

RÉSUMÉ

DU TRAITÉ

ET PRINCIPES QUI DOIVENT PRÉSIDER A LA CONSTRUCTION DES CHEMINS DE FER

COMPARAISON DES VOIES DE COMMUNICATION.

Routes. — Perpendiculaires aux voies de fer, les routes sont les premiers agents de leur prospérité.

Parallèles aux railways, les routes peuvent lutter avec avantage ou conserver du moins une activité suffisante lorsqu'il s'agit de courtes distances.

Les routes sont, en outre, toujours préférables aux chemins de fer dans les pays de hautes montagnes, pourvu toutefois que la voie de communication à établir n'ait pas pour objet la réunion de deux grandes lignes de chemins de fer, établis de l'un et de l'autre côté des montagnes.

Enfin il convient également de préférer les routes ordinaires aux chemins de fer lorsqu'on est appelé à desservir des contrées où la circulation n'a pas atteint ou ne paraît pas devoir atteindre promptement un certain degré d'activité.

En général, on trouve qu'il est peu avantageux, au point de vue financier, d'établir un chemin de fer si le mouvement n'est au moins de 60,000 à 80,000 tonnes parcourant la longueur entière, ou l'équivalent en voyageurs.

Canaux et rivières. — Les canaux sont impraticables dans certains pays accidentés où l'on construit au contraire des chemins de fer avec avantage.

De grands bassins houillers se trouvent dans les terrains de cette nature. Les chemins de fer ont contribué puissamment à en faciliter l'exploitation.

Dans les pays médiocrement accidentés, ou dans les pays de plaines, on peut établir des canaux aussi bien que des chemins de fer ; mais il est reconnu aujourd'hui que, si l'on tient compte de l'intérêt du capital engagé dans la construction des canaux aussi bien que de l'intérêt du capital engagé dans la construction du chemin de fer, le chemin de fer considéré comme moyen de transport seulement est *toujours* préférable au canal, au point de vue de l'économie des transports aussi bien qu'au point de vue de la rapidité.

La pratique et le raisonnement s'accordent pour prouver que, *dans l'état actuel de l'industrie*, les spéculateurs ne sauraient sans imprudence entreprendre l'établissement de nouveaux canaux destinés à servir de moyens de transport seulement.

Les canaux rendent, dans quelques pays, des services que l'on ne peut obtenir des chemins de fer, et qui sont de nature à leur faire accorder la préférence dans certains cas particuliers.

Ils servent à dessécher des marécages, à arroser des prairies, et amènent quelquefois l'eau dans les villes ; ils fournissent encore de l'eau aux usines, ou bien ils alimentent des écluses de chasse. Quelquefois aussi ils produisent des effets tout contraires, convertissent par leurs filtrations les terrains du voisinage en marais infects, et privent d'eau les prairies et les usines.

La navigation des rivières, des lacs et de la mer, n'étant plus, comme celle des canaux, grevée généralement de l'intérêt d'un capital de construction, est, dans certains cas, plus économique, et peut opposer une concurrence redoutable aux chemins de fer.

Les chemins de fer sont un puissant moyen de défense pour le pays qui les possède, plus encore qu'ils ne sont un moyen d'attaque.

HISTOIRE DES CHEMINS DE FER.

Origine des chemins de fer. — Les premiers chemins de fer ont été construits en Angleterre, aux environs de Newcastle, vers l'année 1650. Le cheval et la gravité ont été les seuls moteurs employés sur ces chemins jusqu'en 1804. C'est en 1804 que fut essayée, également aux environs de Newcastle, en Angleterre, la première machine locomotive sur un chemin de fer.

Origine des chemins à grande vitesse. — Les chemins de fer à grande vitesse ne datent que de 1829, époque à laquelle fut inventée la machine locomotive à chaudière tubulaire par Marc Séguin. C'est alors seulement que les chemins de fer devinrent propres au transport des voyageurs et des marchandises en grande masse.

Construction des grandes voies ferrées dans les différents pays. — Les premiers chemins de fer de grande circulation furent construits en Angleterre. Les États-Unis et la Belgique suivirent l'Angleterre de près. L'Allemagne vint ensuite, puis la France. La Suisse n'a commencé son réseau de voies ferrées qu'en 1855. Toutefois, malgré la configuration défavorable du sol, elle sera dans quelques années l'un des pays les plus riches en voies métalliques. La Russie, l'Espagne, l'Italie, ont aussi entrepris depuis quelques années la construction des voies ferrées avec une grande vigueur. Les Anglais travaillent enfin avec activité à la réunion des principales villes de leurs possessions dans l'Inde par des chemins de fer.

Deux hommes ont marqué surtout dans l'histoire des chemins de fer, l'ouvrier mineur anglais Georges Stephenson et l'ingénieur civil français Marc Séguin.

NOTIONS GÉNÉRALES.

Avantages des chemins de fer sur les autres voies de communication. — Les principaux avantages des chemins de fer sur les autres voies de communication sont de permettre l'emploi de la machine à vapeur comme moteur dans les meilleures conditions,

et de réduire considérablement la résistance opposée au moteur, mais à la condition de ne présenter que de faibles pentes et des circuits d'un grand rayon.

Variation de la résistance. — La résistance croît rapidement avec la pente, la vitesse, et en raison inverse du rayon de courbure.

Un cheval, une machine, un moteur quelconque, peuvent traîner sur un chemin de fer de niveau, en ligne droite, à une vitesse modérée de moins de six lieues à l'heure, une charge de sept à neuf fois aussi grande que sur une route ordinaire à la vitesse en usage sur les routes. A la vitesse de 60 ou 70 kilomètres par heure, un moteur quelconque capable d'atteindre cette vitesse ne traîne plus sur un chemin de niveau, en ligne droite, que le tiers ou le quart de la charge qu'il traîne sur les routes à la vitesse en usage.

Sur un chemin dont la pente est un peu forte, le frottement au pourtour des roues, qui joue un rôle important comme résistance sur un chemin en plaine, n'est plus qu'une petite fraction de la résistance totale, et l'emploi des locomotives qui ont leur propre poids à remorquer, devenant très-coûteux, cesse d'être avantageux. C'est ce qui fait que la pose des bandes de fer, qui a pour résultat de réduire ce frottement et de faciliter l'usage des locomotives, perd la plus grande partie de ses avantages.

Les chemins de fer ont été jusqu'à ce jour impraticables dans les pays de très-hautes montagnes, où cependant on a établi des routes.

Chemins à bandes saillantes et à bandes plates. — Les chemins à bandes saillantes obtiennent aujourd'hui généralement la préférence sur ceux à bandes plates.

Chemins à une et à deux voies. — Les chemins à deux voies sont préférables aux chemins à une voie pour un service d'une certaine activité (correspondant à une recette d'environ vingt mille francs par kilomètre au moins). L'exploitation en est plus facile. On considère à tort les chemins à une voie comme très-dangereux. Ils sont peut-être un peu moins sûrs que ceux à deux voies; toutefois les accidents sur les chemins allemands, dont la plupart sont à une voie, ont été beaucoup moins fréquents que sur les chemins anglais, presque tous à deux voies. Mais les chemins à une voie

ne donnent en général ce résultat satisfaisant qu'autant que la circulation y est médiocrement active, que les transports s'y opèrent à des vitesses modérées, et qu'on n'y fait un service de nuit qu'exceptionnellement.

TRACÉ DES CHEMINS DE FER.

La question du tracé des chemins de fer est en même temps technique, financière, commerciale et politique.

Tracés directs et indirects. — On s'est trop préoccupé, dans l'origine des chemins de fer, de diminuer la distance entre les stations extrêmes, en négligeant les localités intermédiaires, qui ont souvent une grande importance. Il importe, avant de fixer le tracé d'un chemin de fer, de bien déterminer l'importance réelle de chacune de ces localités.

Tracé des vallées et des plateaux. — Les premières grandes lignes de chemins de fer ont été établies parallèlement aux voies navigables, dans les vallées où existaient déjà des éléments du trafic, dans le but de développer ce trafic. Dans un grand nombre de circonstances toutefois on a avec raison placé des chemins de fer sur les plateaux.

Il n'y a donc pas lieu de poser en principe que le tracé des chemins de fer doit suivre les vallées ou les plateaux.

Emplacement des gares de voyageurs relativement au centre des villes. — Les gares extrêmes de voyageurs ne doivent être rapprochées du centre des villes qu'autant que la dépense pour les rapprocher, dépense généralement considérable, serait en rapport avec les avantages qui en résultent.

Répulsion des habitants des villes pour les gares. — On a cru à tort, pendant longtemps, que les gares deviendraient des points d'attraction pour les habitants des villes. — Loin de là, il est démontré aujourd'hui qu'ils s'éloignent plutôt de ces centres bruyants. Les hôtels trop voisins des gares ont même rarement un grand succès.

Gares de marchandises placées en dehors des grandes villes. — Les gares extrêmes de marchandises, occupant de vastes terrains,

ont été généralement établies en dehors des villes, soit afin de les placer sur des terrains moins coûteux, soit pour soustraire les marchandises au droit d'octroi.

Gares communes. — Les gares communes ne sont avantageuses que sur les chemins de fer où la circulation n'a pas atteint l'extrême activité qu'elle a prise sur nos grandes lignes.

Le service dans les gares communes doit toujours être fait par une seule et même administration.

Maximum d'inclinaison des rampes et pentes. — Il faut, dans le tracé des lignes principales, se résigner à quelques sacrifices pour réduire l'inclinaison des rampes et pour agrandir le rayon des courbes.

Nous ne prétendons pas cependant imposer ici une règle absolue. Les sacrifices ont aussi leurs limites, et, avec des machines suffisamment puissantes, les fortes pentes, pourvu qu'elles ne dépassent pas un certain maximum, n'exerceront pas sur les frais d'exploitation une influence à beaucoup près aussi grande que celle qu'on leur avait supposée dans l'origine.

On ne craint pas aujourd'hui de construire même des lignes du premier ordre avec des pentes que l'on avait considérées comme entièrement inadmissibles il y a quelques années.

