par l'adhérence, sera donc celui qui déterminera la charge maxima admissible sur la rampe la plus forte de la ligne

Diagramme montrant la loi de variation des efforts de traction en fonction de la vitesse.



- Fig. 13 -

2) La vitesse "critique", étant la vitesse au delà de laquelle l'adhérence n'est plus complètement utilisée, il en résulte que cette vitesse doit être sensiblement celle des locomotives à marchandises roulant à charge maximum en développant leur effort de traction maximum compatible avec l'adhérence. Bien entendu, rien n'empêche la locomotive de rouler à une vitesse inférieure à sa vitesse critique: l'horaire sera plus large et selon les conditions une certaine économie de combustible pourra même résulter de cet élargissement d'horaire. Mais au point de vue capacité de remorque, c'est-à-dire au point de vue de la charge admissible, on ne gagne rien à rouler à une vitesse inférieure à la vitesse critique car, ainsi que le montre le diagramme, l'effort de traction limité par l'adhérence ne varie pratiquement pas aux vitesses inférieures à la vitesse critique.

3) Dès que la locomotive dépasse la vitesse critique, l'effort de traction fourni par les pistons tombe au-dessous de l'adhérence. Celle-ci n'est donc plus complètement utilisée et la charge admissible doit être diminuée en conséquence. Il convient donc bien de s'en tenir à la vitesse critique si l'on veut remorquer le maximum de charge.

4) On peut observer que si l'on pouvait augmenter la puissance de vaporisation de la chaudière par un moyen quelconque (meilleur combustible, réchauffage de l'eau, etc) de façon à obtenir une courbe telle que $d'd'$ (fig. 13) représentative de la loi de variation des efforts de traction limités par la vaporisation, la capacité de remorque de la locomotive se trouverait augmentée ainsi que la vitesse critique, le point C étant reporté en C'.

5) Réciproquement, si, à égalité de puissance de vaporisation (même courbe $b'b'$), on pouvait augmenter l'adhérence, on diminuerait la vitesse critique, le point C étant reporté en C" tout en augmentant l'effort de traction maximum compatible avec l'adhérence.

Remarque. Ce calcul démontre qu'il existe une vitesse, dite vitesse la plus avantageuse, pour laquelle une locomotive développe la puissance la plus élevée avec une dépense de vapeur la plus faible. Cette vitesse est de 65 km. à l'heure pour la locomotive type 38. C'est celle qu'il y a intérêt à adopter théoriquement avec la locomotive type 38 aux trains de voyageurs, mais il va de soi que pour les trains de marchandises il y a intérêt à tracter les charges les plus lourdes au prix d'une consommation de vapeur plus grande.

25. Evaluation des charges-limites. - Tableau des charges limites. Le diagramme ACB' des efforts de traction (E') effectifs au crochet (fig. 13) se rapporte à la remorque en palier et en alignement droit. Si la locomotive remorque un train sur une section en rampe, il faut retrancher des efforts effectifs (E') au crochet et en palier, la résistance additionnelle de la locomotive et de son tender due à l'action de la pesanteur, c'est-à-dire $i(L+T)$ kg.

Dans cette expression i représente la rampe en m/m. par mètre, L le poids de la locomotive et T celui du tender, ces deux poids étant exprimés en tonnes.

On peut alors créer un tableau à double entrée donnant, pour chaque vitesse, et en regard de chacune des valeurs de i (prises par exemple de 2 en 2 m/m), la valeur correspondante de $E' - i(L+T)$, c'est-à-dire la valeur de l'effort de traction net au crochet que la locomotive peut fournir sur chaque rampe et à chaque vitesse. Exemple :

Tableau des efforts de traction nets au crochet.

Valeurs de i m/m par m.	$V = 10$ Km/h.	$V = 20$ Km/h.	$V = 30$ Km/h.	$V = 40$ Km/h.	etc
Palier	E'_{10}	E'_{20}	E'_{30}	E'_{40}	
2 m/m.	$E'_{10} - 2P$	$E'_{20} - 2P$	$E'_{30} - 2P$	$E'_{40} - 2P$	
4 m/m.	$E'_{10} - 4P$	$E'_{20} - 4P$	$E'_{30} - 4P$	$E'_{40} - 4P$	
6 m/m.	$E'_{10} - 6P$	$E'_{20} - 6P$	$E'_{30} - 6P$	$E'_{40} - 6P$	

Dans ce tableau $P = L + T$ et E'_{10} , E'_{20} , etc. sont les différents efforts effectifs E' aux vitesses de 10, 20, etc. km/h.

Il ne reste plus qu'à évaluer dès lors la résistance de la rame aux différentes vitesses et sur les diverses inclinaisons de voie.

À défaut de renseignements fournis par le wagon-dynamomètre, on peut adopter l'une ou l'autre parmi les formules donnant la résistance des rames. Nous donnons ci-dessous une des formules de la Compagnie du Nord Français, qui semble donner des résultats assez approchantes pour les trains de marchandises :

$$r \text{ kg par tonne, en palier} = 1,6 + 0,023V + 0,00646 V^2.$$

Le tableau ci-dessous groupe les différentes valeurs de r que fournit cette formule aux différentes vitesses :

V en km/h.	10	20	30	40	50	60	70	80
r en kg/tonne	1,88	2,24	2,70	3,25	3,90	4,64	5,46	6,38

En rampe de i m/m. par mètre ces résistances par tonne sont à majorer de 1 kg. par m/m. de rampe, soit donc de i kg.

On dresse alors un tableau analogue au tableau des efforts de traction nets, à savoir le tableau des résistances de la rame par tonne de charge. Exemple :

Tableau des résistances de la rame.

(en kg. par tonne)

Valeurs de i m/m par m.	V = 10 km/h.	V = 20 km/h.	V = 30 km/h.	etc.
Palier	1,88	2,24	2,70	
2 m/m.	$1,88 + 2 = 3,88$	$2,24 + 2 = 4,24$	$2,70 + 2 = 4,70$	
4 m/m.	$1,88 + 4 = 5,88$	$2,24 + 4 = 6,24$	$2,70 + 4 = 6,70$	
6 m/m.	$1,88 + 6 = 7,88$	$2,24 + 6 = 8,24$	$2,70 + 6 = 8,70$	
etc....				

En divisant alors les efforts de traction nets ($E' - Pi$) respectivement par les résistances par tonne de rame ($r + i$) correspondant aux mêmes vitesses et mêmes inclinaisons de voie, on obtiendra finalement les charges admissibles en tonnes.

A cette fin, on dressera le tableau ci-dessous, résultant de la division, case par case, des chiffres obtenus dans chacun des 2 tableaux précédents. Exemple:

Tableau des valeurs $\frac{E' - Pi}{r + i} =$ charges admissibles.

