

625.1

Ecole Impériale des Ponts et Chaussées.

5180
Q 13965-2

Cours
de Construction et d'Exploitation
des Chemins de fer.

Notes prises par les Elèves.



1858.

1888

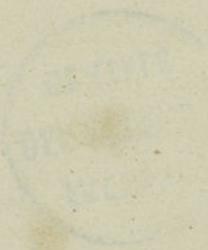
École Supérieure des Arts et Métiers

COPIE

de Construction et d'Exploitation

des Chemins de fer.

Notes prises par les élèves.



1888

Cours
de Construction
des Chemins de fer.
Notes prises par les Elèves.

Introduction.

Les Chemins de fer peuvent être considérés comme des routes perfectionnées au point de vue du tracé, du profil et du moteur. Matériellement, ils sont constitués par une chaussée, dans laquelle sont posées des lignes continues et parallèles de barres affleurant à la surface, sur lesquelles roulent des véhicules assemblés en trains et trainés par des machines à vapeur.

§ 1^{er}. Notice historique sur les Chemins de fer.

Origine et développements. — Leur origine remonte à l'année 1649; c'étaient dans le principe des chemins de bois établis pour faciliter l'exploitation des mines de houille; ils furent ensuite le complément des canaux qu'ils mirent en communication avec les hauteurs. Jusqu'en 1825, ils servirent au transport des marchandises; à cette époque ils furent appliqués au service des voyageurs, et leur développement, assez restreint jusqu'alors, devint aussitôt considérable. En 1853, l'Angleterre comptait 12 795 kilomètres de chemins de fer en exploitation, les Etats Unis en comptaient probablement plus de 20,000, et la France 4111. Ce dernier chiffre représente à-peu-près l'étendue des canaux.

D'après cela, l'histoire des chemins de fer présente deux périodes distinctes: de 1649 à 1825, et de 1825 à nos jours; dans la première on voit naître successivement tous les éléments nécessaires à leur développement; ce travail est long et pénible, mais à peine est-il achevé, à peine ces éléments sont-ils constitués, qu'on les applique aussitôt sur la plus grande échelle. La longueur de la première période s'explique par le nombre et la grandeur des difficultés vaincues, et aussi par le perfectionnement du résultat; quant au développement si rapide qui caractérise la seconde, il est la conséquence des avantages que présentent les chemins de fer sur les autres voies de communication.

§ 2^e Avantages des Chemins de fer.

1^o Sur les routes.

Les routes offrent un tirage plus considérable; l'emploi des moteurs mécaniques y est à peu près impossible, par suite moins d'économie et moins de rapidité; ajoutons moins de confort.

Sur les voies navigables

Les voies navigables peuvent lutter avec avantage quand il s'agit de petites vitesses, mais cette condition leur est indispensable. Elles présentent d'ailleurs l'inconvénient des chômages, tantôt par manque ou excès d'eau, tantôt par nécessité de curages ou par suite de grands froids. Les chemins de fer ont sur elles le double avantage de la permanence et de la rapidité.

§ 3^e Perfectionnements successifs des divers éléments.

Rails. — L'idée première fut de constituer le sol de la route de manière à diminuer le tirage; à cet effet, des pièces de bois furent disposées sur les parties de la chaussée sillonnées par les roues; la partie intermédiaire fut réservée par motif d'économie et pour laisser aux pieds des chevaux un point d'appui suffisant. Les bois employés s'usèrent rapidement; on les recouvrit de plaques en fonte sans obtenir de meilleurs résultats.

En 1738, 1766 et 1776, on essaya successivement divers systèmes de rails en fonte; ces rails étaient plats et présentaient des rebords extérieurs ou intérieurs destinés à maintenir les roues; lors des premiers essais, ils furent brisés par les chariots dont les dimensions étaient déjà considérables; mais l'essai de 1776, tenté par CURT, réussit parfaitement et servit de type pour ce genre de rail.

En 1789, des rails saillants en fonte, en forme de champignon, furent substitués aux rails plats, et les rebords transportés sur les roues mêmes des chariots. C'est à Jenop qu'est due cette invention.

Naxon propose en 1805 l'emploi de bandes de fer posées de champ, mais ces barres, trop étroites, creusent les jantes des roues, et un premier essai reste sans imitateurs.

En 1820, John Birkinshaw trouve le moyen de fabriquer des rails en fer avec bourellets semblables aux rails en fonte saillants; toutefois, ceux-ci, d'une exécution plus facile, sont préférés jusqu'au moment où l'emploi du moteur à grande vitesse (1825) fait mieux comprendre l'avantage des rails en fer, les seuls dont on se serve aujourd'hui.

Supports des rails. — Les barres de bois employées dans le principe, étaient posées sur des traverses. En 1787, on se sert de blocs de pierre qui présentent l'avantage d'être inaltérables au contact du sol humide, mais ils ont l'inconvénient de supprimer toute liaison entre les deux cours de rails; les grandes vitesses les font abandonner et on revient alors aux systèmes de voies liées par des traverses.

Véhicules. — Ce sont d'abord de simples chariots tirés isolément par des

chevaux; à mesure que le tirage diminue, on augmente leurs proportions, et leur poids devenu trop considérable pour la surface sur laquelle il se répartit, tend à détruire la voie. En 1768, on commence à diviser la charge en la répartissant sur plusieurs chariots liés entre eux de manière à former un train. Cette innovation est un des caractères spéciaux du système de transport par chemins de fer.

Les roues à rebords sont introduites en 1789 concurremment avec les rails saillants.

Conséquences pour la résistance à la traction. — Ces perfectionnements successifs eurent pour effet de diminuer considérablement la résistance à la traction; tandis que sur les chemins ordinaires elle était de plus de 5%, elle se trouve réduite à $2\frac{1}{2}\%$ sur les barres de bois, et à 1% sur les rails plats en fonte; actuellement, elle n'est plus sur les rails saillants que de 5 à 3 millièmes, suivant la perfection de la pose.

Moteurs. — Pendant longtemps, les chevaux seuls furent employés comme moteurs; les remorqueurs mécaniques les ont actuellement remplacés, mais de nombreuses difficultés ont retardé leur emploi. Pour mieux les saisir, il convient d'exposer la manière dont agissent ces remorqueurs qu'on appelle des locomotives.

Les locomotives sont des machines à vapeur à deux cylindres dont les pistons donnent au moyen de bielles un mouvement de rotation à deux roues qui portent la machine; ces roues sont appelées roues motrices; les autres sont des roues de support.

Imaginons pour un instant que les roues et les rails soient armés de dents s'engrenant les unes dans les autres de manière à former un système à crémaillère. Lorsque la roue commence à tourner, il se développe au contact des dents deux forces égales et contraires; l'une, appliquée aux rails, est sans effet apparent par suite de leur fixité; l'autre, réagissant sur la roue, tend à la faire avancer sur la crémaillère. Toutefois, comme la réaction des dents ne peut exister au delà d'une certaine limite correspondant à leur force, il faut pour la production de ce mouvement que cette limite soit supérieure à la résistance qu'il développe; autrement les dents seraient brisées, et la roue tournerait sur place.

Si les dents diminuent de grandeur jusqu'à se réduire aux simples rugosités que les surfaces présentent toujours, même quand elles sont polies, les mêmes raisonnements pourront encore s'appliquer et on trouvera, comme plus haut, deux résistances analogues aux précédentes, dont le rapport indiquera si le mouvement est possible ou ne l'est pas. L'une d'elles est la résistance au frottement ou l'adhérence; elle s'oppose à ce que la roue tourne sur place, et sa valeur peut atteindre le septième de la pression exercée sur les rails par les roues qui sont soumises à l'action du piston. L'autre résistance fait obstacle au déplacement du convoi; elle est surtout fonction de la résistance au roulement; avec le matériel et les chemins de fer ordinaires, elle varie entre les 3 et les 5 millièmes de la charge totale. D'après cela, on comprend qu'en augmentant suffisamment le poids de la locomotive, on pourra toujours rendre la première de ces forces supérieure à la seconde, et, par suite, avoir un point d'appui suffisant pour effectuer la traction. Si cette condition n'était pas remplie, les roues mises par la vapeur tourneraient sans avancer, et on dirait alors que les roues patinent.

Du reste, à peine est-il nécessaire en général de se préoccuper des moyens de

charger suffisamment les roues des locomotives, car ordinairement le poids de l'ensemble des organes de ces machines suffit pour développer une adhérence en rapport avec l'effort de traction dont elles sont capables. On peut d'ailleurs par un détail de construction utiliser à volonté la totalité ou seulement une fraction du poids des machines; il suffit pour cela de relier par des bielles d'accouplement les roues motrices aux autres roues de support en leur donnant les mêmes dimensions. Les machines qui présentent cette disposition sont dites : machines à roues accouplées.

À d'autres points de vue, les locomotives sont des machines à vapeur spéciales : elles ont une grande puissance sous un faible volume parce que l'appareil de vaporisation y est très actif et parce qu'on y emploie la vapeur à haute pression.

Ceci posé, si nous revenons à l'histoire de ces moteurs, nous voyons que la première proposition d'appliquer des remorqueurs à vapeur date de 1759. En 1784, Watt donne la description d'une de ces machines; en 1802, Crevierich et Trevilian font la première machine à haute pression. Depuis cette époque jusqu'en 1812, divers systèmes sont essayés, mais leurs auteurs, préoccupés du peu de résistance que les chemins présentent au roulement des véhicules, restent convaincus que les roues ne peuvent trouver sur les rails un point d'appui suffisant pour le moteur; tous leurs efforts tendent donc à créer artificiellement ce point d'appui; ils imaginent des engrenages, des roues striées, des chaînes à touage, ou encore des bielles venant s'appuyer sur le sol; toutes ces dispositions sont compliquées, dispendieuses, donnent naissance à des frottements et sont incompatibles avec une grande vitesse.

En 1812, Blackett met en évidence la force d'adhérence et émet l'opinion que les roues ordinaires suffisent pour opérer la traction sur de faibles pentes. À partir de ce moment, le remorqueur à vapeur devient véritablement pratique.

En 1825, un concours est ouvert pour l'exploitation du chemin de Manchester à Liverpool. La Classe de Stephenson remporte le prix. Elle pèse 4 tonnes et en remorque 12 avec une vitesse de 25 kilomètres à l'heure; seule, elle faisait 50 kilomètres. Deux innovations des plus importantes se trouvent dans cette machine: l'emploi des chaudières tubulaires proposé une année auparavant par Séguin, et l'injection de la vapeur dans la cheminée pour activer le tirage du foyer. De là datent les machines rapides.

Enfin, un perfectionnement nouveau, l'emploi de la vapeur avec détente, fut ajouté aux précédents; on lui doit une bonne partie de l'économie de traction.

La suite de ces dispositions diverses, les machines actuelles sont simples et capables de développer des efforts considérables; c'est principalement à leur emploi que les chemins de fer doivent leurs qualités.

§ A°. Détails sur les principaux systèmes de chemins à barres.

Avant d'abandonner cet aperçu général, il convient d'indiquer les principales dispositions employées depuis l'origine, afin de consigner les résultats fournis par l'expérience.

Chemins de bois. — On employa d'abord pour guider les roues, des longrines de

bois posés bout à bout sur des traverses espacées de 0,90 et fixées sur elles par des chevilles (fig. 1, 2 et 3). Flexibles et peu résistantes, ces longrines s'usaient rapidement et ne pouvaient être remplacées sans bouleverser les fondations de la voie. On ne tarda pas à employer des longrines doubles superposées (fig. 4 et 5); la première seule était usée par les roues, le renouvellement en était facile et ne demandait pas un remaniement complet, la voie était d'ailleurs plus résistante.

On appliqua aussi sur la surface de roulement des plaques de fer; mais elles ne tenaient pas en place.

Chemins à rails en fonte plats. — Les rails en fonte étaient d'abord plats avec rebords intérieurs ou extérieurs (fig. 6 et 7); dans la première disposition, les débris lancés par les pieds des chevaux étaient arrêtés avant d'arriver sur le rail; la seconde au contraire leur permettait de s'accumuler sur la surface roulante, et le tirage en était considérablement augmenté.

Les rails se plaçaient bout à bout avec joints à chaque support. Ces joints étaient maintenus par des chevilles à tête évasée (fig. 8) fixant les deux rails à la fois.

Généralement les supports étaient des blocs de pierre espacés de 1^m, 20.

Quelquefois une nervure s'étendait sous les rails d'un support à l'autre (fig. 9); elle se terminait en dessous suivant une courbe pour donner au rail même résistance en tous les points.

Rails en fonte saillants. — Malgré la position intérieure des rebords, les ornières étaient trop souvent recouvertes de débris; les rails saillants firent disparaître ces inconvénients. Dès le principe, ils présentaient un bourrelet pour élargir la surface de roulement; ce bourrelet était soutenu par une nervure dont la hauteur était réglée pour obtenir une pièce d'égale résistance. (fig. 9).

Pour fixer ces rails aux supports, on commença par les munir d'oreilles (fig. 10), mais elles cassaient souvent et le rail devenait impropre au service; on imagina alors des coussinets supports sur lesquels venaient se placer les extrémités des rails consécutifs; un grand nombre de dispositions destinées à rendre ces extrémités solidaires et à empêcher les dérivations, furent essayées sans succès (les principales sont représentées par les fig. 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 et 17); aujourd'hui les joints sont encore le côté le plus faible de la voie.

Chemins à rails en fer. — On craignait avant l'établissement des rails en fer qu'ils ne fussent détruits rapidement par l'exfoliation et la rouille; l'expérience a montré que ces deux effets n'étaient pas à craindre: l'exfoliation ne se manifeste que lentement; quant à la rouille, elle a peu d'action, soit à cause des courants électriques que développe le passage des convois, soit par l'effet du poli qui est toujours entretenu à la surface.

Les rails en fer présentent de nombreux avantages.

En raison de la manière dont résiste le fer, on n'est plus tenu de limiter la longueur des rails à la distance entre deux supports. Cette longueur a été, dès l'origine, de 3.66; elle est maintenant de 5 ou 6 mètres, et même plus, ce qui permet de diminuer le nombre des joints.

La matière qui compose ces rails est, il est vrai, plus chère que la fonte, mais comme elle est plus résistante, il en faut moins pour obtenir la même force, et en définitive, il en résulte une économie.

La fonte par sa nature ne présente aucune sécurité pour les trains rapides; les trains lourds altèrent promptement sa surface. La forme elliptique donnée à la nervure des rails en fonte était logique pour des pièces reposant sur deux appuis; elle ne l'est plus lorsque la base repose sur plusieurs; dans ce cas la surface inférieure doit être parallèle à la surface supérieure; c'est donc à tort que dans le principe on a donné aux rails en fer une forme subondulée; cette forme était d'ailleurs gênante à la pose et ne permettait pas de faire des rails à double bords.

Action des trains sur les rails. — Les rails sont soumis à des actions diverses au passage des trains: les roues des véhicules, dans le mouvement de rotation est la conséquence du mouvement de translation, tendent à faire marcher les rails en avant avec une force égale à la résistance que les roues éprouvent à tourner; au contraire, les roues motrices des locomotives dans le mouvement de translation est la conséquence du mouvement de rotation préexistant, tendent à faire marcher les rails vers l'arrière avec une force égale à la résistance totale du train remorqué, laquelle comprend, outre la première résistance considérée plus haut, celle que l'air oppose au mouvement, et d'autres encore. Il semblerait donc au premier abord que les rails devraient être portés en arrière; toutefois, c'est l'inverse qui se produit, et cela tient aux chocs amenés par les dénivellations qu'offrent les joints. L'effet de ces chocs croix avec le carré de la vitesse, et il en résulte pour les rails un mouvement de projection en avant qui tend à les faire sortir des coussinets et à déverser les traverses. Les supports et les moyens d'attache doivent résister à cette action comme à la pression verticale. Les fig. 16, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24 et 25 indiquent les dispositions principales qui ont été employées pour fixer les rails aux coussinets; tous ces systèmes atteignent plus ou moins le but qu'on se propose toujours, à savoir: donner de l'appui aux rails sur la hauteur et les encastrier dans le coussinet, et même sous les cales, de manière à empêcher les mouvements verticaux et les dénivellations aux joints. Les cales en fer manquent d'élasticité et donnent lieu à un ferraillement désagréable.

Joints. — Pour ce qui est des jonctions des barres ou rails bout à bout, divers essais ont été faits afin de diminuer l'effet des dénivellations; ils peuvent se résumer dans trois types principaux:

1° Joints en biseau (fig. 26). Les rails ainsi disposés présentent souvent des défauts d'alignement, soit que le joint tende à s'ouvrir (fig. 27), soit qu'il tende à se fermer (fig. 27^{bis}); de plus, les angles aigus s'affaiblissent bientôt par l'effet des trains aux moindres dénivellations.

2° Joints à traits de Jupiter (fig. 28). Cette disposition a été employée en Belgique; elle exige un travail assez compliqué qui ne peut se faire qu'en réchauffant le rail aux extrémités; par suite le fer est rendu plus tendre aux points mêmes où il aurait besoin d'être plus résistant; d'ailleurs, la moindre variation des joints produit en plan des saillies d'un rail sur l'autre (fig. 29), et les dénivellations ne sont pas mieux évitées.

3° Joints à angle droit (fig. 30). Les joints ainsi coupés peuvent être abattus sans réchauffer les rails; ils sont donc plus résistants que les précédents. Au point de vue des dénivellations, ils sont aussi bons. On les adopte généralement.

Supports. — Les blocs de pierre employés comme supports avaient d'abord 0^m.20 de hauteur sur 0^m.30 de longueur et de largeur; on fixait les coussinets sur ces supports au moyen de chevilles en bois qui s'enfonçaient dans des trous forés de 0.03 de diamètre et 0.08 de profondeur, ou bien encore

avec des chevilles en fer plantées dans des trous d'abord garnis de bois. On augmenta leurs dimensions lorsque la vitesse devint plus considérable; on fut même conduit à les placer en diagonale pour mieux résister au déversement, mais la liaison entre les deux rails restait toujours insuffisante, et il se produisait des dénivellations d'un côté à l'autre. D'ailleurs, ces pierres étant enfoncées à une grande profondeur; il devenait nécessaire pour les remplacer ou les affermir de bouleverser toute la voie qui, du reste, était assez dure pour les trains. Ces divers défauts ont fait abandonner ce système d'une manière à peu près absolue.

Nature du sol préparé pour la pose. — On avait cru d'abord qu'il y avait intérêt à établir les voies sur maçonnerie ou sur un sol extrêmement résistant; on a reconnu depuis qu'on n'obtenait ainsi qu'une voie très dure et dont l'entretien était à peu près impossible.

1^{ère} Section.

Systemes de voies actuellement employés.

Dans les chemins à grande vitesse, comme on les fait maintenant, les voies sont disposées de différentes manières; nous décrirons d'abord en détail le système généralement appliqué en France.

Chapitre 1^{er} Voies sur coussinets et traverses.

Ce système de voie se compose de deux cours de rails maintenus dans des coussinets par des coins en bois; ces coussinets sont fixés deux à deux sur des traverses, et le tout repose sur un matelas de ballast.

Nous parlerons successivement de ces divers éléments.

1^{er} Rails.

Forme générale de la section. — Dans toutes les formes usitées, on voit à la partie supérieure un bourrelet pour soutenir les roues, et en dessous une cote centrale d'une certaine hauteur pour donner de la rigidité. On a ajouté à la partie inférieure un second bourrelet, qui d'abord plus petit que le premier, est fait généralement aux mêmes dimensions que le bourrelet supérieur et donne une section doublement symétrique. La forme à double T a plusieurs avantages:

À surface égale, elle donne le maximum de résistance; les rails à double champignon s'en rapprochent autant que le permettent les conditions à remplir sous d'autres rapports; un rail

ordinaire à double champignon de 37 kilogrammes par mètre équivalant, pour la résistance à la flexion à un rail rectangulaire de 50^e de même hauteur;

La pression transmise du rail au coussinet, lors du passage des convois, se répartit sur une base plus large, et les surfaces en contact se détériorent moins rapidement;

Le rail a dans le coussinet une position stable et ne se déverse pas aussi facilement que les rails à simple champignon; il fatigue moins la clavette ou le coin;

Enfin, et c'est là l'avantage le plus marqué, il peut être retourné et servir indifféremment des deux côtés; beaucoup de rails présentant un défaut local devraient être mis au rebut s'ils n'avaient qu'un bords, tandis qu'avec le double champignon la durée de leur service peut encore être longue. Il est d'ailleurs évident que ce retournement ne saurait s'appliquer à des rails déjà usés et dont la résistance serait trop amoindrie, car il ne servirait alors qu'à cacher un défaut et deviendrait une cause d'accidents.

Ces divers avantages justifient la préférence donnée généralement dans les voies de ce système aux rails à double champignon. Il faut ajouter qu'en raison de la quantité de matière admise par mètre courant de rail, leur exécution ne présente aucune difficulté.

La forme générale une fois adoptée, il reste à déterminer la forme particulière des éléments dont elle se compose.

Largeur de la surface de roulement. — On peut constater en observant le fraye d'un train et son peu de largeur, que les roues reposent sur une partie très étroite du rail; si habituellement la surface de roulement se trouve portée sur une étendue plus considérable, cela tient à la juxtaposition des frayés d'un grand nombre de trains. Il est donc inutile de donner beaucoup de largeur à cette surface; généralement, on la fait varier de 5 centimètres à 6 $\frac{1}{8}$. On ne saurait d'ailleurs augmenter cette dimension sans diminuer la résistance des rebords, ce qui conduirait à donner plus d'importance à la côte et exigerait une grande quantité de fer.

Forme de la surface de roulement. — La surface du bandage de la roue étant légèrement conique, il semblerait naturel d'adopter pour la surface de roulement du rail un plan incliné sur lequel les génératrices du bandage pourraient s'appliquer exactement. Mais les divers points de ces génératrices tournent autour de l'axe de l'essieu avec des rayons différents, et par suite ils sont animés de vitesses inégales; s'ils se trouvaient simultanément en contact avec le rail, il se produirait des glissements. Une telle disposition aurait donc l'inconvénient d'accroître la résistance; il y a plus: supposons que la surface de roulement des rails ait été disposée ainsi qu'il vient d'être dit; pour peu que le wagon dans son mouvement soit porté à droite ou à gauche, l'une des roues s'élèvera sur le plan incliné qui la supporte, tandis que l'autre prendra un mouvement inverse (fig. 31); il en résultera une inclinaison pour l'essieu, et les roues cessant de s'appliquer sur la surface plane reposeront uniquement sur les bords du rail.

Ainsi, non seulement le but proposé ne serait pas atteint, mais encore on aurait une usure rapide, soit parce que la pression s'exercerait sur la partie la moins résistante du rail, soit parce qu'elle se répartirait sur une faible étendue.

Cette usure doit être considérée comme une des causes du mouvement de lacer qui se

remédique souvent dans les chemins de fer: on conçoit en effet que si les jantes ont été creusées, les roues fixées sur un même essieu pourront toucher le rail par des circonférences de rayon très différents, et dès lors il se développera des résistances dues au glissement qui auront pour effet de faire tourner le wagon sur lui-même.

Les rails terminés par une surface bombée ne présentent aucun de ces inconvénients.

Le bombement doit se prêter aux changements d'inclinaison du bandage sans permettre aux roues de venir s'appuyer sur les bords.

S'il était exagéré, le roulement s'effectuerait toujours sur la même partie, et on retomberait dans les inconvénients signalés plus haut; on se place dans de bonnes conditions en prenant pour distance des positions extrêmes de la roue les deux tiers ou les trois quarts de la surface de roulement.

Les rayons adoptés pour la partie centrale ont varié de 30 à 5 centimètres; on se tient aujourd'hui entre 8 et 14; pour les bords, on a pris d'abord des rayons variés de 4 à 8 millimètres; quelquefois, on les a terminés par une arête vive; maintenant on adopte des rayons de 8 à 14 millimètres.

Les champignons doivent être assez nourris en dessous pour que le rail ne s'arrache pas quand la roue vient à passer vers le bord. La forme la plus favorable à la résistance du rail à la flexion serait théoriquement celle du Γ ; on la modifie suivant les exigences du laminage et en raison de l'épaisseur à donner aux faillites.

Il ne faut pas trop incliner le dessous des champignons, car on pourrait nuire à l'encastrement dans le coussinet.

Dimensions de la cote. — Dans les rails à simple champignon, sa largeur varie de 0,20 à 0,22; quand le champignon est double, elle descend jusqu'à 0,14.

La hauteur du rail doit être aussi grande que le comporte la quantité de matière dont on dispose, afin d'augmenter la résistance du rail à la flexion. Elle varie de 0,115 à 0,134 dans les voies à rails de 30 à 38 kilos par mètre.

Les rails reposent sur plusieurs appuis; ils présentent alors dans les portées successives des conditions de résistance qu'il importe d'examiner.

Considérons un rail supporté en 6 points que nous désignerons par leurs numéros d'ordre: 1, 2, ..., 5 et 6 (fig. 32).

