

l'a beaucoup simplifié, et tout récemment on est parvenu à marcher sur les courbes de petits rayons du chemin de Sceaux en se bornant à rendre folle l'une des deux roues portées sur un même essieu, sans altérer le parallélisme des essieux et sans faire usage de galets directeurs.

MACHINES FIXES ET GRAVITÉ.

Les machines fixes comme moteurs sur les grandes lignes de chemins de fer sont généralement abandonnées.

Le système atmosphérique n'est plus employé que sur le chemin de Saint-Germain, où il fera place bientôt à un service exclusif de locomotives.

Les machines fixes se prêtent difficilement aux exigences du service. Leur emploi sur les grandes lignes, si ce n'est dans quelques cas très-exceptionnels, ne procure pas les économies qu'on en espérait, soit pour la construction, soit pour l'exploitation.

Les plans automoteurs sont employés avantageusement dans le voisinage des mines ou des usines. Leur pente doit être de deux centièmes au moins, et leur longueur ne doit pas dépasser 2,000 mètres.

La double voie avec entre-voie n'est indispensable qu'au milieu du plan.

MACHINES LOCOMOTIVES.

HISTOIRE.

Premières locomotives. — Les premières machines locomotives ont été essayées sur une route ordinaire par un Français nommé Cugnot, en 1765.

Les premières machines qui aient paru sur un chemin de fer sont celles de Trevitick et Vivian, essayées en 1804 aux environs de Newcastle.

On croyait nécessaire, lors de la construction des premières locomotives, d'employer des engrenages ou des jambes mobiles pour opérer le mouvement de translation. C'est en 1814 seulement

que Georges Stephenson construisit la première locomotive marchant en vertu de l'adhérence.

La première machine à chaudière tubulaire avec tirage par le jet de vapeur, capable de marcher à de grandes vitesses, n'a paru qu'en 1829. — La chaudière tubulaire a été inventée par Séguin l'aîné.

Depuis cette époque, rien n'a été changé au principe de la construction des machines locomotives, mais on en a considérablement augmenté la puissance et diminué les frais.

Force croissante des locomotives. — Les premières machines locomotives ne pouvaient traîner que 40 tonnes brutes à la vitesse de 25 kilomètres par heure. Les machines Engerth traînent aujourd'hui jusqu'à 700 tonnes à la même vitesse, et ne brûlent que la treizième partie de ce que brûlaient les anciennes machines pour remorquer une tonne à 1 kilomètre. (Voir p. 356.)

Avec une charge de 80 tonnes seulement, les machines peuvent atteindre la vitesse de 100 kilomètres.

Avantages précieux des locomotives. — Les machines locomotives ont l'avantage :

1° De présenter une très-grande surface de chauffe sous un très-petit volume ;

2° De produire une grande quantité de vapeur par unité de surface ;

3° D'être inexplosibles ou à peu près.

Différents types. — On distingue :

Les machines à voyageurs,

— à marchandises,

— de gare.

Machines à voyageurs. — Les machines à voyageurs se divisent en machines :

1° A moyenne vitesse, à roues indépendantes ou à deux paires de roues couplées (machines mixtes) ;

2° A grande vitesse.

L'ancien type Stephenson pour voyageurs à roues indépendantes, longue chaudière, châssis intérieur, etc., est aujourd'hui abandonné. En France, on lui préfère le type à chaudière de moyenne longueur, double châssis, cylindres extérieurs.

En Angleterre, on fait souvent usage des cylindres intérieurs.

Le châssis extérieur, en cas de rupture d'un essieu, n'est pas, ainsi qu'on l'a prétendu, plus dangereux que le châssis intérieur.

Les locomotives à quatre roues dans le même cas offrent autant de sécurité que celles à six roues. Elles sont toutefois abandonnées sur toutes les grandes lignes, à cause de leur défaut de puissance.

En Amérique, et quelquefois en Allemagne, on fait usage, pour des vitesses modérées, de machines à huit roues avec essieux parallèles deux à deux.

Les locomotives Crampton font un excellent service à grande vitesse; toutefois un certain nombre d'ingénieurs préfèrent pour les trains express les machines à roues indépendantes placées sur l'essieu du milieu, du même système que celles pour moyenne vitesse.