Valeur de i m/m par m.	$V = 10$ km/h.	$V = 20$ km/h.	etc.
Galier	$\frac{E'_{10}}{1,88}$	$\frac{E'_{20}}{2,24}$	etc.
$i = 2$ m/m.	$\frac{E'_{10} - 2P}{3,88}$	$\frac{E'_{20} - 2P}{4,24}$	etc.
$i = 4$ m/m.	$\frac{E'_{10} - 4P}{5,88}$	$\frac{E'_{20} - 4P}{6,24}$	etc.
$i = 6$ m/m.	$\frac{E'_{10} - 6P}{7,88}$	$\frac{E'_{20} - 6P}{8,24}$	etc.
etc.	etc.	etc.	etc.

Les charges ainsi obtenues sont alors consignées dans un tableau définitif dit "tableau des charges", du modèle ci-dessous:

<u>Tableau des charges.</u>						
Locomotive type -----						
Vitesse critique (V_c) = -----						
Vitesse avantageuse (V_a) = -----						
Rampes	Vitesses en km/h.					
i mm. par m.	20	30	40	50	etc	
0	—	—	—	—	—	
2	—	—	—	—	—	
4	—	—	—	—	—	
6	—	—	—	—	—	
etc	—	—	—	—	—	

En appliquant cette méthode au cas de la locomotive type 38 pour laquelle les efforts de traction effectifs (E') au crochet et en palier sont donnés par le diagramme fig. 13 on obtient le tableau ci-contre des charges réduites en unités de 5,5 tonnes (page 116).

On peut également mettre ces résultats sous forme d'un graphique, et on obtient alors les diagrammes fig. 14 dans lesquels les vitesses sont portées en abscisses et les charges en ordonnées. Il y a autant de courbes qu'on se donne de rampes. Chaque courbe représente les différentes valeurs de la charge admissible aux différentes vitesses sur une rampe déterminée.

On peut enfin tirer de ces graphiques les vitesses réalisables avec une charge donnée sur les différentes rampes que comporte la ligne. Il suffit, à cet effet, (voir fig 14) de repérer sur l'ordonnée de la vitesse critique, la charge donnée (par exemple la charge admissible sur la rampe la plus forte de la ligne) et de mener une horizontale par ce point. Les abscisses des points d'intersection de cette horizontale avec chacune des courbes des charges, représentent, pour la charge maxima admise, les vitesses réalisables respectivement sur chacune des rampes $i = 2$, $i = 4$, $i = 6$ m/m, etc.....

Ainsi, en appliquant ce procédé au cas de la locomotive type 38 (fig 14), et en supposant qu'il s'agisse de la ligne du Luxembourg (i maximum = 16 m/m. par m.) nous voyons qu'avec une charge maxima de 92 unités (charge admissible à la vitesse critique sur la rampe de 16 m/m), on peut réaliser les vitesses suivantes:

25 km.	(vitesse critique)	sur les rampes maxima de la ligne (16 m/m)
33 km/h.	-----	sur les rampes de 14 m/m.
38	-----	12 "
48	-----	10 "
56	-----	8 "
64	-----	6 "

Tableau des charges (en unités).

Locomotive type 38

Vitesses en km/heure.								
Rampes i m/h par mètre	Vitesse nominale 25	30	40	50	60	Vitesse avantagée 65	70	80
0	+	+	+	+	258	205	164	103
2	+	+	+	242	169	138	113	72
4	316	300	233	171	122	102	84	53
6	234	222	175	129	93	78	64	42
8	184	175	138	104	75	62	51	33
10	149	142	113	84	60	51	42	17
12	124	118	93	68	49	41	34	13
14	106	101	78	58	42	35	27	9
16	92	87	67	51	35	29	22	6
18	80	76	59	44	30	24	18	4
20	70	67	51	37	26	20	15	—
22	62	59	45	33	22	16	12	—
24	55	52	40	28	18	13	9	—
26	49	47	35	25	15	11	7	—
28	44	42	31	22	13	9	5	—
30	40	38	28	20	11	7	3	—

Diagrammes des charges-limites.
Locomotive type 38.

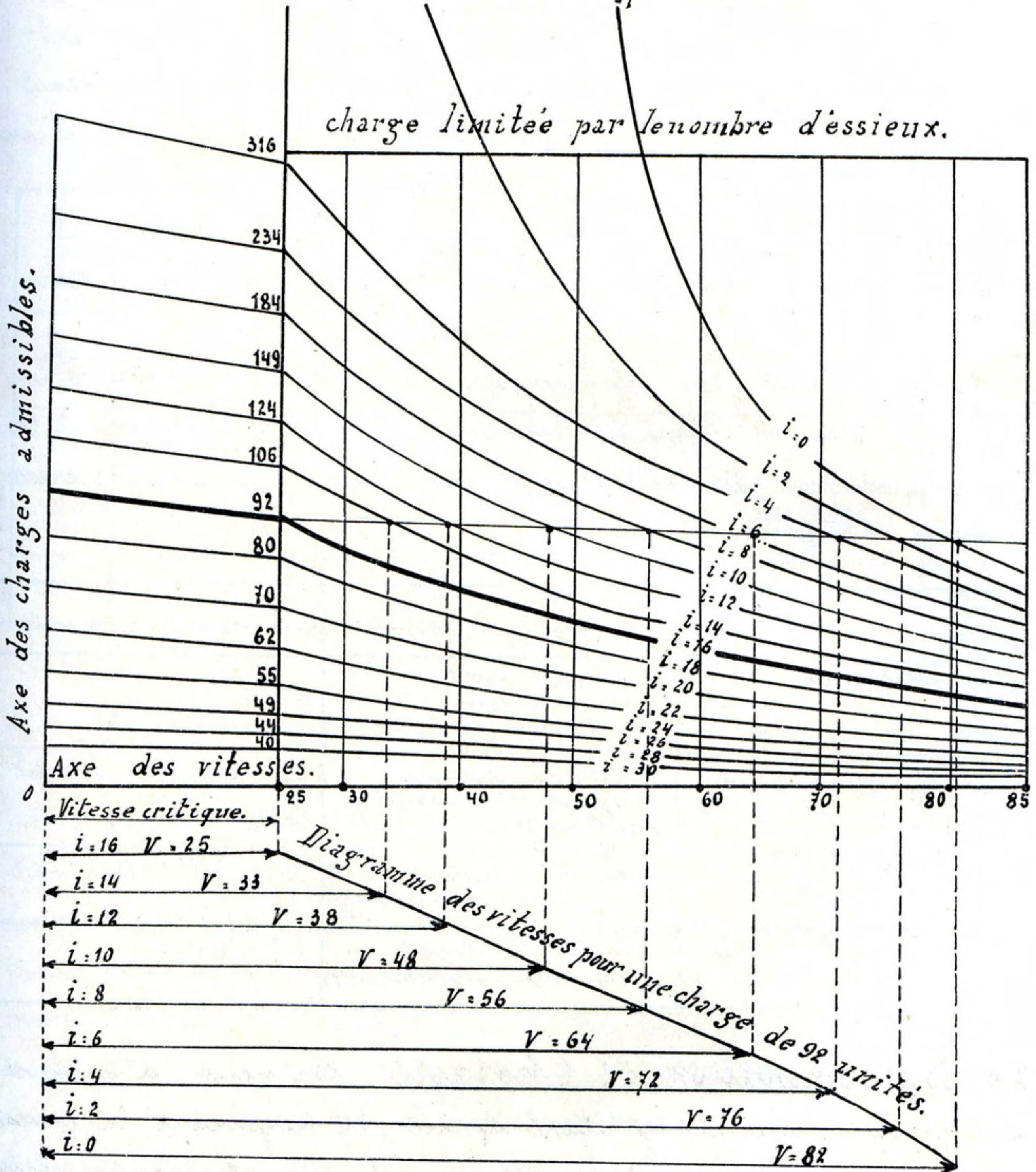


Fig. 14

72 km/h (vitesse critique) sur les rampes de 4 m/m.