Lors du passage d'un convoi, il se trouve également chargé de part et d'autre d'un des points 3 et 4; sa tangente en ces points reste donc horizontale quelle que soit la flexion des parties adjacentes, et il en résulte que ces points peuvent être considérés comme de véritables encastrements.

Les extrémités 1 et 6 se trouvent dans des conditions toutes différentes, car le poids du convoi n'agit plus sur le rail que d'un seul côté; il n'y a plus là encastrement, mais un simple point d'appui.

Quant aux points 2 et 5 qui forment la transition, on peut les comparer à des encastrements imparfaits.

D'après cela, on pourrait assimiler les portions (1, 2) et (5, 6) à des barres reposant sur deux points d'appui; les portions (2, 3) et (4, 5) à des barres reposant sur un point d'appui et encastrées à l'autre extrémité; et la portion (3, 4) à une barre encastrée aux deux bouts. Si on veut donner la même résistance à ces diverses portées, il faudra déterminer leurs longueurs respectives par les équations

suivantes :

$$a = \frac{3b}{2} = \frac{c}{2}$$

a se rapportant à la première partie, b à la deuxième et c à la troisième.

Ces formules donnent :

$$\text{pour } a = 0,56$$

$$b = 0,74$$

$$c = 1,12$$

On comprend, même sans faire une assimilation aussi absolue, que les parties extrêmes doivent être plus courtes que les autres, et par suite elles reviennent plus cher à égalité de longueur, comme exigeant un plus grand nombre de traverses.

Il en résulte qu'on a un double avantage à augmenter la longueur totale du rail, car on diminue par là le nombre des joints qui sont toujours plus ou moins imparfaits et le nombre des supports.

Cependant, il est une certaine limite qu'il convient de ne pas dépasser; autrement, on rendrait le laminage et le maniement du rail trop difficiles. Avec des rails de 37 kilos par mètre courant, on adopte maintenant la longueur de 6 mètres; c'est déjà près du double de la longueur 3,66 adoptée à l'origine pour des rails beaucoup plus légers; il est probable qu'on ne s'arrêtera pas là.

Voici d'ailleurs les nombres admis dans quelques chemins de fer pour les longueurs totales et celles des diverses parties :

1° Rails de 3^m,64 à l'origine: 4 portées égales de 0^m,91;

2° Rails de 4,50 avec 4 portées: 2 extrêmes de 1^m,00, 2 intermédiaires de 1^m,25;

3° " " " " avec 5 portées: 2 " " " " 0,75, 3 " " " " 1,00

4° Pour des voies plus solides, portées extrêmes de 0,45 à 0,60,

portées intermédiaires de 0,90 à 1,10;

5° Exemple d'une pose plus compliquée: 2(0,61) + 2(0,76) + 2(0,91) + 1,06 = 5,60.

Quelle que soit la longueur adoptée, il faut laisser au fabricant une certaine latitude afin d'éviter des déchets trop considérables; à ces effets, on tolère des longueurs différentes entre elles d'une ou deux portées intermédiaires.

Sur le chemin du Nord, les longueurs admises sont de 6^m, 5^m,10 et 4^m,20; le nombre de ces deux dernières ne doit pas dépasser un vingtième du nombre total, et en outre elles doivent toutes provenir de barres fabriquées pour une longueur de 6 mètres.

Résistance du rail. — Les rails doivent offrir deux résistances distinctes: la résistance à l'écrasement et la résistance à la flexion.

1° Résistance à l'écrasement.

Si on admet que la roue porte sur le rail par un rectangle de 10 millimètres sur 20, la surface de contact sera de 200 millimètres carrés, et la charge d'une roue variant entre 2000^k et 7000^k, la charge par millimètre carré sera de 10 à 35^k. On comprend que de semblables charges compliquées de frottements amènent une destruction assez rapide de la surface.

Un effet analogue se produit au contact du rail avec les coussins, mais avec moins

d'énergie parce que la pression s'y répartit sur une base plus étendue.

Cependant, il existe là une autre cause de destruction: le rail, assujéti d'une manière imparfaite, repose tantôt sur une arête et tantôt sur l'autre; aussi conserve-t-il l'empreinte du coussinet, et cette empreinte est plus nette à mesure qu'on se rapproche des extrémités.

2.° Résistance à la flexion.

Pour apprécier la résistance à la flexion, supposons d'abord un train au repos sur la voie; le rail fléchira sous la pression et pourra se rompre s'il n'offre pas une résistance en rapport avec la charge qu'il supporte. Cette résistance dépend de la distance entre les supports, du poids du rail par mètre courant et de la forme de la section.

À l'origine, les rails pesaient 14 kil. par mètre courant, mais la vitesse était faible et les roues ne portaient guères que 2000 kil. au plus; le travail à la flexion était de 14 kil. environ par millimètre carré. Sur les voies que l'on pose actuellement pour le chemin de fer du Nord, en rails de 37, 40 avec portées extrêmes de 0,50 et portées intermédiaires de 0,90, la charge d'une roue motrice au repos pouvant être de 7000 kil., le travail par millimètre n'est que de 8 kil.

Si nous passons au cas où le train est en mouvement, la flexion qui se produit développe une force centrifuge dont l'effet est proportionnel au carré de la vitesse et s'ajoute au poids du train. Le rail, pour résister à cet excès de charge, doit être d'autant plus fort et d'autant plus résistant qu'on veut avoir des vitesses plus grandes. C'est pour cela que dans les chemins les plus récents on a augmenté le poids, rapproché les traverses et perfectionné la forme. Sans doute, il y aura lieu aussi de chercher à abaisser la charge des roues motrices au dessous de 7000 kil.

La destruction des rails s'opère de diverses manières et par des causes différentes:

Quand le fer est nerveux à la partie supérieure, de petites lames se détachent de la surface, et il y a exfoliation. Ce sont les ^{des barres} mises employées dans la fabrication qui se dessolent.

Quelquefois la surface du champignon s'entève en masse sur 0,005 à 0,010 d'épaisseur; cela tient à un défaut de soudage dans la dernière période de la fabrication.

Si le fer est mou, il y a déplacement latéral de la matière et refoulement vers les bords.

Le refoulement peut également se produire aux extrémités lorsque la voie est mal entretenue.

Avec des champignons trop minces, les bords du rail se détachent du corps principal.

Enfin, le rail peut être brisé, s'il est trop faible, si le fer est de qualité inférieure ou s'il est énérvé par une trop grande fatigue.

Il faut donc mettre la résistance du rail en rapport avec le travail à faire, et surtout surveiller la fabrication, d'où dépendent la plupart des défauts signalés.

Fabrication. — Le paquet qui sert à fabriquer les rails doit avoir un poids suffisant pour obtenir les rails à la longueur voulue, tout en affranchissant bien nettement les extrémités des barres fabriquées. Ses dimensions transversales doivent être assez fortes pour

que le fer subisse un travail énergique avant d'arriver à sa forme définitive.

La partie centrale du paquet est formée par des barres de fer puddlé, provenant directement de la décarburation de la fonte et n'ayant encore subi qu'un laminage.

Pour les parties supérieure et inférieure, on emploie du fer corroyé, qui s'obtient en soumettant un paquet formé de barres de fer puddlé à un second laminage. Cette disposition facilite le laminage et donne des surfaces plus nettes et plus dures. On choisit en outre du fer corroyé à grains, afin de prévenir l'exfoliation.

Quand le rail est à simple champignon, on peut conserver le fer puddlé à la partie inférieure, car il résiste très bien à la flexion.

Il faut que les deux mises de corroyés soient d'une seule pièce et représentent au moins le tiers du paquet, afin que ce fer occupe encore après le laminage 0,01 d'épaisseur environ à la surface de chacun des champignons. Les barres de fer puddlé sont autant que possible d'une seule pièce en longueur, et on évite toutes les irrégularités qui pourraient finalement donner des solutions de continuité dans les fibres des rails.

Le paquet ainsi disposé est traité à une température et dans des conditions convenables pour que les deux champignons offrent la même résistance et la même perfection de soudage.

On le soumet ensuite au laminage.

Un laminage se compose de deux cylindres en fonte, tangents et présentant des cannelures de diverses formes; les cylindres étant animés de mouvements de rotation en sens contraire, si on présente la pièce à une de ces cannelures, elle y est entraînée et épouse sa forme en passant au travers.

Deux couples de cylindres différents sont employés dans la fabrication des rails: les cylindres ébaucheurs et les cylindres finisseurs.

Dans une des usines qui travaillent pour le chemin de fer du Nord, les premiers cylindres offrent sept cannelures (fig. 34) auxquelles on présente successivement le paquet, en le retournant chaque fois à angle droit de manière à rendre verticales les dimensions horizontales: les quatre premières sont rectangulaires; elles soudent les barres et réduisent la section, la cinquième prépare la forme définitive, la sixième resoude les parties qui auraient été désagrégées par la cinquième, et la septième perfectionne le travail de l'avant dernière.

Dans les cylindres finisseurs, toutes les cannelures ont des formes semblables, dérivant de la forme même du rail (fig. 35); mais leurs dimensions sont de plus en plus petites; le travail ne peut s'y effectuer pour les rails à deux champignons qu'en passant la barre toujours à plat et la retournant au besoin sens dessus dessous.

La dernière cannelure donnant la section définitive doit présenter une forme bien étudiée pour ce résultat; par suite, elle est la première à être mise hors de service. Pour n'être pas obligé de rejeter les cylindres trop tôt, on donne des formes identiques aux deux dernières cannelures, et quand l'une d'elles est usée, on se sert de l'autre.

Il faut que les laminages soient combinés de manière à procéder toujours par compression, en passant d'une cannelure à la suivante: on ne fait exception que pour ménager

en largeur un peu d'entrée dans les cannelures, mais le moins possible.

La figure 33 donne la composition d'un paquet pour rails de 37 Kil. au mètre et de 5,00 de longueur. Le poids du paquet est de 225 Kil.; on y comprend 8 % de déchets et 10 % pour les bouts à abattre.

Les rails en sortant du laminage sont encore à une haute température; ils sont portés immédiatement sur des plaques de fonte pour y être dressés. On les présente ensuite à deux scies circulaires et parallèles, ^{qui sont} montées sur le même arbre animé d'un mouvement de rotation très rapide, et qui les débitent suivant la longueur voulue. La distance entre les scies est réglée d'après la longueur définitive à obtenir et l'élévation de la température du rail.

Il ne reste plus alors qu'à ajuster les extrémités, soit à la lime, soit à la cisaille.

Quelquefois les rails sont coupés à froid; les défauts sont alors plus apparents, et on peut souvent les faire disparaître en abattant un bout plus long que l'autre. Ce procédé rend donc le déchet moindre, mais il est beaucoup plus coûteux: il consiste à disposer et à fixer les rails sur des disques que porte l'arbre d'un tour; on leur donne un mouvement de rotation et on coupe les extrémités avec l'outil du tour.

Le dressage des rails doit autant que possible être fait pendant que les rails sont encore chauds; à froid, il pourrait altérer le fer. Le dressage à froid n'est appliqué que pour faire disparaître les dernières irrégularités; il doit être fait par pression et sans choc.

Réception des rails. — Les rails fabriqués sont d'abord soumis à un examen minutieux.

On s'assure que la section est exacte, que le poids correspond à la section du gabarit et que le dressage est bien fait sur toutes faces: la longueur doit être vérifiée à 0,015 près.

Si les rebords présentent des fissures longitudinales, si les parties adjacentes attaquées au burin se séparent facilement, si encore on obtient par le choc du marteau un son creux, la soudure est imparfaite, soit parce que la température n'aura pas été convenable, soit par suite de la mauvaise qualité du fer ou d'un accident de laminage.

La couleur est-elle violacée et remarque-t-on sur les bords de petites solutions de continuité, appelées criques, le rail a été porté à une température trop élevée, et il est brûlé.

Enfin, des fibres peuvent avoir été rompues dans le laminage, et alors la surface extérieure présente des déchirures qui diminuent la section résistante.

Chacun de ces défauts doit être regardé comme un motif d'exclusion.

Après l'examen, viennent les épreuves; elles sont de deux sortes: celles à la flexion, et celles au choc. L'une et l'autre sont également nécessaires, car elles mettent en jeu des qualités différentes. On sait, en effet, que des fers résistants bien à la flexion, peuvent être très cassants, tandis que les rails résistants bien au choc sont quelquefois trop nerveux et trop flexibles.

La première épreuve se fait en chargeant le milieu du rail par des poids morts; la seconde, en le soumettant au choc d'un mouton; cette dernière expérience exige des supports d'une grande résistance; autrement, le choc serait amorti et resterait sans effet.

Les échantillons dont on s'est servi, ayant été éprouvés jusqu'à la limite, sont mis au rebut; ils servent à apprécier l'ensemble de la fabrication correspondante.

Ces échantillons sont choisis parmi les rails fabriqués dans un jour; si, pendant

(a) On fait habituellement le laminage sans réchauffer le paquet pour dépenser aussi peu de combustible que possible. — Peut-être vaudrait-il mieux accepter la dépense d'un réchauffage au milieu de l'opération; on obtiendrait ainsi un soudage beaucoup plus parfait.

cette journée, l'agens chargé de la surveillance constatant plusieurs phases dans la fabrication, il faudrait faire des expériences particulières pour chacune d'elles.

Voici, comme terme de comparaison, les chiffres des épreuves auxquelles sont soumis les rails de 37 kil. par mètre, fabriqués pour le chemin de fer du Nord:

« Les rails seront classés avec soin, dans l'usine, en séries provenant de la fabrication d'un ou de plusieurs jours. Les agents préposés à la réception choisiront, dans chaque série, un certain nombre de barres (une pour cent au plus) pour les soumettre aux épreuves suivantes:

« 1^{re} épreuve. Chacune de ces rails, placée de champ sur deux points d'appui, espacés de un mètre dix centimètres ($1^m, 10$), devra supporter, pendant cinq minutes, au milieu de l'intervalle des points d'appui, une pression de douze mille kilogrammes ($12,000^k, 00$) sans conserver de flèche sensible après l'épreuve.

« 2^e épreuve. La même barre dans la même position supportera, pendant cinq minutes, sans se rompre, une charge de trente mille kilogrammes ($30,000^k, 00$); on pourra ensuite augmenter la pression jusqu'à la rupture.

« 3^e épreuve. Chacune des deux moitiés de barre cassée, placée de champ sur deux supports, espacés d'un mètre dix centimètres ($1^m, 10$), devra supporter, sans se rompre, le choc d'un mouton de trois cents kilogrammes ($300^k, 00$) tombant de deux mètres ($2^m, 00$) de hauteur sur la barre, au milieu de l'intervalle des points d'appui. Dans ce dernier cas, les deux supports seront en fonte et reposeront, par l'intermédiaire d'un châssis en bois de chêne, sur un massif de maçonnerie d'un mètre d'épaisseur au moins, établi sur un terrain solide.

« Si l'une des barres essayées ne résiste pas aux épreuves, on les continuera sur un plus grand nombre de barres, et si plus du dixième des barres essayées ne résiste pas, la série entière de ces rails provenant sera rebutée.»

Garantie. — Afin d'intéresser le fournisseur à livrer de bons produits, il est bon d'exiger de lui une longue garantie, de trois ans par exemple après la réception, et la marque de fabrique sur les rails avec la date de la fabrication.

§ 2^e Coussinets.

Le coussinet est une pièce de fonte qui présente deux joues entre lesquelles s'engage le rail et le coin, et une semelle destinée à le fixer sur la traverse (fig. 36).

Les joues sont désignées sous les noms de joue du rail et joue du coin.

Joue du rail. — La joue du rail doit le maintenir dans une position convenable. Pour obtenir ce résultat, on pourrait disposer son profil intérieur de manière à ce qu'il épouse exactement celui du rail; mais les pièces coulées éprouvant toujours un retrait qui altère plus ou moins leur forme, on obtiendrait rarement un profil exact. On préfère réduire les points de contact et les ménager sous forme de saillies ou portées, qu'il est facile ensuite d'ajuster à la forme du rail (fig. 36). Ces saillies sont placées de manière à donner le meilleur appui au rail, l'une à l'extrémité supérieure en a, l'autre tantôt en b et tantôt en c, mais le plus souvent en b afin d'empêcher le relèvement du rail qui est alors arrêté au dessus du champignon inférieur.

La hauteur est limitée par la nécessité de ne point apporter d'obstacle au boudin de la roue.

Quant à la forme extérieure, elle dépend de la résistance qu'on veut donner à la pièce; pour se placer dans des conditions favorables, on augmente la section à mesure qu'on se rapproche de la base et on dispose à ces effets des nervures afin d'employer la fonte sous de faibles épaisseurs; tantôt ces nervures sont au nombre de deux, placées sur les côtés (fig. 36), et tantôt il n'y en a qu'une seule au milieu (fig. 36); la joue est alors moins large et les déviations du coussinet ont d'autant moins d'influence sur la position du rail.

Joue du coin. — On donne au profil intérieur de cette joue la forme exacte du coin, car à cause de la compressibilité du bois, il n'y a plus à craindre de contacts imparfaits. En outre, les génératrices de la face d'appui sont inclinées de manière à soutenir le coin dans toute sa longueur (fig. 37).

Il est à remarquer que le sens de cette inclinaison détermine celui du coinçage et que par suite il ne saurait être indifférent; en effet, lors du passage des trains, le rail entraîné dans leur mouvement, chasse le coin et tend à le fermer ou à le desserrer suivant le sens du coinçage; il en résulte que sur une voie parcourue toujours dans la même direction, le sens du coinçage doit coïncider avec celui du mouvement; et au contraire, il peut être alterné d'un coussinet à l'autre sur la même traverse lorsque la voie est parcourue également dans les deux directions. Cette disposition du coinçage semblerait dans les chemins à deux voies exiger deux modèles de coussinets pour passer d'un rail à l'autre; on évite ce double modèle et la complication qui pourrait en résulter en formant la face intérieure de la joue par deux parties inclinées en sens contraire (fig. 36); seulement on doit donner alors plus de largeur à cette joue, car il n'y en a jamais que la moitié d'utilisée.

L'inclinaison des génératrices est d'environ $\frac{1}{30}$, comme pour le coin.

On arrondit les bords pour que la surface du coin ne se déchire pas lorsqu'on l'enfonce. La hauteur est plus grande que celle de l'autre joue, et on obtient ainsi un appui mieux assuré; on n'est pas d'ailleurs limité pour cette hauteur comme dans le cas précédent.

La distance entre les joues est réglée pour laisser de l'entrée aux rails par le haut; le coin en bois remplit le vide qui reste à côté du rail.

Des nervures sont disposées à l'extérieur et soutiennent toute la joue.

Semelle. — Dans un coussinet bien étudié, la résistance de la semelle doit être proportionnée à celle des joues; ce résultat est atteint si la rupture, lors des épreuves, se fait indifféremment à une place ou à l'autre.

Lorsque la semelle doit avoir une grande épaisseur, on ménage des évidements dans la partie inférieure (fig. 36); ces évidements sont d'ailleurs séparés par des nervures entrecroisées, de manière à répartir la pression sur une base suffisante et à éviter les longues arêtes qui nuiraient le bois de la traverse.

Deux trous sont pratiqués aux extrémités pour introduire les chevilles qui doivent fixer la semelle à la traverse; on les dispose souvent en diagonale afin que le clouage n'attaque pas les mêmes fibres et ne tende pas à fendre le bois.

Les semelles doivent avoir dans le sens perpendiculaire au rail une longueur suffisante pour donner un bon appui aux nervures des joues et opposer au déversement une résistance convenable; cette résistance est représentée par un couple dont AB est le bras de levier (fig. 36).

Les trous des chevilles sont faits avec une grande précision afin que le coussinet soit parfaitement fixé et qu'il ne puisse prendre un mouvement de va et vient lors du passage des trains, car ce mouvement altérerait bien vite les chevilles et disloquerait les supports.

La chambre du coussinet est disposée par rapport à la semelle de manière à donner au rail une inclinaison de $\frac{1}{20}$ ou telle autre qu'on voudrait obtenir directement (fig. 38); cette inclinaison est nécessaire en raison de la conicité des roues. Autrefois la surface inférieure de la semelle était perpendiculaire au plan d'axe du rail et reposait dans une entaille pratiquée sur la traverse et inclinée d'une quantité convenable (fig. 39); on augmentait par là le travail de la pose sans diminuer celui de la fabrication; on croyait, il est vrai, trouver des points d'appui sur les rebords de l'entaille, mais il aurait fallu pour cela que ses dimensions fussent exactement celles du coussinet, et il n'en était jamais ainsi; — le coussinet ne tarde pas à faire lui-même son empreinte, et cette empreinte est bien plus efficace que toute entaille faite à l'avance.

Coussinets de joint. — Ces coussinets doivent présenter plus de résistance que les autres; on leur donne une largeur plus grande, et on supprime la double entrée qui aurait pour effet de laisser un des rails sans appui suffisant (fig. 40); mais il faut alors deux modèles; en outre, la semelle est fixée à la traverse par trois chevilles, deux sous placées du côté intérieur de la voie (fig. 41); c'est en effet de ce côté que le rail tend à s'arracher sous l'action du boudin des roues, et d'ailleurs le double chevillage (b, c) a d'autant moins d'action pour fendre la traverse qu'il s'opère à une distance plus grande de l'extrémité.

Fabrication des coussinets. — Toute pièce à mouler doit pouvoir se retirer du moule sans se déformer; lorsqu'elle remplit naturellement cette condition, on dit qu'elle a de la dépouille, et le modèle qui sert à préparer le moule est tout-à-fait conforme à la pièce à mouler; dans le cas contraire, il faut recourir à des moyens particuliers; c'est ce qui arrive pour les coussinets. Deux procédés sont usités:

Tantôt, remarquant que la chambre seule s'oppose à ce que le coussinet ait de la dépouille, on commence par mouler la forme extérieure au moyen d'un modèle dans lequel la chambre n'existe pas (fig. 42); puis on complète le moule en y rapportant un noyau préparé d'avance; ce noyau se rattache à la partie pleine par un ou deux tenons dont le modèle doit porter la forme; — tantôt, on se sert d'une pièce composée de plusieurs parties qui, prises isolément, présentent de la dépouille (fig. 43); elles sont réunies par des rainures à queue d'aronde et se retirent du moule une à une.

Quel que soit le procédé, il faut veiller à ce que les noyaux ou les pièces mobiles ne se déplacent pas de manière à déformer la pièce.

Réception des coussinets. — Lors de la réception, les coussinets sont éprouvés à la flexion et au choc; cette dernière épreuve est surtout nécessaire à cause de la nature ordinairement cassante de la fonte; on opère soit en chargeant le milieu de la semelle par des poids, soit en le soumettant au choc d'un marteau.

La cassure fournit par sa couleur de précieux renseignements : si la fonte est blanche ou truitée, ne serait-ce que sur les bords, on ne peut pas compter sur sa résistance, et il faut la rejeter.

Un indice d'un retrait considérable doit être également un motif d'exclusion, car lors du moulage, les deux jones étant maintenus par le noyau et ne pouvant se rapprocher, ce retrait s'opère aux dépens de la femelle et de manière à diminuer sa résistance ou à altérer l'exactitude des formes.

Garantie. — Les coussinets doivent être garantis par le fabricant pendant un temps suffisant; chacun d'eux porte la marque de fabrique, le numéro de l'année et celui du mois.

Prix des rails et des coussinets. — Sur le chemin du Nord, les rails coûtaient 420^f la tonne en 1842, 230^f en 1849 et 160^f en 1853; ils coûtaient 210^f en Belgique et 160 ou 170^f en Angleterre. Le prix des coussinets a varié de 270 à 160^f; il est en ce moment de 200 à 210^f.

§ 3^e. Coins.

Les coins sont des pièces de bois destinées à maintenir le rail en remplissant le vide qu'il laisse dans le coussinet.

Avec les rails à double champignon qui exigent de très larges chambres, les coins en bois sont à-peu-près inévitables; on les applique même aux cas des rails à petits bourrelets inférieurs, car leur élasticité se prête à des serrages successifs et amortit les chocs que le rail reçoit. C'est à cause de ce dernier effet qu'on place généralement les coins du côté extérieur, quoique la position contraire donne plus de garantie pour la largeur de la voie.

On donne aux coins une forme conique pour faciliter leur entrée et pour se réserver la faculté d'augmenter le serrage (fig. 44); l'inclinaison est de $\frac{1}{30}$. Ils doivent soutenir le rail sur la plus grande hauteur possible ^{en s'appuyant contre les champignons haut et bas.} Tantôt ils présentent une forme symétrique par rapport à l'axe horizontal de la section, et il suffit alors d'un modèle; tantôt on évite cette symétrie afin d'augmenter la résistance au déplacement vertical, et il faut deux modèles.

On fraise les deux extrémités de manière à abattre les arêtes qui sont les parties les moins résistantes et qui empêchent le marteau de tomber d'aplomb sur la tête, ou le coin d'entrer dans le coussinet.

Les coins sont ordinairement en bois de chêne; on a essayé des bois imprégnés de substances hygroscopiques, mais sans grand succès.

