

CHAPITRE III

NOTIONS GÉNÉRALES SUR LA DISPOSITION DES VOIES EN FER

SUR LES MOTEURS QUI Y SONT EMPLOYÉS

ET SUR LES AVANTAGES DES CHEMINS DE FER AU POINT DE VUE TECHNIQUE

Disposition des voies. — L'effort qu'il faut exercer pour remorquer un véhicule sur une route est d'autant moindre que la surface sur laquelle se meuvent les roues est plus dure et plus unie.

Les Romains attachaient une grande importance à la construction de la chaussée de leurs routes. Ils la composaient de matériaux si résistants et lui donnaient une épaisseur telle, que l'on trouve encore fréquemment des portions de routes dans un état parfait de conservation. La partie extérieure de ces chaussées sur laquelle s'opérait le roulement se composait en général de blocs de pierre d'assez forte dimension assemblés avec soin.

Dans les temps modernes, on a dû renoncer à un mode de construction si dispendieux; aussi a-t-on composé les chaussées de matériaux de plus faible dimension, mais qui, par cela même, offraient au roulage une surface moins unie.

Le roulage sur ces nouvelles routes étant devenu beaucoup plus difficile que sur les anciennes routes romaines, on imagina d'abord de faire porter les roues sur deux files parallèles de pierres dures et bien dressées, tandis que les chevaux marchaient dans l'espace compris entre ces bandes de pierres; puis, voulant augmenter encore la dureté du chemin, on fut conduit à les remplacer par des plaques ou des bandes de fonte ou de fer.

Telle a été l'origine *des chemins de fer ou chemins garnis de files parallèles de bandes de fer ou de fonte fixées solidement au terrain.*

Les chemins de fer sont souvent désignés sous le nom de rail-

ways. Ce mot, emprunté à la langue anglaise, est formé de deux autres : *way*, chemin, et *rail*, bande. Ainsi railway ne signifie pas seulement un chemin de fer, mais un chemin composé de files parallèles de bandes de matière quelconque, un chemin composé, par exemple, de bandes parallèles de pierre, comme il en existe encore à Milan et à Londres, ou bien un chemin composé de bandes de bois, comme on en voit aux États-Unis et dans beaucoup de mines en Prusse. Les bandes qui constituent le chemin s'appellent alors des rails.

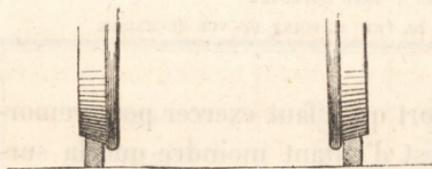


Fig. 1. — Rails à bandes saillantes.

Les railways sont à *bandes saillantes* (*edge-rails*), lorsque les bandes de fer ne portent aucun rebord pour maintenir le chariot sur la voie ; c'est alors sur les roues que se trouvent les bourrelets ou saillies qui empêchent la roue de dévier, comme figure 1.

Ils sont à *bandes plates* (*plate rails*), quand les bandes sont garnies d'un rebord, ce qui permet d'employer pour les voitures les roues ordinaires. (Fig. 2.)

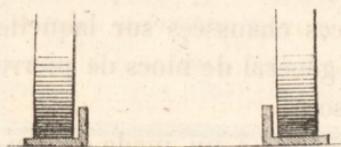


Fig. 2. — Rails à bandes plates.

Les chemins à bandes saillantes sont aujourd'hui généralement préférés aux chemins à bandes plates, à cause de la grande facilité avec laquelle on maintient la surface des rails parfaitement propre.

On trouve cependant encore un grand nombre de chemins à bandes plates dans les mines ou dans le voisinage des grands établissements d'industrie.

Le chemin de fer réduit pour ainsi dire à sa plus simple expression n'est composé que de deux files de bandes de fer. C'est ainsi que l'on peut concevoir le chemin de fer tel qu'on l'a établi dans l'origine pour transporter du charbon ou des produits industriels à de petites distances, sur des chariots qui marchaient une partie de la journée dans un sens avec la même vitesse, et qui revenaient ensuite sur le même chemin dans la direction opposée.