76 ----- " " " 2 "

81 ----- " " " en palier.

A noter que ces vitesses doivent pratiquement être diminuées de 20%.

On devrait établir, par type de machine, un tableau de charge du modèle précité. Mais on peut, en partant du tableau relatif à la locomotive type 38, établir le tableau des charges des autres types de locomotives à marchandises au moyen du rapport des poids adhérents.

Pour passer à la locomotive type 36 par exemple, il suffira de multiplier les données du tableau annexé par le rapport $= \frac{87.8}{75.2}$ des poids adhérents.

Si l'on veut plus de précision, il est utile d'établir un tableau pour un type de locomotive par catégorie ayant les caractéristiques essentielles communes. Ainsi, on pourra créer quatre catégories :

Locomotives - types	Caractéristiques essentielles	Locomotives de même catégorie
Locomotives type 36	5 essieux moteurs 4 cylindres égaux, à surchauffe.	G 12.
" " " 38	4 essieux moteurs 2 cylindres égaux, à surchauffe.	37 - G 8 - G 8 ¹ - G 9 - G 10.
" " " 32 ^a	3 essieux moteurs 2 cylindres, à surchauffe	35 ^a - G 7 ² - 40.
" " " 32	3 essieux moteurs 2 cylindres, sans surchauffe	25 - 29.

26. Détermination de l'horaire. On peut, d'après ce qui précède, une charge étant donnée, et moyennant la connaissance des diagrammes donnant pour chaque charge la vitesse correspondante sur chaque rampe, déterminer a priori les variations de vitesse, et, par suite, l'horaire pour une ligne donnée. Ainsi, pour fixer les idées, supposons que la charge maximum admissible, limitée par la rampe maximum de la

ligne, soit W.

Si le profil de la ligne comprend des sections avec $i = 0$, $i = 2$, $i = 4$ etc. pour lesquelles le tableau ou le diagramme des charges donne des vitesses V_0, V_2, V_4, \dots correspondantes à la charge W , on peut alors, sans difficultés, dresser le tableau-horaire comme suit :

Exemple :

Tableau-horaire pour une charge W

Ligne de ----- locomotive type ----- vitesse critique = ----- Inclinaison prédominante $i = 4$ ‰. Charge maxima pour cette inclinaison = W à la vitesse critique.					
Sections	i ‰	V km/h. données par les diagrammes	Distances en km.	Horaire en minutes.	
A - B	$i = 2$	V_2	L_1	$\frac{L_1 \times 60}{V_2}$	$= t_1$
B - C	$i = 0$	V_0	L_2	$\frac{L_2 \times 60}{V_0}$	$= t_2$
C - D	$i = 4$	V_4	L_3	$\frac{L_3 \times 60}{V_4}$	$= t_3$

Mais l'horaire ainsi établi a besoin d'être contrôlé par l'expérience ainsi qu'il a été indiqué au chapitre I. Cet horaire constitue alors un guide et un contrôle pour les essais pratiques qui permettent d'arrêter l'horaire définitif. Il faut bien remarquer en effet que l'on ne peut dans un calcul déceler les petites particularités de la ligne qui influent plus ou moins sur l'adhérence : tunnel humide favorable au pistonnement, rampe très longue, etc.. On fera du reste intervenir, ainsi que nous allons le montrer, une condition nouvelle qui justifie les essais pratiques répétés, à savoir la recherche du prix de revient minimum de la tonne-kilomètre.

27. Règles à suivre pour la détermination des charges remorquées sur une ligne donnée. Nous sommes à même actuellement, étant donnée une ligne et le poids adhérent de la locomotive, de déterminer les différents régimes

de vitesses que l'on peut admettre et les charges correspondantes, et par conséquent de fixer l'horaire correspondant à chaque régime de charge.

Et tout d'abord, qu'appelle-t-on donner une ligne? Il ressort de la lecture des diagrammes donnant les charges en fonction de la vitesse et de la rampe:

a) que, relativement à une même locomotive, pour un profil donné, la vitesse diminue quand la charge augmente.

b) que, au fur et à mesure que la rampe augmente, la charge ou la vitesse diminue si les autres éléments restent constants.

En conséquence, l'étude du profil est prépondérante. Connaître

une ligne c'est en connaître le profil, c'est-à-dire connaître les pentes et les rampes, la longueur de celles-ci et leur ordre de succession. C'est en outre connaître les courbes, leur emplacement et leur succession.

La fig. 15 donne un exemple de représentation d'un bout de ligne au point de vue du profil.

Bascoup - Chapelle à Trazegnies.