Quelquefois, on emploie du bois ramolli par la vapeur et comprimé entre deux matrices; ces coins, mis en place, se gonflent par l'humidité et il se forme deux bourrelets qui empêchent tout mouvement latéral; ils peuvent donc avoir un ins de longueur, mais une fois arrachés, ils sont hors de service, et en somme ils reviennent plus cher.

Fabrication des coins. — Le bois est débité de fil et à la scie en formes rectangulaires, avec l'inclinaison voulue; on arrondit ensuite les arêtes en les présentant successivement à des lames ^{de rabot} qui sont disposées sur une roue et animées d'un mouvement de rotation rapide.

Le 1000 reviens aujourd'hui à 100^f tandis que dans le principe il en coûtait de 180 à 200.

§ 4^e Chevilles.

Les chevilles se terminent par un couteau ou par une pointe (fig. 45 et 46). Le couteau peut fendre le bois s'il n'est pas perpendiculaire aux fibres; c'est aux ouvriers à remplir cette condition; ils l'oublient d'autant plus facilement qu'il n'y a pas de vérification possible. En outre, si le trou préparé à l'avance est trop profond, la partie amincie n'est soumise à aucun serrage. La disposition en pointe ne présente pas ces inconvénients, mais exige un trou plus profond. La tête peut être ronde ou plus ou moins rectangulaire (fig. 47, 48 et 49); la première forme donne un martelage plus sûr.

Les tiges sont rondes ou octogonales; la forme ronde exige une grande exactitude; si le diamètre est trop fort, la cheville ne peut entrer; s'il est trop faible, il y a ballotage; avec la forme octogonale, les arêtes sont susceptibles de se comprimer et on a une latitude qui s'étend depuis le diamètre de la circonférence inscrite jusqu'à celui de la circonférence circonscrite.

La partie de la cheville qui doit pénétrer dans le bois est cylindrique; la partie correspondante au coussinet est légèrement conique (fig. 50); cette disposition combinée avec une disposition semblable des trous du coussinet fournit un serrage à-peu-près certain.

Des vis à bois ont été essayées, mais elles sont plus chères, et leur efficacité ne devient nécessaire que pour des bois avariés.

Les boulons en fer avec écrous par dessous la traverse sont assez chers; ils donnent moins de certitude pour l'assujettissement du coussinet et se prêtent difficilement à un serrage ultérieur.

On a employé enfin des chevilles en bois comprimé, enduites de plombagine pour les soustraire mieux à l'action de l'humidité; elles offrent moins de garantie que le fer et se coupent souvent à la hauteur du point d'appui.

§ 5^e Traverses.

Les traverses supportent le rail et s'opposent au mouvement qu'il pourrait prendre, à savoir: l'écartement de la voie, le changement d'inclinaison par rapport à la verticale et le déversement.

On prévient les deux premiers effets en calculant la section transversale de manière à offrir une résistance suffisante à la traction et à la flexion. Quant au troisième effet, on s'y oppose en donnant une largeur convenable à la base; cette largeur doit être augmentée pour les traverses de joints.

En outre, il y a avantage à avoir une longueur assez grande, car les traverses commencent à se détériorer par les extrémités, servent alors plus longtemps, et se fendent moins sous l'action du clouage.

Toutes ces dimensions ne doivent pas être exagérées afin que les pièces puissent se manier facilement. La longueur varie de 2,50 à 2,70, l'épaisseur de 0,12 à 0,18 et la largeur de 0,22 jusqu'à

0,36 pour les joints; la largeur 0,12 ne donne pas une bonne assiette; elle ne doit être admise que par tolérance et en faible proportion; il faut au moins 0,24 ou 0,28. Les épaisseurs de 0,12 à 0,14 suffisent. La forme de la section change avec la nature du bois employé.

Dans le chêne, l'aubier se pourrit et devient en même temps un élément de destruction pour le reste du bois; c'est pourquoi les pièces doivent être équarries; l'aubier est enlevé à la base et le cœur apparaît à la surface sur une largeur au moins égale à celle du cœur (fig. 51).

Dans les bois préparés au moyen de dissolutions salines, c'est au contraire la partie extérieure qui présente le plus de résistance; aussi, on la conserve avec soin en laissant aux pièces la forme demi-circulaire (fig. 52 et 53). Les rondins de fortes dimensions sont débités de diverses manières, suivant le diamètre: la figure 54 en donne un exemple; la partie centrale est la moins bonne parce que généralement le cœur du bois est mal préparé; il ne faudra accepter la traverse qu'autant qu'elle paraîtra devoir offrir une résistance suffisante, même après la pourriture du cœur.

On emploie en outre des sapins du nord qui arrivent grossièrement équarris à 0,30 ou 0,38; on les scie suivant les diagonales, de manière à obtenir 2 ou 4 pièces triangulaires (fig. 55 et 56). Ces pièces se présentent en coin dans le ballast: lors du passage des trains, elles prennent un mouvement d'oscillation, refoulent le milieu qui les entoure et y forment des vides qui peuvent se maintenir après coup; on évite ces inconvénients par un bourrage bien dirigé et énergique surtout en a et en b (fig. 57); les traverses triangulaires sont alors suffisamment résistantes et plus économiques que les autres.

56^e Ballast.

Le ballast entoure les traverses, les protège contre les variations atmosphériques et leur assure une position stable. Il doit, à ces effets, ne pas retenir l'eau et présenter une certaine élasticité, de manière à répartir les pressions sur une plus large base et à supporter le bourrage en tout temps.

Le sable grossier peut être employé avec avantage; s'il est trop fin, il a l'inconvénient d'être enlevé par le vent, d'aveugler ou de salir les voyageurs et d'user rapidement toutes les pièces frottantes: ces effets en d'autant plus fâcheux qu'il est produit d'une manière continue par les courants d'air que développe le mouvement des roues.

Le sable fin a souvent encore l'inconvénient d'absorber l'eau et de ne pouvoir plus alors supporter le bourrage.

Le galez fournit un ballast de bonne qualité, mais il se déplace facilement et doit être bourré tous les jours; on le mélange avec des débris pour diminuer sa mobilité.

Les graviers modérément terreux se comportent en général assez bien.

Quelquefois on a recours à des matériaux fabriqués; les pierres cassées comme pour un empierrement donnent un ballast excellent, mais chez; au commencement de leur emploi, les vides qui existent dans la masse, repercutent le son de manière à produire un bruit désagréable.

Les cassons de briques offrent des qualités semblables.

Les matières gélives ne sont acceptables que quand elles ne sont pas exposées à se mettre en bouillie.

Les produits de la combustion des houilles dans le foyer des machines sont perméables et

élastiques, mais ils donnent une poussière grasse qui se répand sur les rails et diminue l'adhérence des roues.

On emploie enfin les laitiers des hauts-fourneaux et les schistes houillers calcinés.

Le choix des matériaux n'est pas toujours possible; quand ceux dont on dispose, sont difficilement perméables, il faut ménager à la surface des rigoles comprises entre des surfaces inclinées, qui facilitent l'écoulement des eaux avant toute pénétration. Suivant la nature du ballast, ces surfaces seront plus ou moins inclinées et plus ou moins nombreuses.

Dans l'intérieur de la voie, la surface du ballast doit être assez basse pour livrer passage au boudin des roues; on la place généralement à 5 centimètres au dessous de la surface des rails, en dégageant ceux-ci sur presque toute leur hauteur (fig. 58); on se donne ainsi une certaine marge afin de prévenir le cas où les neiges et les glaces viendraient à s'amonceler contre les rails.

À l'extérieur, elle doit s'élever autant que possible au dessus des coins et les soustraire aux influences atmosphériques; son niveau absolu est variable; on le détermine de manière à empêcher le ballast de venir se placer sur les rails.

En dessous des traverses, une épaisseur de 0,10 suffirait pour répartir les pressions; mais les ouvriers pourraient lors du bourrage attaquer le sol et le mélanger au ballast de manière à l'altérer; aussi donne-t-on 0,25 environ à la couche. Cette épaisseur doit être encore augmentée et portée à 0,30 lorsque le sol se détrempe facilement, car un mélange analogue se produit alors sous l'action des eaux.

L'épaisseur totale varie de 0,50 à 0,60.

Largeur des accotements. — Les accotements doivent avoir une largeur suffisante pour empêcher le mouvement latéral des traverses; cette largeur varie avec la circulation et la nature du ballast; sur le Nord, où les roues motrices sont chargées à 13 tonnes et où les trains ont une vitesse de 60 à 100 kilomètres à l'heure, les largeurs indiquées ci-après ont été reconnues suffisantes:

Ballast.	Remblai.	Déblai.
Gravier terreux et agglutinable	0,65	0,55
Gravier sec non agglutinable	0,75	0,60
Cassons de briques, pierres cassées et galets terreux	0,80	0,80
Sable fin et maigre	1,25	1,25

La dimension 0,80 indiquée pour les briques est nécessaire à l'origine, lorsque le tassement ne s'est pas encore produit; on peut la réduire par la suite et prendre sur la largeur ce qui est nécessaire pour reconstituer l'épaisseur.

Quelques personnes ont voulu régler la largeur des accotements pour y trouver une garantie contre les accidents; elles croyaient prévenir le renversement de la machine en cas de déraillement; toutefois, ce résultat paraît douteux, et comme en augmentant la largeur des accotements, on rend l'écoulement des eaux plus difficile, on expose la voie à des détériorations qui peuvent devenir elles-mêmes une source d'accidents plus nombreux.

Chapitre 2^e.

Dispositions proposées pour améliorer le système de voie décrit.

Nous avons examiné les voies avec rails posés sur coussinets et sur traverses ; les joints en constituent le défaut principal, et il s'y produit toujours des dénivellations qui amènent des chocs et des avaries. Nous allons décrire deux systèmes qui tendent à faire disparaître ces inconvénients.

N^o 1^{er}. Traverses du système Pouillet.

Les traverses du système Pouillet sont formées de deux plateaux ou tables de pression dont le centre correspond à celui des coussinets et qui sont reliés à la partie supérieure par une membrane (fig. 59, 60 et 61). La membrane est en chêne équarri et sans ambre ; elle a 0,17 sur 0,055 et 2^m,10 de longueur.

Les plateaux sont rectangulaires et formés de deux madriers ajustés. Ils ont 0,60 dans le sens du rail et 0,50 dans le sens perpendiculaire ; pour les traverses de joint, ces dimensions sont portées à 0,70 et 0,60.

Les coussinets sont posés sur la membrane et fixés par des boulons dont les écrous sont sous les tables de pression ; la faible épaisseur des pièces de bois et leur superposition ne permettent plus ici l'emploi des chevilles, et c'est pour cela qu'il est inutile de donner à la membrane une longueur beaucoup plus grande que celle de la voie. Les coussinets portent en dessous un goujon destiné à s'incruster dans la traverse de manière à soustraire les boulons le plus possible aux actions horizontales produites par le passage des trains.

Ces traverses résistent mieux au déversement, parce que la base d'appui utile est mieux placée et plus grande, et que les plateaux en raison de leur forme donnent à la résistance un bras de levier plus efficace.

Elles s'opposent d'une manière très satisfaisante, aux déplacements latéraux en résistant à la fois par une section de la membrane et par celles des deux plateaux ; mais, elles présentent une surface très étendue et des bois minces et offrent ainsi beaucoup de prise à l'humidité et aux actions extérieures. Il est à craindre en outre que les diverses parties dont elles se composent ne puissent jouer à la longue et qu'il ne s'en suive une destruction rapide.

Quand on commande ces traverses en même temps que des traverses ordinaires, il en résulte une facilité pour le débit des bois ; mais il faut avoir soin d'employer les deux systèmes séparément pour prévenir les dérangements qui résulteraient de l'inégalité d'assiette.

Ces traverses sont essayées depuis cinq années sur le chemin du Nord ; jusqu'à présent elles ont assuré à la voie une grande régularité et ont permis des diminutions notables sur les dépenses d'entretien ; mais elles ne sont pas encore arrivées à leur période de destruction. Quoique, sous ce rapport, l'expérience soit incomplète, la Compagnie du Nord a pensé qu'elle était assez satisfaisante pour autoriser l'application de ces traverses sur une plus grande échelle, et cette

mesure lui a permis de se procurer plus facilement les bois dont elle avait besoin.

§ 2^e. Pose avec éclisses.

Quelques ingénieurs ont pensé à soutenir le joint en juxtaposant une barre de fer qui, dans certains cas, se prolongeait au delà des deux coussinets voisins. Cette barre, épousant la forme du rail, était placée du côté extérieur à la voie et serrée contre le rail par des coins d'épaisseur réduite (fig. 62 et 63). C'était une amélioration, mais le serrage imparfait et variable du coin laissait encore à désirer.

On a mieux réussi en réunissant les rails par deux pièces en fer qui s'appuient de part et d'autre contre les deux champignons, sont fixées à chaque rail par deux boulons et fonctionnent comme les éclisses d'une fracture (fig. 64, 65, 66 et 67).

La difficulté d'appliquer des pièces semblables dans un coussinet de joint a fait supprimer la traverse correspondante; le joint est alors en porte-à-faux.

La section des éclisses doit être calculée de manière à s'appuyer toujours contre les champignons; c'est la condition de leur efficacité. Il faut d'ailleurs combiner les détails de manière à assurer le serrage des boulons en les empêchant de tourner (Voir le croquis du Nord, fig. 67).

Ce système exige des modifications dans les longueurs des diverses portées; sur le chemin de fer du Nord, avec les joints à éclisses et les rails de 6^m,00, on a donné aux bouts en porte-à-faux 0^m,30 à partir de l'axe du coussinet voisin; la longueur de 6^m,00 est complétée par six portées de 0,90 chacune. Cette pose, comparée avec la pose ordinaire, exige des éclisses de plus et une traverse de moins; elle revient meilleur marché et elle donne une voie plus parfaite, notamment aux joints.

L'application des éclisses est compatible avec l'emploi des traverses du système Pouillet, et il est permis d'attendre de bons résultats de la combinaison des deux systèmes.

Pour éviter le porte-à-faux, on remplace quelquefois l'une des éclisses par une pièce de fonte fermant la joue unique d'un coussinet de supports (fig. 68, 69 et 70); les boulons servent alors au serrage comme dans le premier cas. Ce système pourrait être appliqué à la consolidation des voies déjà établies. Il y a peut-être à craindre des ruptures dangereuses dans la joue des coussinets, de sorte que le résultat, tout en exigeant plus de dépense dans les voies neuves, serait peut-être moins sur qu'avec les éclisses ordinaires et les joints en porte-à-faux.

Chapitre 3^e. Emploi des divers éléments.

L'emploi des divers éléments de la voie comprend deux opérations distinctes: le sabotage et la pose de la voie.

§ 1^{er}. Sabotage des traverses ordinaires.

Le sabotage a pour objet de fixer les coussinets aux traverses.

Il doit être exécuté avec soin pour obtenir une voie sûre et dans de bonnes conditions de conservation et d'entretien.

On se sert pour le sabotage d'un gabarit composé d'une barre de fer terminée en fourche à chaque extrémité (fig. 71); deux bouts de rails, de 0^m 25 de longueur, sont fixés aux fourches, au moyen de vis, dans une position parfaitement conforme à celle qu'ils doivent avoir dans les voies.

Quand on veut saboter une traverse, on ajuste sur le gabarit renversé les deux coussinets que l'on doit employer, et on fixe chacun d'eux au moyen de deux coins en bois chassés en sens contraire.

Quelquefois le gabarit porte des jones en fer ou en fonte qui sont reliés aux rails par des vis à double pas inverse (fig. 72); en manœuvrant ces vis d'une manière convenable, on appuie les jones contre la surface intérieure des coussinets, et on les fixe sans employer de cales. Cette disposition évite les chocs, mais elle peut donner un contact imparfait et ne pas assurer une fixité suffisante.

Il faut s'assurer que le coussinet est en contact avec le rail sur les points déterminés et que les bords correspondent aux repères qui sont tracés sur le gabarit, de façon à mettre les deux coussinets sur une ligne perpendiculaire aux rails.

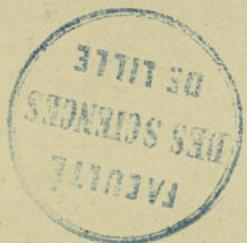
Supposons qu'il s'agisse d'une traverse équarrie, on lui présentera le gabarit armé de ses deux coussinets, en évitant soigneusement les chocs. La place des coussinets doit être parfaitement saine, purgée d'ambrier et dressée de manière qu'ils portent exactement par toute leur surface de pose. Quand on a mis le gabarit en place, on examine comment les semelles se présentent par rapport à la surface du bois, et on reconnaît facilement quelles sont les parties saillantes qu'il faut enlever à l'herminette (fig. 73). Le gabarit doit être présenté plusieurs fois jusqu'à ce que le contact de la fonte et du bois soit parfait dans tous les sens.

Cette opération terminée, on place le gabarit sur la traverse aux points préparés et on perce les trous de chevilles normalement à la surface, en se servant des coussinets pour guider la tarière.

Le diamètre des trous est inférieur de 2 ou 3 millimètres à celui des chevilles, la différence variant avec la compressibilité du bois; leur profondeur est égale à la longueur correspondante des chevilles, ou un peu moins grande suivant que celles-ci se terminent en pointe ou en lame de couteau. Quand on emploie des chevilles en bois, on s'oppose à ce que les ouvriers puissent les couper et compromettre ainsi le clouage, en exigeant que les traverses soient percées de part en part.

Lorsqu'on a percé les trous, on y enfonce les chevilles, en commençant par celles placées à l'intérieur, jusqu'à la moitié de la profondeur environ; on complète ensuite l'enfoncement des chevilles en frappant alternativement sur les premières et sur les dernières, afin que le coussinet ne soit pas appelé d'un côté plutôt que de l'autre. Autant que possible, on évite de desserrer les coins et de retirer le gabarit avant que le clouage ne soit complet et parfaitement à fond.

Lorsque l'opération du clouage est terminée, on desserre les coins et on dégage le gabarit, avec deux petits leviers, sans recourir au marteau.



C.F. 4.

Une jauge, représentée (fig. 74), sert à vérifier de temps en temps le gabarit de sabotage.

Si les traverses sont rondes à leur partie supérieure, il faut y faire des entailles d'une profondeur suffisante pour obtenir une largeur d'assiette égale à la largeur de la semelle des coussinets. C'est en présentant le gabarit qu'on détermine la longueur de ces entailles; on les limite par deux traits de scie perpendiculaires à l'axe et on aplanit la surface à l'herminette; on procède ensuite comme pour les traverses ordinaires.

Quand on emploie des bois préparés, il faut réduire au minimum la largeur et la profondeur de l'entaille, afin de ne pas enlever en pure perte le bois le mieux préparé.

§ 2^e. Assemblage et sabotage des traverses du système de M^r Louilles.

Les bois pour tables de pression sont livrés en plats bords de diverses largeurs qu'on débite à la longueur des tables.

Les bois pour membrures sont livrés en pièces débitées aux dimensions mêmes des membrures. L'assemblage se fait au moyen d'établis, formés principalement de deux tréteaux reliés par deux madriers jumelés (fig. 75). C'est entre ces madriers qu'on place la membrure; elle est appliquée contre l'un d'eux qui porte les taquets d'arrêts des plateaux, et serrée de l'autre côté par deux coins. On apporte ensuite les plats-bords qui doivent former les tables de pression, on les serre contre les taquets au moyen de coins et on les cloue sur la membrure avec des pointes.

Pour le sabotage, on étale les traverses sur des chantiers de niveau, les tables en dessous comme dans la pose. Une règle à dégauchir (fig. 76) est appliquée sur la surface et indique si les emplacements des deux coussinets sont exactement dans le même plan; s'il n'en est pas ainsi, on dresse les surfaces avec l'herminette. On présente ensuite le gabarit de perçage (fig. 77); il porte des trous correspondans aux boulons et au goujon des coussinets. L'emplacement de ces trous est marqué sur les membrures avec un poinçon préparé à ces effets et on les perce avec un laceret disposé de manière à rester vertical pendant l'opération (fig. 78). Les tarières ont un diamètre à peu près aussi grand que celui des boulons et du goujon; les trous des boulons sont percés d'outre en outre, celui du goujon à 0^m,03 environ de profondeur. On pose ensuite les coussinets sur les traverses et on enfonce les boulons; puis, on retourne les traverses pour mettre et serrer les écrous. On fait disparaître les légères irrégularités d'écartement et d'inclinaison, en serrant plus ou moins les écrous intérieurs ou extérieurs à la voie. Si ces défauts étaient trop graves et exigeaient des différences de serrage trop grandes, il faudrait retoucher la surface des bois.

On peut encore, après avoir percé les trous, présenter le gabarit avec les coussinets et procéder ainsi qu'il a été dit plus haut.

On vérifie la position des coussinets avec un feu d'écartement (fig. 79) qui donne la distance entre les jones intérieures au point d'appui supérieur des rails.

§ 3^e Pose de la voie.

Avant d'exécuter la pose, on doit arrêter toutes les dimensions de la voie, et il convient d'insister ici sur quelques dispositions particulières qui n'ont pas encore été indiquées.

Les joints correspondants doivent être sur une ligne d'équerre par rapport à l'axe de la voie, et les traverses sont aussi placées d'équerre sur les rails. Sans cela, même avec un sabotage bien précis, on obtiendrait des rétrécissements fâcheux de la voie ou des portées irrégulières.

Les rails consécutifs ne sont pas amenés au contact; on laisse entre eux un intervalle, afin qu'ils puissent se dilater librement lors des variations de température. Ce jeu doit être calculé d'après la température à laquelle se fait la pose et d'après les limites extrêmes entre lesquelles elle peut varier. Ces limites ne sont pas celles de la température atmosphérique; elles sont rapprochées par l'influence de la couche de ballast dans laquelle les rails sont engagés. Il faut tenir compte aussi des déformations qui peuvent se produire aux extrémités des rails par l'action des roues. Sur le chemin de fer du Nord, avec des rails de 6^m,00 de longueur, on règle l'ouverture des joints ainsi qu'il suit, d'après la température de l'air à l'ombre:

Jusqu'à la température de 5° au dessus de zéro, à 0^m,003

De 5° à 20° 0,002

De 20° à 40° et au dessus 0,001

Dans les courbes, on doit racheter la différence de longueur qu'offrent les deux courbes de rails. À cet effet, on prépare des rails moins longs que les rails ordinaires, par exemple, de 5^m,96 au lieu de 6^m,00, et on les intercale régulièrement dans le cours de rails le plus voisin du centre, en plus ou moins grande quantité suivant le rayon de la courbe. Il ne reste plus alors qu'une très petite différence de longueur; on la regagne sur la largeur des joints en opérant sur un assez grand nombre de rails pour que cette largeur ne dépasse point 0^m,005.

Il faut encore dans les courbes satisfaire à d'autres conditions: les rails extérieurs sont plus élevés afin de contrebalancer les effets de la force centrifuge; la surface de roulement tangente aux deux rails forme alors un plan incliné; on le détermine par la condition d'être normal à la résultante de la force centrifuge et de la pesanteur.

Le surhaussement est racheté sur la ligne de rails à laquelle on l'applique à raison de 0,001 pour mètre au plus.

Lorsque la courbe a un petit rayon, il devient nécessaire de donner plus de largeur à la voie, car la largeur réelle (fig. 80) n'est plus que la distance de la courbe intérieure à la corde de l'arc extérieur embrassé par les roues. Le sabotage se fait alors sur place. On calcule l'élargissement de manière à laisser aux essieux le même jeu que dans le cas où la voie est en ligne droite. Ce jeu est ici d'autant plus utile qu'il permet aux roues de se déplacer latéralement jusqu'à ce que le contact se soit établi sur des circonférences telles que leur différence de longueur compense la différence des chemins à parcourir.

Venons à la pose proprement dite, et supposons d'abord qu'on ait à sa disposition une voie provisoire pouvant servir au transport du ballast.

Cette voie doit présenter des gares d'évitement pour permettre le croisement des trains qui vont en sens contraire; la longueur de ces gares doit être telle que les trains les plus longs puissent s'y renvoyer; leur écartement dépend de l'activité de la circulation. Voici comment on peut le déterminer; soient:

n le nombre des trains dans un jour,
 v le chemin parcouru par l'un d'eux dans une heure;

Si la journée de travail comprend h heures, il s'écoulera entre le passage de deux trains successifs marchant dans le même sens un temps égal à $\frac{h}{n}$, et l'intervalle qui les séparera sera $\frac{hv}{n}$.

On peut supposer que tous les trains soient échelonnés sur la voie à des distances égales, soit qu'ils aillent dans un sens, soit qu'ils aillent dans l'autre, et alors si deux d'entre eux viennent à se rencontrer, tous les autres se rencontrent en même temps, et il faut des gares d'évitement là où ils se trouvent; s'ils continuent leur mouvement, ils se rencontrent de nouveau aux milieux des intervalles qui les séparent, et là encore des gares sont nécessaires; mais il est inutile d'en faire un plus grand nombre, car les trains en poursuivant leur marche se croiseront toujours aux points où des évitements auront déjà été établis.