La limite de pente ordinairement adoptée dans les pays médiocrement accidentés est de 10 à 12 millimètres; dans les pays de montagnes, de 20 à 25 millimètres. On trouve cependant, sur le chemin de Turin à Gênes, des pentes de 5 centimètres et demi gravies par des locomotives. — L'état des rails, généralement humides et boueux dans les souterrains, y augmente la résistance, en sorte que, eu égard à la résistance, la pente de 5 centièmes en souterrain équivaut à une pente de 5 centièmes et demi à ciel ouvert. La pente dans les stations intermédiaires doit être nulle ou à peu près. Dans les stations extrêmes, elle doit être de 5 millimètres en descendant dans le sens du départ.

Mode de répartition des pentes. — Le mode de répartition des pentes sur un chemin de fer n'est pas sans importance. Les pentes variées, même d'une assez faible inclinaison, sont peu favorables à l'emploi des locomotives. Les pentes uniformes sont préférables.

Si toutefois la raison d'économie, devant laquelle le principe technique des pentes uniformes doit aussi plier, oblige à préférer une pente variée, il faut diviser autant que possible les lignes ou parties sur lesquelles l'effort varierait du simple au double ou à peu près.

Inclinaison avantageuse. — Une inclinaison très-avantageuse est celle pour laquelle l'effort du moteur est le même dans les deux sens, eu égard à la différence de chargement à la descente et à la remonte.

Concentration des fortes pentes. — Il faut autant que possible concentrer les fortes pentes en les allongeant plutôt que de les multiplier en les raccourcissant, et les placer dans le voisinage des points où la création des dépôts est nécessaire.

Les inconvénients des fortes rampes peuvent être aggravés ou amoindris par la direction du plus grand mouvement. Si ce plus grand mouvement s'opère à la descente, les fortes pentes sont moins désavantageuses. Elles sont également moins redoutables lorsque les convois sont généralement faiblement chargés, comme cela arrive sur certains chemins.

On s'effraye quelquefois des fortes pentes, parce qu'on suppose que sur ces pentes il est impossible de contenir les convois.

Elles ne sont certainement pas sans danger, mais on en calculait mal les effets lorsqu'on proscrivait les pentes dépassant 5 millièmes comme exposant les voyageurs à la descente à de nombreux accidents. Il est reconnu aujourd'hui que sur une pente de 1 centième la résistance devient telle à la vitesse de 60 à 70 kilomètres par heure, que les convois abandonnés à eux-mêmes ne peuvent la dépasser, et que sur les plus fortes pentes en usage les freins et les machines-locomotives agissant elles-mêmes comme les freins les plus puissants lorsqu'on renverse la vapeur peuvent toujours arrêter les convois.

Inconvénients des courbes de petit rayon. — Sous le rapport de l'économie de premier établissement, les courbes de petit rayon sont avantageuses, puisqu'elles permettent de tourner les difficultés au lieu de les vaincre au moyen de grands travaux d'art et de terrassement; mais elles exercent sur les frais de traction la même

influence que les fortes pentes : elles forcent à réduire la vitesse des trains.

Les courbes de trop petit rayon deviennent aussi une cause d'accidents et d'usure du matériel.

Tranchées ou souterrains courbes. — Les tranchées ou souterrains courbes aux approches des stations sont toujours dangereux. Il faut les éviter autant que possible.

Parties du tracé qui admettent des courbes de petit rayon. — Les courbes de petit rayon et les fortes pentes étant en même temps des causes d'accroissement de résistance et d'accident, il faut autant que possible éviter de les placer simultanément sur un même parcours.

Les courbes de petit rayon doivent être évitées surtout dans les parties du chemin où les convois marchent généralement à de grandes vitesses. On peut diminuer le rayon aux abords des gares d'une certaine importance où tous les convois s'arrêtent, et dans l'intérieur de ces gares.

Courbes tournées en sens contraire. — Lorsque deux courbes tournées en sens contraire se trouvent à la suite l'une de l'autre, il faut les séparer par un alignement ayant la longueur des plus grands convois.

Rayon minimum des courbes. — Les courbes sur les grandes lignes à grande vitesse les mieux exécutées ont généralement de 800 à 1,000 mètres, sauf à l'approche des gares importantes, où elles n'ont que 500 mètres, ou dans l'intérieur de ces gares, où le rayon devient encore plus petit. Sur quelques chemins de fer d'Autriche, on n'a pas craint de réduire le rayon des courbes à 180 mètres; mais on ne marche sur ces chemins qu'à de petites vitesses (30 kilomètres à l'heure, avec des machines à 6 ou à 8 roues à essieux mobiles du système américain). Sur les chemins américains on est descendu même au-dessous de cette limite. — Les Allemands renoncent aujourd'hui assez généralement au matériel américain, donnant aux courbes de leurs nouvelles lignes de 500 à 600 mètres au moins de rayon.

Sur plusieurs chemins d'une certaine importance, construits récemment en France et en Suisse, on a adopté en quelques points,

par raison d'économie, des rayons de 300 à 350 mètres; mais alors on ralentit le train au passage de ces courbes.

La courbure du chemin, dans les changements de voie, où l'on marche toujours doucement, a pour limite minima 260 mètres.

Passages à niveau. — Les passages à niveau, quand, sur les alignements ou sur des courbes en remblais, on peut les apercevoir de loin, ne sont pas dangereux; mais il en est tout autrement s'ils se trouvent à l'extrémité de tranchées ou de souterrains courbes.

Il faut aussi éviter autant que possible de placer des passages à niveau à l'extrémité des gares sur des chemins fréquentés; mais souvent cela devient très-difficile.

Inconvénients des points de rebroussement. — Il ne faut recourir, dans les tracés, aux rebroussements que dans quelques cas particuliers où ils deviennent indispensables pour se rapprocher du centre des villes; et encore est-il nécessaire, dans ce cas, d'établir des courbes de raccordement pour éviter aux convois directs de pénétrer dans les stations où ils seraient obligés de rebrousser.

Passage des souterrains. — Le passage des souterrains n'est pas, comme on l'a prétendu, nuisible à la santé des voyageurs.

Les déblais ne doivent pas être nécessairement compensés par les remblais. — Dans le tracé des routes de terre on cherche ordinairement à compenser les déblais par les remblais. Plusieurs ingénieurs ont cru devoir, à tort, étendre cette règle au tracé des chemins de fer.

Il faut souvent détourner le tracé d'un chemin de fer pour éviter certains terrains difficiles ou recourir aux dépôts et aux emprunts.

Action des vents. — Il importe, en étudiant le tracé des chemins de fer, de se rendre compte de l'action que les vents peuvent avoir sur la marche des convois.

Influence des neiges. — Il faut aussi, dans les pays de montagnes surtout, diriger les tracés de manière à se préserver autant que possible des amas de neige. — Toutefois la neige est moins redoutable qu'on ne l'a supposé. On a exprimé la crainte que dans les pays de montagnes, et même dans les pays de plaines où le froid est rigoureux, elle ne devînt un obstacle insurmontable à l'exploit-

tation des chemins de fer en hiver. Cette crainte n'est pas fondée.

Considérations stratégiques. — On divise en général les voies de fer stratégiques en voies parallèles et voies perpendiculaires. Il est essentiel que les voies parallèles, surtout si elles sont voisines de la frontière, soient protégées par un obstacle naturel quelconque, tel qu'un grand fleuve ou un rempart de hautes montagnes.

Dans le voisinage des places fortes les chemins de fer doivent être, autant que possible, établis à la surface du sol.

Tracé au point de vue financier. — Le tracé le plus parfait au point de vue technique n'est pas toujours le plus convenable. Il n'est généralement avantageux d'améliorer un chemin de fer, et même une voie de communication quelconque, ou, en d'autres termes, d'adopter, pour ce chemin ou pour cette voie de communication, un mode de construction et un tracé plus parfaits en augmentant le capital engagé que lorsque la circulation est plus active.

Embranchements. — Le tracé d'un chemin de fer ne doit jamais être étudié isolément. Une des conditions auxquelles doit satisfaire le tracé de tout chemin destiné à unir de grands centres de population est donc de se prêter aisément à l'établissement d'embranchements. Le tracé de ces embranchements n'exige pas la même perfection que celui des lignes principales.

Étendue des gares ou stations. — La surface couverte par les gares extrêmes de chemins de fer, lorsqu'elles se trouvent dans de grandes villes comme Paris ou Londres, est considérable.

A Paris, les grandes gares de voyageurs couvrent une surface de 8 à 9 hectares. Celles de marchandises occupent jusqu'à 55 hectares.

La surface occupée par les grandes gares intermédiaires hors ligne, et par les gares terminales autres que les gares parisiennes, celles de Londres et de Bruxelles, abstraction faite de celles de Pesth, de Lyon et de Valenciennes, qui sont exceptionnelles, est de 8 à 12 hectares.

Pour les stations d'embranchements, abstraction faite de celle d'Épernay, qui contient de vastes ateliers, et de celle de Juvisy, qui est exceptionnellement petite, cette surface est de 6 et demi à 7 hectares.

Pour les stations de banlieue :

1° D'un chemin placé dans les conditions du chemin d'Auteuil, de 3,000 à 4,000 mètres carrés;

2° D'un chemin placé dans les conditions du chemin de Vincennes, de 10,000 à 20,000 mètres carrés.

Pour les stations intermédiaires de première classe, 3 à 6 hectares et demi, suivant l'importance et la nature du mouvement des marchandises.

Pour les stations intermédiaires de deuxième classe, 2 hectares et demi environ.

Pour celles de troisième classe, de 1 et demi à 2 hectares.

Pour celles du dernier ordre, de 1 demi à 1 hectare, rarement 1 hectare.

Dimensions de la voie. — La largeur de la voie sur tous les chemins de fer servant au transport des voyageurs, en France, en Belgique, en Suisse, ainsi que sur la plupart des chemins anglais et allemands, est de 1^m,50 à 1^m,51 d'axe en axe des rails, ou de 1^m,44 à 1^m,46 seulement si on la mesure de la face intérieure des rails.

On a adopté des largeurs plus grandes sur quelques chemins en Angleterre, sur les chemins d'Irlande, sur ceux de Hollande, d'Espagne et de Russie. Cette augmentation de largeur présente des avantages au point de vue de la construction des machines; mais, une partie d'un réseau étant déjà construite avec la largeur de 1^m,50 ou 1^m,51, comme le réseau français, le réseau belge ou le réseau suisse, ce serait à tort que l'on augmenterait la largeur des nouvelles lignes. Ces nouvelles lignes ne pourraient alors communiquer avec les anciennes qu'à l'aide d'un transbordement toujours très-fâcheux, surtout pour les marchandises.