Mais cette voie unique, composée de deux files de rails seulement, devint insuffisante dès que les chariots durent se croiser ou se dépasser. On posa alors deux voies, ou quatre files de rails, sur toute la longueur de la route, ou du moins de distance en distance, sur une partie de la longueur, et on se ménagea les moyens de passer à volonté d'une voie sur une autre.

Les chemins de fer composés de deux voies sur toute leur longueur sont appelés *chemins à double voie* ; ceux dans lesquels on n'a posé une double voie que sur une partie de la longueur sont nommés *chemins à simple voie*.

Dans certains pays où le terrain est précieux, les routes ordinaires sont tellement étroites, que deux voitures ne peuvent y marcher de front et se croiser que dans quelques endroits où elles présentent des espèces de renflements. On est alors forcé de faire en sorte de ne se rencontrer que dans ces gares ménagées à dessein. Sur les chemins à simple voie, il faut aussi calculer la marche des convois, de telle façon qu'ils se rencontrent exactement dans les parties où sont placées les deux voies. Les chemins à double voie sont plus commodes, mais ils sont plus coûteux.

Quelques accidents arrivés sur des chemins à une seule voie en France ont conduit à penser qu'ils étaient excessivement dangereux. La plupart des chemins belges et des chemins allemands ont cependant été exploités avec une seule voie pendant plusieurs années sans que le nombre des accidents y fût plus grand que sur les chemins à deux voies. Les chemins à une voie ne sont d'une exploitation réellement difficile, et, par suite, dangereuse, que lorsque la circulation y dépasse certaines limites. Ce n'est que sur des chemins de cette espèce, où la circulation était trop active pour une seule voie, ou sur des chemins mal exploités, que l'on a eu à déplorer des accidents graves.

On a construit des chemins de fer composés d'une seule file de rails qui ont été appelés, du nom de leur inventeur Palmer, *chemins à la Palmer*. Les roues des voitures employées sur ces chemins sont creusées en gorge de poulies à leur pourtour et placées au milieu des essieux, chaque essieu n'en portant qu'une seule. La charge en marchandises ou en voyageurs est logée dans des caisses

suspendues aux extrémités des essieux, et les rails sont établis sur des colonnes ou des piliers au-dessus du sol. La fig. 5 représente un

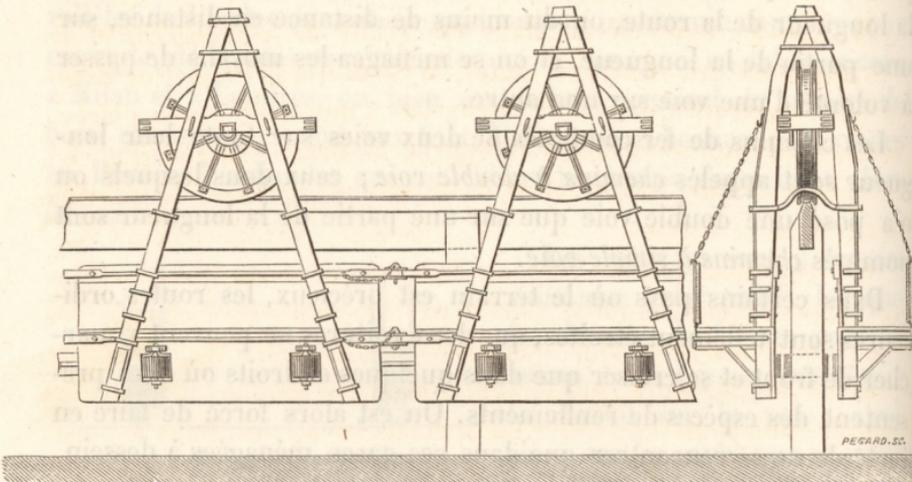


Fig. 5. — Chemin à la Palmer, près Posen.

chemin à la Palmer établi près de Posen en Prusse, pour le transport des produits d'une briqueterie à une distance de 1,800 mètres.