Les considérations précédentes déterminent la distance entre deux gares successives et donnent pour sa valeur

$$\frac{hv}{2n}$$

Cependant, elles supposent un service tout-à-fait régulier, comme celui qu'on peut obtenir avec des chevaux et à petites distances; lorsque les transports se font par locomotives et à grandes distances, il y a nécessairement des irrégularités, et pour éviter les pertes de temps, il est bon de préparer un nombre de gares supérieur à celui qui résulte de la formule.

Lorsque la surface des terrassements est régularisée, on détermine l'axe de la voie et on le repère par des piquets distants de 100 mètres au plus; d'autres piquets dits de hauteur sont placés à l'origine de tous les changements de pente ou de direction et indiquent le niveau des rails.

La première couche de ballast est amenée au moyen de la voie provisoire, avec des wagons à bascule ou à plate forme fixe; elle est réglée à la hauteur correspondant à la surface de pose des traverses.

On fixe alors par des nivelettes la position exacte des deux cours de rails; les nivelettes sont de deux sortes: les unes (fig. 81) offrent un montant à pointe ferrée sur lequel un voyant peut se déplacer et être fixé par une vis de pression; ce voyant présente deux couleurs séparées par une horizontale; les autres (fig. 82), composées simplement d'un voyant et d'un montant, sont plus petites et se tiennent à la main; le voyant y est d'une seule couleur et terminé à la partie supérieure par une ligne perpendiculaire au montant.

Les premières se plantent de part et d'autre le long des cours de rails, et on monte le voyant de manière à avoir entre sa ligne de repère et la surface des rails une hauteur égale à celle des petites nivelettes; celles-ci sont portées par les ouvriers et se placent sur les rails pour vérifier leur niveau.

Les ouvriers sont répartis par ateliers, qui sont plus ou moins importants suivant

l'activité qu'on veut donner à la pose. Supposons trois brigades de huit hommes; chaque brigade a un chef et opère successivement.

La première brigade apporte les traverses et leur donne à-peu-près la position déterminée par le chef, au moyen d'une règle de la longueur des rails et divisée d'après les écartements de la pose. Les traverses de joints (ou les traverses voisines du joint, si la pose se fait avec éclisses) sont placées avec plus de précision que les autres.

La seconde brigade vient après: elle est armée de pinces et rectifie la position des traverses intermédiaires, de manière à mettre les coussinets en ligne; elle apporte ensuite les rails et les place dans les coussinets, en ayant soin de soulever avec de grands leviers les traverses trop basses; si la pose se fait avec éclisses, elle présente également les éclisses, passe les boulons et met les écrous, mais sans serrer.

La troisième brigade achève la pose. Le chef trace à la craie sur le rail des lignes indiquant l'axe des coussinets; il règle en même temps les joints par des lames en fer qu'il interpose entre deux rails consécutifs. Les ouvriers, armés d'aspect, amènent les traverses à leurs niveaux définitifs et aux écartements voulus, puis ils enfonce les coins.

Si la voie doit être parcourue toujours dans le même sens, les coins sont chassés sur les deux cours de rails dans le sens de la marche; mais si la voie doit être parcourue indistinctement dans un sens ou dans l'autre, les coins peuvent être chassés à la main de l'ouvrier dans le même sens sur chaque cours de rails, en sens contraire d'un cours à l'autre.

Pendant qu'on souève les traverses pour procéder au coinçage, les ouvriers disponibles garnissent le dessous des traverses avec la pelle ou à la pioche; ils vérifient le niveau des rails au moyen des nivelettes à main et serrent les éclisses à peu-près à fond.

Dans ces conditions de travail, la troisième brigade est la plus chargée et les deux premières prennent de l'avance sur elle; quand cette avance est jugée suffisante, elles reviennent sur leurs pas et procèdent au dressement et au bourrage définitifs, ainsi qu'au serrage à fond des éclisses.

Il ne reste plus alors qu'à apporter la seconde couche de ballast, ce qui se fait soit au moyen de la voie provisoire, soit au moyen de la voie nouvelle.

Quand les traverses ont une épaisseur et une section horizontale constantes, comme les traverses du système de M. Pouillet, on opère quelquefois d'une manière différente. La première couche de ballast étant approvisionnée en masse suffisante, on la régale d'abord à la pelle, puis avec une règle marchant sur deux guides latéraux. Les traverses sont posées directement sur la surface ainsi préparée, et lors du passage des premiers trains, il se produit un tassement qui dispense du bourrage. Ce tassement varie de 2 à 3 centimètres, suivant la nature du ballast, et la surface de pose doit être relevée de cette quantité. On répare après coup les irrégularités qui se produisent.

Disons quelques mots sur les instruments employés dans ces opérations; le tableau suivant en donne l'inventaire:

Pelles,
Pioches à bourrer,

| Masse en fer,
Grosses pinces,

Pinces à pied de biche,
 Leviers ou anspects,
 Chasse-coins,
 Clés à fourche pour les écrous d'éclisses,
 Assortiment de cales pour les joints,
 Chronomètre,
 Palanins d'écartement,
 Règles de la longueur des rails, divisées d'après
 les écartements de la pose,
 Niveaux à bulle d'air en fonte,

Niveaux à fil à plomb de 1^m, 60 de longueur au
 moins, en bois,
 Grandes équerres de 1^m, 60 de branche,
 Doubles mètres divisés,
 Jalons,
 Jeux de nivelettes,
 Herminettes,
 Carrières,
 Hayons,
 Brunettes.

Les jalons, nivelettes et règles divisées servent à fixer la position des divers éléments de la voie.

Les pinces et leviers (fig. 83) sont nécessaires pour déplacer et soulever les traverses.

Les pioches à bœuf (fig. 84) sont en bois et armées de fer aux extrémités ou entièrement en fer. Elles doivent présenter assez de surface aux extrémités pour chasser le ballast en avant. Lorsque le ballast est très résistant et demande à être divisé, on emploie de préférence les pioches en fer dont un des côtés se termine en pointe.

Les marteaux à coincer (fig. 85) ont deux têtes, de largeur différente, pour frapper à volonté sur un côté ou l'autre du coin; ils doivent être conformés de manière que l'ouvrier puisse s'en servir facilement, quelle que soit la direction du coinage. Il serait avantageux de frapper sur les coins en interposant une chaise qui s'adapterait à leurs extrémités et transmettrait le choc du marteau; les coins se conserveraient alors plus long-temps sans se fendre ou s'écailler.

Le niveau à fil à plomb (fig. 86) est employé pour vérifier la hauteur relative des deux cours de rails. Quand les deux rails doivent être de niveau, l'instrument sert dans les conditions ordinaires; quand un des rails est surbaissé par rapport à l'autre, on peut ramener ce cas au premier en plaçant sur le rail le plus bas une cale dont l'épaisseur est égale au surbaissement; on peut encore marquer à l'avance sur le niveau les positions du fil à plomb pour tel ou tel surbaissement.

Quelquefois on reconnaît que le sabotage est vicieux; la traverse est alors rectifiée sur place. Le levier en fer à pied de biche (fig. 87) sert à arracher les coussinets; les anciens trous de chevillage sont bouchés avec des chevilles en bois; on ajuste les coussinets sur les rails qui peuvent servir de gabaris et on place la traverse de manière que la position des coussinets soit un peu changée; on perce alors les trous des chevilles et on cloue sur place.

Quand on n'a pas une voie provisoire à sa disposition pour transporter le ballast, il faut procéder d'une manière différente. Le nivellement et le piquetage se font comme plus haut; la voie est ensuite posée sur la surface du terrassement sans ballast, à partir du dépôt des matériaux et on avance petit à petit en utilisant successivement la portion de voie posée pour faire arriver les matériaux qui doivent servir à prolonger la voie.

Cette voie posée sur terre sert à amener la première couche de ballast.

La première couche de ballast étant apportée et déposée entre les traverses ou sur les

côtés, on procède au relèvement de la voie pour la ramener au niveau voulu; on se sert à ces effets de leviers très-longs (arçes) qu'on introduit sous les traverses de joins; ces traverses, lorsqu'on les soulève, entraînent dans leur mouvement toutes les intermédiaires et on arrange aussitôt le ballast de manière à soutenir l'ensemble et à relever les traverses intermédiaires qui se trouvent plus basses que les autres par suite de la flexion des rails. L'opération ne se fait pas d'une seule fois, mais on procède par relèvements partiels de cinq centimètres environ, et pour que la circulation reste toujours possible, on raccorde les parties relevées avec celles qui ne le sont pas au moyen de plans inclinés. Il suffit qu'on ait une première couche de ballast de 0,05 pour commencer le relèvement de la voie, et les relèvements successifs sont échelonnés de manière à passer sans ressaut de la partie qui est entièrement relevée à celle qui est posée sur terre.

Si la pose se fait avec éclisses, il convient de ne poser ces pièces qu'après le relèvement afin de laisser un peu de jeu pour faciliter cette opération et d'éviter que les éclisses ne soient faussées; les joins sont alors soutenus par des traverses provisoires qu'on enlève en mettant les éclisses.

Lorsqu'il y a deux voies parallèles à établir, on peut combiner les deux modes précédents; l'une d'elles est posée en voie provisoire, avec matériaux définitifs, et elle sert à établir la seconde pour être ensuite relevée elle-même d'un seul coup, parce qu'il n'est pas nécessaire de la maintenir en état de viabilité.

Sous-détail d'une voie posée actuellement au chemin de fer du Nord.

Sous-détail d'une traverse sabotée

(Une traverse (cube 0^m,084 et 0,103)
 Deux coins (poids 17^k,60 et 26,30) à 215^f
 Chevillettes (poids de l'une: 0^k,35 - 4 et 6)
 Sabotage
 Préparation ou enduits

Traverse	
intermédiaire.	de joins.
6 ^f . 00	7 ^f . 35
3. 78	5. 65
0. 58	0. 86
0. 25	0. 30
0. 30	0. 35
10 ^f . 91	14 ^f . 51

Sous-détail de 6 mètres de voie simple
 (Les portées sont 2(0,30) + 6(0,90))

7 traverses, à 10^f. 91 76^f. 37
 12^m de rails, 448^k à 280^f le cent 125. 66
 14 coins, à 100^f le mille 1. 40
 4 éclisses, 18^k,96 à 375^f la tonne 7^f. 11
 8 boulons 3^k,30 à 630^f la tonne 2. 08
 Ballast, 14^m,70 à 3^f. 50 51. 45
 Chargement, transport, déchargement, coltinage,
 pose, relevage et entretien extraordinaire 13. 61
 } 277^f. 68

Ces prix sont variables avec les dimensions et le prix même des matières employées et avec le taux de la main d'œuvre; on les donne comme simple indication pour fixer les idées. On a pris un

excédant de ballast pour prévoir le tassement; ces excédants est de 2^m.40 sur 14^m.70.

Les éléments de ce détail permettent de comparer les prix de revient de la pose avec ou sans éclisses. Dans le premier cas il y a une traverse de joints de moins, soit 14^f.51, et 4 éclisses en plus, soit 9^f.19; la différence est de 5^f.32 pour 6 mètres de longueur et de 0^f.887 par mètre courant.

Les éclisses assurent d'ailleurs une plus grande stabilité à l'ensemble.

Chapitre 4^e. Autres systèmes de voies.

On a cherché à modifier le système de voie qu'on vient de décrire dans le but d'en diminuer les inconvénients.

Système de Peave. — Dans le système de Peave, les supports sous des cloches en fonte, de forme sphérique, et venues d'une seule pièce avec les coussinets (fig. 88); elles sont reliées deux à deux par des barres de fer et présentent des ouvertures à leur partie supérieure pour faciliter le bourrage intérieur. Les cloches de joints peuvent être oblongues (fig. 89) et porter deux coussinets entre lesquels se placent les éclisses.

Ces supports opposent une grande résistance au déplacement latéral et au déversement. La cloche étant supportée immédiatement au dessous de la partie qui forme la semelle du coussinet, est dans des conditions favorables de stabilité; le coussinet est solidaire du support, et par là se trouvent détruits tous les inconvénients dus au jeu que prennent le coussinet sur les chevilles et les chevilles dans la traverse, dans la pose ordinaire; mais ces cloches sont lourdes (36^k chaque), coûtent cher, et la rupture d'un coussinet fait mettre au rebut des pièces importantes.

Avec ce système, l'entretien se fait en soulevant les cloches par l'intermédiaire du rail et on tasse le ballast tout autour et dans l'intérieur au moyen des trous que présente la cloche et par lesquels on introduit le ballast nécessaire pour que l'intérieur des cloches soit parfaitement garni.

Peter Barlow a proposé des supports longitudinaux reliés d'un rail à l'autre par des barres d'écartement (fig. 90). Ces supports se composent de pièces de fonte doubles entre lesquelles le rail est engagé et qu'on serre l'une contre l'autre au moyen de boulons. Ces pièces ont ensemble une table horizontale suffisamment large pour donner une bonne assiette sur le ballast. Le rail est parfaitement maintenu, mais comme il est appuyé contre les joues en fonte sans aucun intermédiaire, il est à craindre que lors du passage des trains rapides les joues ne soient brisées, et ces ruptures qui pourront être dangereuses, auront encore l'inconvénient de faire mettre au rebut des pièces considérables pour une avarie minime.

Ce système a été appliqué partiellement pour les joints; la voie ainsi établie est dans des conditions d'inégale résistance qui la rendent assez defectueuse.

On a essayé en France des plateaux de fonte venus d'une seule pièce avec le coussinet et reliés par des tirants en fer (fig. 91), dont chaque extrémité en forme de croches s'engageait dans un œil pratiqué sur les plateaux. La résistance au déplacement latéral est faible, et les plateaux

fixés aux tirants par un seul point, peuvent prendre des inclinaisons variables. Les essais faits d'après ce système n'ont pas bien réussi, mais sans doute il serait possible de l'améliorer en lui donnant quelques unes des qualités du système Greave décrit plus haut.

Systèmes de voie avec traverses sans coussinets.

Bridge-rails avec traverses.

Les bridge-rails ou en forme de poutre (fig. 92) présentent un champignon soutenu par deux côtes latérales; ces côtes se recourbent à leur partie inférieure de manière à former des oreilles qui servent à assujettir le rail sur les supports.

Ce système a été appliqué en Irlande avec des traverses (fig. 93); les rails y sont fixés par des boulons dont les écrous présentent une forme triangulaire leur permettant de s'incruster dans le bois; une plaque en fer maintient les joints; elle porte à la partie supérieure une saillie qui pénètre dans l'intérieur des deux rails consécutifs et est réunie à chacun d'eux par deux boulons. On obtient ainsi une solidarité assez satisfaisante; toutefois l'emploi simultané des rails à poutre et des traverses semble offrir peu de garantie, car la forme de ces rails, étudiée dans l'hypothèse d'une longrine les soutenant sur toute leur longueur, est peu favorable lorsque les points d'appui sont disposés de distance en distance; c'est pour cela qu'en Irlande on a été conduit à leur donner jusqu'à 45^k. de poids par mètre courant.

Rails Signolle.

Ces rails, employés en Allemagne, diffèrent des rails ordinaires (fig. 94) par un patin qui remplace le champignon inférieur; ils se posent directement sur les traverses et y sont assujettis par deux chevilles à croches ou à tête suffisamment saillante. Leur forme se prête très bien à l'emploi des éclisses sans placer les joints en porte-à-faux. Dans quelques chemins on a ajouté aux joints une semelle en fer (fig. 95) qui porte une enclave pour le patin du rail et vient en aide aux éclisses pour rendre le joint plus parfait encore.

Les rails Signolle, comparés aux rails à double champignon, offrent des inconvénients et des avantages.

La côte n'étant plus soutenue par les joues des coussinets, a besoin d'une plus grande épaisseur pour offrir une résistance latérale suffisante; par suite, à égalité de matière, la hauteur est moindre et la résistance verticale diminuée; mais, le patin inférieur présente pour la résistance à la flexion un meilleur emploi du fer que le champignon ordinaire.

Ces rails ont l'avantage de ne pas exiger de coussinets, d'où résulte une pose plus simple et une légère économie de ballast.

Ils peuvent être fabriqués avec une seule mise de corroyé et reviennent alors à un prix un peu moins élevé.

Mais, ils n'ont qu'un seul champignon de roulement et ne peuvent pas être retournés.

Les rails Signolle n'ont pas encore reçu, en France, d'application étendue.

Système Barbercan.

Le système Barbercan, essayé depuis un an sur les chemins de Rouen et de Strasbourg,

conserve les rails à double champignon; le rail repose directement sur le bois de la traverse, travaillé pour lui donner un appui convenable (fig. 96); les coussinets sont remplacés par deux chantignolles en bois s'appuyant de part et d'autre du rail, butant contre les bords d'une entaille pratiquée dans la traverse et maintenues par des vis. Pour éviter de fendre le bois, on place sous la tête de la vis, un étrier qui est à cheval sur la chantignolle et qui répartit la pression sur toute la surface.

Les chantignolles de joints sont plus larges que les autres.

On doit laisser entre les chantignolles et les traverses un vide suffisant pour permettre des serrages successifs, et les chantignolles sont conformées de manière à donner l'inclinaison au rail par un serrage égal des deux côtés.

Un serrage mal fait peut fausser l'inclinaison, et cette opération est délicate puisque la position du rail dépend, à chaque instant, de manutentions confiées aux cantonniers.

Il est à craindre aussi que par suite de la difficulté de déplacer la traverse par rapport au rail, en raison des fortes entailles qu'exige cette pose, on ne soit obligé, si les chevilles des chantignolles prennent facilement du jeu, de mettre des traverses au rebours avant que le bois ne soit détérioré.

Cependant ce système a assez bien réussi, mais l'expérience ne remonte pas assez haut et la circulation n'a pas été assez active pour qu'on puisse prononcer un jugement définitif sur ce système.

Rails posés sur longrines.

Système Brunel.

Les rails de ce système sont les bridge-rails décaints plus hauts; ils sont placés sur des longrines qui les supportent dans toute leur étendue (fig. 97); comme ils se présentent parallèlement aux fibres, ils pourraient s'enfoncer dans le bois, et il en résulterait des dénivellations; on évite ces inconvénients par l'interposition de plaques minces dans les fibres sous transversales. Les longrines ont 0,38 sur 0,19; leur écartement est maintenu par des traverses espacées de 4,50, assemblées aux longrines par embrèvement et assujetties par des tiges en fer de forme particulière (fig. 97); ces tiges présentent une partie cylindrique qui forme bouchon et qui reçoit un écrou après avoir traversé la longrine; l'autre extrémité est plate, s'applique sur le côté de la traverse et y est fixée par deux boulons ou deux vis en bois. On règle l'inclinaison des rails par celle de la longrine, et celle-ci par la disposition de l'assemblage avec la traverse. Les rails sont fixés sur les longrines par des clous ou des boulons placés alternativement de côté et d'autre, à 90 centimètres de distance. On emploie aussi pour le même but des vis en bois et à tête saillante dont la tige s'engage dans une cavité pratiquée sur l'oreille du rail.

Ce système donne une grande solidarité, mais il est cher, soit parce qu'il exige des bois de plus grand équarrissage et de choix, soit parce qu'il est d'un établissement et d'un entretien difficiles; les longrines font obstacle à l'écoulement des eaux et le ballast doit être drainé; enfin, les rails n'ont qu'une surface de roulement. Pour ces diverses raisons, son application est restée assez limitée.

Système

Système de William Barlow.

Ce système fut étudié primitivement dans le but de constituer la voie avec des éléments peu nombreux et inaltérables.

Les rails sont de la famille des rails à pouce, mais ils ont plus de hauteur et les oreilles arrondies et plus ouvertes donnent un empattement plus considérable (fig. 98). Ces rails reposent directement sur le ballast sans aucun intermédiaire.

Les joints sont maintenus par des selles semblables aux rails, rivées sur eux et épousant exactement leur forme intérieure.

L'écartement et l'inclinaison des rails sont assurés par l'application de pièces transversales de diverses formes. On a appliqué d'abord des fers à cornières rivés au rail et présentant une inflexion centrale (fig. 99); depuis, on a employé des fers de selles dans des conditions analogues (fig. 100); on arrive aujourd'hui à poser des traverses en bois, plus ou moins distantes, sur lesquelles sont placés les rails (fig. 101).

Le ballast s'engage dans la partie creuse des rails; l'assiette est suffisante et on a l'avantage d'avoir une surface d'appui dans le point culminant et presque à la hauteur de la surface de roulement; cependant si le ballast est peu consistant, il se déplace sous l'influence des vibrations dues au passage des trains, et le rail est moins bien soutenu; il faut alors un bourrage très assidu.

Il est à craindre que l'action du passage des trains ne tende à écarter les deux branches du rail et ne fasse éprouver au fer dans le champignon de roulement une fatigue qui pourrait en diminuer la durée.

Les rails formés dans cette pose un système continu n'ayant que des joints de dilatation insignifiants, tous les 90 mètres. Le rail est presque complètement enterré et par suite subit moins de variations de température que le rail ordinaire; toutefois, l'influence de la température est incontestable, et en raison de la forme de la section et des températures différentes des parties couvertes et des parties découvertes, il y a tendance pour le rail à prendre des ondulations dans les joints sous les points hauts dans les froids (fig. 102) et les points bas dans les chaleurs (fig. 103). Ces voies sont très sonores, surtout quand elles sont neuves.

Ce système a été essayé sur le chemin du Nord; il présente une grande solidarité entre les diverses parties qui le composent, mais il est loin d'atteindre un des buts qu'on s'était proposé en substituant le fer au bois, car pour limer le rail suivant la forme adoptée, on a été obligé jusqu'à présent d'employer du fer tendre qui s'altère promptement sous l'action des trains, et la voie doit être renouvelée en grand à des époques plus rapprochées que les voies ordinaires avec traverses en bois. Il y a donc infériorité sous ce rapport, mais elle peut cesser si on arrive par une fabrication mieux entendue à donner plus de résistance à la surface de roulement.

La pose est très simple: lors que la première couche de ballast a été amenée à la hauteur convenable, on apporte les rails dans une des extrémités est déjà rivée sur la selle qui doit maintenir le joint; la première brigade, armée d'un gabarit d'écartement, les pose à la suite les uns des autres et à la place définitive qu'ils doivent occuper; la voie est alors en état de servir quoiqu'il reste encore à mettre toute la seconde série de rivets. C'est la deuxième brigade qui est chargée de ce travail; elle commence par dégager le ballast sous l'extrémité des rails; elle met ensuite au

contact les surfaces du rail et de la selle et se sert à ces effets d'une mâchoire en fer dans laquelle on serre les deux fers avec un coin. Les trous des rivets ont été percés à l'avance; s'ils ne se correspondent pas exactement, on les amène en coïncidence en y introduisant un mandrin d'acier qu'on chasse à fond. On présente alors les rivets par la partie inférieure, et soutenant la tête avec un levier muni d'échancures, on épare la saillie de manière à former la tête supérieure. Enfin, on met en place les traverses d'écartement et on les rive sous les rails.

L'entretien de la voie est également facile; car la circulation pouvant s'effectuer sans que les rails soient assujettis par les rivets, on peut toujours, lorsqu'il s'agit de remplacer une pièce, fractionner l'opération et l'effectuer parties par parties entre les passages consécutifs des divers convois.

Lorsque la voie doit être courbe, on ne peut pas poser ces rails en polygone et leur donner ensuite la courbure voulue en forçant les rails sur la voie, comme on le fait dans la pose avec rails à double champignon sur traverses; il faut alors une opération préalable qui a pour objet de courber les rails: elle se fait simplement en saisissant le rail dans une mâchoire et frappant sur l'extrémité avec un marteau. Cependant si la courbe a un grand rayon, on pose en ligne droite une certaine longueur et on l'infléchit en masse.

Dans les joints de dilatation placés tous les 90 mètres, les rails sont fixés à la selle par des boulons, et les trous sont ovales de manière à laisser un jeu de quelques millimètres.

La fabrication de ces rails est difficile, car l'ondulation de leurs surfaces devant se trouver reproduite sur les cylindres lamineurs, les points de ces cylindres qui se correspondent ont nécessairement des rayons inégaux et des vitesses différentes; il en résulte une tendance au déchirement que l'on évite, seulement en adoptant des cylindres de grand diamètre et en opérant à une haute température; aussi ces rails sont-ils d'un prix très élevé, et même en Angleterre leur prix surpasse celui des rails à double champignon de 20 à 30[¢] par tonne.

Les cylindres sont au nombre de trois; le cylindre d'égrossisseur a 4 cannelures et fait 26 tours par minute; le second et le troisième ont chacun 3 cannelures et font, l'un 35 tours à la minute et l'autre 70. Le paquet est réchauffé en sortant du dégrossisseur, mais il passe de suite dans les deux derniers cylindres.

Les rails ainsi fabriqués ont jusqu'à 6^m et 6^m,50 de longueur quoiqu'ils pèsent de 45 à 60 kilos par mètre courant; mais il y a grand intérêt à diminuer le nombre des joints en raison des fortes dimensions de la selle.

Si on compare les rails du système Barlow aux rails à double champignon, on trouve que la voie revient plus cher avec les premiers; le prix des rails est en effet plus élevé; celui des selles et des traverses d'écartement équivalent à peu près à celui des coussinets et des traverses en bois; et, enfin, le ballast doit être plus parfait pour donner un ouvrage mieux soigné et un bon appui; sa hauteur ne peut d'ailleurs être réduite, car l'assainissement ne pouvant plus se faire par des rigoles d'assèchement, il faut recourir au drainage.