La largeur de l'entre-voie est, sur la plupart des chemins français, de 1^m,80. Cette largeur est insuffisante, et il serait convenable de l'augmenter; mais cette augmentation serait sans objet si tout le réseau parcouru par le même matériel roulant n'avait pas été établi avec la même largeur d'entre-voie.

La largeur des accotements varie, suivant la nature du terrain,

de 1 mètre à 5 mètres. En général, elle est de 1 mètre en tranchée et de 1^m,50 en remblai.

La largeur et la profondeur des fossés dépendent de la quantité d'eau qui pourrait envahir le chemin. Une insuffisance des fossés peut donner lieu à de graves accidents.

La largeur moyenne de la bande occupée par un chemin dépend essentiellement de la nature des travaux de terrassement exécutés. D'après un relevé fait sur un assez grand nombre de chemins, elle est en moyenne de 54 mètres. Elle ne dépasse jamais 44 mètres.

FRAIS DE CONSTRUCTION

DEVIS ET PRIX DE CONSTRUCTION.

Le prix de construction des chemins établis a varié entre des limites fort écartées.

Il est important, en procédant par analogie pour l'établissement du prix des chemins à construire, de tenir compte de l'augmentation qu'ont subie généralement les prix de main-d'œuvre, ceux des matériaux, etc.

S'il est difficile d'établir exactement le devis d'une maison, à plus forte raison l'est-il d'établir celui d'un chemin de fer, composé d'éléments si divers. Il est surtout fort difficile de se rendre compte à l'avance du prix des terrains, qui dépend du caprice d'un jury; des surcroîts de dépense occasionnés par les exigences des localités et de l'administration supérieure, ou par les retards apportés à l'approbation des projets, retards qui ont pour conséquences des pertes d'intérêt souvent considérables; du prix de revient des terrassements ou des ouvrages d'art dans des terrains de mauvaise nature; de l'accroissement des prix de main-d'œuvre du fait même de la construction des chemins de fer, etc.

Moyenne des prix. — La moyenne des prix de construction a été :

Pour les chemins anglais d'environ.	550,000 fr.
Pour les chemins français.	391,000
Pour les chemins belges faits par l'État.	270,000
Pour les chemins allemands de.	201,000
Pour les chemins américains de.	96,500

La moyenne pour les grandes lignes établies en France : Nord, Paris à Strasbourg, Paris à Lyon, Paris à Orléans, Paris au Havre, Lyon à la Méditerranée, est d'environ. 463,000 fr.

Ces prix comprennent le matériel d'exploitation.

Pour trois lignes de moindre importance, les chemins de Nancy à Sarrebrück, Metz à Thionville et Strasbourg à Wissembourg, la dépense moyenne, en supposant la seconde voie posée sur toute la longueur, serait de. 258,000 fr.

En supposant le chemin à une seule voie. 228,000

Nous admettons que les prix de nouveaux chemins à *une seule voie* d'une plus grande importance devront varier entre 250,000 fr. et 300,000 fr. le kilomètre, suivant l'importance.

Le capital de construction d'un chemin de fer s'accroît toutes les fois que le trafic, dépassant les prévisions, exige de nouveaux aménagements.

Avant-projet. — En France, on doit compter pour les frais d'études d'un avant-projet de chemin de fer :

Dans des circonstances difficiles. 200 fr. par kilom.

— ordinaires. 150 —

— faciles. 100 —

Études définitives. — Les études définitives sont beaucoup plus coûteuses : elles peuvent coûter de 1,000 à 2,000 fr. par kilomètre. On apprécie les autres natures de dépense de la manière suivante :

Subdivision des moyennes. — Moyenne pour plusieurs grandes lignes :

Administration et frais généraux à. 17,000 fr.

Achats de terrain. 65,000

Terrassements et travaux d'art. 150,000

Bâtiments des stations, ateliers, etc. 48,000

Double voie, ballastage compris, plates-formes et changements de voie. 122,000

Matériel d'exploitation. 61,000

Pour des chemins à une voie d'une importance beaucoup moindre, la dépense moyenne se subdivise de la manière suivante :

Frais généraux, environ.	11,000 fr.	par kilom.
Acquisition de terrains pour deux voies..	31,000	—
Terrassements et ouvrages d'art pour deux voies.	76,000	—
Voie de fer et accessoires.	66,000	—
Gares et dépendances.	10,000	—
Dépenses diverses.	10,000	—
Matériel roulant..	24,000	—

Terrain occupé. — La superficie de terrain occupée par un certain nombre de chemins à deux voies, dans des conditions moyennes en France, a été par kilomètre de 3 hectares 57 ares, le prix moyen de l'hectare 9,000 fr.

Cube et prix des terrassements. — Le cube des terrassements a été, dans des conditions très-favorables (chemins belges), de 12 mètres cubes et demi par mètre courant; dans des conditions moyennement favorables, de 25 à 35 mètres cubes; dans des conditions très-défavorables, 72 mètres cubes (chemin de Versailles, rive gauche).

Le prix du mètre cube de terre, transport sur la ligne compris, a été :

Dans des conditions très-favorables (chemins bel- ges).	0 fr.	76 c.
Dans des conditions moyennement favorables. . .	1	50
— peu favorables.	2	00
— très-défavorables de 2 fr. 50 à 3	50	50

Prix des éléments de la voie. — Le prix des rails à l'usine, en France, est aujourd'hui (mars 1860) de 22 à 23 fr. le quintal métrique.

Celui des coussinets de 19 francs, des traverses de 50 fr. le mètre cube.

Devis du matériel roulant. — Le parcours moyen des machines-locomotives ordinaires à voyageurs et à marchandises est d'environ 25,000 kilomètres par an.

Celui des machines Crampton est d'environ 50,000 kilomètres.

On doit donc, pour se rendre compte du nombre de machines nécessaires pour l'exploitation d'un chemin de fer, faire une hypothèse sur le nombre de kilomètres parcourus annuellement par les trains ou portions de trains attelés d'une machine ordinaire, et diviser ce nombre par 25,000 pour avoir le nombre de machines ordinaires à voyageurs ou à marchandises; faire une hypothèse sur le nombre de kilomètres parcourus par les trains express attelés d'une machine Crampton, et diviser ce nombre par 50,000 pour avoir le nombre de machines Crampton.

Pour les wagons, le calcul du matériel nécessaire est plus difficile; il faut en rechercher les nombreux éléments dans le texte du traité.

MARCHÉS A PASSER POUR L'EXÉCUTION DES CHEMINS DE FER.

Graves défauts des marchés à forfait. — Bien des personnes pensent qu'on peut éviter des mécomptes en passant des marchés à forfait pour la totalité de l'exécution d'un chemin. La pratique a démontré la fausseté de cette opinion.

L'entrepreneur à forfait, s'il ne demande un prix excessif pour couvrir les risques qu'il court, est exposé à subir des pertes considérables; dans ce dernier cas, il abandonne son cautionnement et laisse la Compagnie dans l'embarras, ou il plaide et gagne souvent son procès. Les modifications toujours nécessaires en cours d'exécution deviennent fort difficiles ou au moins fort coûteuses. Les travaux enfin sont ordinairement médiocrement exécutés. L'entrepreneur étant souvent plus puissant que les administrateurs, il est très-difficile de le surveiller.

Si le traité à forfait doit être repoussé, c'est surtout lorsqu'il est proposé par les fondateurs d'une Compagnie à leurs associés, les fondateurs devenant eux-mêmes entrepreneurs tout en restant administrateurs.

Marchés sur séries de prix. — Le mode exclusivement adopté pour l'exécution des travaux par l'administration en France et par plusieurs Compagnies importantes a été celui sur séries de prix.

Aujourd'hui, les Compagnies entreprenant d'immenses travaux

qui doivent s'exécuter rapidement avec de puissants moyens d'action, et dont la surveillance est d'autant plus difficile qu'ils s'étendent sur un plus grand espace, l'intervention des grands entrepreneurs semble nécessaire et obtient ordinairement la préférence.

L'État passe généralement les marchés par voie d'adjudication sans se montrer trop sévère sur le choix des concurrents. Il obtient souvent de cette manière de grands rabais qui sont parfois excessifs, et les entrepreneurs ruinés abandonnent les travaux. Les Compagnies choisissent leurs entrepreneurs et fixent les prix avec eux à l'amiable, ou, si elles recourent à l'adjudication, elles n'admettent au concours que des entrepreneurs placés au premier rang pour la capacité et pour la solvabilité.

TERRASSEMENTS ET OUVRAGES D'ART.

TERRASSEMENTS.

Les terrassements se font par compensation ou par voie de dépôt et d'emprunt.

Dépôt et emprunt. — Le mode d'exécution par voie de dépôt et d'emprunt est toujours plus coûteux que celui par compensation quand les distances auxquelles les terres doivent être transportées sur l'axe de la route ne sont pas considérables et que les terrains où l'on doit déposer les terres ou les emprunter ont quelque valeur; mais il peut l'emporter sur le second, même au point de vue de la dépense, quand ces distances deviennent très-grandes, et, dans tous les cas, il est fort expéditif.

Véhicules employés. — Le transport des terres s'opère à la brouette, au tombereau ou au waggon.

En général, on trouve de l'avantage à employer la brouette tant que la distance à parcourir ne dépasse pas 50 mètres. Le camion traîné par des hommes est préférable pour des distances de 50 à 150 mètres; le tombereau traîné par des chevaux, pour des distances de 150 à 300 mètres; le waggon, pour les distances dépassant 300 mètres, pourvu que le cube à enlever soit de 100,000 mè-

tres cubes au moins, ou pour des distances dépassant 500 mètres, pourvu que le cube à enlever soit de 25,000 mètres au moins.

Les camions et le tombereau sont remplacés avec avantage par des waggonnets. L'emploi des waggonnets est avantageux, surtout quand la pente atteint 4 centimètres, et dans les terrains glaiseux.

Terrassements au waggon. — Quand on emploie le waggon, il faut, sauf quelques cas exceptionnels, commencer par percer une cunette dans toute la longueur des tranchées, pour loger les voies de fer et les waggons.