Ce mode de construction est, sans doute, fort économique; mais les chariots sur un chemin de ce genre éprouvent une grande résistance, si on ne charge également les extrémités des essieux, condition difficile à remplir lorsqu'on transporte des voyageurs; le tirage par des chevaux ne peut s'y faire que dans une direction oblique, et la traction par locomotive y paraît difficilement applicable; aussi l'usage en a-t-il été jusqu'à ce jour fort limité. On ne les a employés que dans l'intérieur d'un petit nombre d'établissements



Fig. 4. — Chemin du bureau des navires à Deptfort.

industriels (chemin du bureau des navires à Deptfort, près de Londres); pour un transport de marchandises peu important (chemin des fours à chaux et de la briqueterie de Cheshunt, au canal de Lee); pour le service de la briqueterie de Posen; dans

quelques mines de houille (mines de Rive-de-Gier), ou enfin pour des travaux de terrassements (terrassements pour les fortifications de Paris au bois de Boulogne)¹.

M. Amédée Burat décrit, dans son *Traité de la recherche et de l'exploitation des minéraux utiles*, le chemin à la Palmer de Rive-de-Gier, sur lequel on se sert de chariots à une seule caisse, placée, au moyen d'une espèce d'essieu recourbé, au-dessous du rail. (Fig. 4.) Il signale comme inconvénient de ce système le défaut de stabilité des caisses de chariots.

On trouve sur tous les chemins de fer employés au transport des voyageurs et marchandises, aux deux extrémités et à chacun des points intermédiaires où les convois doivent s'arrêter, des bâtiments plus ou moins vastes, qui servent à loger les bureaux de distribution des billets ou à procurer un abri aux voyageurs. Dans le voisinage de ces bâtiments, en certains points, il existe, outre les voies principales du chemin de fer, des voies auxiliaires pour le remisage des voitures et des machines. Le service du chemin exige enfin des ateliers de réparation, des magasins, des réservoirs, etc., etc.

L'emplacement plus ou moins vaste sur lequel ces bâtiments divers avec leurs dépendances ont été construits et ces voies auxiliaires posées porte le nom de *gares de stationnement*, ou *stations*.

Nous étendrons ce nom de gare aux emplacements réservés pour les ateliers, ordinairement construits dans des terrains situés en dehors du chemin, et où les convois ne stationnent pas.

On appelle enfin *gares d'évitement* les parties des chemins à une seule voie sur lesquelles on a posé une double voie. (Fig. 5.)

Ce nom de *gares d'évitement* est usité aussi pour les parties des chemins à double voie où les convois passent sur une voie latérale, pour reprendre ensuite l'une des voies principales.

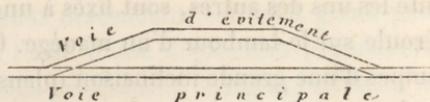


Fig. 5. — Gare d'évitement.

¹ Voir un mémoire sur les chemins à une seule file de rails, publié en 1857 par M. le général-major de Prittwitz, intitulé: *Die schwebende Eisenbahn bei Posen*.

On distingue les gares ou stations *extrêmes*, gares d'arrivée ou de départ, et les gares ou stations *intermédiaires*.

Les gares intermédiaires se subdivisent en :

Gares intermédiaires de *première classe*, *deuxième classe* et *troisième classe*, et quelquefois même en gares de *quatrième classe*.

Les gares de première classe sont placées près des grandes villes ou à proximité de localités très-peuplées ; tous ou presque tous les trains s'y arrêtent. Une partie seulement des convois stationne dans les gares de seconde classe.

Considérant les gares sous un autre point de vue, on les divise en :
Gares appropriées au service des *voyageurs* seulement.

Gares appropriées au service des *marchandises* seulement.

Gares appropriées au service des *voyageurs* et des *marchandises*.

Les ateliers de réparation ne sont quelquefois que les dépendances des gares de voyageurs ou de marchandises. Souvent aussi ils sont renfermés dans des gares spéciales.

On peut enfin distinguer les gares traversées par un seul chemin de fer et celles dans lesquelles aboutissent ou se croisent plusieurs chemins de fer.

Moteurs. — On emploie comme moteurs sur les chemins de fer les *hommes* ou les *animaux*, les *machines fixes*, les *machines locomotives*, et la force naturelle de la pesanteur ou *gravité*.