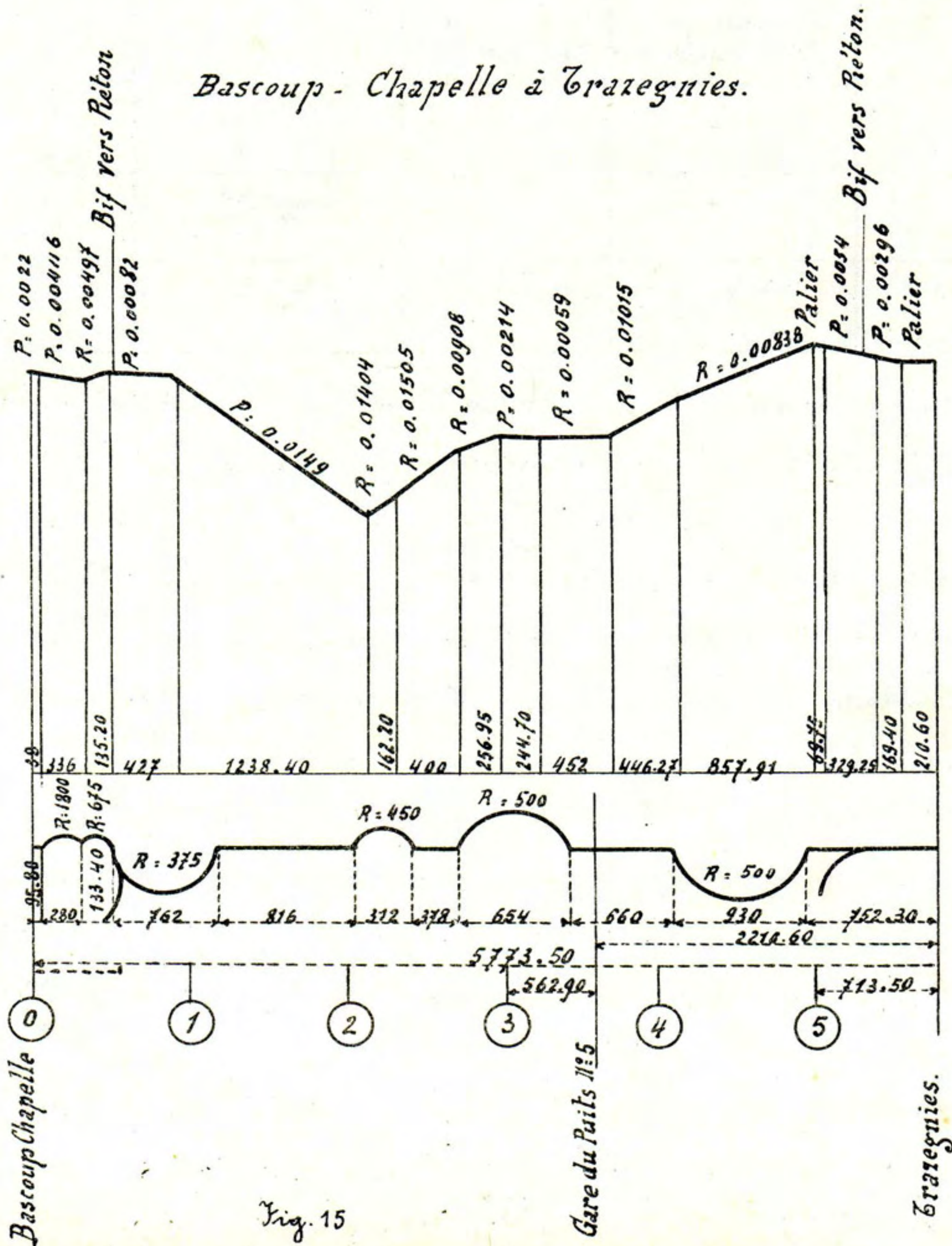


Fig. 15

Les courbes ont d'ailleurs peu d'influence relativement à l'inclinaison des pentes et des rampes. C'est pourquoi il y a avantage pour la simplicité à transformer les courbes en rampes correspondantes donnant la même résistance. Comme une courbe de rayon de R mètres donne une résistance en kg. par tonne de $750/R$, on dit que cette courbe équivaut à une rampe idéale d'inclinaison $i' = \frac{750}{R}$. L'inclinaison est ainsi, en alignement droit :

$$I = i \pm i'$$

suivant qu'il s'agit d'une rampe ou d'une pente, la courbe donnant toujours lieu à résistance, c'est-à-dire à rampe équivalente.

Enfin pour tout ramener à l'inclinaison, il faut tenir compte de circonstances locales qui augmentent ou diminuent les difficultés de traction et que l'on peut exprimer en kg par tonne ou en m/m. d'inclinaison par un terme K à déterminer par comparaison avec des rampes donnant un résultat équivalent; ainsi, si une rampe de 15 m/m. donne, par suite de circonstances spéciales, les mêmes résultats qu'une rampe de 16 m/m, on ajoutera un terme correctif $K = 1$ m/m. En général donc, l'inclinaison idéale $I = i \pm i' \pm K$ remplacera l'inclinaison réelle. C'est cette inclinaison idéale I que nous prendrons comme base dans l'évaluation des charges remorquées.

Une ligne déterminée comprend une série d'inclinaisons en rampe dans chaque sens de marche. Parmi ces inclinaisons il en est une qui détermine la charge et à laquelle on donne le nom de rampe prédominante.

Normalement c'est la rampe la plus forte qui doit constituer la rampe prédominante, mais il n'en est pas nécessairement toujours ainsi. Si, par exemple, la rampe théoriquement la plus forte est de peu de longueur, il pourra se faire qu'on puisse la franchir avec élan en adoptant la charge plus élevée qui correspond à une rampe d'inclinaison inférieure constituant alors la rampe prédominante. Il pourra en être

ainsi si la rampe en question est précédée d'une pente (cuvette), ou d'un palier permettant de prendre un élan suffisant sans dépasser les limites permises par la sécurité. En bien, il y aura intérêt à adopter une vitesse réduite, inférieure à la vitesse critique, la dépense due à l'allongement de l'horaire et à un travail momentané peu économique de la locomotive, étant compensée par l'enlèvement d'une plus forte charge sur le restant de la ligne.

La rampe la plus forte étant éliminée, il en viendra une immédiatement inférieure qui constituera soit la rampe prédominante, soit encore une rampe que l'on aura intérêt à éliminer pour les mêmes raisons, et ainsi de suite.

En fin de compte, on arrivera donc à fixer la rampe prédominante caractérisant la ligne, cette rampe n'étant évidemment pas nécessairement la même pour chaque sens de marche. Pour prendre le cas extrême on aura une inclinaison prédominante à la montée d'une rampe continue et, à la descente, la charge sera fixée simplement par les conditions de démarrage en palier et de freinage à la descente.

Sur une même ligne, la rampe peut varier dans de grandes proportions. Dans ce cas, la rampe prédominante entraîne l'adoption d'une charge bien inférieure à ce qu'on peut tractionner sur le restant de la ligne. Il y a alors intérêt à diviser la ligne en sections de charge comprenant des parties à rampes d'inclinaisons très voisines donnant une rampe prédominante très avantageuse au point de vue de l'utilisation des trains. Il va de soi que ces sections doivent avoir leurs tenants et aboutissants dans des stations où il est possible de modifier la charge des trains, sinon il n'y aurait aucun intérêt à adopter des régimes de charge différents. S'il s'agit de trains à voyageurs, il n'y aurait même aucun intérêt à limiter ces sections en dehors des gares importantes, là où l'on peut pratiquement changer la charge des trains soit par

l'adjonction ou le retrait de navettes, soit en y interrompant le roulement des rames.

Donc pour les trains de marchandises, on divisera la ligne en sections de charge. Si, comme c'est le cas pour les trains directs, on doit traverser toute la ligne sans rompre charge, ou bien on roulera en sous-charge sur les sections à rampe prédominante inférieure, ou bien on adoptera comme charge maximum de la ligne la charge correspondant à l'une de celle-ci en instaurant un service d'allège sur les sections plus difficiles. Tout dépend de la longueur des sections et de l'avantage économique du service d'allège. On adoptera la solution la plus compatible avec les possibilités et l'intérêt de l'exploitation. En tous cas chaque section aura son inclinaison prédominante propre, et pour l'ensemble c'est l'inclinaison la plus forte qui sera l'inclinaison générale de la ligne.