La plus grande difficulté à vaincre est d'établir l'harmonie entre la charge et la décharge.

On augmente la masse des terres chargées dans un temps donné en multipliant les points de chargement, et celle des terres déchargées en multipliant les points de déchargement, ou en adoptant les baleines comme moyen de déchargement.

On fait aujourd'hui rarement usage des baleines.

Un terrassement marche assez rapidement lorsqu'on enlève 500 mètres cubes par jour à chaque extrémité d'une tranchée. Quelquefois on dépasse sensiblement ce cube. A la tranchée de Clamart on a enlevé et transporté à 2,000 mètres de distance jusqu'à 1,400 mètres cubes à une seule extrémité dans les grands jours d'été.

Assèchement des tranchées. — Les talus des tranchées sont souvent ébouleux. C'est généralement les eaux dont ils sont imprégnés qui en occasionnent l'éboulement. On les maintient en les soutenant ou les desséchant.

On distingue parmi les méthodes de soutènement ou assèchement :

1° La méthode des gros murs en pierre sèche construits au pied du talus ;

2° Celle des murs en pierre sèche couchés sur le talus ;

3° Celle des épis en pierre sèche pénétrant dans le talus ;

4° La méthode Sazilly ;

5° La méthode des pierrées en amont ;

6° La méthode des collecteurs.

Les gros murs en pierre sèche au pied du talus sont générale-

ment peu efficaces. Les murs couchés sur le talus sont préférables. La méthode Sazilly, *bien appliquée*, a réussi dans un grand nombre de cas lorsque les éboulements sont occasionnés par des sources suintant à la surface; mais, lorsque les masses d'eau sont considérables et s'étendent à une grande profondeur dans le talus, il faut recourir à la méthode des épis, des pierrées en amont ou des collecteurs. Quelquefois on est obligé d'employer la méthode Sazilly simultanément.

Confection des grands remblais. — Les grands remblais se font au tombereau ou au waggon. Les remblais faits au tombereau sont plus denses. Ils tassent moins, mais ils seraient presque toujours trop coûteux.

Les remblais sont sujets à s'ébouler :

1° Lorsqu'ils sont composés de mauvaises terres (terre glaise);

2° Lorsque, composés de bonnes ou de mauvaises terres, ils reposent sur un terrain flexible ou très-incliné.

On dirige le tracé de manière à éviter autant que possible les tranchées et les remblais glaiseux.

On prévient l'éboulement des remblais glaiseux en les préservant de l'action de l'eau :

1° Au moyen de fossés ou de pierrées qui interceptent les eaux qui pourraient en délayer le pied ;

2° En pilonnant la terre glaise pour éviter les vides et intercalant des bancs de pierre et de sable dans cette terre ;

3° En recouvrant le noyau en glaise de bonne terre pilonnée.

On prévient l'éboulement des remblais reposant sur un terrain flexible ou très-incliné :

1° En desséchant le terrain flexible, si, comme c'est généralement le cas, il est imprégné d'eau ;

2° En donnant de l'empatement au remblai ;

3° En diminuant le poids du remblai par la construction de voûtes en pierre sèche ;

4° En répartissant mieux la pression au moyen de lits de fascines ;

5° En en soutenant, sur les terrains inclinés, le pied par des épaulements.

Reconstruction des talus éboulés. — Les talus des tranchées ou des remblais éboulés se reconstruisent ordinairement au moyen d'épis en pierre sèche, entre lesquels on pilonne de la terre, ou au moyen de terres pilonnées desséchées par des pierrées.

OUVRAGES D'ART.

Avantages ou inconvénients eu égard aux matériaux employés. — Les ouvrages d'art sont en bois, en pierre, en brique, en fonte, en fer forgé, en fonte et fer.

Les ouvrages d'art en bois sont ordinairement très-économiques de construction, mais durent fort peu de temps, surtout quand ils sont exposés à l'action de l'air humide. On y renonce, sauf quelques cas exceptionnels, sur les grandes voies de circulation.

La pierre est très-durable, si ce n'est dans les pays très-froids ; elle est souvent plus économique que la brique ou le métal, mais elle ne permet pas de donner de grandes portées aux travées ou de conserver au débouché une hauteur constante, et se prête moins bien à la construction des ponts très-biais que la brique ou le métal.

La brique convient dans les pays où la pierre est rare ; mais elle est moins durable, moins solide.

La fonte n'offre pas les mêmes garanties de résistance que la pierre ou le fer forgé. Elle peut contenir des soufflures invisibles qui en altèrent la résistance. Elle ne permet de conserver au débouché une hauteur constante que lorsque la portée ne dépasse pas 7 ou 8 mètres. Pour des portées plus grandes on doit l'employer sous forme d'arcs, et sous cette forme elle n'admet pas de portées de plus de 70 à 75 mètres.

Les ponts en fonte sont enfin, souvent dans les mêmes conditions, plus coûteux que ceux en fer.

Le fer admet de très-grandes portées avec un débouché de hauteur constante. (Pont tubulaires ou en treillis). Mais il est à craindre que les ponts en fer forgé ne se détruisent à la longue par l'oxydation ou par le jeu des rivets.

La fonte et le fer s'associent mal à cause de leurs différences de dilatabilité et d'élasticité.

Eu égard à la forme, on distingue les ponts en bois dans le système de Gauthey ou Viebeking, avec arcs sous le tablier; de Bürr, avec arcs sur le tablier; avec garde-corps rigides en treillis de Town, de Long et de Howe.

Les ponts dans le système de Viebeking et de Howe sont les seuls en usage aujourd'hui. Les ponts en treillis, fort employés il y a une vingtaine d'années, n'offrent pas une résistance suffisante. Les ponts avec garde-corps rigides de Howe sont souvent plus coûteux que les ponts avec arcs sous le tablier; mais ils sont plus faciles à visiter, à entretenir, et conservent encore quelque valeur (celle des grands boulons) quand le bois est pourri.

On a cru longtemps nécessaire de donner une grande masse aux ponts en pierre et en métal établis sur les chemins de fer, afin qu'ils puissent résister aux effets destructeurs des vibrations produites par le passage des trains. Aujourd'hui on est revenu de cette erreur, et on construit sur les chemins de fer des ouvrages d'art très-légers en pierre ou en métal, qui sont en même temps très-solides.

Les ponts sont en plein cintre ou surbaissés; les viaducs sont le plus souvent en plein cintre.

Aujourd'hui, lorsqu'on peut se procurer de bons moellons, on supprime presque entièrement la pierre de taille dans la construction des viaducs.

On emploie pour la construction des ponts biais en pierre différents appareils, orthogonal, anglais ou hélicoïdal et cycloïdal. Les deux derniers sont aujourd'hui les plus employés.

Les arches des grands ponts en fonte sont aujourd'hui composées de voussoirs métalliques dont la surface de joint est soigneusement planée.

Les ponts en fer forgé sont en poutres droites, en arcs, en poutres tubulaires, en treillis, ou sous forme de *bowstring*.

Le *bowstring* ne pourrait convenir que dans quelques cas particuliers, et est, dans tout cas, peu employé.

Les ponts tubulaires en tôle sont répandus en Angleterre. En Allemagne, on préfère les treillis.

La plus grande portée d'une travée de pont tubulaire est celle des travées extrêmes du pont de Menai. Cette portée est de 140 mètres.

Plusieurs ponts suisses en treillis portent une route et un chemin de fer, la route se trouvant sous le chemin de fer.

Les deux voies portées par un pont tubulaire ou en treillis sont quelquefois indépendantes. La première disposition est préférable au point de vue théorique; la seconde est plus économique.

On a fait passer aux États-Unis un chemin de fer sur un pont suspendu, celui du Niagara, dont la portée est de 246 mètres. Le garde-corps est rigide et porte une route sous le chemin de fer. Ce pont est soigneusement haubanné et contreventé. Il résiste bien.

CONSTRUCTION DE LA CHAUSSÉE.

Il est essentiel que la chaussée qui porte la voie en fer soit toujours aussi sèche que possible. Il ne faut donc négliger aucun moyen de donner écoulement aux eaux qui pourraient la détruire.

Un bon ensablement de la voie est une condition de durée pour le chemin et de sécurité pour les voyageurs.

L'épaisseur ordinaire de la chaussée en ballast est de 50 centimètres. On augmente l'épaisseur sur un sol difficile à bien assécher. On draine quelquefois le sol sous le ballast.

Le ballast en sable ne doit pas être trop fin. Les grains de sable doivent être d'une certaine grosseur. Il ne doit pas être très-argileux; mais il est bon qu'il renferme une petite quantité d'argile qui lui donne de la consistance sans nuire au passage de l'eau.

Toute substance perméable, pourvu qu'elle ne donne pas beaucoup de poussière, est propre à faire du ballast.

ÉTABLISSEMENT DE LA VOIE.

La voie est fixée à des traverses en bois ou à des dés en pierre. Les dés en pierre, manquant d'élasticité et laissant les deux files de rails indépendantes l'une de l'autre, sont aujourd'hui généralement abandonnés en France et en Angleterre. En Bavière, on continue à les employer, mais seulement sur un terrain solide. Sur les remblais, toujours sujets à tasser, on fait exclusivement usage de traverses en bois.

On a essayé de substituer les traverses en fer ou en fonte aux traverses en bois. On y a renoncé, parce qu'elles manquent d'élasticité, de base ou même de poids, si on ne leur donne pas de très-grandes dimensions.

Conservation des traverses. — On a essayé un grand nombre de procédés ayant pour objet de préserver les traverses de la pourriture. Les uns consistent à immerger la traverse dans le liquide préservatif froid ou bouillant, les autres à le faire pénétrer par différents moyens dans le corps de la traverse.

Les procédés par immersion ont été reconnus insuffisants.

Un procédé parmi ceux de la seconde classe, celui du docteur Boucherie, paraît être tout à fait efficace pour la conservation des traverses en sapin, hêtre, etc., qui, dans leur état naturel, seraient très-rapidement détruites; mais il est inapplicable aux traverses en chêne; le docteur Boucherie emploie comme liquide la dissolution de sulfate de cuivre. En Angleterre, on fait grand usage de créosote impure. Ce dernier réactif serait en France très-couteux.