Les hommes poussent ou traînent les chariots ; les chevaux ou les bœufs les traînent presque toujours en agissant également comme sur les routes ordinaires, ou quelquefois en leur donnant le mouvement à un manège. Dans ce dernier cas, les chariots, attachés à la suite les uns des autres, sont fixés à une corde qui s'enroule ou se déroule sur le tambour d'un manège. Ce n'est guère que sur des rampes d'une grande inclinaison (plans inclinés) qu'on emploie les tambours et les manèges. Les machines fixes sont des machines *fixées* au sol, et qui font tourner des tambours, à l'aide desquels on remorque les convois exactement de la même manière. On se sert ordinairement, dans ce cas, de machines à vapeur. Cependant on peut aussi faire usage des machines hydrauliques ou de toute autre espèce. Aux États-Unis, on trouve sur quelques chemins de fer des roues hydrauliques.

Les machines locomotives sont des machines à vapeur, accompagnées de leur chaudière, de leur foyer et de leur cheminée, portées sur un chariot spécial placé en tête du convoi qu'elles remorquent.

Elles impriment le mouvement de rotation à un des essieux du chariot. Les roues qui sont fixées aux extrémités de cet essieu tournent aussi ; mais, comme elles sont gênées dans leur mouvement par la résistance qu'elles trouvent sur le rail, il suffit que cette résistance soit en rapport avec la charge que la machine doit traîner pour qu'elles ne puissent tourner qu'en avançant.

C'est à peu près de la même manière qu'une machine à vapeur, placée sur un bateau, le fait marcher en faisant tourner les deux roues à palettes qui remplacent les rames.

La force naturelle de la pesanteur ne peut être employée qu'à la descente, où elle entraîne les chariots avec d'autant plus d'énergie que la pente est plus forte. Sur un chemin de fer en ligne droite, elle suffit pour faire équilibre à la résistance dès que la pente atteint quatre millièmes, c'est-à-dire, lorsque, par un parcours de mille unités de longueur, mètres ou pieds, le niveau du chemin s'est abaissé de quatre fois cette unité¹. La plus légère impulsion met alors les chariots en mouvement, et ils peuvent, à la rigueur, descendre sur une pareille pente sans le secours d'aucun moteur.

Sur une pente plus forte, il y a excès de *gravité*, et les chariots descendraient avec une vitesse qui croîtrait constamment jusqu'à une certaine limite, si l'on ne se servait de freins pour les contenir.

Quand la pente atteint deux centièmes environ, l'effet de la pesanteur qui entraîne les chariots descendants est assez grand pour que ces chariots puissent, à l'aide d'une disposition particulière, faire monter des chariots moins pesamment chargés, marchant en sens contraire sur une voie parallèle.

Les chariots qui doivent descendre sont alors accrochés à l'extrémité d'une corde passant sur une poulie couchée horizontalement, ou à peu près, au sommet du chemin incliné, et les chariots qui doivent monter sont fixés à l'autre extrémité de la corde.

¹ La pente est alors *descendante* ; elle serait ascendante et deviendrait une rampe si le niveau s'était élevé au lieu de s'être abaissé.

On conçoit comment les premiers, roulant du haut du plan vers le bas sur une même voie, entraînant, par l'intermédiaire de la corde, les seconds qui suivent, ont, en sens contraire, une voie parallèle.

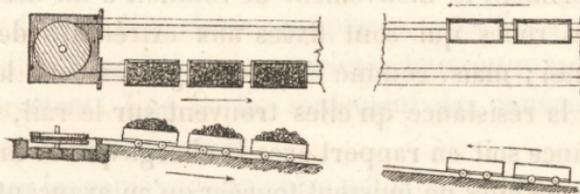


Fig. 6. — Plans automoteurs.

Les plans inclinés disposés de cette manière portent le nom de *plans automoteurs* (self-acting planes). (Fig. 6.)