Machines à marchandises. — Les machines à marchandises se divisent en machines :

- 1° A moyenne charge ;
- 2° A très-fortes charges (Engerth);
- 3° Machines de rampe.

Les machines à marchandises traînant de moyennes charges sont ordinairement établies suivant les anciens types de Stephenson, avec les trois essieux entre les deux boîtes. On conserve souvent pour ces machines les cylindres intérieurs.

En Amérique, on emploie pour le service des marchandises comme pour celui des voyageurs des machines à huit roues ou des machines à dix roues, les deux essieux de devant étant indépendants de ceux d'arrière, qui sont couplés. — L'adhérence de ces machines ne peut dépasser 56 tonnes.

Les machines traînant de très-fortes charges sont dans le système Engerth. On renonce à l'engrenage. Il paraît même qu'on pourrait supprimer la réunion du tender à la machine.

La machine Engerth peut aussi être classée parmi les machines de rampe avec la machine du Nord et la machine Beugnot.

La surface de chauffe est, dans les machines à roues indépen-

dantes, pour le service à vitesse modérée, d'environ 80 mètres ;

Les machines mixtes. 85 mètres carrés.

Machines Crampton. 100 —

Machines à marchandises ordinaires. 120 à 150 —

Machines Engerth. 200 —

Fortes rampes du Nord. 120 —

Fortes rampes Beugnot. 180 —

Répartition du poids sur les essieux. — La répartition du poids sur les essieux s'opère de la manière suivante.

Dans les machines Stephenson à voyageurs :

Charge sur l'essieu d'arrière. . . . $\frac{1}{12}$ à $\frac{1}{7}$ du poids total.

— du milieu. $\frac{1}{2}$ à $\frac{2}{3}$ —

— d'avant. $\frac{1}{4}$ à $\frac{1}{3}$ —

Dans les machines Crampton :

Charge sur l'essieu d'arrière. . . . environ $\frac{5}{12}$ —

— l'essieu d'avant. . . . — $\frac{2}{12}$ —

— l'essieu du milieu. . . . — $\frac{5}{12}$ —

Dans les machines à marchandises ordinaires et Engerth et dans les machines pour fortes rampes la charge doit être la même sur tous les essieux.

Mais elle ne doit jamais dépasser 12 tonnes sur un essieu.

L'écartement des essieux extrêmes est, dans les Crampton, de 4^m,89 ; dans les machines à moyenne vitesse, de 5^m,01 à 4^m,70.

Foyer. — Le foyer des locomotives en Europe est généralement rectangulaire, en Amérique cylindrique. Le foyer rectangulaire, offrant une plus grande surface de chauffe pour une certaine surface de grille, est préférable.

La boîte à feu, dans un grand nombre de machines anglaises, est divisée en deux parties par un bouilleur ; mais le bouilleur ne convient qu'autant que l'on brûle des combustibles de première qualité.

La boîte intérieure doit être en cuivre rouge. La boîte extérieure est en tôle.

Grille. — La grille doit être composée de barreaux en fer laminé, indépendants. Toutes les machines doivent être munies d'un cendrier. En France, l'administration supérieure recommande le cendrier sans fond. En Angleterre, le cendrier est fermé dans le fond,

et le tirage est réglé par une porte placée en avant, porte que l'on peut ouvrir plus ou moins.

Tubes. — Les tubes sont en laiton, en fer ou en cuivre rouge. Le cuivre rouge se détruit rapidement lorsqu'on brûle du coke. Les tubes en laiton sont préférés sur la plupart des lignes européennes.

Tuyau de vapeur. — Le tuyau par lequel la vapeur se rend de la chaudière dans les boîtes est en cuivre.

Régulateur. — Le régulateur à tiroirs est celui que l'on préfère.

Piston. — Le piston suédois est le meilleur de tous.

Échappement. — L'échappement variable à valves est également le meilleur. En Angleterre, l'orifice d'échappement est de grandeur constante.

Roues. — On fait aujourd'hui généralement les roues tout en fer.

Coulisse. — La coulisse est aujourd'hui d'un emploi presque général. La coulisse mobile présente deux inconvénients graves. Elle ne peut augmenter la détente qu'en augmentant l'avance linéaire et rétrécissant les lumières. On évite le premier avec la coulisse fixe, très-répandue aujourd'hui.