Sous d'autres rapports, les rails Barlow constituent une voie plus facile à établir et à réparer; quant à la durée respective des deux systèmes, l'expérience n'a pas encore prononcé. On comprend d'ailleurs que leurs avantages varieront toujours avec les conditions locales et les prix relatifs du bois et du fer.

Beaucoup d'autres systèmes ont été essayés, mais ils représentent plutôt des inventions que des faits pratiques, et il paraît inutile d'insister sur leur description.

Par exemple, on a appliqué en Amérique des rails composés de deux parties boulonnées sur toute la longueur (fig. 104) et disposés de manière à alterner les joints. Ce système diminue la résistance des pièces et introduit dans la voie de nombreux éléments de détérioration.

2^e Section.

Moyens de communication entre plusieurs voies.

Chapitre 1^{er}.

Changements de voie.

Les véhicules circulant sur les chemins de fer sont assujettis à suivre des voies parfaitement déterminées et en nombre restreints; dès lors, il est nécessaire d'établir des appareils spéciaux destinés à les faire passer d'une voie sur une autre.

Les appareils le plus habituellement employés pour cela sont les changements de voie. Ils peuvent servir soit à mettre en communication deux voies distinctes, soit à épanouir une voie en la faisant aboutir à un nombre plus ou moins grand d'embranchements.

Ces appareils se composent toujours de deux parties distinctes: 1^o le changement de voie proprement dit, A (fig. 105), où commence la séparation des voies, 2^o le croisement des rails B, où cette séparation devient complète.

§ 1^{er}. Changements de voie appliqués aux chemins à petite vitesse.

On décrira d'abord les appareils qui ont été appliqués dans le principe.

Changements de voie. — Les changements de voie doivent présenter quatre rails; deux appartenant à la voie droite, et deux à la voie oblique. Dans les premiers appareils, les deux rails extérieurs étaient continus (fig. 106), les deux intérieurs se terminaient en pointe et avaient pris le nom d'aiguilles; l'une, appartenant à la voie droite était fixe et laissait à son extrémité une ornière toujours libre, l'autre, appartenant à la voie oblique, était mobile; si celle-ci était éloignée du rail et laissait entre elle et lui une ornière suffisante pour le passage des roues, les trains arrivant dans la direction de la flèche ne trouvaient pas d'obstacle à leur mouvement et continuaient à s'avancer sur la voie droite; mais, si l'aiguille mobile était appliquée contre le rail, elle agissait sur les roues, les déviait et les dirigeait dans la voie oblique. Dans le cas où le mouvement s'effectuait en sens contraire, les trains devaient arriver nécessairement sur la voie unique, et si l'aiguille mobile était placée de

manière à faire obstacle à leur mouvement, ils la manœuvraient eux-mêmes et lui donnaient une position convenable.

Quelquefois les deux aiguilles étaient fixes (fig. 107), avec ornières entre chaque aiguille et les rails continus voisins; alors les trains marchans dans la direction de la flèche ne pouvaient suivre que la voie droite, mais le changement pouvait servir pour les trains en sens contraire quelle que fut la voie parcourue. En combinant deux de ces appareils comme le montre la figure 108, les trains arrivans par la voie A passaient nécessairement dans l'embranchement C qui faisait suite directement, tandis que les trains arrivans par la voie B passaient dans l'embranchement D. Cette disposition était appliquée sur les chemins à voie unique et permettait le croisement des trains allant en sens contraire.

Dans les systèmes précédents les aiguilles fixes étaient interrompues; il en résultait toujours des chocs et quelquefois des déraillements. On a remédié à ces inconvéniens en rendant les deux aiguilles mobiles (fig. 109); elles étaient reliées par une tringle et se manœuvraient au moyen d'un contrepois qui leur assurait une position déterminée, d'après laquelle l'une ou l'autre aiguille était appliquée contre le rail continu adjacent; les trains arrivans dans le sens de la flèche s'engageaient sur la voie droite ou sur la voie oblique suivant la disposition du contrepois; si ils arrivaient en sens contraire, leur mouvement était toujours possible et les roues manœuvraient elles-mêmes les aiguilles, s'il était nécessaire.

Dans les garages, les contrepois étaient disposés de telle sorte que les trains marchans en sens contraire s'engageaient naturellement sur des voies différentes; on pouvait d'ailleurs changer à volonté le sens du service en agissant sur les contrepois, et c'était là un autre avantage de cet appareil sur le précédent.

Croisements de voie. — Quand deux rails se rencontrent, chacun d'eux doit être interrompu pour livrer passage aux roues (fig. 110): il est donc nécessaire d'avoir deux ornières; les rails se réunissent au delà en forme de pointe. Lorsque les roues arrivent sur ces ornières, elles peuvent n'être plus soutenues ou dirigées, et alors il se produira des chocs soit contre les extrémités, soit contre les côtés. On a cherché dès l'abord à écarter ce danger. À cet effet, au lieu de terminer brusquement les rails en Bb et B'b' (fig. 110), on a continué chacun d'eux en se déviant parallèlement à l'autre. Or, supposons une roue placée sur le rail BC et s'avançant vers la pointe A; lorsqu'elle aura dépassé le point b, la jante qui est plus large que le rail portera sur la partie bE, et la roue ne pourra tomber qu'après avoir atteint le point d dans la distance dδ à CB est égale à la largeur du bandage. Si cette largeur est suffisante, la ligne dδ sera au delà du point A et la roue arrivera sur la pointe sans avoir cessé d'être soutenue; le premier des inconvéniens signalés sera alors presque entièrement évité.

Le prolongement bE joue encore un autre rôle; lorsque les roues arrivent suivant DA, il agit sur le rebord et l'empêche de buter contre l'arête b. Le prolongement bE va d'ailleurs en s'éloignant de plus en plus du rail pour n'être pas heurté à son extrémité E.

Dans les premiers appareils on plaçait en outre, vers l'extérieur du rail, une saillie mn qui dirigeait le rebord des roues arrivans suivant CA et les empêchait de venir buter contre la pointe.

Ces dispositions présentaient aussi des inconvéniens; en agissant sur la partie extérieure

des jantes qui se plus souvent sont coupées à angle droit, on se place dans des conditions défavorables; d'autre part, on se met dans l'obligation d'adopter pour tout le matériel des bandages de même largeur, et par là on s'interdit les différences ou les changements dont l'expérience peut montrer l'opportunité.

On a fait aussi des croisements à rails mobiles qui ont été appliqués en même temps que les changements à aiguilles mobiles (fig. 111). Les rails sont mobiles autour de centres de rotation A et A', présentent une partie droite jusqu'à la pointe et s'infléchissent ensuite, comme le montre la figure; ils sont maintenus par des contrepoids, disposés de manière à les maintenir contre la pointe. Lorsque les roues se présentent dans une direction quelconque, elles écartent celui de ces rails sur lequel elles ne roulent pas et s'ouvrent ainsi le passage.

Ces divers appareils étaient compatibles avec de petites vitesses; mais avec les vitesses actuelles, ils seraient mis promptement hors de service et pourraient donner lieu à des accidents.

§ 2^e. Des ornières.

Avant de décrire les appareils appliqués sur les chemins à grande vitesse, il convient de rechercher les conditions d'établissement des ornières qu'on retrouve dans tous ces appareils.

On appelle ornière, l'espace laissé libre le long d'un rail pour le passage du rebord des roues, quand cet espace est réduit à une simple rainure.

Les ornières sont employées dans des circonstances diverses, et leurs dimensions peuvent varier suivant le résultat qu'on veut obtenir.

S'agit-il, par exemple, de traverser un chemin de fer en faisant passer une route ordinaire au niveau de la voie?

Les rails, dans cette disposition, ne peuvent plus être en saillie; ils affleurent le niveau de la chaussée, et dès lors il devient nécessaire d'établir des ornières pour livrer passage au boudin des roues. Ces ornières s'obtiennent au moyen d'un second rail qu'on établit à côté du premier, à une distance convenable.

Soient (fig. 112):

c la largeur de la voie ou la distance des deux plans verticaux, tangents aux champignons intérieurs des rails,

e la distance de calage des roues fixés sur un même essieu, cet écartement étant mesuré entre les deux faces intérieures des rebords,

g la largeur totale du bandage, y compris le rebord,

b l'épaisseur du rebord de la roue, lorsque les roues sont neuves,

b' la même épaisseur lorsque les roues sont usées;

La largeur de la voie c a pour limite inférieure l'écartement des roues e augmenté de l'épaisseur des rebords 2b; on lui donne toujours une valeur supérieure à cette limite afin d'éviter les frottements au contact des rebords et des rails; la différence entre la valeur adoptée et la limite est ce que l'on appelle le jeu de la voie; si on le désigne par a, on aura

$$a = c - (e + 2b)$$

Cette formule se rapporte aux roues neuves ; avec des roues usées, le jeu augmente de la quantité dont sont diminués les rebords, et on a alors :

$$a' = a + 1(b - b')$$

$$\text{ou } a' = c - (c + 2b')$$

Ceci posé, si on voulait donner à l'ornière une largeur telle que la roue ne pût jamais s'appuyer sur le contre-rail, il faudrait se placer dans le cas le plus défavorable et supposer un des boudoirs tangents au rail ; l'autre boudoir se trouvant alors à une distance du rail égale à a ou a' , l'ornière correspondante devrait avoir une largeur plus grande que $a + b$ pour les roues neuves ou $a' + b'$ pour les roues usées, et comme il y a toujours des roues à tous les états, il faudrait adopter pour limite supérieure la plus grande de ces quantités, qui est :

$$a' + b'$$

Ainsi, quand il s'agit d'ornières simples le long d'un seul rail, le minimum sera égal à b (1) et le maximum sera $a' + b' = c - c - b'$ (2).

Cette expression diminue avec le jeu de la voie ; sa valeur minimum est $2b - b'$, et correspond à $a = 0$.

La largeur de l'ornière dépend donc du jeu que l'on adopte.

S'il s'agit de faire une ornière égale le long de chaque rail, les ornieres doivent être plus larges que la moitié du jeu total augmenté de l'épaisseur du rebord, soit :

$$\frac{a' + b'}{2} + b' \quad (3)$$

$$c = 1,44 \text{ à } 1,45,$$

$$c = \begin{cases} 1,362 \text{ wagons} \\ 1,355 \text{ locomotives} \end{cases}$$

$$b = \begin{cases} 0,038 \text{ wagons} \\ 0,035 \text{ locomotives} \end{cases}$$

$$b' = 0,015$$

$$\text{On a donc } \begin{cases} a = \begin{cases} 0,012 \text{ wagons} \\ 0,025 \text{ locomotives} \end{cases} \\ a' = \begin{cases} 0,058 \text{ wagons} \\ 0,065 \text{ locomotives} \end{cases} \end{cases}$$

Les expressions (1), (2) et (3) deviennent alors

$$(1) = 0,038$$

$$(2) = 0,080$$

$$(3) = 0,0475$$

Dans les passages à niveau, les largeurs d'ornières sont déterminées de manière à être plus grandes que (3).

Sur le chemin de fer du Nord, on leur donne généralement de 0,05 à 0,06 au passage des voitures, pour que les pieds des chevaux ne puissent s'y engager. Pour le passage des piétons, on va jusqu'à 0,07.

Toutes ces largeurs étant moindres que l'ornière maximum (2), il faut prolonger le contre-rail en avant de ces ornieres de manière à diriger les roues. Pour cela, le contre-rail est dévié à partir de l'ornière à largeur fixe, suivant une inclinaison de $\frac{1}{70}$ à $\frac{1}{100}$ jusqu'au point où l'ornière atteint ainsi le maximum (2) ; ensuite, le contre-rail peut être infléchi plus brusquement ; il sera bon, pour pareo à tous, de le prolonger jusqu'à l'écartement de 0,10.

S. 3. Changements de voie appliqués aux chemins à grande vitesse.

En exposant les divers appareils de changements de voie, on a supposé l'une des voies droite et l'autre déviée; la déviation peut être à droite ou à gauche.

Avec le système à rails mobiles, et celui à contre-rails mobiles, le même appareil peut servir dans les deux cas; il suffit alors, pour transformer un changement à gauche en un changement à droite, de déplacer, perpendiculairement à la voie, toutes les pièces qui composent l'appareil.

Le système à une aiguille mobile ne se prête pas à une combinaison semblable, car il n'offrirait pas les mêmes garanties, si l'aiguille mobile, au lieu d'appartenir à la voie déviée, appartenait à la voie droite; on voit, en effet, que dans le premier cas (fig 111), le rail opposé est interrompu sur une partie rectiligne, et l'aiguille ne joue qu'accidentellement le rôle de contre-rail. Dans le second cas au contraire, (fig 112), l'interruption est sur une partie courbe, et tout l'effort nécessaire pour changer la direction des roues se reporte sur l'aiguille.

Le même inconvénient se retrouve dans le changement à deux aiguilles mobiles et inégales; mais il n'existe pas dans le changement à deux aiguilles égales, et c'est une des raisons qui ont fait donner la préférence à ce dernier appareil.

Souvent, la déviation se fait à la fois sur les deux voies, et on a recours alors, soit à l'appareil à rails mobiles, soit à l'appareil à deux aiguilles mobiles et égales.

Lorsqu'on veut faire aboutir une voie unique à un nombre de voies supérieur à deux, l'appareil à rails mobiles s'applique naturellement, quel que soit le nombre de voies; seulement, la longueur des parties mobiles augmente avec ce nombre, afin de conserver toujours entre les extrémités des rails fixes, un passage suffisant pour le boudin des roues.

Si il ne s'agit que d'un changement à trois voies, on peut encore appliquer l'appareil à deux aiguilles mobiles en supprimant les contre-rails.

L'appareil se composera alors de deux changements à deux aiguilles inégalement disposés, l'un pour un changement à droite, et l'autre pour un changement à gauche. Les figures (113, 114 & 115) représentent les dispositions qu'on donne aux aiguilles, pour passer de la voie droite sur une quelconque des trois voies qui lui font suite.

Si on se reporte à la figure 113 qui correspond à la circulation sur la voie droite, on voit qu'en face la pointe des petites aiguilles, la voie est faussée des deux côtés, et il en résulte un excédant de largeur. Ordinairement, pour n'avoir pas un élargissement trop considérable, qui permettrait aux roues de tomber, on sera conduit à altérer les voies de déviation. Les conditions de construction sont d'ailleurs semblables à celles du changement à deux voies.

Dans les croquis précédents les grandes aiguilles sont à l'intérieur, si l'on y mettait les petites aiguilles, les trains déviés rencontreraient successivement deux enclaves, et il y aurait un danger d'autant plus grand que la déviation serait donnée par les aiguilles formant ces enclaves.

Lorsqu'on a au même point un grand nombre de changements, on peut employer l'appareil précédent, en disposant à la suite les uns des autres plusieurs changements à trois voies. Mais la construction devient alors compliquée, et il vaut mieux revenir à l'appareil à rails mobiles.

Croisements de voies. — Tous ces croisements sont construits dans le même système. Les rails intérieurs sont infléchis avant d'arriver à la pointe, et ils laissent une ornière suffisante pour le passage du boudin des roues; la partie infléchie se prolonge de manière à former contre-rail, et remplit deux fonctions

différentes suivant le sens dans lequel marchent les convois ; la première est de soutenir les roues qui pourraient tomber dans les intervalles AN et AN' (fig. 116), et la seconde est de protéger les pointes N et N' . Deux contre-rails C et C' protègent la pointe A , ils doivent présenter une ornière plus petite que $a + b$.

Étant donnés les appareils de changement et de croisement, il faut les agencer de manière à déterminer tous les éléments de la pose, on peut alors avoir à résoudre divers problèmes, ils se ramènent tous à des constructions très simples dont voici un exemple.

Supposons qu'on ait en A un changement de voie dont l'angle de déviation est I , l'angle du croisement est Y , on demande à quel point il faudra placer cet appareil pour que la courbure de raccordement soit minimum (fig. 117)?

Supposons le croisement placé en B ; la courbure de raccordement sera déterminée par la plus petite des deux lignes AC ou BC ; elle sera minimum lorsque cette ligne sera maximum, c'est-à-dire quand on aura $AC = BC$; l'angle BAC sera alors égal à $\frac{1}{2}(y - i)$ et on trouvera le point B en construisant cet angle.

Si on se donnait la courbure de raccordement et le point B on pourrait tracer le cercle tangent en B et on lui mènerait ensuite une tangente faisant avec BC l'angle $(y - i)$.

Des constructions semblables s'appliquent aux changements à trois voies.

Le changement proprement dit, c'est à dire les aiguilles et les rails correspondants (fig. 118), sont fixés sur un même châssis formé de traverses boulonnées sur des longrines. Les croisements sont établis dans les mêmes conditions (fig. 119). On place les longrines par dessous, afin de mieux supporter les traverses; mais on abaisse par là le plan de pose, et il devient nécessaire d'augmenter la couche de ballast, afin de conserver à la voie la même résistance. Cette précaution est d'autant plus nécessaire, que ces parties de la voie sont les plus fatiguées.

La pose d'un changement de voie complet se fait de diverses manières. Une fois les appareils placés aux endroits qu'ils doivent occuper, on pourra poser chaque voie qui les réunit, comme si elle était seule, en alternant les traverses; on sera conduit alors à introduire dans la pose, des rails qui n'auront pas la longueur normale, afin que les joints ne soient pas en concordance. Ce système rend le bourrage très difficile à cause du peu d'écartement des traverses successives. On pourra aussi employer les mêmes traverses pour les deux voies, mais cette disposition demande des bois spéciaux, et en cas d'accident, on peut être pris au dépourvu; toutefois, on aurait alors la ressource du premier système.

Appareils de manœuvre destinés à changer la position des rails, contre-rails et aiguilles mobiles. — Ces appareils sont de deux sortes.

Les uns ne peuvent donner qu'un déplacement limité, comme les bielles, les excentriques; les autres, au contraire, ont un jeu illimité; ce sont ordinairement des leviers mus par un contre-poids.

Les premiers sont employés pour les changements à rails mobiles, où rien dans l'appareil ne détermine la position extrême des parties mobiles; les seconds servent pour les changements à contre-rails ou à aiguilles mobiles, où les positions extrêmes sont parfaitement déterminées.

Dans les chemins de fer belges, on emploie l'appareil représenté par la figure 120; l'aiguille est obligé d'appuyer sur le levier pendant le passage du convoi, ce qui demande, de sa part une attention soutenue et exclut toute distraction.

En France, l'appareil employé est représenté par la figure 121; au dessous du centre de rotation du levier, se trouve un noëud de compas articulé à la tige qui donne le mouvement aux aiguilles; à la partie

moyenne du levier, au dessus du point de rotation, est un manchon auquel se rattache une tige terminée par un contre-poids; ce manchon peut tourner autour du levier, et, suivant la position qu'on lui donne, le contre-poids agit pour incliner le levier dans un sens ou dans l'autre par rapport à la verticale; il suffit donc, pour la manoeuvre, de tourner le contre-poids de 180° . On dispose l'appareil de manière que le levier dans ses deux positions extrêmes, soit également incliné sur la verticale, et on assure par là une position stable au contre-poids dans l'un et dans l'autre cas.

D'autres fois, on fixe le contre-poids, par exemple, si l'on a une voie qui ne serve qu'accidentellement, à côté d'une voie de circulation, on fixera le contre-poids de manière à laisser ouverte la voie de circulation, (fig. 122), quand on veut ouvrir l'autre voie, l'aiguilleur soulève le contre-poids, et le tient ainsi, aussi longtemps que l'exige la manoeuvre à faire.

Ce système doit être employé, surtout quand un changement de voie donne accès à une voie de garage et à une voie de circulation, la voie de garage est toujours fermée, à moins que l'aiguilleur ne soulève le contre-poids. On évite par les collisions auxquelles on serait exposé, avec un contre-poids libre.

Le seul inconvénient de ce système résulte, de ce que le bras de l'aiguilleur peut, pendant la manoeuvre, céder à l'action du contre-poids et fermer la voie de garage avant que le train y soit complètement engagé. Alors le train serait, en partie, sur une voie et en partie sur l'autre, et il en résulterait un dérangement par déchirement, mais cet accident est moins grave et surtout moins probable que ceux qui pourraient être la conséquence de l'emploi d'un contre-poids libre.

Détails de construction des appareils de croisement et de changement de voies. — Les appareils à rails mobiles et à rails fixes sont maintenant peu usités, leur construction est du reste fort simple, et n'exige que quelques coussinets doubles analogues à ceux des autres appareils dont il sera question plus loin. Les pièces mobiles de ces appareils doivent présenter une stabilité et une résistance suffisantes, et portent généralement des glissières métalliques de manière à diminuer les frottements.

Considérons un changement à aiguilles mobiles (fig. 123) et faisons une section **AB** vers l'extrémité de l'aiguille; on n'adoptera pas pour ces aiguilles une section rectangulaire (fig. 124) d'abord à cause du peu de stabilité que cette forme donnerait, et, ensuite, en raison de la résistance nécessaire.

L'aiguille étant faite avec un rail ordinaire, on évitera les inconvénients signalés plus haut, tout en réduisant le travail du rabotage, en conservant la plus grande partie du champignon à la partie inférieure, et en ayant soin de rogner un peu le champignon du rail contigu (fig. 125)

Si l'aiguille est conformée à son extrémité, de manière à disparaître sous le rail contigu (fig. 125 bis et 125 ter) (Système Wild) alors la partie supérieure apparente de l'aiguille se termine par une pointe mathématique; dans le cas contraire, on fait une enclave dans le rail pour y loger l'extrémité de l'aiguille (fig. 123). Cette enclave est obtenue en infléchissant le rail à chaud, ou bien par le rabotage.

Supports des aiguilles (cas d'une aiguille mobile.) — Le rail continu est enclavé dans un coussinet à une seule joue, et fixé à cette joue au moyen d'un boulon placé au milieu de la hauteur du rail, entre les champignons; l'écrou est placé en dehors et la tête du boulon en dedans (fig. 126).

Si l'on considère une section au delà de l'enclave (fig. 127) dans la partie où l'aiguille ne s'appuie pas contre le rail, on voit que la tête du boulon voisin est prolongée d'une quantité suffisante pour que l'aiguille vienne s'y appuyer lors que son extrémité est dans l'enclave.

On soutient ainsi l'aiguille sur toute sa longueur. Il faut aussi soutenir l'aiguille dans l'autre

seus, car elle doit servir de contre-rail; pour cela, on donne au coussinet une deuxième joue contre laquelle l'aiguille vient butter. Cette joue a en plan, la forme d'une pointe, afin que les cailloux qui pourraient se trouver accidentellement entre l'aiguille et le coussinet, soient chassés par l'aiguille et n'empêchent pas le contact d'avoir lieu. Entre les deux joues il y a une semelle à surface unie pour permettre le glissement de l'aiguille.

Coussinets à glissières continues. — Dans le cas de deux aiguilles mobiles, il n'est plus nécessaire de soutenir l'aiguille à l'intérieur; on supprime alors la joue dont il vient d'être parlé et on a des coussinets à une seule joue et à glissière continue.

Coussinets de pointe. — Les coussinets de pointe ont une joue comme dans les précédents, s'il se trouve un joint du rail près de l'enclave de l'aiguille, on donne alors plus de largeur à la semelle du coussinet, et on met, de plus, sur cette semelle, du côté opposé à la pointe, deux joues correspondant au joint du rail, de manière à former un coussinet ordinaire, l'autre partie du coussinet, du côté de la pointe de l'aiguille, n'a qu'une joue, et la semelle forme glissière (fig. 128).

Coussinets de talon. — Le coussinet de talon est un coussinet également à une seule joue, l'aiguille est fixée intérieurement au coussinet, au moyen d'une éclisse et d'un boulon dont l'écrou n'est pas complètement serré (fig. 129); un autre boulon fixe la même éclisse au rail qui fait suite à l'aiguille, et à la joue du coussinet. L'éclisse est un peu évasée du côté de l'aiguille ainsi que la joue du coussinet, afin de permettre le mouvement de rotation de l'aiguille.

En résumé, il faut trois systèmes de coussinets pour ce changement de voie:

- 1° Coussinet de pointe;
- 2° id de talon;
- 3° Coussinets intermédiaires.

Tiges de connexion. — Il faut une jonction entre les deux aiguilles d'un changement de voie, ainsi qu'entre ces aiguilles et les appareils de manoeuvre; on emploie pour cela des tiges en fer. Dans le cas de deux aiguilles mobiles, les tiges de connexion doivent faire des angles variables avec les aiguilles; pour cela, ces tiges sont formées d'une tige ordinaire terminée à chaque extrémité par un nœud de Compas à axe vertical, qui la relie avec des pièces annexes en forme de T, fixées aux aiguilles; à l'origine; ces pièces étaient fixées au moyen d'une vis; cette disposition avait l'inconvénient de permettre à cette pièce de tourner (fig. 130); l'axe du nœud de compas ne reste plus vertical, et le mouvement de la tige, qui se fait dans un plan horizontal, n'est plus possible; il peut y avoir rupture de la tige. On fixe maintenant cette pièce avec deux boulons.