Forme et dimensions. — On a renoncé aux traverses triangulaires, et on abandonne presque généralement, en France du moins, les traverses en rondins contenant une grande quantité d'aubier. Les traverses préférées sont celles en bois équarri. Il faut, pour que le chemin ait la stabilité nécessaire, que, la voie ayant 4^m,50 de largeur, les traverses aient 2^m,60 au moins de longueur.

Rails divers. — Les rails sont en fer ou en bois et fer. Les rails tout en fer sont fixés aux traverses, tantôt par l'intermédiaire de coussinets en fonte, tantôt directement. Les coussinets en fonte ont été fixés à la traverse par des chevilles en fer ou par des chevilles en bois comprimé. Les chevilles en bois sont aujourd'hui abandonnées, parce qu'elles pourrissent rapidement à la jonction du coussinet avec la traverse.

Les rails ont été fixés aux coussinets par des coins en bois ou en fer; on a renoncé aux coins en bois comme opérant un serrage imparfait et comme manquant d'élasticité. On a employé des coins en bois comprimé, mais on y a renoncé; on préfère les coins en bois non comprimé.

Les rails en fer sont fixés à la traverse par des crampons ou crossettes.

On a employé des rails en fonte; mais ils étaient trop fragiles, plus coûteux que les rails en fer laminé à résistance égale et trop courts. Les rails en fer laminé sur un chemin livré à la circulation ne se détruisent pas par l'oxydation, comme on le craignait. Il paraît que le passage des convois sur le rail donne lieu à un développement de courants électriques qui préviennent l'oxydation. Ils se détruisent par l'exfoliation, ce qui tient aux procédés de fabrication.

On se sert, pour les chemins de fer provisoires, de rails qui ne sont autre chose que des barres de fer laminées posées de champ. Ces rails fort économiques n'offriraient pas une résistance suffisante pour les chemins définitifs, sur lesquels on marche à de grandes vitesses avec de lourds convois. On leur préfère les rails à champignons.

On distingue les rails à simple de ceux à double champignon. Les opinions des ingénieurs sur le mérite de ces deux espèces de rails sont partagées.

La plupart de nos grandes lignes de chemins de fer en France sont construites avec des rails à double champignon fixés à la traverse par des coussinets; quelques-unes avec des rails à simple champignon. En Allemagne, on a presque généralement donné la préférence au rail à simple champignon et à patins, connu sous le nom de rails Vignolles. Ce rail permet de supprimer le coussinet. En France on commence à l'adopter même pour des lignes importantes. Il paraît offrir toute garantie de solidité, mais à la condition de relier les rails par des éclisses.

On renonce à l'emploi du rail en bois et fer dit rail Brunel, ainsi qu'au rail tout en fer dit rail Barlow.

Coussinets-éclisses. — On fait usage avec avantage sur plusieurs lignes de coussinets-éclisses.

Poids des rails. — Les rails en fer laminé de nos grandes lignes ont même hauteur dans toute leur longueur. Ils pèsent 37 kilogrammes par mètre courant, et ont 6 mètres de longueur. Les premiers rails en fer laminé employés en 1829 ne pesaient que 15 kilogrammes par mètre courant. On en a augmenté le poids

successivement au fur et à mesure que l'on augmentait le poids des machines. Ils pèsent aujourd'hui sur les grandes lignes de 56 à 58 kilogrammes.

Les coussinets en fonte pèsent de 10 à 12 kilogrammes pièce.

Durée des traverses. — Les traverses équarries en bon bois de chêne ne durent pas au delà de douze à quinze ans.

La durée de celles en hêtre préparé est inconnue. Les rails, sur un chemin très-fréquenté, doivent être remplacés après douze ans d'usage environ.

Durée des rails. — On se préoccupe beaucoup aujourd'hui d'augmenter la durée des rails en améliorant la fabrication. Les rails sont fabriqués généralement au moyen de trousses composées de deux espèces de fer, fer n° 1 ou fer puddlé, et fer n° 2. Ces deux espèces de fer se soudent mal; c'est ce qui amène l'exfoliation ou dessoudure des rails. On a fait des rails qui paraissent excellents avec du fer puddlé seulement, mais il faut que ce fer puddlé soit pour cela préparé par des procédés particuliers et provienne de très-bonnes fontes. On améliore le soudage des trousses aussi en les martelant. On exige aujourd'hui des fabricants une garantie de deux à trois années.

Cahier des charges. — Le fer qui compose les rails doit être dur pour résister au frottement, et tenace pour résister à la rupture. La cassure des fers de cette espèce devrait présenter un mélange de grain et de nerf. Dans les rails, c'est le grain qui domine et paraît seul sensible à l'œil. On fabrique en Allemagne de bons rails Vignolles dans lesquels le champignon et le corps du rail sont grenus, tandis que le patin est nerveux. La cassure grenue passe à la cassure nerveuse par des degrés insensibles.

On n'a admis pour les premiers chemins de fer construits aux environs de Paris que des fontes de seconde fusion; mais l'expérience a prouvé que celles de première fusion bien choisies étaient d'un très-bon emploi.

Voies sur plateaux et Barberot. — Les voies placées sur plateaux en fonte ont eu peu de succès. Elles manquent de stabilité et se dérangent facilement. Celles posées sur plateaux en bois (système Pouillet) sont préférables. On a établi dans ce dernier système

le chemin de ceinture aux environs de Paris et une partie importante de la ligne du Nord. Les voies dans le système Barberot, avec cales en bois remplaçant le coussinet, sont à l'essai. Aux joints le coussinet paraît nécessaire.

PASSAGES A NIVEAU, CLÔTURES, CONTRE-RAILS.

Disposition des passages à niveau. — Si le passage à niveau ne doit servir qu'aux piétons, la voie, à l'emplacement de ce passage, ne subit aucune modification; mais, si les voitures ont accès sur le passage, il est nécessaire de la noyer dans le pavé sur toute la longueur de la route. Du côté de l'axe de la voie on ménage dans le sol une rainure, où se loge le bourrelet des roues.

Clôtures. — Les clôtures sont en bois, composées de treillages plus ou moins simples, de 1^m,40 de hauteur, fixés à des poteaux espacés de 1^m,50, de lisses en bois clouées à des poteaux, ou enfin de fils de fer galvanisés fixés aux poteaux. Les meilleurs treillages sont formés de lattes époutées ou de simples échelas, unis les uns aux autres par des fils de fer tressés.

Les clôtures en treillages ou en lisses ne sont que provisoires. On plante généralement à côté des haies qui, au bout de quelques années, doivent les remplacer.

Contre-rails. — Sur toutes les nouvelles lignes en France on a supprimé les contre-rails comme rendant l'entretien de la voie plus difficile et comme insuffisants pour prévenir les accidents.

ACCESSOIRES DE LA VOIE.

Changements de voie divers. — Les changements de voie à rails mobiles sont abandonnés comme dangereux pour les voies définitives.

Le seul changement de voie en usage aujourd'hui est celui de Vild, avec les aiguilles égales et la pointe de l'aiguille logée sous le champignon.

Ces changements de voie sont manœuvrés à l'aide de leviers munis d'une barre à contre-poids que l'on déplace en la faisant passer d'un côté à l'autre du levier.

On fait grand usage dans les gares de changements à trois voies.

Croisements. — Les croisements de voie sont aujourd'hui tout en fer ou en acier, sauf les pattes de lièvre.

Le cœur est d'une seule pièce fabriquée à l'étampe.

On a employé d'abord pour les parties les plus fatiguées des changements et croisements de voie le fer aciéré seulement; aujourd'hui on emploie de préférence sur un grand nombre de lignes l'acier puddlé ou même l'acier fondu. Le prix de l'acier fondu est malheureusement un peu trop élevé encore pour que l'usage s'en soit répandu.

Plaques tournantes. — Les plaques tournantes sont en bois, en fonte ou en tôle. Les plaques en bois ne doivent être employées que sous des remises à couvert. Celles en fonte sont placées sur les voies de garage, où ne passent pas les trains marchant à grande vitesse. Celles en tôle sur les voies principales.

On pose les plaques tournantes économiquement sur une fondation en sable.

Les grandes plaques pour machines et tenders sont manœuvrées au moyen d'un engrenage qui fait marcher des galets sur le rail circulaire établi au fond de la fosse. On se sert quelquefois pour la manœuvre d'une petite machine à vapeur fixée sur la plaque.

Chariots. — Les chariots sont de différentes espèces. On remplace dans plusieurs circonstances les plaques tournantes par le chariot Dünn. On manœuvre aussi quelquefois le chariot avec une machine à vapeur, comme les plaques.

Grues hydrauliques. — Les grues hydrauliques à réservoir sont employées avec avantage dans les gares où les convois ne doivent s'arrêter que très-peu de temps pour l'alimentation du tender.

Signaux fixes. — Les signaux fixes doivent pouvoir se manœuvrer à une grande distance. Différents systèmes ont été essayés pour que cette manœuvre s'opère toujours rapidement et avec sûreté dans tous les temps. On rencontre quelque difficulté à constater le déplacement du disque, et, la nuit, l'état de la lanterne, à une grande distance et dans des courbes en tranchée lorsqu'on ne peut les apercevoir du point où l'on se trouve placé pour la manœuvre.

On emploie avec avantage sur plusieurs lignes, pour indiquer la position du disque, les trembleurs électriques.

Le disque *automoteur* Limouse fonctionne bien, mais il présente l'inconvénient de tous les appareils automoteurs, celui d'inspirer une sécurité quelquefois trompeuse, parce que l'appareil peut se déranger naturellement ou être dérangé par des malveillants.

DISPOSITION DES GARES.

GARES EXTRÊMES.

Couverture des trottoirs. — Sur les chemins anglais et français, les voies longeant les trottoirs qui reçoivent les voyageurs, pour le départ ou à l'arrivée, sont toujours couvertes, ainsi que les trottoirs eux-mêmes et les voies intermédiaires.

En Angleterre, on couvre même l'espace où stationnent les voitures qui amènent ou attendent les voyageurs.

Nous regardons comme indispensable de couvrir les trottoirs et les voies entre les trottoirs, non-seulement dans l'intérêt des voyageurs, mais aussi pour la conservation du matériel qu'on est obligé de laisser stationner sur les voies.

Il convient de faire, autant que possible, descendre les voyageurs de voiture ou de les y faire monter à couvert. Il convient aussi d'abriter, comme aux chemins de Lyon et de l'Ouest, les voitures qui attendent les voyageurs.