Avance, recouvrement. — L'avance linéaire doit être égale au moins au recouvrement. Elle est généralement un peu plus grande.

Pression, détente, compression. — Dans les machines à coulisse, la durée de la détente et celle de la compression et de l'échappement anticipé sont proportionnelles au recouvrement extérieur. Le recouvrement intérieur diminue l'échappement anticipé et augmente la détente et la compression.

Compression. — La compression donne lieu à un travail résistant qui diminue la puissance de la machine; mais elle diminue la dépense de vapeur, et, par conséquent, de combustible, en remplissant l'espace nuisible de vapeur. Poussée au delà de certaines limites, elle cesse de réduire la consommation de vapeur.

DÉTERMINATION DES RÉSISTANCES A VAINCRE SUR LES CHEMINS DE FER.

Résistances en plaine et en ligne droite. — Les résistances normales que le moteur doit vaincre pour maintenir un waggon mar-

chant sur un chemin de fer en ligne droite à l'état de mouvement sont de trois espèces, savoir :

1° Le frottement des fusées qui tournent dans les boîtes à graisse ou à huile.

2° Le frottement des roues sur le rail.

3° La résistance de l'air.

Frottements. — On admet généralement que le frottement est proportionnel à la pression, qu'il varie avec la nature et l'état des surfaces en contact, mais qu'il est indépendant de l'étendue de ces surfaces et de la vitesse.

Des expériences récentes paraissent infirmer cette loi; il semblerait résulter de ces expériences que la vitesse et la surface en contact ne sont pas sans influence sur le frottement.

Résistance de l'air. — La résistance de l'air est proportionnelle au carré de la vitesse.

Elle est d'autant plus faible que le mobile est plus allongé dans le sens du mouvement.

Si deux surfaces se masquent exactement, la résistance éprouvée par la surface masquée est égale à une fraction de la résistance supportée par la surface antérieure. — Plus l'espace qui sépare les deux surfaces est faible, plus aussi la résistance exercée sur la surface masquée sera diminuée.

Résistance sur une rampe. — Sur une rampe la puissance provenant de la composante du poids parallèle au plan incliné s'ajoute aux résistances occasionnées par le frottement et par l'air.

Résistance dans les courbes. — Dans les courbes trois nouvelles causes de résistance s'ajoutent aux précédentes.

1° Le glissement des roues provenant de leur fixité sur l'essieu, glissement qui tend à s'opérer dans la direction de la tangente.

2° Le glissement des roues provenant du parallélisme des essieux, glissement qui tend à s'opérer suivant la direction du rayon de la courbe.

3° La force centrifuge qui produit un frottement d'une partie du bourrelet des roues contre la file de rails extérieure.

Équation du travail. — L'équation du travail dans le cas le plus général d'un chemin, sur une rampe et en ligne courbe, s'é-

tablit en faisant la somme des travaux provenant des résistances précitées.

Détermination des coefficients. — Pour déterminer les coefficients on s'est servi du dynamomètre, ou l'on a fait descendre des waggons sur des plans inclinés.

Frottement sur les fusées. — Le travail du frottement sur les fusées est proportionnel au diamètre de ces fusées et inversement proportionnel au diamètre des roues.

Il est moins grand avec le graissage à l'huile qu'avec celui à la graisse, surtout au moment du départ et en hiver.

Ce travail est de deux à trois millièmes du poids qui pèse sur la fusée.

Frottement au pourtour des roues. — Le travail du frottement au pourtour des roues est d'environ le tiers du frottement sur les fusées.

Il diminue en sens inverse du diamètre des roues, mais l'influence du diamètre dans les limites de grandeur des roues de waggons est considérée comme insensible.

Ce frottement dépend aussi de l'état des rails. Nous avons supposé un état moyen de propreté. Il diminue lorsque les rails sont humides.

Résistance de l'air. — La résistance de l'air à de grandes vitesses augmente notablement la résistance totale.

Ainsi la résistance totale, étant par approximation, à des vitesses de 25 à 40 kilomètres par heure, de 5 à 4 1/2 millièmes du poids total, devient de 4 1/2 à 8 1/2 millièmes à des vitesses de 40 à 60 kilomètres par heure, et de 12 à 15 millièmes, à des vitesses de 80 à 90 kilomètres.