La tige de manoeuvre peut être fixée directement à l'aiguille au moyen d'un T semblable à celui dont il vient d'être question; ou bien encore, au moyen d'un écrou, l'extrémité de la tige étant taraudée.

Cette tige doit passer de l'autre côté de l'un ou de l'autre des deux rails, pour aller gagner le levier de manoeuvre; si c'est le rail voisin de l'aiguille, on peut le percer pour donner passage à la tige; mais on affaiblit le rail en ce point; on préfère alors infléchir la tige et la faire passer en dessous. Cette inflexion devient insensible si la tige traverse le rail le plus éloigné de l'aiguille.

On évite de placer les leviers de manoeuvre sur les entrevoies; on y manque généralement de place; et dans les gares à grande circulation, il peut y avoir danger; aussi cherche-t-on à les mettre en dehors du système de pose.

On peut pour simplifier les manoeuvres, placer en un même point plusieurs leviers; il faut

seulement avoir la précaution de les placer dans le même ordre que les appareils de changement afin qu'il n'y ait pas confusion.

Croisements de rails. — Un croisement de rails se compose de plusieurs pièces. Il y a d'abord une pointe fixe placée à l'extrémité de deux rails infléchis. Les rails infléchis se font très facilement à chaud, au moyen d'une matrice; la pointe peut être faite de plusieurs manières; si on la fait en fer forgé (fig. 131), sa construction sera facile; mais il faudra avoir la précaution de la faire reposer sur le bois du châssis par l'intermédiaire d'une plaque de tôle qui empêche la pointe de s'enfoncer dans le bois. Cette pointe est maintenue en place au moyen d'une saillie ou ergot placé à son extrémité et pénétrant dans le bois ou traversant la tôle; l'autre extrémité, la plus large, est fixée à l'aide d'un boulon à tête fraisée, l'écrou étant placé sous la pièce de bois. Cette disposition a quelques inconvénients: comme on ne peut donner à cette pièce forgée autant de hauteur qu'aux rails, cela ferait une pièce trop massive et par suite coûteuse et difficile à exécuter; on est obligé de placer au dessous un système de charpente qui se détériore très promptement sous l'action des chocs et des branchements nombreux qui ont lieu en ce point. C'est pour éviter ces inconvénients, qu'on a cherché à faire la pointe avec un rail ordinaire. Pour cela, on prend un rail qu'on infléchit ou qu'on rabotte à l'intérieur et à l'extérieur de manière à former la moitié de la pointe; deux de ces rails construits d'une manière symétrique et assemblés au moyen de boulons, forment une pointe. Le joint des deux rails ne va pas jusqu'à l'extrémité de la pointe; car cette extrémité étant formée de deux pièces très faibles, ne serait plus assez résistante. Le joint s'arrête en F (fig. 132). Le deuxième rail se termine en FF', et toute la pointe jusqu'en FF' appartient au premier rail. On voit que le rail (1) a un point faible en F; on a la précaution d'y placer un coussinet; ou mieux, on évite l'inconvénient de ce point faible en reportant le joint FF' en DD' ou le rabottage extérieur du rail (1) se termine, et on, par conséquent, ce rail a beaucoup plus de résistance. On est alors obligé de sonder une pièce de fer à l'extrémité du rail (1) parce que ce rail n'est pas assez large pour donner le joint DD', le rail (2) est terminé suivant CDD'.

Lorsque l'angle de la pointe est très ouvert, on peut disposer l'appareil de la manière suivante: on prépare deux rails infléchis convenablement, on enlève le champignon à l'intérieur de la partie infléchie, et on rabotte l'extérieur pour former la pointe; on a soin de ne rabotter l'extérieur que sur une profondeur nécessaire pour le passage des boudins des roues. On évite également de prolonger le joint jusqu'à l'extrémité de la pointe, en formant cette extrémité au moyen d'une pièce en fer soudée aux rails; on recouvre aussi l'extrémité avec une mise d'acier qu'on place pendant le soudage et qui empêche la prompte usure de la pointe.

On a soin aussi de placer une mise d'acier sur le contre-rail, dans la partie A où il a à supporter l'extrémité de la jante de la roue allant dans le sens de la flèche; et, en effet, le bandage de la roue est toujours concave; par suite de l'usure il se forme en B un petit bourrelet qui use rapidement le contre-rail et la pointe (fig. 133).

Les rails de la pointe et les contre-rails sont assemblés à coin dans un même coussinet; on place un coin entre les deux rails de la pointe lorsque l'intervalle qui les sépare est devenu suffisant; dans le cas contraire, on place, en dehors des rails, deux clavettes qui pressent ces derniers l'un contre l'autre.

Pour les contre-rails les joues du coussinet sont disposées comme dans un passage à niveau (fig. 134).

Appareil employé à Conièrres pour l'embranchement du chemin de Versailles sur celui de St-Germain. — Dans la partie commune aux deux chemins, on n'a pu profiter que de la voie de départ du chemin de St-Germain, pour s'en servir pour la voie de départ de Versailles, parce que; les

trains allant dans le même sens et partant de la même gare, il n'y avait pas à craindre une rencontre, en espaçant convenablement les trains, mais il fallut établir une voie d'arrivée différente de celle de St-Germain, afin d'éviter les accidents. D'après le tracé des deux chemins, on a été conduit à placer le changement de voie en un point où le chemin de St-Germain est établi suivant une courbe de 2,000^m de rayon, qu'on avait intérêt à conserver. L'embranchement est établi sur une courbe de 800^m de rayon, l'angle de déviation étant très faible, on n'a pu appliquer les changements de voies à aiguilles.

M^r Clapeyron, a adopté le système à rails mobiles convenablement modifié. Ainsi, il a terminé les rails fixes par une pointe de 0^m.035 de largeur seulement ce qui diminue déjà la déviation, puis il a réduit l'ornièrre à son minimum (0^m.04) au moyen d'un contre-rail mobile avec les rails. Ces deux modifications réduisaient la déviation totale à 0^m.075. D'après l'angle de déviation qu'on voulait adopter (0^m.008 par mètre) la déviation totale de 0^m.075 conduisait à adopter des rails mobiles d'un peu plus de 9^m de longueur (fig. 135); cette longueur, bien qu'un peu grande, est cependant admissible.

Ce changement à rails mobiles ne présente pas les dangers qui résultent de l'emploi de ce système parce qu'ici, ce changement est toujours parcouru dans le même sens.

Le mouvement des rails est obtenu au moyen d'excentriques correspondant à des tiges de traction.

Le croisement de voies est aussi à rails mobiles, le mouvement de ces rails (fig. 135 bis) est coordonné au mouvement des rails du changement de voie; le même arbre sert à les manoeuvrer.

S. H. Traversée de voie à angle droit.

D'après le croquis (fig. 136) on voit que pour que le boudin des roues puisse passer, il faut que les rails soient interrompus dans l'intérieur des voies, et que les interruptions aient partout la largeur de l'ornièrre maximum. Mais cette disposition qui est la plus simple de toutes, n'est tout au plus admissible que dans certaines voies de garage, où ne passent jamais de trains à grande vitesse; car elle déterminerait nécessairement un choc à l'interruption des rails. Généralement, de deux voies qui se croisent, l'une est destinée au passage des trains à grande vitesse; l'autre, n'est qu'une voie de service; en ce cas, la dernière est toujours sacrifiée à la première, et sur celle-là seulement, on laisse des solutions de continuité. Soit (fig. 137) un croisement à angle droit et (fig. 138) une coupe transversale à la voie à grande vitesse; soit A' le rail de cette voie; on donnera au rail de la voie de service un surhaussement au moins égal à la saillie du boudin sur sa jante. En B' est un contre-rail qui réduit l'ornièrre à l'épaisseur du boudin augmentée du demi jeu de la voie. Le rail surhaussé HH' s'arrêtera d'un côté à l'aplomb du contre-rail; de l'autre, à une distance telle que la jante de la roue, dans sa position extrême, ne puisse jamais venir le choquer. Dans ces conditions, rien ne gênera le service de la voie principale, quand à l'autre; lorsque la roue cessera d'être portée par le rail H, son boudin viendra s'appuyer sur le rail A', et en H' elle de nouveau guidée par le rail de la voie de service. L'inconvénient de ce système, c'est que le boudin de la roue se fatigue très vite; mais on ne fait d'ordinaire passer sur de pareilles voies que des Wagons déchargés.

Lorsque les deux voies ont une égale importance, ce sont toujours des voies de service, on se borne à établir les deux voies de niveau, mais avec des contre-rails disposés comme l'indique la fig. 139 et qui ont pour but de guider les roues et de réduire à leur minimum la largeur des ornièrres.

Lorsque la traversée de voie est faite sous une inclinaison notable, mais différente de l'angle droit,

le système est un peu différent, et l'on ne met de contre-rails intérieurs qu'aux angles obtus en $DF - DF'$ (fig. 140); les contre-rails sont plus hauts que les rails ordinaires; cette disposition a pour but de leur permettre de guider plus longtemps les roues.

En reste, si la traversée de voie se fait sous un angle très aigu, les pointes des rails interrompus sont assez longues pour former contre-rail du côté de l'angle obtus.

On s'est quelquefois préoccupé des dangers de ces solutions de continuité, et on a cherché à éviter ces inconvénients à l'aide de pièces mobiles. Les rails intérieurs sont mobiles en AA' et BB' autour des charnières verticales et reliés par des tiges articulées réunies entre elles en H et H' par un levier HH' . Si on fait mouvoir ce levier, les rails A et A' , par exemple, viendront ainsi que ceux B et B' se placer parallèlement à MN (fig. 141) et, par suite, donneront passage libre en C et en D ; un mouvement inverse donnerait passage sur l'autre voie.

Cet appareil est fort ingénieux; mais il peut y avoir de fausses manœuvres, ainsi l'appareil étant disposé pour une voie; un train peut arriver par l'autre, et alors le déraillement est inévitable, car les roues ne rencontreront que des obstacles.

Chapitre 2.

Plaques tournantes.

Dans les gares, où l'on est souvent obligé de faire passer des wagons d'une voie sur une autre, et de manœuvrer ces wagons les uns après les autres, le système le plus commode est celui des plaques tournantes.

Il faut deux plaques pour passer d'une voie sur une autre parallèle, et une seule pour retourner les véhicules non symétriques.

Si l'on fait la coupe de l'ensemble d'une plaque (fig. 142 & 142^{bis}) on trouvera un plateau supérieur ou partie mobile, un pivot servant de guide à cette partie mobile, une plaque de fondation sur laquelle roulent des galets et enfin une cuve pour maintenir le ballast. Lorsqu'on veut tourner les véhicules, bout pour bout, une seule voie suffit sur les plaques; mais lorsqu'il s'agit de faire passer des voitures d'une voie sur une autre rectangulaire, les manœuvres sont abrégées de moitié en faisant sur la plaque deux voies perpendiculaires. Je suppose, par exemple, que l'on ait à faire passer plusieurs voitures de la voie A sur la voie B ; on mettra la plaque dans la position (fig. 143), on fera avancer la voiture sur la plaque, puis on fera tourner celle-ci de 90° pour la mettre dans la position de la fig. 144, et l'on pourra alors pousser la voiture sur la voie B . S'il n'y a qu'une seule voie sur la plaque, on sera obligé de la faire tourner de 90° pour qu'elle puisse recevoir un nouveau wagon de la voie A ; mais s'il y a deux voies, elle se trouvera disposée dans la position (fig. 144) à recevoir ce nouveau wagon. Les manœuvres sont donc réduites de moitié.

Cependant dans les plaques qu'on met à la tête des gares, et sur les quelles on passe assez rapidement, on préfère, pour éviter les chocs, ne mettre qu'une seule voie; ou, si l'on en met deux, on s'arrange pour que l'une des deux soit continue, l'autre alors doit être surhaussée. Mais comme les voies qui sont aux abords de la plaque sont ordinairement au même niveau, on est obligé de disposer les rails surhaussés en plans

inclinés de manière à faire disparaître le surhaussement à la circonférence de la plaque. Il faut, bien entendu, que la voie continue qui est de niveau, corresponde avec la voie de grande circulation; Et l'on devra toujours avoir soin, après des manoeuvres de wagons, de ramener la plaque dans cette dernière position.

Il peut arriver que les plaques tournantes soient trop larges, pour être placées dans des voies parallèles sur une même ligne perpendiculaire à ces voies, alors on les fait à 3 voies et on les dispose comme la fig. 145 le représente; mais la complication de ces plaques est très grande et la circulation y présente quelques dangers.

Le diamètre des plaques dépend du service qu'on veut leur faire faire, il varie avec l'écartement des essieux extrêmes des véhicules que l'on veut faire tourner sur ces plaques. Ainsi, il faut que le diamètre d'une plaque soit tel que la corde inscrite à une distance du centre égale à une demi-largeur de la voie, soit assez longue pour recevoir les roues extrêmes; en outre, il faut tenir compte de l'influence du boudin des roues, si par exemple, la plaque tournante s'arrêtait en *AB* (fig. 146) on voit que le wagon pourrait s'y placer; mais la rotation serait impossible, il faut donc, à la longueur comprise entre les 2 points de contact des roues, ajouter deux fois la $\frac{1}{2}$ corde *Aa*, plus deux fois une longueur *ab*, qui varie de 0,10 à 0,15, et qui donne une certaine latitude pour la position du véhicule sur la plaque.

Les plaques destinées à tourner des wagons à marchandises, dont les écartements varient de 2.50 à 2.65, ont 3.40 de diamètre; on peut y faire passer certaines machines de gare dont les essieux sont écartés de 2.60 seulement. Les voitures à voyageurs ont des écartements de roues plus considérables; ils varient de 3^m.25 à 3^m.66, et il convient, pour ce service, d'avoir des plaques de 4^m.20. Enfin les locomotives à grande vitesse, avec des essieux écartés de 4^m.82 à 4^m.86, exigent des plaques de 6^m.00 de diamètre.

Dans beaucoup de chemins on tend maintenant à tourner les locomotives avec leurs tenders; comme l'ensemble d'une locomotive avec son tender a une longueur de 8^m.75 à 10^m.00, il faut, pour ce service des plaques de 12^m.00; alors les plaques de 6^m.00 ne servent plus que pour remplacer les plaques de 12^m.00 lorsqu'elles sont avariées, ou pour ne pas trop augmenter l'entrevoie dans les gares.

Supports de la plaque. — La plaque repose, au centre, sur un pivot, et, à la circonférence, sur des galets. Les galets peuvent être fixés, ou sur la plaque de fondation, ou sur le plateau supérieur, ou, enfin, rester indépendants de l'un et de l'autre. Dans ce dernier cas, les galets sont maintenus à égale distance du centre à l'aide de tringles et à égale distance entre eux à l'aide d'un cercle en fer qui les réunit tous. Le premier et le second système donnent des frottements de glissement assez considérables des axes des galets avec leurs paliers; dans le troisième qui est bien préférable les frottements de glissement sont remplacés par des frottements de roulement; mais cette dernière disposition ne peut être appliquée qu'aux petites plaques; il serait trop coûteux pour les grandes; dans ces dernières les galets sont généralement fixés sur le plateau supérieur. Dans tous les cas, ils doivent être placés, pour cause de stabilité, autant que possible à la circonférence de la plaque.

Construction des Plaques tournantes. — Le système de construction des plaques tournantes, varie avec leurs dimensions et l'usage auquel on les destine. Dans les conditions actuelles d'exploitation, les plaques, comme nous l'avons vu précédemment, sont de deux espèces: 1^o — Plaques pour le service des voitures 3^m.40 et 4^m.20 de diamètre. 2^o — Plaques pour le service des locomotives 6^m.00 et 12^m.00 de diamètre.

Construction des plaques pour voitures. — Ces plaques jusqu'à ces derniers temps, se faisaient toutes en fonte, mais les épreuves auxquelles elles étaient soumises sur les voies principales où passent des trains à grande vitesse, et, par suite, les dangers qui pouvaient résulter de leur rupture, ont conduit, dans ce cas, à les remplacer par des plaques en tôle et fers du commerce. Quant aux plaques devant être posées sur les voies secondaires, on continue à les faire en fonte, en s'arrangeant toutefois, par des dispositions convenables et une bonne répartition de matière, à ne faire travailler la fonte qu'à $1^{\text{re}} \frac{1}{2}$ ou 2^{e} au plus.

S. 1^{er} Plaques en fonte.

Ces plaques se composent de 4 parties distinctes :

1^o Le plateau supérieur, ou partie mobile autour d'un axe vertical, portant, à sa partie inférieure, un cercle de roulement pour les galets.

2^o La plaque de fondation portant le cercle de roulement inférieur des galets.

3^o Les galets interposés entre les 2 couronnes de roulement.

4^o La Cuve destinée à entourer tout le système et à le garantir du ballast.

1^o Plateau supérieur. Avant d'arriver à la constitution actuelle des plateaux, on a fait l'essai de plusieurs systèmes de construction :

Ainsi dans les Chemins belges, les premiers plateaux ont été formés en reliant le moyen central en fonte, disposé pour recevoir le pivot et le cercle de roulement, au moyen d'un certain nombre de rayons également en fonte. Le tout était recouvert d'un plancher continu en bois, sur lequel on plaçait les voies. Ce système paraît au premier abord, présenter quelque avantage en ce sens que la divergence en tous sens des bras du plateau, (fig. 1147) permet de placer des voies sur la plaque en toute direction. Mais on a reconnu bien vite les inconvénients de ce système ; on voit en effet, que le plancher de recouvrement ne peut être considéré comme établissant une solidarité complète entre les divers rayons qui supportent un rail ; par suite, au passage d'un train, un rayon peut, dans un moment donné, avoir à supporter seul la charge d'une roue, ce qui crée, pour ces rayons, des chances de rupture inadmissibles.

Aussi dans les plaques actuelles, le remplissage reliant le moyen au cercle de roulement, a été mieux disposé en vue de la charge à supporter (fig. 1148). Du moyen central partent quatre rayons, formant les diagonales d'un carré, dont les côtés sont représentés par quatre poutres reliées à ces bras aux sommets du carré, et placées dans la direction des rails.

La poutre supporte alors le rail dans toute son étendue sur le plateau, que l'on peut, si l'on veut, se dispenser de recouvrir d'un plancher, On peut même alors, se servir de ces poutres comme rails. Ceci, néanmoins, comme nous le dirons plus tard, offre quelques inconvénients. Dans ce système tout le plateau est fondu d'une seule pièce.

Quelquefois, dans le but d'augmenter les points d'appui de ces poutres, on a mis deux nouveaux diamètres dirigés suivant les bissectrices des angles des deux précédentes ; cette disposition avait surtout été essayée pour les plaques de 4^m 20, mais on a reconnu que ce n'était là qu'une complication inutile. Aussi cette modification a-t-elle été fort peu mise en pratique.

Voilà l'ensemble du plateau supérieur. Décrivons en les détails, et, d'abord, ce qui est relatif au pivot. Dans les plaques pour voitures, le pivot fait généralement partie du système des fondations.

Il y est fixé invariablement, puis pénètre, par sa partie supérieure, dans une crapandine en fer, laquelle est (fig. 149) à l'extérieur, en contact parfait avec le moyeu de la plaque auquel elle est fixée. Afin que le contact entre le pivot et la crapandine ait lieu par l'intermédiaire de surfaces dures et moins susceptibles des usures, la crapandine porte, dans sa partie inférieure un grain en acier, et le pivot est lui-même aciéré à sa partie supérieure; il est en outre conformé de manière à donner, sur une certaine étendue, entre lui et la crapandine, un contact parfait, afin d'empêcher tout mouvement transversal de la plaque. Ce contact doit avoir lieu sur une faible étendue afin de diminuer le frottement. Comme l'indique la figure, la surface de contact est réduite à un cercle.

Dans certains systèmes de plaques, dans les plaques anciennes surtout, le pivot et la crapandine ont une disposition relative inverse de celle que nous venons de décrire. La crapandine est fixée dans le système de fondation et le pivot fait corps avec la plaque et tourne avec elle, mais cette disposition offre plusieurs inconvénients (fig. 150), la plaque, en effet, présente une mobilité beaucoup plus grande autour de sa position horizontale normale, et par suite des chances de déversement plus multipliées; en outre, ces déversements acquièrent plus d'importance. De plus, cette position de la crapandine permet l'introduction de matières étrangères qui viennent s'interposer entre le pivot et le grain, abîment les surfaces de contact et rendent les frottements plus grands.

Le réglage de la plaque qui est indispensable pour combattre l'usure du pivot, des galets, et des couronnes de roulement, et la maintenir toujours dans sa position normale, c'est-à-dire de niveau avec les voies qu'elle dessert, se fait de la manière suivante:

Nous avons déjà dit que la surface extérieure de la crapandine était en contact parfait avec le moyeu, et qu'elle y était reliée; cette réunion se fait à l'aide de boulons, traversant l'épaisseur du moyeu et la plate-forme par laquelle la crapandine est terminée à sa partie supérieure.

Les têtes de ces boulons de suspension, se trouvent, à la partie inférieure, encastrées dans des chambres pratiquées dans la face inférieure du moyeu (fig. 149) leurs écrous reposent sur la plate-forme de la crapandine. Dès lors, on voit comment en serrant ou desserrant les écrous de ces boulons, on peut faire monter ou descendre la plaque par rapport au pivot. Le serrage des boulons, le plus favorable à la manœuvre et aux conditions de solidité de la plaque, est celui pour lequel la plaque repose sur le pivot et est en simple contact avec les galets. Généralement, les ouvriers pour diminuer le frottement, et, par suite, l'effort à exercer pour la manœuvre, serrent les écrous de manière à décharger complètement les galets, et à faire porter la plaque uniquement sur le pivot; on obtient ainsi le frottement minimum, mais on augmente considérablement les chances de fracture de la plaque qui, n'étant soutenue que par son centre exécute des oscillations autour de ce point. Cette tendance des ouvriers doit donc être combattue.

Il faut du reste éviter avec autant de soin l'excès contraire, consistant à décharger complètement le pivot et à faire reposer la plaque sur les galets seulement; car cette décharge double la distance des points de soutien que trouve la plaque, et, par suite, en favorise la rupture. Du reste, cette position de la plaque, nécessitant un plus grand effort pour la manœuvre, les ouvriers, en général, l'évitent eux-mêmes.

La solidarité du moyeu avec la crapandine, n'est pas seulement assurée par les 4 boulons de suspension; ces deux pièces sont en outre alésées de façon à s'emboîter à frottement. Seulement,

pour diminuer l'alésage, et aussi, pour réduire la masse de fonte à employer; le contact entre la crapaudine et le moyeu, n'a lieu que par deux couronnes. Les boulons de suspension traversent le moyeu dans la partie évidée, ce qui simplifie l'alésage de la chambre de ces boulons.

Pour faciliter la manœuvre de la plaque, il est important que les surfaces de frottement du pivot sur le grain d'acier, soient toujours bien lubrifiées. A cet effet la crapaudine est surmontée d'un petit godet que l'on remplit d'huile, une mèche part de ce godet et tombe sur le pivot par un trou pratiqué dans la crapaudine. Une petite cloche en fonte recouvre toute la crapaudine et préserve ainsi de la poussière toutes les surfaces de frottement (fig. 151).

Il nous reste, pour terminer ce qui est relatif au plateau supérieur, à parler de la surface de roulement qui porte sur les galets. Cette partie du plateau doit satisfaire à deux conditions: 1° présenter une résistance suffisante; 2° Avoir à sa partie inférieure une largeur telle, qu'elle porte toujours sur les galets, en tenant compte des petites variations de position que peuvent prendre ces derniers. Pour satisfaire à ces conditions, on donne à cette partie une section ayant à peu près la forme d'un double T; la surface de roulement doit avoir une inclinaison allant de la circonférence au centre. Cette disposition est motivée par la conicité des galets. En effet, pour remplacer autant que possible le frottement de glissement par un frottement de roulement, ces galets sont terminés extérieurement suivant la surface d'un cône, dont les génératrices convergent vers le centre du pivot. Les différents points de ce cercle de roulement sont reliés entre-eux et avec le moyeu, par des bras en fonte, et, pour que l'on puisse donner à ces bras la forme se rapprochant le plus de celle du solide d'égale résistance, ce qui correspond au meilleur emploi de la fonte, la partie inférieure de ce cercle de roulement est à un niveau plus élevé que la partie inférieure du moyeu.

Ces bras du plateau supérieur ont eu, depuis l'origine des plaques, des sections très variables. Dans les premières plaques, on a eu des bras dont la partie supérieure venue de fonte avec le reste, formait surface de roulement pour les roues des véhicules; au-dessous de cette partie la section se prolongeait en forme de T (fig. 152). Ce système a présenté cet inconvénient: que la surface supérieure, servant au roulement, s'est usée très rapidement, et que, cette surface usée, la pièce a été mise hors de service. Aussi n'a-t-on pas tardé à sentir la nécessité de remplacer cette surface de roulement, faisant corps avec le bras, par une surface rapportée (fig. 153). Cette partie rapportée est en fer, elle est reliée au corps du bras par des boulons.