Service des marchandises. — Le service des marchandises, dans toutes les nouvelles gares anglaises et françaises, a lieu dans un emplacement tout à fait distinct de celui qui est consacré aux voyageurs.

Voies diverses entre trottoirs. — Le plus généralement, les convois partent toujours sur la même voie, qui est la voie de départ, et arrivent aussi sur une même voie, qui est la voie d'arrivée. Ces deux voies, séparées par les voies de remisage, sont bordées l'une par le trottoir de départ, l'autre par le trottoir d'arrivée (gares parisiennes). Quelquefois cependant la voie de départ et la voie d'arrivée sont contiguës, et un seul et même trottoir échancré

sert en même temps pour le départ et l'arrivée (gare de Derby). Enfin, il arrive aussi, quoique rarement, que les mêmes voies et les mêmes trottoirs servent alternativement pour le départ et pour l'arrivée (Versailles, rive droite).

Cours. — De quelque manière que soient placés le bâtiment des salles d'attente et le bureau, il est convenable qu'il existe, du côté du départ aussi bien que du côté de l'arrivée, une cour fermée par une grille.

Plaques aux extrémités. — Les plaques tournantes placées à l'extrémité des gares terminales ont pour objet de retourner les machines bout pour bout, manœuvre nécessaire, parce que les machines doivent marcher toujours en tête des convois en les traînant, et jamais en arrière en les poussant. Ce n'est que rarement et par exception que l'on doit marcher avec le tender en avant. Toutefois, sur certains chemins des environs de Londres où les départs sont très-fréquents, le service, pour éviter les retards, se fait régulièrement tender en avant.

Chariots. — Dans plusieurs gares où les machines ne pénètrent pas jusqu'au fond de la gare, comme par exemple la gare de Strasbourg, sur le chemin de fer de l'Est, on substitue un chariot aux plaques tournantes.

Heurtoirs. — On néglige souvent de placer des heurtoirs à l'extrémité des gares; ils sont cependant indispensables, sur toutes les voies, et plus particulièrement quand le bâtiment des salles d'attente est en tête.

Salles d'attente et de bagages. — Les salles d'attente ainsi que les salles pour le dépôt des bagages partant ou arrivant sont placées à côté du trottoir de départ (Lyon) ou en tête de la gare (Nord). — Il vaut mieux les placer sur le côté qu'en tête de la gare. La salle pour le dépôt des bagages partant doit être placée vers l'extrémité postérieure de la gare, vis-à-vis ou à peu près du point où se trouve ordinairement le waggon à bagages. La salle pour le dépôt des bagages arrivant doit être placée à l'autre extrémité de la gare.

Les salles d'attente en tête de la gare ne peuvent convenir que dans le cas tout particulier d'un chemin de banlieue sur lequel on ne transporte pas de bagages, et où il peut devenir utile de

faire passer les voyageurs successivement d'un trottoir à l'autre.

Salles pour la messagerie. — Les salles pour le dépôt de la messagerie partant ou arrivant sont ordinairement placées à l'extrémité postérieure de la gare, à droite et à gauche.

Distribution des billets. — Les bureaux pour la distribution des billets doivent toujours être placés entre les salles pour le dépôt des bagages et les salles d'attente, ou, en d'autres termes, la salle pour le dépôt des bagages ne doit jamais se trouver sur le chemin des voyageurs qui, après avoir pris leurs billets, se rendent aux salles d'attente.

Embarcadères. — Les embarcadères pour chevaux et chaises de poste se trouvent ordinairement à l'extrémité postérieure de la gare, près des bureaux de la messagerie.

Contrôle. — Sur plusieurs chemins de fer on recueille les billets en faisant arrêter le convoi avant d'entrer sous la gare couverte. Le contrôle se fait mieux de cette manière que lorsqu'on recueille les billets à la descente sur le trottoir d'arrivée. Quelquefois aussi on recueille les billets dans la dernière station intermédiaire; mais le personnel de cette station est souvent insuffisant.

Dimensions et disposition des salles d'attente. — En France, les salles d'attente sont très-grandes et restent ordinairement fermées jusqu'au moment du départ. En Angleterre, elles sont petites et restent ouvertes; les voyageurs, dans ce dernier cas, circulent librement sur le trottoir ou montent dans les voitures. S'il est nécessaire de les diviser en plusieurs classes, la séparation se fait au moyen de barrières. Le mode anglais nous paraît préférable au mode français.

Il est très-important que les salles d'attente soient bien aérées et qu'elles communiquent avec le trottoir par un nombre de portes suffisant.

Cabinets et urinoirs. — On a trop négligé sur nos chemins de fer l'établissement des lieux d'aisance et des urinoirs. Les chemins de fer anglais offrent sous ce rapport d'excellents modèles.

Il importe particulièrement de les bien ventiler et d'y amener une quantité d'eau suffisante.

C'est surtout dans les cours d'arrivée qu'il importe de donner aux urinoirs de grandes dimensions.

Octroi. — Les salles pour la délivrance des bagages et la visite de l'octroi doivent toujours être précédées d'une salle d'attente convenablement disposée.

Bureaux. — Les bureaux de l'administration centrale sont souvent dans des locaux éloignés de ceux qui renferment ceux du service actif. Ces derniers doivent toujours se trouver à proximité de la gare.

Les bureaux doivent toujours être groupés dans un petit espace, de manière que les relations entre les chefs de service soient faciles.

Les plans ou dessins ne pouvant être convenablement exécutés dans des salles mal éclairées, les bureaux de l'ingénieur doivent recevoir le plus de lumière possible.

Il est essentiel aussi que les salles pour les archives soient très-vastes, afin que l'on puisse classer avec un ordre parfait les nombreux documents de toute espèce dont les chefs de l'exploitation d'un chemin de fer doivent faire collection.

Trottoirs. — Les trottoirs doivent être larges et peu élevés (55 centimètres environ). Ils sont en bitume, en dalles, ou planchéiés. On donne souvent la préférence aux trottoirs bitumés.

Sol entre les voies. — Le sol entre les voies doit être consolidé au moyen d'un briquetage, d'un pavé en pierre ou d'un pavé en bois avec ruisseau ou caniveau pour l'écoulement provenant du lavage des voitures. Le ballast donne trop de poussière.

Halle couverte. — La halle couverte doit être éclairée au moyen de châssis à tabatière placés contre le bâtiment plutôt que sur le milieu du faitage.

GARES OU STATIONS INTERMÉDIAIRES.

Disposition des voies. — Au chemin de Strasbourg et sur plusieurs autres lignes à deux voies on a adopté pour règle générale de placer la pointe des aiguilles dans le sens opposé à la marche des convois, même dans les stations principales. On n'entre ainsi dans les voies de garage qu'à reculons.

Il ne faut pas négliger de placer sur les voies de garage des cales ou heurtoirs mobiles.

Il est nécessaire aussi, pour prévenir les accidents, de placer un heurtoir solide à l'extrémité de la voie, ou au moins un tas de terre d'une hauteur et d'une épaisseur suffisantes pour arrêter les waggons.

Les croisements ou coupements de voie sur les voies principales ne sont dangereux que dans les stations qu'une partie des convois traversent à grande vitesse. Quelquefois cependant on en fait usage même dans ces dernières stations.

Les voies de garage dans les gares intermédiaires doivent être placées sur le côté des voies principales plutôt qu'entre ces voies. Elles doivent avoir de 400 à 450 mètres de longueur (longueur des plus longs convois augmentée de celle de la machine).

Il est nécessaire de poser dans certaines gares des voies spéciales pour l'alimentation des machines.

On évite autant que possible les plaques tournantes sur les voies principales. Quelquefois cependant elles deviennent nécessaires.

Les stations intermédiaires doivent être couvertes par des disques placés à 800 mètres au moins de distance.

Les voies principales étant établies entre les trottoirs, le bâtiment des salles d'attente est ordinairement placé du côté de la ville que la station dessert, et les voyageurs, pour partir du trottoir qui ne longe pas ce bâtiment, ou pour se rendre en ville lorsqu'ils arrivent, sont obligés de traverser les voies. Cette traversée de voies ne devient dangereuse que sur des chemins de banlieue excessivement fréquentés. On a généralement abandonné sur les grandes lignes les dispositions qui avaient pour objet de l'éviter.

Remises de waggons. — Les remises de waggons doivent toujours être placées à côté de la voie sur laquelle on est le plus souvent appelé à ajouter des waggons au convoi, et mises en relation avec cette voie au moyen d'un changement de voies, de manière qu'on puisse ajouter les waggons rapidement.

Halles à marchandises. — Les halles à marchandises doivent être placées plus loin à *une petite distance* et desservies par une cour spéciale autre que celle des voyageurs.

Remises de locomotives. — Le bâtiment de la machine fixe et

les remises de locomotives dans les dépôts forment un nouveau groupe qui doit être tout à fait distinct des précédents.

Urinoirs. — Le bâtiment des urinoirs, distinct du bâtiment des voyageurs sur les chemins à deux voies, doit être placé à l'arrière du convoi arrivant. Les urinoirs sont nécessaires des deux côtés de la gare, et doivent être très-vastes, surtout dans les stations où les convois stationnent quelques minutes au moins. L'entrée doit en être masquée.

Trottoirs. — Les trottoirs ne doivent pas avoir plus de 55 centimètres de hauteur, sauf toutefois dans les stations de certains chemins de banlieue, où le service doit se faire, au passage des convois, avec une très-grande rapidité.

Les deux trottoirs, dans les stations de quelque importance, doivent être couverts par des marquises sur toute leur largeur et sur la plus grande longueur possible.

Dans les grandes stations d'embranchement, on couvre souvent les voies aussi bien que les trottoirs.

Buffets. — Dans les gares d'embranchement, on trouve souvent un trottoir au milieu des voies.

Les buffets doivent être placés du côté des villes desservies.

Distribution intérieure du bâtiment des salles d'attente. — Les salles d'attente des trois classes doivent être groupées à une même extrémité du bâtiment, de manière qu'un seul surveillant puisse faire le service des trois salles en même temps.

Le bureau des bagages, dans les stations intermédiaires comme dans les stations terminales, ne doit pas se trouver entre le bureau des billets et les salles d'attente. Il doit être contigu au bureau du chef de gare.