Résistance sur les rampes. — Sur les rampes la composante du poids a une grande influence sur la résistance totale. Sur une rampe de 5 millièmes elle dépasse déjà celle du frottement.

Résistance dans les courbes. — Dans les courbes le frottement occasionné par la fixité des roues sur les essieux augmente avec la largeur de la voie; et celui occasionné par le parallélisme des essieux, avec la distance des essieux extrêmes.

Le frottement occasionné par la force centrifuge augmente

comme le carré de la vitesse, et en raison inverse du rayon de courbure.

On n'a pas encore déterminé exactement la résistance dans des courbes de rayon donné à des vitesses données.

Discussion de la formule. — De la discussion de l'équation du travail il résulte :

1° Que l'on diminue la résistance en diminuant le diamètre des fusées et en augmentant le diamètre des roues.

C'est pour diminuer le diamètre des fusées que l'on place ordinairement dans les waggons les fusées à l'extérieur des roues.

L'augmentation du diamètre des roues est limitée par la nécessité de ne pas rendre le chargement et le déchargement des waggons trop difficiles, de ne pas en augmenter le poids mort outre mesure, et de ne pas en diminuer la stabilité en augmentant la tendance au renversement latéral.

2° Qu'on réduit considérablement la résistance totale en diminuant la vitesse.

3° Que le passage dans les courbes donne lieu à une augmentation de résistance d'autant plus grande *par unité de distance parcourue* que le rayon est plus petit.

4° Que, dans tout changement de direction du tracé, le travail résistant *total* propre au parcours de la partie courbe qui raccorde les deux alignements droits est indépendant du rayon de courbure; mais que la grandeur de celui-ci n'est pas pour cela tout à fait indifférente dans l'appréciation de la dépense finale de traction, puisque toute réduction du rayon ou du développement de la courbe correspond à un allongement du parcours total ou à un petit surcroît de travail sur l'alignement droit.

Qu'ainsi, en augmentant le rayon des courbes à grands frais, on a bien moins pour objet de diminuer le travail sur les alignements que de réduire le travail résistant par unité de distance parcourue en courbe, de façon qu'il ne dépasse pas certaines limites dans les circonstances les plus défavorables, limites au-dessus desquelles les machines éprouveraient une fatigue et une usure excessives.

Surélévation du rail extérieur dans les courbes. — On diminue la résistance occasionnée par la force centrifuge en surélevant

dans les courbes le rail extérieur. Il ne faut pas craindre, dans le double intérêt de la facilité et de la sécurité de la circulation, de baser l'inclinaison transversale de la voie sur la plus grande des vitesses avec lesquelles les trains de voyageurs pourront avoir à parcourir chaque courbe.

Résistances accidentelles. — Les résistances accidentelles proviennent :

- 1° De l'état d'entretien de la voie et du matériel roulant;
- 2° De l'imperfection naturelle de ces deux éléments du chemin de fer;
- 3° De l'action du vent.

On a mesuré l'influence du vent et on a trouvé :

Que, si le vent souffle en sens contraire de la marche du convoi, son influence comme cause de résistance n'est pas très-grande.

Mais que, lorsqu'il souffle latéralement au convoi, il peut, dans certains cas, doubler la résistance.

Résistances sur chemins de fer et autres voies. — Comparant les résistances totales sur les chemins de fer de niveau et en ligne droite à celles des routes et des canaux, on trouve :

Qu'à des vitesses modérées la résistance sur une bonne route est de huit à dix fois aussi grande que sur un chemin de fer;

Qu'à de très-faibles vitesses elle est sur les canaux le quart ou le cinquième de ce qu'elle est sur un chemin de fer; mais que, la vitesse croissant, elle dépasse bientôt la résistance sur les chemins de fer.

THÉORIE DES LOCOMOTIVES.

Problème à résoudre. — *Quelle est la charge que peut traîner à une vitesse donnée une machine locomotive de dimensions données?*

Tel est le problème à résoudre, et, pour le résoudre, il faut établir une équation entre le travail moteur et le travail résistant, équation établissant une relation entre la charge, la vitesse et les dimensions de la machine. La même équation sert à déterminer la vitesse, la charge et les dimensions de la machine étant don-