Nous avons vu d'autre part que, pour un même type de locomotive et pour une même inclinaison, l'on peut adopter différentes vitesses de marche, la charge correspondante diminuant à mesure que la vitesse augmente. C'est évidemment la vitesse la plus faible, la vitesse "critique", qui sera adoptée sur la partie qui donne la rampe prédominante, vu que nous avons intérêt à emporter la plus forte charge pour les trains de marchandises, étant entendu que les charges adoptées sont telles qu'elles ne surmènent pas le moteur. Pour les rampes inférieures sur la même section, la vitesse sera plus grande puisqu'on roulera en sous-charge; le diagramme fig. 14 permet de se rendre compte des différentes vitesses que l'on aura aux différentes inclinaisons inférieures à 16 m/m. pour une locomotive type 38 emportant une charge de 92 unités sur la partie à inclinaison prédominante de 16 m/m. Il va de soi que la vitesse adoptée ainsi ne dépassera pas la vitesse maximum de la ligne imposée par la sécurité (45 km. maximum sur nos lignes) si les vitesses infé-

rieures correspondant à des ralentissements locaux imposés par la voie, ni la vitesse imposée par les nécessités du freinage.

Au surplus, nous avons dit plus haut qu'en tous cas le régime en sous-charge doit être le plus économique; ce régime le plus économique ne peut être fixé que par des essais pratiques répétés, où l'on détermine en conclusion le prix de revient minimum de la tonne-kilomètre, en envisageant toutes les dépenses d'exploitation. On verra ainsi qu'il peut y avoir intérêt à accélérer la marche à certains endroits plus que ne le justifie le tableau des charges-type. Pour ces recherches pratiques, on adoptera le modèle de tableau ci-dessous :

Dates des essais	N° des trains.	Nombre de tonnes-kilomètres.	Consommation de combustible			consommation d'huiles			Dépenses en personnel						Total des frais d'exploitation	Prix par tonne-kilomètre	Observations
			Demi-grammes à la tonne	Poids à la tonne	Total en valeur fr...	Moteur	Cylindres	Total en valeur fr.	Machinistes et chauffeurs à 5 fr.		Secr. freins à 1.75		Chefs-gardes à 30				
									Nombre d'heures de service	Salaires	Nombre d'heures de service	Salaires	Nombre d'heures de service	Salaires			

Il faut tenir compte aussi de l'emplacement des signaux d'arrêt; le démarrage au pied de ceux-ci peut être spécialement laborieux lorsque le train se trouve arrêté en rampe et en courbe. Il se peut ainsi qu'une rampe courte ou suivant une cuvette ne puisse être éliminée à cause du démarrage.

Enfin, il convient de remarquer que les tableaux des charges calculés comme dit précédemment sont purement théoriques. Ils ne doivent pas nécessairement être ceux adoptés dans la pratique, mais ils doivent servir de guide au praticien qui ne pourra s'en écarter notablement sans rechercher la cause de ces écarts. Les nécessités de l'exploitation des chemins de fer, les conditions du problème sont tellement variées qu'il serait absurde de donner dans ce domaine des règles rigides. Dans cet ordre d'idées, il

conviendra de se tenir à 20% au-dessous des vitesses indiquées. Il faut en effet faire la part aux imprévus, aux difficultés atmosphériques momentanées, aux défaillances accidentelles des moteurs, bref à ce qui constitue l'essence même de l'imprévisible, de façon à être toujours à même de respecter les horaires, en disposant d'un supplément de puissance, qui, à certains moments, peut d'ailleurs servir à tractionner un surcroît de charge.

28. Régime actuel à l'Etat Belge. A Classement des locomotives au point de vue de leur puissance.

Les locomotives sont classées en plusieurs catégories selon leur puissance. Chaque catégorie est désignée par une lettre caractéristique, comme l'indique le tableau ci-dessous:

Lettre de catégorie.	Types de locomotives belges	Types de locomotives allemandes
A	22	T 13
B	29 - 52	T 9 ³ (marchandises).
C	28	T 9 ³ (voyageurs)
D	2	
F	25 - 30	G 5 ⁴
G	32	
H	15	
K	15 ^o - 17 - 12 ^{bis}	T 12
L	18	
M	18 ^o - 18 ^{bis} - atlantic	S 6 - S 9
N	25 ^{bis} - 32 ^o - 35 - 40 (march.)	G 7 ¹ - G 7 ² - G 7 ³
O	8 - 35 ^o - 40 (voyag.)	
P	9 - 13	P 8
R	23 - 39	G 8 - G 9 - T 14
S	36	G 12
T	10	
V		G 8 ¹ - G 10 - T 16
W	33 - 37 - 38	
X		S 10 - S 10 ¹ - S 10 ²
Z	8 ^{bis}	

B) Charges maxima (en unités) des trains de voyageurs. Les chiffres inscrits dans la 1^{ère} colonne des tableaux-horaires des trains de voyageurs indiquent, pour chaque section de ligne, la charge en unités qui peut être remorquée par les locomotives de la catégorie K. Ces charges ont été établies à la suite d'essais pratiques.

Lorsqu'il s'agit de locomotives d'une autre catégorie, il suffit, pour déterminer la charge maximum correspondante, de prendre dans le tableau ad hoc, du modèle ci-dessous, et dans la colonne qui porte en tête la lettre de catégorie de la machine envisagée, le chiffre correspondant, sur la même ligne horizontale du dit tableau.

Tableau des charges maxima des trains de voyageurs (en unités).													
Catégories de locomotives	C	D	F G	H	K	L	M	N	O	P	T	X	Z
Types de locomotives	$\frac{28}{T9^3}$	$\frac{2}{4}$	$\frac{30}{32}$	$\frac{12}{15}$	$\frac{12^0}{15^0}$ 17	18	$\frac{18^0}{18^0}$ atc 56-59	$\frac{32}{32^0}$	$\frac{8}{35^0}$ 40	$\frac{9-13}{P8}$	10	S10	8 ^{bis}
Charges	17 18 62	14 15 52	26 27 90	17 18 66	20 21 80	24 25 91	26 27 97	28 29 97	28 29 103	29 30 103	38 40 115	29 30 110	34 35 115

Exemple : la charge de 21 unités (machine K) correspondra pour une machine P à une charge de 30 unités.

C) Charges maxima (en unités) des trains de marchandises. Les locomotives à marchandises sont classées en 10 catégories suivant leur puissance. Ce sont les catégories S, W, V, R, N, G, F, B et C.

Les chiffres inscrits dans la 1^{ère} colonne des tableaux-horaires des trains de marchandises indiquent, pour chaque section de ligne, la charge en unités qui peut être remorquée par les locomotives de la catégorie G (locomotives à 3 essieux couplés, avec roues de 1 m, 52 type 32).

Lorsqu'il s'agit de locomotives d'une autre catégorie, il suffit, pour déterminer la charge à leur donner, de prendre dans le tableau ad hoc, du modèle ci-contre et dans la colonne qui porte en tête la lettre de catégorie de la machine envisagée

le chiffre correspondant, sur la même ligne horizontale du dit tableau.