Le bureau des messageries est placé à côté du bureau des bagages, ou bien le service des bagages et celui de la messagerie se font dans un seul et même bureau.

Le bureau du chef de gare doit avoir une porte sur le trottoir et une autre porte par laquelle le public peut communiquer avec lui, sans entrer dans la gare.

Le bureau des billets, celui des bagages et les salles d'attente doivent être desservis par un vestibule de grandeur suffisante.

On doit pouvoir fermer le bureau des bagages. Le public sortant de la gare ne doit pas traverser le vestibule et se mêler ainsi aux voyageurs qui partent. Le mieux est de le faire sortir par un couloir plus ou moins large, ménagé à l'extrémité du bâtiment.

La distribution des bagages peut se faire sur une table dans ce couloir, ou simplement sur le trottoir.

Le logement du chef de gare se trouve au-dessus du bureau des billets ou du bureau des bagages du vestibule, et quelquefois de la salle d'attente de 1^{re} classe. L'escalier par lequel on y accède est mieux placé du côté de la façade sur la cour que du côté de la façade sur le trottoir.

Il est utile de placer une marquise en avant de la porte du vestibule, pour abriter les voyageurs qui descendent de voiture, et une autre marquise à l'extrémité du couloir de sortie.

Le bâtiment des salles d'attente des stations intermédiaires hors ligne couvre une surface indéfinie.

Les trottoirs ne doivent pas avoir moins de 80 mètres de longueur, et quelquefois, sur des chemins de banlieue, ils doivent avoir jusqu'à 220 mètres.

HALLS A MARCHANDISES ET REMISES.

Halls à marchandises. — Les halls à marchandises sont de grands hangars rectangulaires, quelquefois avec entre-sols, et même avec premier et second étage. Dans ce dernier cas, on élève les marchandises au moyen de machines, mais l'emploi des machines, comme celles d'Armstrong, par exemple, n'est avantageux qu'autant que le mouvement dans la gare est considérable.

Trottoirs des halls. — Le long du trottoir sur lequel se fait la manutention des colis se trouve, d'un côté, une voie en fer, et, de l'autre, une chaussée. On noie quelquefois une voie dans la chaussée, et on la relie à celle qui est posée de l'autre côté du trottoir par des voies transversales qui traversent le trottoir au moyen de coupures.

Les trottoirs ont 1^m,40 de hauteur. Ils ne doivent pas être bitumés : le bitume, se ramollissant l'été, devient nuisible pour certaines

marchandises. On les pave quelquefois en pierre, mais le pavage en bois est préférable.

Clôture des halles. — Dans les grandes gares, les hangars sont entièrement ouverts, et les côtés sont, pendant la nuit, gardés par des surveillants. Dans les gares plus petites, on se réserve le moyen d'enfermer les colis.

Quelquefois la voie latérale au trottoir et la chaussée ne sont couvertes que par des auvents, et l'on n'enferme la nuit que la marchandise déposée sur le trottoir. D'autres fois, la voie, le trottoir et la chaussée se trouvent sous un hangar entièrement fermé. Enfin, on a construit, dans ces dernières années, un grand nombre de halles à marchandises, avec clôture pour la voie et le trottoir, et simplement auvent découvert pour la chaussée. De cette manière, les waggons chargés, stationnant sur la voie, sont à l'abri des voleurs. Ce dernier système nous paraît préférable aux deux autres. L'avant-dernier est le plus économique, et souvent peut suffire.

Halles perpendiculaires, inclinées ou parallèles. — L'axe des halles est perpendiculaire à celui des voies principales, parallèle ou incliné.

Les hangars étant perpendiculaires aux voies principales, tous les waggons composant un convoi doivent passer sur des plaques tournantes pour y pénétrer. Les convois tout entiers, au contraire, peuvent pénétrer, sans être décomposés, sous les hangars parallèles ou divergents.

Les hangars parallèles ou divergents sont donc préférables aux hangars perpendiculaires. Ils se prêtent mieux aux exigences du service et n'exigent pas un aussi grand nombre de plaques.

Dans les stations intermédiaires les hangars sont toujours parallèles.

Surface des quais. — Sept mètres cubes en moyenne par tonne de marchandises.

Ateliers. — Les grands ateliers sont généralement composés de bâtiments rectangulaires placés autour d'une ou plusieurs cours. Les forges, la chaudronnerie, sont placées sous de simples hangars. Les machines, les outils et la carrosserie se trouvent souvent logés dans des bâtiments à un étage.

Les ateliers doivent être disposés de manière à éviter les fausses manœuvres. Ils doivent être de dimensions telles, que le service n'en soit jamais gêné. La surveillance et la police doivent s'y faire aisément ; il faut enfin qu'ils soient bien éclairés, bien aérés et suffisamment chauffés en hiver. L'aérage et le chauffage sont nécessaires surtout pour les ateliers où l'on peint les waggons.

Remises de waggons. — Les remises de waggons consistent généralement en de grands hangars rectangulaires. Les voies de remisage parallèles placées sous ce hangar sont desservies par un chariot, qui peut aussi transporter les waggons sur une voie de service communiquant par un changement de voie avec l'une des voies principales.

Elles doivent être convenablement éclairées, afin qu'on y puisse visiter les waggons et y faire de petites réparations. On doit, dans le même but, ménager un espace suffisant entre les voies.

Remises de locomotives. — On distingue trois espèces de remises de locomotives.

Les remises :

1° rectangulaire ;

2° polygonale (rotondes ou demi-rotondes) ;

3° en fer à cheval.

Les remises rectangulaires sont ordinairement préférées pour un petit nombre de locomotives. On peut toutefois, dans ce cas, employer aussi un fer à cheval formant une petite portion de secteur seulement.

Pour un grand nombre de locomotives (douze au moins), les rotondes sont préférables. Elles sont plus économiques et permettent de dégager facilement les machines. Les demi-rotondes, plus coûteuses que les rotondes, ne servent que dans quelques cas exceptionnels.

Les remises en fer à cheval, si l'on tient compte de la dépense faite pour les voies et pour l'achat du terrain, sont presque aussi coûteuses que les rotondes. Elles se prêtent mal à la surveillance, ainsi qu'au chauffage, et la plaque tournante y est découverte. Elles sont cependant employées sur plusieurs lignes importantes.

Les remises de locomotives doivent être bien éclairées. La fumée

et la vapeur qui se produisent lorsqu'on allume une locomotive doivent pouvoir se dégager facilement et sans danger pour la charpente; la circulation autour des machines doit y être facile et la chaleur suffisante pour empêcher la congélation de l'eau.

Réservoirs. — Il est utile de pouvoir chauffer l'eau des réservoirs, car, de tous les moyens employés pour chauffer l'eau des locomotives, le plus coûteux est, sans contredit, le chauffage direct par le foyer des machines. Toutefois les réservoirs de très-grandes dimensions ne sont pas chauffés. La gelée d'une masse d'eau aussi grande que celle que contiennent ces réservoirs n'est pas à craindre.

Les réservoirs ronds ou polygonaux sont préférables aux réservoirs rectangulaires. Les réservoirs sont en tôle ou en fonte.

Magasins de coke. — Il serait utile de couvrir les dépôts de coke. On ne le fait cependant que très-rarement, parce que cela deviendrait trop coûteux pour de grands approvisionnements.

ARCHITECTURE DES GARES.

La façade d'une grande gare est caractérisée par une horloge monumentale et par un grand nombre de portes ou arcades en plein cintre de grandes dimensions, destinées à éclairer de grands vestibules ou à donner issue au flot des voyageurs qu'amène chaque convoi. Si le bâtiment est placé en tête, le comble qui recouvre la halle est ordinairement accusé par un fronton ou par un grand arc.

L'architecture des gares ou stations intermédiaires doit être en harmonie avec celle des édifices du voisinage. Le chalet obtient souvent la préférence pour les bâtiments de station placés dans de belles vallées.

WAGGONS.

Disposition générale. — Les voitures employées sur les chemins de fer sont toutes portées sur quatre roues au moins.

Les roues jumelles fixées sur les essieux, qui tournent alors dans des boîtes fixées à la caisse du waggon ou aux ressorts qui les portent, sont solidaires.

Les essieux sont disposés de manière à rester invariablement parallèles, ou à peu près, dans les waggons à quatre roues. — Dans les waggons à huit roues ils sont parallèles deux à deux.

Ressorts. — L'usage des ressorts de choc et de traction devient général, même pour les waggons à marchandises.

On a fait pendant longtemps les ressorts de waggons en acier corroyé. M. Lasalle a introduit dans leur fabrication l'acier fondu, que son élasticité, son homogénéité et sa résistance à la rupture rendent bien supérieur.

Graissage. — Le graissage à l'huile tend à se substituer aujourd'hui au graissage à la graisse, fort imparfait en hiver surtout. La plus grande difficulté que l'on ait à surmonter dans le graissage à l'huile consiste à éviter les pertes d'huile.

Anciennement les boîtes à graisse étaient ajustées avec soin dans les plaques de garde; actuellement on leur donne au contraire du jeu dans tous les sens. Cette disposition facilite le passage dans les courbes.

L'emploi des galets ou des rouleaux, pour diminuer le frottement sur la fusée, ne s'est pas généralisé.

Roues. — En France, les roues de waggons, soit à voyageurs, soit à marchandises, marchant à de grandes vitesses, sont ordinairement en fer, à l'exception du moyeu. On en fait même en grand nombre aujourd'hui avec le moyeu en fer. En Amérique, on se sert encore, même pour les waggons marchant à de grandes vitesses, de roues en fonte.

En Angleterre, on fait encore usage pour les waggons à marchandises, sur quelques chemins, de roues avec rais en fer, en fonte et cercle en fer. La différence de prix en faveur des roues avec rais en fonte en France nous paraît trop faible pour justifier leur emploi, même pour les waggons à marchandises.

Dans les waggons de terrassement, le cercle est en fonte, les rais en fer et le moyeu en fonte.

On fait souvent usage de roues pleines, surtout pour les waggons qui entrent dans la composition des trains express.