Avantages des chemins de fer au point de vue technique. — La vitesse est, aux yeux du public, le principal, le seul avantage peut-être, qu'aient les chemins de fer sur les routes ordinaires. On pourrait cependant très-probablement obtenir cette vitesse avec des machines locomotives sur des routes ordinaires, tracées comme les chemins de fer, et parfaitement entretenues ; mais elle deviendrait excessivement coûteuse, tant en raison de la grande résistance des voitures que par suite des causes de destruction qui agiraient sur les locomotives.

Le principal avantage des chemins de fer est donc de rendre l'emploi de la machine locomotive possible pour le transport à un prix modéré des voyageurs et des marchandises, du moins lorsqu'ils sont établis dans de certaines conditions que nous ne tarderons pas à faire connaître.

Mais cet avantage n'est pas le seul que possèdent les chemins de fer ; la résistance sur les voies de fer est moins grande que sur les routes ordinaires : il en résulte une diminution dans les frais de traction, avec toute espèce de moteur et à un degré quelconque de vitesse, qui a conduit à construire des chemins de fer longtemps avant que les machines locomotives fussent connues.

Cette diminution de résistance, due à l'emploi des chemins de fer, n'est très-sensible, et l'emploi des locomotives n'y a lieu avec avan-

tage, qu'autant que leurs pentes sont faibles et que leur direction se rapproche de la ligne droite.

Pour bien établir ce fait important, analysons les résistances diverses que doit vaincre le moteur sur un chemin de fer ou sur une route ordinaire.

Deux résistances seulement se manifestent dans une voiture qui roule en plaine et en ligne droite sur une route quelconque : l'une au pourtour des roues, résultant des inégalités du terrain, l'autre à l'essieu, provenant des aspérités de la boîte dans laquelle l'essieu tourne en frottant.

La première, appelée quelquefois *frottement de roulement*, est considérable sur les routes, car celles-ci ne sont jamais, comme les chemins de fer, parfaitement dures, parfaitement unies. On estime qu'elle est, sur les meilleures routes Mac-Adam, sept fois aussi considérable que la seconde, et on trouve que la somme des deux résistances est égale à un trentième du poids du véhicule et de sa charge, c'est-à-dire telle que, si l'on attachait à l'extrémité de la voiture une corde, et que cette corde, d'abord tendue horizontalement, vînt, après avoir passé sur une poulie fixée au milieu de la route, à tomber verticalement dans un puits, il faudrait, pour entraîner la voiture, ou au moins pour en contre-balancer les résistances et lui permettre de céder à la plus faible impulsion, attacher à l'extrémité de la corde qui pend dans le puits autant de kilogrammes qu'il y a de fois trente kilogrammes dans le poids du chariot.

Sur une route en fer, la résistance sur les essieux du chariot est exactement la même que si le chariot roulait sur une route ordinaire, car elle dépend du mode de construction du chariot, et non de celui de la route ; mais la résistance au pourtour de la roue, qui dépend essentiellement du plus ou moins grand nombre d'aspérités que présente la surface sur laquelle s'opère le mouvement, est presque nulle. Elle n'est plus que la moitié de la résistance sur l'essieu, et la somme des résistances, à une vitesse de moins de six lieues à l'heure, n'est plus que la deux centième partie du poids du chariot, ou même, lorsque le chariot est bien construit et bien graissé, la deux cent cinquantième partie environ.

Cette somme des résistances sur un chemin de fer n'est par conséquent que la septième ou la neuvième partie de ce qu'elle est sur une route ordinaire. *Un cheval, une machine, un moteur quelconque, peuvent donc 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 ces routes.*

Si la vitesse augmente, la résistance que l'air, même dans l'état de calme parfait, oppose à la marche des convois, devient sensible. Elle s'accroît avec cette vitesse dans une proportion telle, qu'à 60 ou 70 kilomètres par heure elle s'élève, sur un chemin de fer, au double de ce qu'elle est à des vitesses modérées. Ainsi, *à la vitesse de 60 ou 70 kilomètres par heure, un moteur quelconque ne traîne plus sur un chemin de fer 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.*

Si la route, d'horizontale qu'elle était, devient inclinée, tout en conservant la direction rectiligne, et que le cheval soit obligé de gravir une rampe, chacun sait que la résistance qu'il éprouve s'accroît. Cette augmentation ne provient pas de l'un ou de l'autre frottement du chariot : les frottements, au contraire, diminuent ; mais il se développe une troisième résistance, occasionnée par le poids du chariot, qui tend à le faire reculer, et qui l'entraînerait si elle était plus forte que les frottements, et si le cheval n'exerçait aucun effort en sens contraire. Cette troisième résistance est d'autant plus grande que la pente est plus forte, et elle croît même si rapidement avec la pente, que, pour peu que les montées soient roides, les chevaux deviennent incapables de mouvoir le véhicule, même au pas, si on ne leur adjoint des chevaux de renfort.