Coutefois, même avec ces perfectionnements, ce mode de construction des bras est à peu près abandonnée; et en effet, la section qui y est adoptée ne présente pas la forme la plus convenable pour la plus grande résistance possible; la fonte y est trop accumulée vers le haut. Aussi a-t-on adopté aujourd'hui, pour le corps des bras, la forme type des pièces qui doivent résister à la flexion, c'est-à-dire la forme en double T. La surface de roulement est formée par un rail Brunel plein; et pour amortir l'effet des chocs, on sépare ce rail, de la partie supérieure du bras en fonte, au moyen d'une longrine en bois. Le rail est fixé sur le bras à l'aide de boulons (fig. 154).

2° — Plaque de fondation ou croisillon inférieur. — Le croisillon inférieur repose sur un massif de fondation, cette fondation a d'abord été faite en béton, mais la trépidation produite dans le massif par le passage des trains, déagrége les matériaux, et la plaque se trouve mal soutenue. Les réparations à faire dans un massif de ce genre arrêtent nécessairement pendant quelque temps la circulation sur la plaque. Aujourd'hui on établit tout le système sur une couche de ballast, que l'on tasse à la dame. Dans ces conditions, l'entretien, les réparations deviennent faciles, rapides et n'entravent plus la circulation. S'il se fait alors quelque affaissement

on relève le système comme on relève une traverse, en venant bouter du ballast à l'endroit défectueux.

Au dessus de cette fondation on trouve le pivot que nous avons déjà décrit et le chemin des galets. Dans les premières plaques construites, ces deux parties étaient indépendantes, le pivot reposait sur un système en fonte, reposant lui-même, soit sur un massif en maçonnerie, soit sur un chassis en charpente, encastré dans le massif de fondation. Le chemin des galets était supporté de même sans avoir aucune liaison avec le pivot. Ce système avait un grave inconvénient; par suite de terrassements inégaux, les positions relatives de la couronne et de la partie central variaient, et le plateau mobile ne reposait plus régulièrement sur le pivot et les galets. Pour obvier à cela, on a rendu solidaires la couronne de roulement et la partie centrale, en les reliant à l'aide de bras venus de fonte avec eux. Ces bras ont une section en forme de T (fig. 154^{bis}) la position horizontale du T étant en bas et reposant sur la fondation de manière à donner à tout le système une assiette convenable. Ces bras sont dirigés suivant les rayons du Cercle dont le pivot occupe le centre, afin de répartir la pression sur la fondation, le plus uniformément possible.

3°.- Galets. — Dans le principe, on faisait les galets en forme d'anneaux circulaires (fig. 155). De la sorte les galets ne portaient que par un point; si cet état de chose avait pu durer toujours le frottement eût été réduit au minimum; mais ces galets, très peu stables d'ailleurs, creusaient bientôt leurs sillons dans les couronnes de roulement, en sorte que bientôt la surface frottante était devenue si considérable que l'on était forcé de mettre la plaque au rebut. On a remplacé ces galets circulaires et arrondis par des galets coniques. Ces galets peuvent être placés de façon diverses; ainsi leur axe peut être horizontal, et alors leurs surfaces de contact, haut et bas, sont également inclinées sur l'horizontale; ou bien encore, l'axe peut être une ligne inclinée telle, que la surface de contact supérieure soit horizontale; la surface inférieure a alors, sur l'horizontale, une inclinaison double de celle qu'elle avait avec la disposition précédente de l'axe. Cette dernière combinaison, quoique beaucoup moins fréquemment appliquée est néanmoins justifiée à un certain point de vue: En effet, lorsque la surface supérieure de contact est une surface inclinée, (fig. 157), pour le moindre dérangement latéral du plateau, les deux surfaces du galet et du plateau ne concordant plus, le plateau ne porte plus sur les galets que par des arêtes. Au contraire lorsqu'on s'est arrangé de façon que toutes les génératrices supérieures soient horizontales les déplacements latéraux n'ayant plus pour effet que de déplacer horizontalement un plan horizontal, laisseront subsister complètement la tangence.

Toutefois, en raison de l'inclinaison très forte du chemin inférieur, cette combinaison a l'inconvénient de se prêter au déversement des galets, et c'est là ce qui en restreint l'application.

Dans tous les cas, les galets sont reliés à la partie centrale par des tringles en fer, venant se fixer sur un collier en fonte tournant à frottement autour de la partie centrale. Cet assemblage doit être très soigné, afin que les galets restent toujours à la même distance du centre.

Il importe aussi qu'il n'y ait jamais flexion des tringles, et, de plus, que les galets conservent toujours, entre eux, les mêmes positions relatives. On obtient cette solidarité, en reliant toutes ces tringles, à leur partie la plus extérieure, par un cercle en fer, qui y est boulonné. Le nombre de galets varie de 8 à 12, suivant le diamètre des plaques, et leur diamètre est généralement compris entre 0^m 25 et 0^m 30.

4°.- Cuve. — La Cuve a pour but d'entourer tout le système, et de maintenir la terre et le ballast environnant la plaque. Dans le principe, la cuve consistait en un mur vertical cylindrique, en maçonnerie, mais ce système se disloquait trop facilement; aussi, a-t-on remplacé cette cuve en maçonnerie, par une cuve cylindrique en fonte. Cette cuve est formée de plusieurs segments (fig. 157^{bis}), qui se

boulonnent ensemble; chacun de ces segments repose par ses extrémités inférieures sur des appendices venus de fonte avec la couronne inférieure, et qui se trouvent généralement dans le prolongement des bras. Les segments de cuve portent à leurs parties supérieures des encoches convenablement disposées pour recevoir les rails des voies à desservir.

La cuve est surmontée d'un bourrelet, interrompu seulement au droit des rails. Ce bourrelet sert d'abord de garde-grève, il sert en outre de garde-roues; en effet, pendant que l'on fait tourner le wagon sur la plaque; il arrive souvent que ce wagon, encore en mouvement, sort de la plaque et tombe des rails; le bourrelet empêche cet effet; il arrête les roues dont le frottement contre le bourrelet avertit les ouvriers qui peuvent aussitôt remettre le wagon dans la position convenable.

Telles sont les dispositions générales s'appliquant à toutes les plaques en fonte de 3^m 40 et de 4^m 20, suivant l'usage auquel on destine ces plaques, le service plus ou moins important qu'elles doivent faire; les dispositions de détail sont plus ou moins modifiées. Ainsi; souvent, pour diminuer les chocs et protéger la voie, on recouvre le plateau supérieur d'un plancher général. Dans les gares importantes, par dessus ce premier plancher, on en met un second affleurant la surface du rail, et laissant l'ornière nécessaire au passage de la roue. Ce plancher étant formé de deux parties, la partie supérieure seule s'use et se remplace, ce qui n'entrave ni la circulation, ni le service. Dans les gares à marchandises, là où les manoeuvres se font avec des chevaux ce plancher est presque indispensable.

Ces plaques en fonte ont un grand inconvénient, c'est de présenter des chances de rupture. Ces ruptures ont généralement lieu aux points de jonction, là où il y a une plus grande agglomération de fonte; et, en effet, ces parties refroidissent moins vite que les autres, et leur retrait étant empêché par les parties voisines déjà solidifiées, il en résulte la rupture immédiate de la pièce, si rien ne cède, ou bien la fonte est étirée, s'appauvrit, et cet appauvrissement se traduit par la formation de chambre dans la masse, et par une diminution considérable de résistance. Or, c'est précisément à ces points de jonction, que se trouvent les solutions de continuité des rails, c'est là, par suite, que se produisent les chocs; c'est donc justement là où la résistance devrait être le plus augmentée qu'elle est le plus affaiblie.

Pour diminuer autant que l'on peut ces inconvénients, on tient la main à ce que l'on emploie des fontes ayant le moins de retrait possible.

Ces plaques, ainsi coulées d'une seule pièce, sont d'un transport difficile; on ne peut les charger à plat sur un wagon, au passage des ponts elles toucheraient les culées; on les y met en hauteur en en plaçant deux symétriquement sur un châssis disposé à cet effet. Pour éviter ces difficultés, et surtout pour rendre le retrait de la fonte plus facile, on a coulé ces plaques en deux pièces que l'on a réunies par des boulons, suivant un plan diamétral. Pour que les boulons de jonction travaillent le moins possible, on en castre entre les deux parties à réunir (fig. 158) une âme en fer, de telle sorte que les boulons ne tendent plus à se briser par cisaillement. On relie également les deux parties du moyen central à l'aide d'une frette en fer que l'on applique à chaud.

Malgré toutes ces précautions les plaques en fonte n'ont pas une résistance suffisante et les études sur les plaques se dirigent aujourd'hui vers l'emploi de la tôle.

§. 2. — Plaques en tôle.

Ces nouvelles plaques sont faites avec des fers à double T du commerce, tous ces fers, qui

forment les bras, la couronne de roulement, sont reliés entre eux, supérieurement et inférieurement, par des couvre-joints en tôle, et latéralement par des fers d'angle. Le croisillon inférieur, les galets et la cuve restent les mêmes que dans les plaques en fonte, on peut faire supporter au fer 5 à 6^e par millimètre carré de section.

§. 3. — Plaques de grand diamètre.

Comme nous l'avons déjà vu, il y a les plaques de 6^m 00 de diamètre pour les locomotives seules et celles de 10 et 12^m pour les locomotives avec tenders.

Plaques de 6^m 00 de diamètre. — Dans ces plaques on n'emploie pas de galets indépendants par raison d'économie, parce qu'il en faudrait un trop grand nombre, et en outre, parce qu'il est essentiel que les rails soient toujours supportés de la même manière; pour cette raison, les galets sont généralement fixés au plateau mobile, et la couronne de roulement repose sur un système de fondation en bois ou en béton.

Système de construction de la plaque. — Au centre se trouve une traverse en fonte reposant sur le pivot; on donne à cette pièce la forme d'un solide d'égale résistance; les extrémités, servant de point d'appui à deux poutres sur lesquelles sont fixés les rails (fig. 159 et 159^{bis}) Des chevalets en fonte supportent les extrémités de ces poutres et reposent eux-mêmes sur les galets.

Les galets ont un diamètre de 0^m 75 à 1^m 00; leurs axes convergent vers le centre et sont supportés d'une part par le chevalet, de l'autre par l'une des poutres. Il y a deux galets pour chaque rail, et ils sont placés le plus loin possible du centre afin d'augmenter la stabilité de la plaque, et de rendre moins sensibles les irrégularités de réglage de ces galets.

Quand la plaque est à une seule voie, on complète la circonférence par un système en charpente supporté, de chaque côté, par un galet qui doit être à la même distance du centre que les quatre autres.

À la rigueur, la manoeuvre peut se faire avec une seule voie; mais, comme on l'a démontré précédemment, il vaut mieux employer des plaques à deux voies on diminue de près de moitié les manoeuvres.

Il est bon de placer les plaques de grand diamètre sur des voies secondaires, afin qu'on ne passe pas dessus à grande vitesse, ce qui pourrait les détériorer.

Pour les manoeuvrer, on peut avoir à sa disposition un long levier que l'on fixe sur la locomotive.

La fondation se compose d'une partie centrale en fonte, portant la crapaudine ou le pivot, elle a une base convenable pour n'être pas déversée; mais elle est indépendante de la couronne de roulement, et n'est pas reliée à cette dernière, comme dans les petites plaques, par des bras en fonte, ils seraient trop longs, il faudrait leur donner une section considérable et la quantité de fonte à employer serait trop grande.

La pièce formant crapaudine, est appuyée sur deux pièces de bois, placées en croix sur un sur un châssis en charpente, formé de pièces obliques se reliant à d'autres qui forment la circonférence, et sur lesquelles sont placés les segments de la couronne de roulement. Ces segments sont en fers mi-plats ayant une inclinaison convenable. Les assemblages de charpente se font à mi-bois.

Plaques de 12^m 00 de diamètre. — De même que dans les précédentes, on a toujours une partie centrale qui n'est reliée à la couronne de roulement que par le système de fondation.

Ces plaques sont construites de la manière suivante:

Au centre, se trouve une plaque en fonte de 4^m 20 avec ses galets et son croisillon inférieur, elle porte deux poutres en bois, sur lesquelles on pose les rails. Les extrémités de ces poutres reposent sur des chevalets en fonte (fig. 160) qui, eux-mêmes, s'appuient sur les axes des galets; ces galets ont environ 1^m de diamètre. On infléchit ordinairement les extrémités de ces chevalets afin qu'en remontant le centre des galets on puisse placer les poutres directement sur le chevalet, sans donner trop de profondeur à la cuve.

Sur les chevalets se place un treuil, qui, par l'intermédiaire d'engrenages, donne le mouvement au galet correspondant. On emploie généralement un ou deux hommes pour la manoeuvre de ces plaques, il suffit de multiplier leur effort par 20 ou 10. Ces plaques ne desservent généralement qu'une seule voie sans garage; on ne met de la maçonnerie qu'au dessous de la voie, ailleurs, on se contente d'un talus. Ce système est donc très économique mais peu employé.

On a fait des plaques qui présentent plus de solidité que les précédentes; mais ce résultat n'a été atteint que par une augmentation de dépenses et par plus de complication dans la construction. Ces plaques employées sur le chemin de fer du Nord, ont 10^m de diamètre, elles ne sont ni assez grandes, ni assez fortes.

Elles se composent de deux voies à angle droit, sous chaque rail il y a un galet; cette disposition est avantageuse en ce sens que le rail est très bien porté puisque son support se trouve directement au dessous de lui; mais elle oblige de donner une assez grande profondeur à la Cuve (fig. 161).

Cette plaque, entièrement en fonte, se compose d'un système central, formé d'un moyeu et d'un châssis rectangulaire (fig. 161^{bia}), ayant pour longueur de côté la largeur de la voie. De ce châssis partent 12 bras en fonte, huit formant les voies, et quatre divisant en deux les angles que forment ces voies entre elles; tous ces bras sont boulonnés, à l'une de leurs extrémités, après le châssis central, sur des appendices venant de fonte avec ce dernier, et ils aboutissent, par leurs autres extrémités, à deux couronnes en fonte concentriques, où viennent se fixer les axes des galets.

La fondation se compose d'un massif de béton sur lequel repose, au centre, la crapandine, et, à la circonférence, une couronne de roulement, ces deux pièces étant tout-à-fait indépendantes. La cuve est formée par un mur en maçonnerie.

Le mouvement de la plaque se fait par l'intermédiaire d'un treuil (fig. 162) fixé sur le plateau mobile, et d'une crémaillère placée tout autour et à la partie supérieure de la cuve.

Le cercle de roulement (fig. 162^{bia}), primitivement en fonte et simplement posé sur la maçonnerie, n'a pas résisté, on a été obligé de le remplacer (fig. 162^{ter}) par une couronne en fer reposant sur des coussinets en fonte où l'on s'est réservé comme l'indique la figure, un moyen de réglage.

Il est bien clair que l'on peut modifier, plus ou moins, les plaques dont les types viennent d'être décrits.

Pour le service des dépôts de machines, on peut employer avec avantage une de ces grandes plaques de 12^m 00. On construit une remise circulaire d'un assez grand diamètre pour pouvoir contenir, à son centre, une plaque de 12^m 00 et suivant les rayons une locomotive et son tender. Toutes les voies

de la remise convergent vers le centre de la plaque et sont prolongées jusqu'à sa circonférence. Il en résulte une série de croisements de rails que l'on traite comme à l'ordinaire. Avec cette disposition de remise, toutes les machines sont immédiatement disponibles, elles sont disposées de manière, à ce que la tête de la machine soit toujours vers le centre, pour que le mécanicien ait la voie devant lui.

On peut employer soit des plaques à une voie, soit des plaques à voies multiples; en se rendant compte des mouvements à effectuer, on trouve que l'emploi des voies multiples ne diminue que les manoeuvres à vide; néanmoins, dans les dépôts importants, cet avantage n'est pas à dédaigner.

Chapitre 3 .

Charriots roulants.

Les Charriots servent à remplacer économiquement les plaques tournantes, dans le cas où les voies à desservir sont parallèles entre elles. On arrête toutes les voies parallèles à une fosse dans laquelle on fait mouvoir un charriot mobile pouvant correspondre aux différentes voies. Ce système de charriots peut aussi s'appliquer aux remises des machines, il suffit de faire un dépôt à voies parallèles. Toutefois, pour tourner les machines, il est indispensable d'avoir une plaque tournante.

Le charriot repose sur un système de galets; dans la fosse se trouvent deux ou trois rails parallèles servant de voie au charriot.

Quelquefois, dans les remises, on place à l'aplomb de chaque voie parallèle une voie plus large servant au service d'un appareil de levage; il faut alors que le charriot, outre les rails pour la voie ordinaire, porte deux autres rails pour le service de ces appareils de levage (fig. 163).

Les charriots se composent généralement de poutres sur lesquelles reposent les rails; ces poutres reposent elles-mêmes sur des chevalets qui viennent s'appuyer sur les axes des galets (fig. 163^{bis} et 163^{ter}) le nombre de ces chevalets dépend de la charge à supporter. Il faut que deux au moins d'entre-eux portent des galets à rebords. Ces charriots peuvent être faits en fonte ou en tôle.

Ce système a l'inconvénient de donner des fosses assez profondes, ce qui peut être dangereux et gênant pour le service; aussi a-t-on cherché des charriots n'ayant pas besoin de fosse.

Dans ce cas, le charriot et les wagons roulent au même niveau; les galets sont enfermés dans une chambre portante sur les côtés et suivant la direction des voies à desservir, des rebords sur lesquels peuvent s'engager les bandages des roues des wagons; cette voie, portée par le charriot, est nécessairement un peu plus élevée que la voie aux abords; pour racher cette différence de niveau, on peut employer différents moyens; le charriot peut porter des rails mobiles que l'on abat sur la voie à desservir; ces rails sont taillés en biseau de manière à former plan incliné. Au Nord on a employé le moyen suivant: les rails aux abords de la voie du charriot sont munis d'un contre-rail et c'est dans l'ornière correspondante que l'on a mis un plan incliné (fig. 164) Dans ce cas, le wagon a toujours un mouvement d'ondulation que le charriot y soit ou non. Dans ce système de charriot, les galets doubles sont nécessaires, parce qu'il y a forcément interruption de la voie du charriot au point où les rails de voie, viennent rencontrer les rails du charriot.

On a fait aussi un charriot hydraulique. Ce charriot peut se placer sous le wagon à manoeuvrer et le soulever par l'intermédiaire d'une pompe hydraulique faisant mouvoir quatre pistons qui viennent saisir les essieux. Lorsque la voiture est assez soulevée, pour que les boudins des roues puissent passer par dessus les rails (fig. 165), on fait marcher le charriot jusqu'à la voie sur laquelle on veut faire arriver le wagon et là en ouvrant des robinets on laisse retomber ce dernier sur ses rails.

3.^e Section.

Matériel roulant.

Chapitre 1.^{er}

Voitures de transport.

Sur un chemin de fer, toutes les voitures sont supportées par quatre roues; on ne rencontre jamais, comme sur les routes, des voitures à deux roues, à cause des dangers qu'un pareil système présenterait.

Les deux essieux, supportant chaque wagon, sont parallèles entre eux et solidaires avec les roues; de là une tendance pour tout le matériel, à se mouvoir en ligne droite; cette disposition est nécessaire sur un chemin de fer; pour éviter les chances de détachements qui ne seraient pas suffisamment détruites par les rebords des roues; mais elle conduit forcément à des courbes de grand rayon.

Toute voiture se compose de deux parties distinctes.

1.^o — Le Châssis, qui comprend tout le système en bois ou métal destiné à supporter la caisse.

2.^o — La Carosse, on l'on place les Voyageurs ou les marchandises.

Châssis. — Le Châssis comprend:

1.^o — Les roues.

2.^o — Les essieux solidaires avec les roues.

3.^o — Les boîtes à graisse reposant sur les essieux.

4.^o — Les plaques de garde fixées sur les longerons du Châssis.

5.^o — Les ressorts fixés sur les boîtes à graisse.

6.^o — Le Cadre en bois soutenu directement par les ressorts et qui forme, ce qu'on appelle le châssis proprement dit.

1.^o — Roues. — On a, dans l'origine, construits les roues, en fonte et d'une seule pièce (fig. 166); elles sont moins lourdes et moins coûteuses que les roues en fer et en fonte qu'on emploie aujourd'hui; mais leur fragilité les fait exclure des exploitations à grande vitesse. On les emploie encore aujourd'hui avec avantage sur les chantiers de terrassement et sur les chemins destinés aux transports des charbons. Pour éviter l'usure rapide des bandages on a soin, même pour ces cas restreints, de durcir la circonférence de frottement par un procédé particulier de coulage dit coulage en coquille.

Au lieu de faire le moule complètement en sable, comme cela se pratique pour les pièces ordinaires, on se sert, pour former la circonférence extérieure du moule, d'une pièce annulaire en fonte (fig. 167) dont la section a pour profil intérieur celui du bandage de la roue à fabriquer; le reste du moule est en sable; quand la fonte chaude est versée dans un semblable moule, le sable étant peu conducteur de la chaleur, toutes les parties qui se solidifient à son contact se refroidissent lentement, par conséquent le moyeu et les bras n'éprouvent aucune trempe; au contraire, l'anneau métallique conduisant bien le calorique permet à la fonte du bandage de se refroidir plus rapidement et

détermine, sur une certaine épaisseur, une trempe analogue à celle qu'on fait subir à l'acier quand on le fait passer subitement d'une température élevée à une température inférieure.

Dans ce mode de coulage il faut proportionner l'épaisseur de l'anneau métallique (coquille) à l'épaisseur du bandage; car si on lui donnait des dimensions transversales trop fortes, le refroidissement serait trop rapide et la trempe s'étendrait sur toute l'épaisseur du bandage et le rendrait trop fragile.

Le moyen n'est jamais d'une seule pièce; on le divise en trois segments afin d'éviter les inconvénients du retrait de la fonte qui pourrait amener la rupture des bras.

En effet, les retraits du bandage et du moyen donneraient naissance à deux forces contraires qui solliciteraient les bras et tendraient à les rompre. Au contraire, le moyen étant divisé en trois segments, le bandage en se refroidissant attire les bras qui entraînent les segments correspondants du moyen. Pour réunir ensuite ces segments on remplit les espaces libres, qui les séparent, par des cales en fer, et on frette le tout à l'aide de deux cercles en fer que l'on pose à chaud.

Quand on a pris dans la fabrication des roues en fonte, toutes les précautions indiquées ci-dessus, on peut compter sur un bon service dans tous les trains à petite vitesse.

Pour diminuer l'usure, on a fait des roues en fonte avec bandage en fer rapporté, dans ce cas on ne coule plus en coquille).

Actuellement, dans la plupart des exploitations, on emploie des roues en fer avec moyen en fonte; les dispositions adoptées sont diverses:

1°. On forge une série de pièces en fer telles que $m n \alpha \alpha'$ (fig. 168), on les réunit dans une matrice de manière à former une roue complète, puis on coule le moyen qui emprisonne toutes les extrémités $m n$; Cela fait, on soude toutes les parties $\alpha \alpha'$ en y rapportant des coins en fer. Ce mode réussit bien, mais il est coûteux et on ne l'applique que pour les roues de locomotives.

2°. On recourbe un fer mi-plat suivant la forme ($m n o p q r s t$) fig. 169). On dispose ensuite ces fers les uns à côté des autres comme l'indique la fig. 170, les extrémités m & t sont noyées dans le moyen en fonte, coulé d'une seule pièce; la partie $p q$ est rivée sur le faux bandage avec des rivets à têtes fraisées.

Au lieu de la forme polygonale, indiquée ci-dessus, pour les fers des bras, on emploie quelquefois la forme représentée (fig. 171). L'avantage de cette disposition, c'est que tous les points de la circonférence sont soutenus; on ne trouve pas, comme dans la précédente, des parties $b b'$ qui soient privées d'un appui direct. Néanmoins dans la première disposition les bras sont moins abandonnés, ils ont des points d'appui suivant $o r - r s$ et l'expérience a fait voir qu'il y avait avantage à l'employer de préférence à toute autre.

Pour éviter que la ventilation produite par les bras des roues en mouvement ne fasse voler le ballast, on fixe sur ces bras des plateaux de tôle légère qu'on relie par de simples fils de fer. Cette précaution coûte peu et évite beaucoup d'entretien sur la voie.

Bandages. — Quelquefois on rive les fers mi-plats des bras directement sur le bandage, comme l'indique la fig. 171; d'autre fois on les rive sur un premier cercle, appelé faux bandage, auquel on en superpose un second qui forme la surface de roulement (fig. 170 & 172). Cette dernière disposition a l'avantage, quand on change le bandage usé (m), de ne pas permettre le disloquement des bras. Comme ces bras usent plusieurs bandages cette

considération est d'une assez grande importance.

Le bandage est conique à la partie extérieure afin de permettre le changement de rayons de roulement dans les courbes. Il a actuellement une largeur de 0^m 13, autrefois on ne lui donnait que 0^m 10, par cela même le jeu se trouvait diminué et on se privait d'une plus grande facilité de passage dans les changements et croisements de voies.