Caisses des waggons de terrassement. — Les caisses de waggons de terrassement mobiles autour d'un axe doivent avoir une capacité

plus ou moins grande, selon la distance à laquelle les waggons doivent transporter les terres. Elles ne doivent pas être trop élevées, afin que le chargement n'en devienne pas trop difficile. Elles doivent se renverser sous un angle de 45 degrés au moins. Leur charge doit être distribuée inégalement sur l'axe de rotation, de manière que la charge sur l'arrière soit un peu plus forte que sur l'avant. Les roues doivent être chargées à peu près également. Elles doivent avoir le plus grand diamètre possible, afin de passer facilement sur les petites pierres que l'on peut rencontrer sur les rails des chantiers de terrassements; mais on ne peut dépasser le diamètre de 0^m,75, sous peine de trop élever le centre de gravité de la caisse.

Waggons à houille. — On renonce sur plusieurs lignes aux waggons à trappes pour le transport de la houille même, parce qu'ils ne peuvent servir que difficilement au transport d'autres matières en retour.

Waggons à voyageurs. — Les waggons pour le transport des voyageurs doivent être disposés de façon que l'on puisse y faire entrer ou en faire sortir rapidement le plus grand nombre possible de voyageurs aux stations. Pour cela, il faut que les portes soient nombreuses et de largeur suffisante.

Aujourd'hui, en France, l'autorité supérieure exige que les waggons de toute classe soient couverts et fermés.

Rapport du poids mort. — On s'applique à diminuer autant que possible le rapport du poids mort au poids utile dans les waggons, soit à voyageurs, soit à marchandises.

On a augmenté dans ce but la longueur des caisses des waggons à voyageurs et augmenté la capacité de celles des waggons à marchandises. Les waggons à marchandises à quatre roues ne portaient anciennement que 5 tonnes. On est parvenu aujourd'hui à leur faire porter 10 tonnes sans en augmenter beaucoup le poids mort.

Waggons à bagages. — Les portières des waggons à bagages, étant toujours de grandes dimensions, ne doivent pas tourner sur des charnières comme celles des waggons à voyageurs. Elles doivent, pour ne pas occasionner des accidents, glisser sur des roulettes.

Il importe, sur un chemin de fer, de réduire autant que possible le nombre des différents modèles de waggons.

Matériel américain. — Le matériel américain à huit roues est, proportion gardée, plus lourd que celui à quatre roues; il ne se prête pas aux exigences de l'exploitation aussi facilement que ce dernier, et ne peut marcher dans de bonnes conditions à d'aussi grandes vitesses. Le matériel à quatre roues obtient aujourd'hui la préférence sur le matériel américain, et même sur le matériel anglais à six roues.

Attelage. — L'attelage doit se faire au moyen de tendeurs à vis, en ayant soin d'établir le contact entre les tampons. L'attelage rigide et celui au moyen de chaînes doivent être rejetés.

Freins. — Bien des personnes étrangères aux notions les plus élémentaires de la mécanique se figurent que le meilleur frein serait celui qui pourrait arrêter au besoin le convoi instantanément. C'est une grave erreur qu'il importe de détruire. Les freins ne doivent agir que graduellement, avec plus ou moins d'intensité, selon la force dont le convoi est animé.

Il était d'une grande importance que le mécanicien pût manœuvrer les freins au moment même où il aperçoit un obstacle sur la route. C'est dans cette pensée qu'ont été étudiés plusieurs freins nouveaux, notamment le frein Guérin, employé sur plusieurs lignes.

On emploie sur les fortes pentes un frein à patins d'une espèce particulière, connu sous le nom de frein Laignel.

Matériel articulé. — Le matériel articulé de M. Arnoux n'a été employé jusqu'à ce jour que sur le chemin de fer de Sceaux.

Le principal obstacle à ce qu'il fût employé sur des lignes de grand parcours provenait de la difficulté que l'on éprouvait à construire des machines *puissantes* à roues couplées pouvant passer aussi bien que les waggons dans les courbes de petit rayon.

On a surmonté jusqu'à un certain point cet obstacle en construisant des machines à quatre paires de roues couplées, marchant dans les courbes du plus petit rayon; mais ces machines ne sont pas encore assez puissantes pour trainer seules des convois de marchandises composés d'un grand nombre de waggons.

On a aussi reproché au système Arnoux sa complication. On

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-répan due 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-

nées, ou l'une des dimensions de la machine, la charge, la vitesse et les autres dimensions étant données.

Adhérence. — La charge traînée dépend :

1° De la puissance de la machine;

2° De l'adhérence des roues motrices.

L'adhérence varie suivant l'état des rails. On admet qu'elle est en moyenne de $\frac{1}{6}$ du poids qui l'a produite, ou, en d'autres termes, que, eu égard à l'adhérence, on peut utiliser un effort de traction égal à $\frac{1}{6}$ du poids porté par les roues motrices ou par les roues couplées avec les roues motrices.

Puissance. — Quant à la puissance de la machine, on ne peut l'apprécier qu'en se rendant compte du travail moteur et du travail résistant.

Le travail moteur se divise en trois périodes : travail 1° pendant l'admission; 2° pendant la détente; 3° pendant l'échappement anticipé. Le travail résistant se divise en travail 1° pendant l'échappement; 2° pendant la compression; 3° pendant la marche à contre vapeur.

Le travail pendant l'admission et pendant l'échappement dépend de circonstances variées qui n'ont pu jusqu'à présent être soumises au calcul; il devient donc impossible d'établir une équation entre le travail moteur et le travail résistant. — On se contente de formules empiriques.

On se base, pour établir ces formules empiriques, sur le raisonnement et sur les résultats d'expériences.

Résultats d'expériences. — Voici quelques données sur le travail de la vapeur dans les machines et sur les résultats d'expériences.

Perte de pression. — La perte de pression dans le passage de la chaudière aux cylindres varie : 1° avec l'ouverture du régulateur; 2° avec les dimensions et les sinuosités des conduits; 3° avec l'orifice maximum des lumières; 4° avec la vitesse du piston; 5° avec la quantité d'eau entraînée par la vapeur dans les conduites ou provenant de la condensation.

Dans les machines munies de la coulisse Stephenson, elle croît rapidement à mesure que l'on détend davantage. Cela tient à ce

que, pour les fortes détente, le tiroir ne découvre plus les lumières que de quelques millimètres.

Les machines à coulisses ne marchent dans des conditions avantageuses qu'autant que la pression dans la chaudière est très-élevée et les dimensions des cylindres considérables.

Détente. — Lorsqu'on détend au quart de la course, le travail de la détente est égal à celui de l'admission.

Elle est considérablement augmentée par le mélange de l'eau entraînée avec la vapeur. Elle peut être triplée.

La quantité de vapeur produite par la chaudière est généralement insuffisante pour qu'on puisse marcher à pleine vapeur dans les meilleures conditions. La marche la plus avantageuse pour le développement de la puissance est celle qui correspond à une admission de 66 à 75 p. 100 de la course, suivant les machines.

Échappement anticipé. — La perte de force expansive par l'échappement anticipé est très-peu sensible. Elle est presque nulle et plus que compensée par la diminution de contre-pression.

Eau entraînée ou condensée. — La quantité d'eau entraînée ou condensée augmente avec la détente.

Pression soufflante. — La pression soufflante varie comme le vide dans la boîte à fumée, quelle que soit la détente.

Vide dans les deux boîtes. — Le vide dans la boîte à fumée croît de manière très-différente avec la puissance soufflante dans les différentes machines. Le vide croît avec la pression soufflante même aux plus grandes vitesses.

Le rapport du vide dans la boîte à feu au vide dans la boîte à fumée varie de un tiers à un quart.

Consommation de coke. — On marche économiquement toutes les fois que le poids d'eau évaporée par kilogramme de coke atteint 9 kilogrammes.

Surfaces de chauffe et de grille. — Le rapport entre la surface de chauffe et la surface de grille dans les machines récemment construites varie de 72 : 1 machines à voyageurs, et 100 : 1 machines à marchandises.

Surfaces de chauffe du foyer et des tubes. — Le rapport entre

ces surfaces est de $\frac{1}{12}$ à $\frac{1}{13}$ dans les machines à voyageurs; de $\frac{1}{14}$ à $\frac{1}{15}$ dans les machines à marchandises.

Surface de chauffe et volume de vapeur par coup de piston. — La partie variable du rapport $\frac{S+S'}{d^2 l}$ (voir p. 748) doit se rapprocher de l'unité ou lui être égale.

Section des tuyaux. — Le rapport entre la section du tuyau qui conduit la vapeur aux boîtes et celle du piston doit être de 1 à 10; le rapport entre la section des lumières et l'aire du piston également de 1 à 10. La section du tuyau d'échappement doit, pour chaque cylindre, être égale à celle du tuyau de prise de vapeur.

NOUVEAUX SYSTÈMES.

Machines électriques. — L'électricité, dans l'état actuel de la science, ne peut être appliquée avec avantage aux machines locomotives ni comme moteur ni comme moyen d'augmenter l'adhérence.

Machines rotatives. — Les machines rotatives ne peuvent être appliquées avec avantage à la locomotion.

Système Laignel. — Le système Laignel ne présente des avantages que pour des petites lignes, sur lesquelles on marche à de petites vitesses.

La plus grave objection au système Laignel est que, s'il diminue incontestablement le travail nécessaire pour opérer un certain changement de direction, il laisse encore subsister une résistance qui devient excessive par unité de distance parcourue dans des courbes dont le rayon ne dépasse pas 50 mètres.

Machines à air comprimé. — La vapeur est, dans tous les cas, sur les chemins de fer, préférable à l'air comprimé ou à l'air chaud comme moteur.

La plus grave objection faite à l'emploi de l'air comprimé est de ne permettre d'emmagasiner dans le tender que l'approvisionnement d'une quantité de force motrice très-inférieure à celle qu'on emmagasine en se servant de vapeur.

Systèmes divers pour augmenter l'adhérence. — On a tenté, sans grande utilité, différents moyens d'augmenter l'adhérence des

roues de locomotives. L'adhérence sur les pentes les plus fortes en usage sur les chemins de fer est, à l'exception de quelques cas particuliers, en rapport avec la puissance. Si les machines locomotives ne sont pas employées sur des pentes plus fortes, cela tient moins à leur défaut d'adhérence qu'à leur défaut de puissance pour traîner une charge suffisante.

Appareils fumivores. — On n'est pas encore parvenu à brûler économiquement les houilles *de toute nature sans fumée* dans les foyers de locomotives.