Le frottement au pourtour des roues n'est donc plus, sur une rampe un peu forte, qu'une petite fraction de la résistance totale¹, et la pose des bandes de fer, comme moyen de réduire ce frotte-

¹ Sur une pente de quatre millièmes par exemple, imperceptible à l'œil, la résistance totale sur un chemin de fer à une vitesse modérée est déjà double de la résistance due au frottement, la seule qui se manifeste en plaine ; sur une rampe de huit millièmes, elle est triple ; de seize millièmes, quintuple.

ment, n'offre plus les mêmes avantages qu'en plaine. Les machines fixes peuvent alors, si l'inclinaison ne dépasse pas certaines limites, être encore employées avec économie ; mais il n'en est pas de même des machines locomotives, qui, ayant à se traîner elles-mêmes, ont à vaincre non-seulement l'accroissement de résistance de charge, mais encore l'accroissement de résistance provenant de leur propre poids. Ainsi l'on admet assez généralement que l'usage des machines locomotives, sur une pente de plus de trois et demi centièmes, lors même qu'elles trouveraient sur le rail la résistance (adhérence) nécessaire pour tourner sans glisser, cesse d'être économique.

A la descente, le poids du chariot, qui, à la montée, l'entraînait en sens contraire du cheval, agit dans le même sens que celui-ci, et, si la pente est un peu rapide, le cheval est obligé de retenir les chariots, au lieu de les traîner, et consomme sa force en pure perte. C'est alors que, sur les chemins de fer, on se passe de moteur, ou que même, si la pente devient assez forte, on utilise, au moyen de mécanismes que nous avons indiqués (voir page 70), l'excès de poids nuisible sur les routes¹.

Jusqu'à présent nous avons supposé que le chemin suivait une ligne droite ; *les circuits engendrent de nouvelles résistances.*

La force que l'on connaît sous le nom de force *centrifuge*, et qui se développe lorsqu'un corps prend un mouvement curviligne, tend à jeter contre le mur le cavalier galopant autour d'un manège et

¹ Il ne faudrait pas s'imaginer cependant que les frais de transport sur les chemins de fer, à la descente, lorsque la pente dépasse une certaine limite, soient tout à fait nuls. La pente étant de cinq à quinze millièmes, les chariots descendent, il est vrai, d'eux-mêmes, sans qu'on emploie aucun moteur pour les traîner; mais il faut ensuite les ramener en montant. Sur le chemin de Darlington, on a eu l'heureuse idée de faire descendre les chevaux qui traînaient les chariots à la montée, dans de petits waggons-écuries; de cette manière ils n'éprouvaient aucune fatigue pendant une partie de la journée; ils paraissaient même trouver beaucoup de plaisir à ce genre de promenades, et, en les ramenant ainsi en voiture, on avait augmenté d'un tiers leur travail utile à la montée. Aujourd'hui les chevaux ont été, sur ce chemin, remplacés par des machines locomotives.

Sur les plans *automoteurs*, la gravité ou la pesanteur est le seul moteur employé. Ce moteur ne coûte rien, mais la dépense pour l'entretien des cordes, poulies, etc., équivaut à celle qu'occasionnerait l'emploi d'une machine locomotive sur un terrain de niveau

oblige la pierre lancée par une fronde à se mouvoir en ligne droite ; cette force tend aussi à entraîner en ligne droite le chariot qui décrit une courbe, et elle agit avec d'autant plus d'énergie que la vitesse est plus considérable et que le rayon de la courbe est plus petit. Sur une route ordinaire, comme il est rare que l'on marche très-rapidement et que d'ailleurs le frottement contre le terrain oppose généralement une résistance suffisante à la force centrifuge, elle n'a d'autre effet que de faire verser les voitures lorsqu'on veut tourner trop court. Sur un chemin de fer elle chasse, dans les circuits formés de deux files courbes de rails, les roues contre les rails de la plus grande courbe, et donne lieu, de cette manière, à un frottement de leurs rebords contre ces rails. Plus la vitesse est grande et le rayon de la courbe petit, plus cette résistance est considérable.