Tableau des charges maxima des trains de marchandises (en unités).

Catégories de locomotives	S	W	V	R	N	G	F	B	C
Types de locomotives	36 G12	38	G8 ¹ G10 T16	23 G8 G9-T14	32 ⁰ 35 G7 ¹⁻²⁻³	32	25 30 G52	29 T9 ³	28
Charges	76 86 . . . 360	63 71 . . . 300	55 60 . . . 260	44 48 . . . 260	38 44 . . . 180	35 39 . . . 165	33 37 . . . 157	27 30 . . . 138	24 26 . . . 120

Exemple : la charge de 39 unités (machine G) correspondra à une charge de 71 unités pour une machine W.

29. Application de la méthode à un exemple.

Supposons qu'il faille déterminer le régime des charges de la locomotive type 38 sur la section de la ligne Ottignies - Fleurus dont le profil est représenté fig. 16. L'examen du profil de la ligne envisagée dans le sens vers Fleurus, nous permet de conclure à la subdivision en sections de charges suivantes :

Sections de charges	Longueurs	Inclinaisons réelles (en m/m par m.) <i>i</i>	Inclinaisons idéales (en m/m par m.) $I = i \pm i' \pm K$
Ottignies à Court-S ^t -Etienne		Cuvelle { pente de 8 m/m suivie d'une rampe de 7 m/m	—
Court-S ^t -Etienne à La Roche		6 m/m en courbe de R = 1000 m.	7 m/m.
La Roche à Marbais		10 m/m en courbe de R = 500 m.	11 m/m.
Marbais à Fleurus		5 m/m.	5 m/m

On voit à première vue que la section à rampe prédominante sera celle de La Roche à Marbais, ou son profil de 11 m/m. nettement supérieur aux autres et la grande longueur des rampes correspondantes. La rampe prédominante de la ligne sera donc $i = 11 \text{ mm}$.

Profil de la ligne Ottignies - Simal.

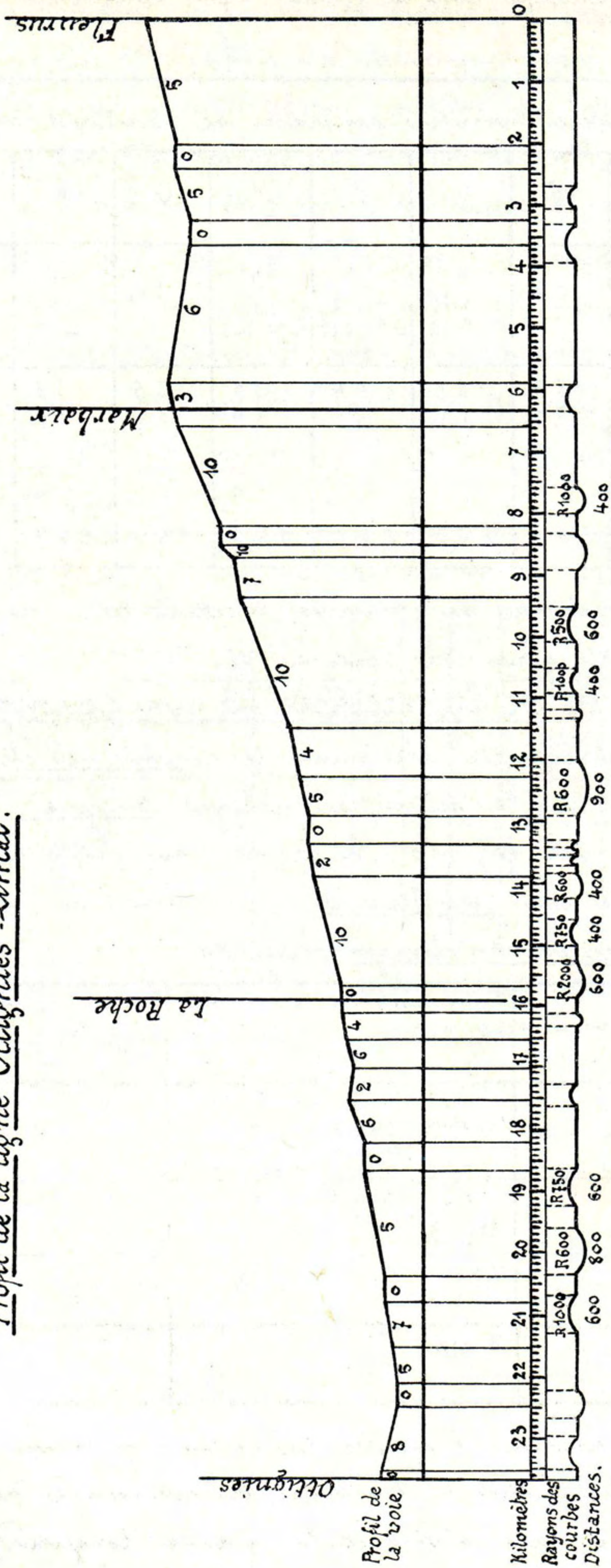


Fig. 16

En cette rampe correspond au tableau (page 116) la charge de 136 unités⁽¹⁾, ainsi que la vitesse de 25 km/h (théorique) qui, déduction faite de 20%, devient 20 km/h. La charge de 136 unités est celle en vigueur et la vitesse de 20 km/h. est également celle admise.

Cette charge de 136 unités sera celle des trains directs; sur les autres sections ces trains rouleraient donc en sous-charge si on admettait la même vitesse. Mais nous avons vu qu'il peut y avoir intérêt à accélérer la marche du train au détriment de la charge en certains endroits de la ligne: ce sera ici notamment le cas sur les rampes de moins de 8 m/m. Cela se justifie par la réduction correspondante du prix de revient de la tonne-kilomètre. Il peut d'ailleurs arriver que, pour les faibles rampes et pour les puissantes locomotives, la charge maximum compatible avec l'adhérence ne puisse être atteinte parce qu'on est limité par le nombre d'essieux (120 essieux, 60 wagons, 220 unités) ou bien parce qu'il s'agit d'une section partielle où il n'y a aucun intérêt à maintenir une charge plus forte que celle admise sur la section de ligne à profil prédominant.

Ainsi, dans le cas qui nous occupe, si, au moyen du tableau des charges admissibles pour la locomotive type 38, nous recherchons pour chaque section la charge correspondante à l'inclinaison et à la vitesse critique (25 km) nous trouvons que:

1°) Sur la section Ottignies - Court - St-Etienne, en forme de cuvette, la charge peut, malgré la rampe de 7 m/m, atteindre 251 unités, charge qui a été obtenue à la suite d'essais pratiques effectués avec la locomotive type 32 (machine G). Bien entendu on est limité pratiquement à 220 unités par le nombre d'essieux (120).