En outre, deux nouveaux frottements résultent, sur un chemin de fer courbe, de la construction même des waggons.

L'un de ces frottements a pour cause immédiate la construction même du système de rotation. Les roues, étant fixées aux essieux, doivent nécessairement, en vertu de cette disposition, effectuer toujours le même nombre de tours que l'essieu dans sa boîte ; mais, comme dans une courbe les deux rails sont d'inégales longueurs, les roues n'ont pas la même distance à parcourir : celle que guide le rail le plus éloigné du centre de la courbe serait obligée, si elle était libre sur son axe, de faire, pour compenser cette différence de parcours, un plus grand nombre de tours ; or, comme cela est impossible, il s'ensuit que les roues, en effectuant leur mouvement de rotation, exécutent pendant le passage des courbes un mouvement de glissement en avant ou en arrière, suivant la position respective des roues.

Le second frottement résulte de la position des essieux dans leurs boîtes, position qui ne leur permet pas de converger vers le centre de la courbe, comme ils le feraient s'ils étaient libres.

Ces résistances n'ont pas lieu sur les routes ordinaires, où l'on se sert de voitures dont le train de devant peut tourner librement, et dont les roues, portées sur un même essieu, peuvent, dans le même temps, faire des nombres de tours différents.

On a imaginé différents moyens pour contre-balancer ou détruire l'effet de ces résistances ; mais aucun, jusqu'à présent, ne paraît atteindre parfaitement le but, du moins sur les chemins de fer que l'on veut parcourir à de grandes vitesses.

Il en résulte qu'un chemin de fer sur lequel on veut marcher rapidement n'admet pas de courbes d'un aussi petit rayon qu'une route ordinaire.

On voit donc en résumé par ce qui précède :

1° *Que la construction des chemins de fer pour les transports à grande vitesse est particulièrement avantageuse dans les pays de plaine ou faiblement accidentés, puisque c'est dans ces pays surtout qu'il est facile de remplir les deux conditions sans lesquelles on ne peut marcher rapidement et économiquement avec des machines locomotives, savoir : une faible inclinaison des rampes et des courbes de très-grand rayon.*

On est cependant parvenu, au moyen d'immenses travaux, à établir des chemins de fer à grande vitesse dans des pays assez fortement accidentés ; mais ils ne sont avantageux, financièrement parlant, qu'autant que la circulation y est très-active.

2° *Que la construction des chemins de fer offre des avantages d'une autre nature, mais qui ne sont pas moins grands, pour le transport des marchandises, lorsque le terrain est sensiblement incliné et que les chariots descendent avec de fortes charges, remontent à vide ou avec de faibles charges.*

Dans le cas contraire, c'est-à-dire lorsque, sur un terrain incliné, les plus fortes charges montent, tandis que les plus faibles descendent, ou lorsqu'il y a égalité de mouvement commercial dans les deux sens, la construction d'un chemin de fer peut encore être motivée comme moyen d'employer les machines à vapeur fixes au transport des marchandises ; mais elle devient généralement sans application au transport des voyageurs à grande vitesse. Jusqu'à ce jour les machines fixes n'ont été employées à remorquer les voyageurs sur des rampes très-inclinées que pour des portions de lignes très-courtes, et aujourd'hui elles sont presque partout abandonnées, même pour le remorquage des trains de marchandises.

5° Que, dans les pays très-accidentés (pays de hautes montagnes), où il est impossible ou très-difficile d'éviter les circuits prononcés et les fortes rampes dans des sens divers ou dans celui du mouvement, le chemin de fer perd la plus grande partie de ses avantages sur la route ordinaire et devient à peu près impraticable.