2°) Sur la section Court - St-Etienne - Laroche (I = 7) le chiffre de 209 unités, trouvé au tableau, ne correspond pas à la charge actuelle. En effet cette charge est calculée pour une vitesse théorique de 25 km/h, laquelle, déduction faite de 20%, ne correspond qu'à une vitesse réelle de 20 km/h, alors que la

(1) La charge de 136 unités s'obtient en prenant la moyenne entre celles qui correspondent à 10 et 12 mm respectivement soit $(149 + 124) : 2$

vitesse réelle adoptée sur la section ensisagée est de 28 km/h. La charge de 209 unités ne peut donc pas être adoptée, et il faut rechercher une charge moindre qui corresponde à la vitesse réelle de 28 km/h. donnée.

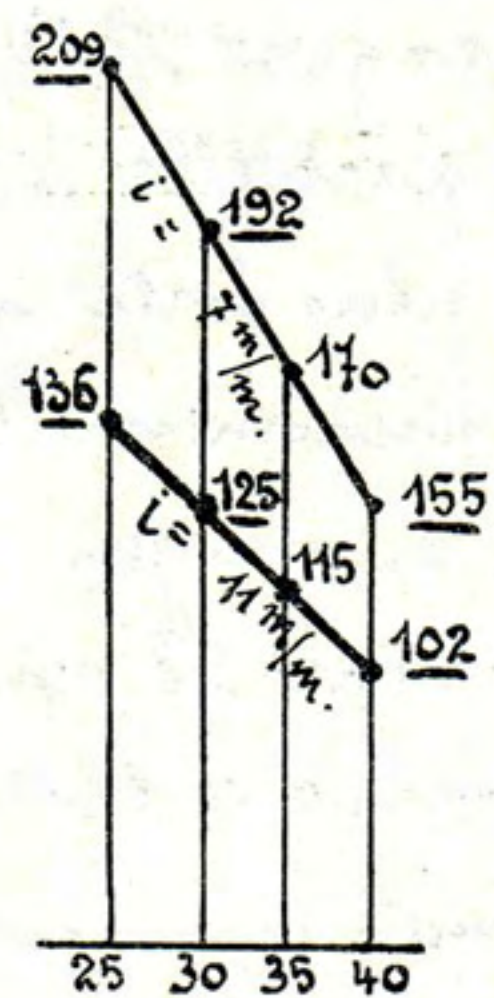
Cette charge ne sera évidemment pas celle que le tableau des charges fournit à la vitesse de 28 km/h., car à cette charge correspondrait alors une vitesse réelle de 20% inférieure. Il nous faut par conséquent raisonner comme suit: Quelle est la vitesse théorique, qui, diminuée de 20%, correspondra à une vitesse réelle de 28 km/h.

Autrement dit, si V est la vitesse cherchée, nous devons avoir:

$$V - 0,2 V = 28 \text{ km/h.}$$

ou $0,8 V = 28$

$$V = \frac{28}{0,8} = 35 \text{ km/h.}$$



On trouve alors, au graphique ci-contre, établi au moyen des chiffres du tableau des charges, qu'à la vitesse théorique de 35 km. la charge peut être réduite à 170 unités, qui est la charge actuelle.

3°) Sur la section Maarbaix - Fleurus

(I = 5) la charge de 275 unités, trouvée au tableau, ne peut être prévue en égard

à la limite de 120 essieux imposée pour la composition du train. De ce chef la charge de ce dernier est pratiquement réduite à 220 unités (60 wagons). En consultant le tableau des charges, nous voyons que cette charge, en rampe de 5 m/m, correspond à une vitesse théorique de 30 km/h., soit à une vitesse réelle de $0,8 \times 30 = 24 \text{ km/h.}$, qui est bien celle adoptée sur la section.

Il faut bien remarquer que les vitesses réelles sur lesquelles nous tablons sont celles qui sont en vigueur et qui ont été sanctionnées par la pratique; il conviendrait toutefois de les revoir conformément à la méthode indiquée plus haut, basée sur la recherche du prix de revient minimum de la tonne-kilomètre. En outre, dans ces essais, il conviendrait de faire

une distinction entre les trains directs et les trains desservant les gares intermédiaires. Si l'on adoptait en effet l'horaire qui consient à la charge de 136 unités sur toutes les sections, on aurait un horaire plus serré pour les trains directs que pour les autres trains. Pour ceux-ci on devrait faire des essais avec charges variables sur les diverses sections d'après les indications du profil; on est ainsi amené logiquement à prévoir deux horaires sur les lignes où il existe des trains directs: l'un plus serré pour ceux-ci, l'autre pour les trains de cabotage. Sur la plupart de nos lignes cependant l'horaire adopté est le même pour tous les trains.

Enfin, l'on a parfois intérêt à mettre en marche des trains rapides à charge réduite, pour lesquels on peut prévoir un horaire spécial; ce sont les trains de messageries et de transbordement qui roulent généralement à charge réduite.

30. Assimilation des sections de ligne par inclinaison.

Actuellement, sur notre réseau, les tableaux horaires du service des trains (§28) donnent, dans la 1^{ère} colonne, la charge de la locomotive-type (en unités) sur chacune des sections de charge considérées.

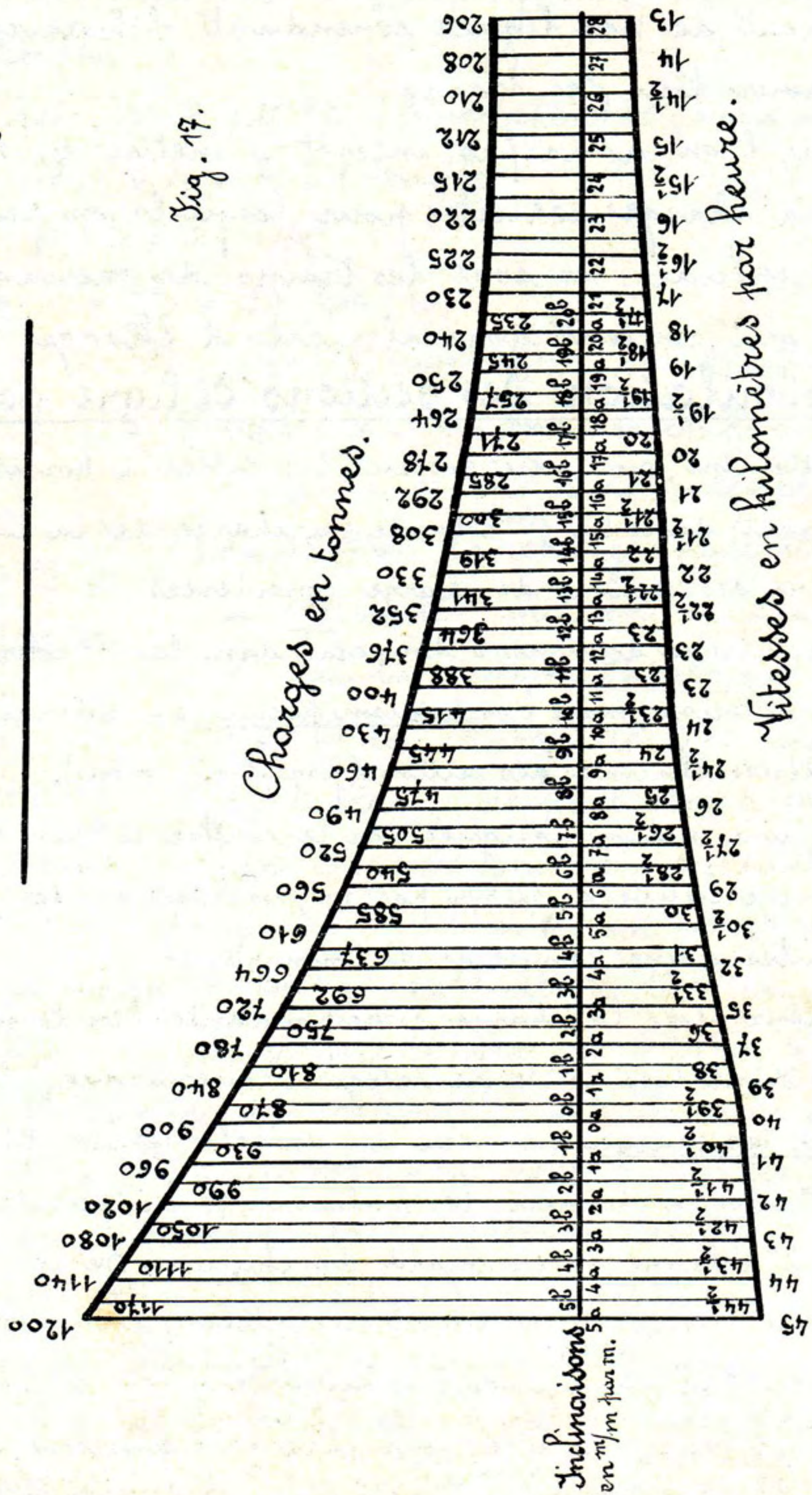
À l'avenir ce document donnera, dans la 1^{ère} colonne, non plus la charge maximum autorisée, mais l'inclinaison fictive (ou inclinaison idéale $I = i \pm i' \pm k$) qui caractérise chacune des sections (par demi-m/m).

Ainsi, une section désignée par le chiffre 12^a par exemple, est assimilée à une rampe fictive de 12 m/m par m; une section désignée par le chiffre 12^b est assimilée à une rampe de 12,5 m/m par m.

Pour avoir alors la charge correspondante (en tonnes) de la locomotive type (ou d'une locomotive de catégorie quelconque) il suffira de consulter le tableau des charges qui sera du modèle représenté par la fig. 17.

La 1^{ère} colonne donnera les inclinaisons fictives depuis -5 jusqu'à +28. Dans la 2^e colonne, et en regard de chacune de ces inclinaisons, sera indiquée la vitesse-type (ou vitesse optimale) correspondante. La 3^e colonne mentionnera la charge correspondante pour les machines des diverses catégories. Il existe, en effet, pour chaque inclinaison, une vitesse rationnelle correspondante, laquelle, sur les pentes et sur les faibles rampes est supérieure à la vitesse critique (question de gagner du temps sur les lignes peu accidentées)

Tableau donnant par inclinaison la vitesse type ainsi que la charge correspondante pour les locomotives de la catégorie G.



Inclinaisons	vitesse	charges	Inclinaisons	vitesse	charges
-5a	45	1200	11a	23	400
-5b	44½	1170	11b	23	388
-4a	44	1140	12a	23	376
-4b	43½	1110	12b	23	364
-3a	43	1080	13a	22.5	352
-3b	42½	1050	13b	22.5	341
-2a	42	1020	14a	22	330
-2b	41½	990	14b	22	319
-1a	41	960	15a	21½	308
-1b	40½	930	15b	21½	300
0a	40	900	16a	21	292
0b	39½	870	16b	21	285
1a	39	840	17a	20	278
1b	38	810	17b	20	271
2a	37	780	18a	19½	264
2b	36	750	18b	19½	257
3a	35	720	19a	19	250
3b	33½	692	19b	18½	245
4a	32	664	20a	18	240
4b	31	637	20b	17½	235
5a	30½	610	21	17	230
5b	30	585	22	16½	225
6a	29	560	23	16	220
6b	28½	540	24	15½	215
7a	27½	520	25	15	212
7b	26½	505	26	14½	210
8a	26	490	27	14	208
8b	25	475	28	13	206
9a	24½	460			
9b	24	445			
10a	24	430			
10b	23½	415			
	24	400			
	23	388			
	23	376			
	22	364			
	22	352			
	21	341			
	21	330			
	21	319			
	20	308			
	20	292			
	20	285			
	19	278			
	19	271			
	19	264			
	18	257			
	18	250			
	18	245			
	18	240			
	17	235			
	17	230			
	16	225			
	16	220			
	15	215			
	15	212			
	14	210			
	14	208			
	13	206			

et, inférieure à cette vitesse, sur les fortes rampes (question de ne pas surmener le moteur). Dans ces conditions les deux variables (inclinaison et vitesse) étant fixées une fois pour toutes, la 3^e variable, c'est-à-dire, la charge correspondante, se déduit directement par le calcul et se vérifie par l'expérience.

Le diagramme et le tableau (fig. 17) donnent, pour chaque valeur de l'inclinaison, la vitesse-type qui lui convient, ainsi que la charge correspondante pour la locomotive type 32 (machine G) considérée comme locomotive-type pour le service à marchandises; par exemple, sur une section désignée par l'inclinaison fictive 12^a, on admettra une charge de 376 tonnes; réciproquement, toute section de ligne sur laquelle la locomotive type 32 peut remorquer 376 tonnes sera caractérisée par la rampe fictive de 12 mm. par mètre.

Chapitre III. Règles de l'utilisation des locomotives.

31. Effectif. L'ensemble de toutes les locomotives dont on dispose dans une remise constitue l'effectif de cette remise. Celui-ci comprend un certain nombre de types de locomotives différents composant autant d'effectifs partiels. Ainsi, par exemple, l'effectif comprendra 120 locomotives réparties en 5 types différents, à savoir 25 P8, 18 t. 32, 50 G8¹, 17 t. 23, 10 t. 51.

L'effectif est établi et composé d'après le nombre et la nature des prestations à fournir journellement.

32. Définition d'une prestation-locomotive. On entend par prestation-locomotive l'ensemble des prestations assurées ou pouvant être assurées successivement par une locomotive dans une journée complète de 0 à 24 heures.

Le service incombant à une remise comprend un nombre déterminé de prestations-locomotive, comportant l'utilisation d'un nombre égal de locomotives. Ces prestations se reproduisent journellement, identiques à elles-mêmes, à part peut-être un certain nombre d'entre elles qui varient d'après les fluctuations du service;