On pratique un chanfrein *m n* (fig. 173) à la partie extérieure du bandage, et cela pour plusieurs raisons. Quand une roue a servi longtemps, elle s'use près du boudin, et présente une section α ; dans cet état, on voit que, grâce au chanfrein, la différence entre les rayons de roulement ne pourra jamais être grande. De plus quand on tournera le bandage pour le ramener à sa force normale, le travail sera moindre que si la partie extérieure avait l'inclinaison conique ordinaire.

Essieux. — L'essieu est emmanché dans les roues d'une manière invariable. La charge se transmet sur lui par l'intermédiaire des ressorts et des boîtes à graisse. Ces dernières reposent sur l'essieu tantôt à l'intérieur des roues (fig. 174) tantôt à l'extérieur (fig. 175) plusieurs raisons font préférer ce dernier système.

1^o. — L'expérience prouve que c'est moins l'action directe de la charge sur l'essieu que les trépidations qui se produisent dans la marche, qui amènent la rupture de l'essieu; aussi le point de rupture n'est-il pas au milieu mais tout près des moyeux, la plupart des accidents ont fait voir que ces points étaient les points faibles.

Admettant ces faits, si les boîtes à graisse sont intérieures, la caisse tombera nécessairement sur la voie quand l'essieu se rompra et il y aura déraillement.

Si les boîtes sont extérieures, l'essieu venant à se rompre la roue sera encore reliée au châssis par l'intermédiaire de la boîte à graisse et du ressort et le déraillement sera possible mais non forcé.

2^o. — D'après ce qui a été dit plus haut on doit donner le maximum de diamètre aux essieux dans les points rapprochés des roues à l'intérieur; dans le premier cas les boîtes frotteront donc sur un cylindre de rayon maximum. À l'extérieur des roues, on peut diminuer le diamètre des essieux sans inconvénient; dans le deuxième cas, les boîtes à graisse frotteront sur un cylindre de diamètre minimum et le frottement sera moindre.

3^o. — Il est très facile de visiter les boîtes à graisse quand elles sont extérieures, et de s'assurer qu'elles sont garnies convenablement; cette dernière raison suffirait, à elle seule, pour faire préférer toujours ce système à l'autre.

Autrefois on donnait un diamètre très faible aux essieux; or, plus la charge s'approche de la charge limite du fer, plus les trépidations exercent une action fâcheuse sur son état moléculaire; aussi avec les diamètres adoptés à l'origine, les essieux se rompaient-ils souvent avant que l'usure des fusées ne les eussent fait mettre au rebut. Aujourd'hui on s'applique à avoir un diamètre tel, que le frottement des boîtes à graisse ait usé assez la fusée pour qu'on remplace l'essieu avant que son état moléculaire ait éprouvé une modification notable. Les dimensions généralement adoptées sont indiquées par la fig. 176.

Pour les trains à grande vitesse, il faut éviter d'avoir sur la fusée une pression

trop grande par centimètre carré, qui tiendrait à produire un échauffement considérable).

Les ressauts du profil de l'essieu sont indiqués par les exigences auxquelles l'essieu doit satisfaire. Il faut dans tous les changements de diamètre avoir soin de racheter la différence par un congé, sans cela, on préparerait à l'avance sur la pièce, des sections de rupture.

Boîtes à graisse. — La boîte à graisse se compose de deux cavités essentielles, l'une qui contient la fusée de l'essieu, l'autre qui est la boîte à graisse proprement dite.

Un plan médian $x y$ partage la première cavité en deux parties distinctes l'une, supérieure, portant la boîte à graisse proprement dite, et reposant sur l'essieu par l'intermédiaire d'un coussinet en bronze, l'autre, inférieure, reliée à la première par une armature en fer dont on modère le serrage, et qui sert à recevoir la graisse fondue qui a coulé sur la fusée de l'essieu. Les deux parties s'assemblent par rainure et languette comme l'indique la coupe (fig. 177). Cette disposition empêche la graisse liquide de passer à travers le joint. La boîte à graisse porte deux rainures qui reçoivent la plaque de garde. Un couvercle m , que le graisseur soulève avec une pince en fer, permet d'introduire la graisse dans le réservoir p . Des ouvertures obliques, retournant à angle droit dans le coussinet, permettent à la graisse échauffée par le frottement de couler sur la fusée, grâce à l'obliquité des trous α et α' , le graisseur, peut, à chaque station, les déboucher avec sa pince.

Quand on veut visiter la fusée, on desserre le boulon de l'armature et on en lève la partie inférieure sans difficulté.

Au lieu de graisse on peut employer de l'huile; cette huile passe du réservoir sur la fusée à l'aide de mèches de coton, elle s'écoule goutte à goutte sur la fusée et tombe à sa partie inférieure où se trouve une brosse pressée par un ressort contre l'essieu, cette brosse imprégnée d'huile rafraîchit constamment la surface de frottement.

Plaques de garde. — Les plaques de garde sont des pièces en fer rigides destinées à relier les boîtes à graisse au châssis. La plaque de garde est attachée par une de ses extrémités (fig. 178) au longeron de la voiture; son autre extrémité faisant la fourche vient s'engager dans une rainure pratiquée sur chaque face latérale de la boîte à graisse et peut glisser dans ces rainures. C'est ainsi que se trouve établie la solidarité entre le châssis et les essieux.

Le poids n'est pas transmis par les plaques de garde aux essieux; les ressorts sont chargés de cet office.

Les plaques de garde sont construites dans différents systèmes.

1° - Système Anglais (fig. 178).

Ces plaques se fixent aux longerons du châssis.

2° - Système belge (fig. 179).

Les plaques de ce système se fixent aux traverses de la voiture.

3° - Système Américain (fig. 180).

Dans ce système les longerons du châssis sont en tôle, on découpe les plaques

de garde dans les longerons mêmes.

Quel que soit le système employé, il faut que l'écartement des plaques de garde soit exactement maintenu, afin que celui des essieux le soit aussi, et que leur parallélisme ne puisse pas être troublé par des causes accidentelles.

Ressorts. — Dans les voitures de chemins de fer, le système de suspension ne peut pas être le même que dans les voitures ordinaires; dans ces dernières, le balancement est possible dans tous les sens, tandis que dans les voitures de chemin de fer on évite les déplacements horizontaux qui pourraient entraîner le déraillement, et on ne laisse possibles que les mouvements verticaux.

Le ressort est fixé par son centre à la boîte à graisse et au longeron du châssis par ses extrémités; le système d'attache varie beaucoup; le plus souvent le ressort se trouve au dessous du châssis auquel il est fixé, soit directement soit au moyen de systèmes articulés.

Dans certains cas, au contraire, lorsque l'on manque de hauteur, et cela arrive pour les locomotives, le ressort se trouve au dessus du châssis et est relié à l'essieu par un étrier. Les fig. 181, 182, 183, 184 représentent les modes de suspension le plus généralement adoptés.

Dans le système représenté (fig. 181) et reproduit (fig. 185) le ressort vient s'appuyer directement sur le longeron par l'intermédiaire de petites semelles en fonte à joues fixées sur ce dernier. Les lames s'infléchissent à leurs extrémités de manière à présenter une surface d'appui convenable. Dans ce cas le ressort n'est pas fixé au châssis, il y a simple contact.

Pour les grandes vitesses, on préfère le système d'attache par menottes. Lorsque la voiture est à traverser, la boucle ou menotte qui relie le ressort au châssis, est fixée, d'une part, au ressort, et d'autre part à une pièce de fer fixée sur la traverse (fig. 186). Dans les voitures à longerons, c'est le longeron qui porte la pièce en fer. La liaison de la menotte, soit avec la pièce en fer soit avec le ressort, se fait à l'aide d'axes traversants à la fois la menotte et des œils pratiqués sur les deux pièces adjacentes (fig. 187 & 188).

Enfin, pour les voitures à très grande vitesse, afin de pouvoir régler le ressort, on fixe la menotte à une pièce formant boulon; ce boulon s'engage dans un manchon fixé sur le longeron et porte à son extrémité un écrou (fig. 189); en serrant plus ou moins cet écrou, on tend plus ou moins le ressort. Les ressorts sont formés de lames d'acier fondu, présentant dans leur ensemble la forme d'un solide d'égal résistance. Il se compose d'une feuille maîtresse, portant l'œil ou passe l'axe qui réunit le ressort à la menotte, et d'une série d'autres feuilles supportant la première et dont l'étagement successif produit la forme du solide d'égal résistance.

Les ressorts doivent posséder deux qualités essentielles, la flexibilité et la solidité. Tout ressort doit pouvoir supporter non seulement la charge de la voiture, mais une charge double de la charge ordinaire sans la limite d'élasticité soit dépassée. Or la résistance d'un ressort, pour une même épaisseur, est en raison inverse de la longueur; la flexibilité, au contraire, est en raison directe du carré de cette même longueur et la



dépense est en raison directe de la longueur et de la flexibilité. On peut donc conclure que lorsqu'il s'agira d'un matériel très solide, et de chargements ne craignant pas les chocs, on devra employer des ressorts très courts, peu flexibles, mais très résistants; tandis que pour les voitures de voyageurs marchant à grande vitesse, on devra employer des ressorts longs et flexibles.

Les ressorts, mis en place, présentent une courbure initiale qui est sans influence sur la résistance, et qui est nécessaire par cette considération que dans les oscillations les plus fortes, le centre des ressorts ne puisse venir toucher les longrines du châssis. Toutefois quand il s'agit de voitures à voyageurs, on évite généralement de courber les ressorts; les mouvements sont plus doux lorsque le ressort est horizontal. En effet, considérons un ressort courbé NA (fig. 190) avec menotte AB le point N étant fixe et le point A venant en A' le point B viendra en B' de telle sorte que l'on aura

$$BB' \setminus AA'$$

Au contraire, avec un ressort horizontal na (fig. 191) les déplacements des points a & b seront tels que l'on aura

$$bb' \setminus aa';$$

par suite, pour un même déplacement vertical du point A , le déplacement du point B appartenant au châssis, sera moins considérable dans le second cas que dans le premier; c'est-à-dire, que les oscillations du châssis provoquées par les chocs seront moindres avec des ressorts plats qu'avec des ressorts courbés. Aussi, dans les voitures des voyageurs, les ressorts sont généralement horizontaux, ou, du moins, ils n'ont que la courbure initiale nécessaire pour que, sous la charge à supporter, ils soient horizontaux.

Dans les voitures à voyageurs, on termine la feuille maîtresse par une forte pièce de cuir ou sonopente qui, en raison de sa flexibilité propre, permet les mouvements de déviation transversale utiles dans les courbes surtout. Cette sous-pente peut être aussi en fer feuillard, il suffit qu'elle joigne à la résistance une certaine flexibilité latérale.

D'autres fois la feuille maîtresse est terminée par un refoulement (fig. 192) ou par une volute formant anneau (fig. 193); cette dernière disposition est défectueuse en ce que l'anneau peut s'ouvrir.

L'attache du ressort sur la boîte à graisse est aussi combinée de façon à laisser un certain jeu aux mouvements latéraux dont il est parlé plus haut.

La position de l'essieu par rapport à la boîte à graisse est parfaitement déterminée à l'aide des collets de la fusée qui embrassent le coussinet en bronze de la boîte, et qui empêchent tous mouvements relatifs de ces deux pièces; la boîte est guidée dans ses mouvements verticaux par la plaque de garde et cette plaque possède un certain jeu (fig. 194) de 0^m.005 à 0^m.007 dans le sens parallèle à la voie. Ce jeu permet aux essieux de prendre un mouvement de déviation et leur parallélisme peut être modifié, ce qui favorise le mouvement dans les courbes.

Dans la direction parallèle à l'essieu, et par conséquent perpendiculaire à la voie, on ne laisse de jeu que celui qui résulte de la compressibilité d'une pièce de cuir portée par la plaque de garde.

Au Chemin de fer du Nord les ressorts des voitures des voyageurs ont une longueur

de 1^m 40 et sont formés de neuf feuilles ayant chacune 0^m 01 d'épaisseur et 0^m 075 de largeur; pour les voitures de Marchandises les ressorts n'ont que 0^m 75 de longueur.

On emploie quelquefois des ressorts d'un système particulier qui diminue les frais d'établissement sans nuire à la flexibilité et à la résistance. Ces ressorts (fig. 195) sont composés d'un petit nombre de feuilles seulement.

La dernière de ces feuilles s'appuie par sa partie inférieure sur une pièce rigide en fer ou en bois appelée auxiliaire laquelle n'est fixée qu'au centre du ressort. Pour les faibles chargements, le ressort agira par lui-même et sera très flexible; sous l'influence de charges plus considérables il épousera la forme de la pièce rigide, s'appuiera sur cette pièce par des points de plus en plus éloignés du centre, pourra par suite être considéré comme devenant plus court et présentera plus de résistance de façon qu'avec ces ressorts économiques appelés généralement ressorts auxiliaires, on pourra avoir, avec une grande flexibilité initiale; une grande résistance finale.

Quelquefois, dans les ressorts on n'a pas mis les feuilles en contact au centre (fig. 196), on les a séparées par des fentes en tôle, mais cela n'augmente que très peu la résistance et on a renoncé à ce système.

On a encore employé en Allemagne, un autre système de ressorts (fig. 197). Ce ressort se compose de deux pièces d'acier courbées s'articulant, à leur partie supérieure avec les extrémités d'un tendeur dont est munie la boîte à graisse et à leur partie inférieure avec une pièce rigide fixée à cette boîte, le mode de liaison du châssis et du ressort est d'ailleurs le même que précédemment. Ici, les forces qui font travailler le ressort tendent à rapprocher les deux extrémités de chaque pièce courbe suivant la corde a b l'acier travaillera donc avec un bras de levier peu considérable et cela permettra de diminuer la longueur des lames sans trop diminuer la flexibilité. S'inconvénient de ce système vient de ce que le ressort n'étant composé que d'une seule pièce, il y a plus de chance de rupture. Dans ce cas le châssis vient tomber sur la boîte à graisse et l'affaiblissement est moins considérable qu'avec les ressorts précédents.

(Pour la construction de ces ressorts consulter la brochure de M. Philips Ingénieur des mines).

Châssis proprement dit. — Les châssis peuvent être rangés en trois catégories. — Les Châssis Anglais, Belges et Américains.

Le châssis Anglais consiste en un cadre en charpente formé de deux longerons et de deux traverses: les longerons sont réunis par des traverses intermédiaires et le tout est consolidé par une Croix de St. André (fig. 198 & 199). Toutes les pièces sont conformées de façon à rendre impossible toute déformation horizontale, et, dans ce but des équerres en fer, des harpons, des boulons relient les pièces deux à deux à tous les assemblages.

Les longerons et les traverses extrêmes ont la même hauteur, et quant aux Croix de St. André et aux traverses intermédiaires, elles sont combinées en hauteur de manière à venir affleurer la face supérieure du longeron. Enfin les plaques de garde sont placées à l'intérieur du châssis, de façon que la boîte à graisse et l'essieu s'assemblent sous le longeron.

Le système anglais est le plus rigide et c'est celui qui présente la disposition la plus simple.

Le Châssis belge (fig. 200) présente aussi deux longerons et deux traverses extrêmes ainsi que des traverses intermédiaires; seulement les traverses ne viennent plus affleurer la face supérieure du longeron, elles viennent au contraire se poser dessus. En outre, le châssis n'a pas comme dans le système anglais le maximum de largeur, tout le système de la roue étant exté-rieur, les traverses se prolongent en dehors des longerons pour supporter la caisse de la voiture; les plaques de garde sont aussi portées par les saillies de ces traverses. Ce système présente un assez grand nombre de pièces superposées, et, en résumé, paraît inférieur au précédent, comme apparence et comme rigidité.

Le Châssis Américain (fig. 201) est destiné à permettre le passage dans les courbes de petit rayon, 150^m à 180^m par exemple. En outre il est appliqué à des voitures de dimensions doubles des nôtres qui reposent par deux chevilles ouvrières sur deux petits châssis dont les essieux sont très rapprochés. Ce système n'est pas applicable à nos chemins à grands rayons; le système anglais est le plus favorable pour des courbes ayant comme les nôtres plus de 800^m de rayon. Le système Américain a d'ailleurs des inconvénients propres; les petits châssis ayant des roues très rapprochées, ont par conséquent beaucoup de facilité à se placer obliquement, relativement à la direction des rails, ce qui donne beaucoup de chances de déraillement; puis cette mobilité a pour conséquence de fatiguer beaucoup l'essieu et de le rendre plus cassant en changeant sa conformation.

Les voitures de chemins de fer sont toujours supportées par deux essieux au moins. On a essayé de trois essieux, d'abord pour assurer la stabilité en cas de rupture de l'un d'eux, mais cette précaution devient inutile avec les dimensions qu'on leur donne actuellement, puis pour diminuer les mouvements de laces, mais cette diminution s'obtient par le seul écartement des deux essieux extrêmes. Enfin la voiture pouvant n'être supportée qu'en son milieu, lorsqu'on emploie trois essieux, il peut en résulter un mouvement d'oscillation très désagréable pour le voyageur. De plus cette troisième roue tend à augmenter le frottement sur les rails dans les courbes.

La position des roues se détermine par deux considérations: diminution du mouvement de laces et diminution de fatigue pour les longerons (fig. 202) $m n$ mesurant l'écartement des deux essieux et $a b$ étant égal à deux fois le jeu des roues, c'est l'angle $b m a$ qui mesure le mouvement de laces, d'où résulte la fatigue du voyageur. Il faudra donc, pour diminuer, autant que possible cet angle $b m a$, augmenter autant que possible l'écartement des essieux. D'un autre côté un trop grand écartement serait une cause de fatigue pour les longerons. Cela posé, étant donné la longueur AB du châssis (fig. 203) on serait dans les conditions de stabilité les plus favorables en plaçant en A & B les extrémités des ressorts; mais la partie intermédiaire serait trop grande et il faudrait des longerons plus résistants. En plaçant les roues au quart de la longueur, à partir des extrémités, on ferait travailler de la même manière les différentes parties, mais les appendices qu'on place aux extrémités, les feraient travailler davantage on devra donc prendre une position intermédiaire.

Exemple:	1 ^{re} Classe	$AC = 3^m 50$	$AD = 1^m 27$
	2 ^e	$AC = 3^m 50$	$AD = 1^m 40$
	3 ^e	$AC = 3^m 50$	$AD = 1^m 63$

On a vu précédemment les inconvénients que présente l'emploi d'un troisième essieu, néanmoins on a fait en Angleterre des wagons à trois essieux, ce troisième essieu est justifié par une plus grande longueur dans la voiture.

Quand le wagon est soutenu par trois essieux, on donne à celui du milieu un certain jeu parallèlement à sa direction, de telle sorte que, dans les courbes, cet essieu puisse, relativement aux autres, se reporter un peu vers l'intérieur de la courbe.

Les essieux extrêmes ont, au contraire, un certain jeu perpendiculairement à leur direction, afin que, dans les courbes, ces essieux puissent prendre une certaine convergence. Pour que cette convergence puisse avoir lieu, il faut nécessairement que chacune des attaches qui relient les extrémités des ressorts, soit disposée pour permettre à la fois le mouvement dans le sens du ressort et celui dans le sens perpendiculaire.

Ces wagons contiennent deux fois autant de voyageurs que les wagons ordinaires, leur emploi est donc avantageux sous ce rapport; mais d'un autre côté, à cause de leur excessive longueur, il arrive que dans les courbes, l'angle formé par deux wagons consécutifs est assez grand; de sorte que les tampons placés vers l'intérieur de la courbe, sont plus pressés que les autres et dans de mauvaises conditions pour résister; de plus, il se produit alors une action qui tend à rejeter le wagon vers le dehors de la courbe et qui ne peut qu'être nuisible.

Malgré ces inconvénients, on les emploie quelque fois sur les petits chemins de fer de banlieue, où il suffit souvent d'une ou ^{deux} voitures pour former un train. En outre, la vitesse sur ces chemins est peu considérable.

Les trains se composant toujours d'un nombre plus ou moins grand de véhicules on a dû chercher des moyens sûrs et à la fois expéditifs de les relier entre eux. À l'origine on employait pour relier deux wagons une chaîne ordinaire portée par l'un d'eux, et dans l'un des anneaux de laquelle passait un crochet fixé à l'autre wagon.

On se sert encore aujourd'hui de ce mode d'attache pour relier les wagons employés aux terrassements. Dans le système précédent, les deux wagons ne sont pas nécessairement en contact, ils peuvent occuper l'un par rapport à l'autre diverses positions relatives. On emploie aujourd'hui, pour les wagons à voyageurs et même pour les wagons à marchandises, un système à l'aide duquel on peut exercer une certaine tension sur les wagons et amener en contact les tampons dont sont munis les extrémités des wagons.

Une tige ab (fig. 204) qu'on peut faire tourner au moyen d'une tige CD , est munie à chacune de ses extrémités d'un filet de vis, ces deux filets de vis dirigés en sens contraire, s'engagent dans des écrous qui forment axes de rotation; ces écrous sont assemblés, chacun avec une boucle en fer dont l'une est fixée à l'un des wagons et l'autre peut être saisie par un crochet du wagon voisin. Quand la boucle libre est fixée, on tourne le levier cd et on amène les tampons en contact. Chaque wagon porte un crochet et un système à tendeur, afin que l'on ait toujours un moyen d'attache de rechange et aussi pour que

deux wagons puissent toujours être reliés, quelles que soient celles de leurs extrémités que l'on mette en contact.

Le système d'attelage libre, c'est-à-dire avec chaîne, a sur le précédent l'avantage de rendre le démarrage plus facile. En effet, quand un train part, la machine met d'abord en mouvement le wagon qui le suit immédiatement, puis le mouvement se transmet successivement de wagon en wagon. Ici, au contraire, tous les wagons sont en contact, la machine doit les mettre en mouvement tous à la fois. Or, dans les gares, les rails sont ordinairement gras, et par conséquent l'adhérence des roues de la locomotive sur les rails est faible, de telle sorte, qu'avec le système d'attache avec tendeurs le démarrage est quelque fois difficile.

D'un autre côté, comme dans le premier système, les chaînes ne sont pas tendues, il arrive qu'au départ, il se produit une série de chocs à la fois nuisibles au matériel et désagréables aux voyageurs. Des chocs analogues se font sentir toutes les fois que, par une cause quelconque, la vitesse de la locomotive vient à croître. Il s'en produit encore lorsque la marche de la machine vient à se ralentir, car alors tous les wagons, en vertu de leur vitesse acquise, viennent se presser les uns à la suite des autres contre la locomotive. Des chocs, de l'un et l'autre genre, ont lieu toutes les fois qu'une modification de pente un peu importante se présente dans le profil en long. Quand les tampons des wagons successifs sont amenés en contact et serrés les uns contre les autres, des chocs de cette nature ne peuvent jamais se reproduire.

En outre, avec le système des attaches libres chaque voiture conserve toute son indépendance pour les mouvements latéraux, et le mouvement de lace se produit avec la plus grande facilité. Dans le second système, au contraire, toutes les voitures étant jusqu'à un certain point solidaires les unes des autres, les différents mouvements que chacune d'elles prendrait si elle était isolée, se contrarient, et il en résulte pour l'ensemble un mouvement plus régulier.

Le système d'attaches à tendeurs est aujourd'hui le seul employé. Pour relier les wagons à voyageurs outre un attelage central à tendeur, on emploie encore deux chaînes ordinaires placées de chaque côté du tendeur; ces deux chaînes sont destinées à relier les deux wagons dans le cas où le tendeur viendrait à se rompre. En général, ces chaînes dites de sûreté, sont peu utiles: il arrive en effet, le plus souvent, lorsque le tendeur casse, que les chaînes de sûreté se tendent trop brusquement et cassent elles-mêmes. Si alors elles se cassent toutes deux elles ne font que produire un effet utile en absorbant une certaine quantité de la force vive des wagons; mais, si l'une des deux se casse, on conçoit qu'il peut en résulter des effets désastreux; néanmoins les cahiers des charges prescrivent toujours l'emploi des chaînes de sûreté.

On a employé sur le Chemin de fer de St Etienne, un mode d'attelage qui permettait de détacher instantanément le convoi de la machine (fig. 205) deux pièces A & B fixées au wagon et une pièce C fixée à la locomotive sont percées de trous correspondants. Dans ces trous passe un axe MN placé à l'extrémité d'un

levier NP , qui peut tourner autour du point O . Un ressort maintient le levier dans la position qu'il doit avoir pour que l'attelage ait lieu. On peut forcer le ressort et faire tourner le levier au moyen d'un excentrique X , dégager l'axe des pièces A, B, C , et faire disparaître l'attelage.

Quand les chemins de fer sont établis avec soin, que les courbes n'ont pas de rayons trop faibles et que les machines ont une stabilité suffisante, les déraillements de ces machines sont des accidents très rares, de sorte qu'il est peu probable que ces accidents venant à arriver l'agent préposé à cette manœuvre soit assez attentif pour la faire en temps utile.

Pour cette raison, et aussi parce que cet appareil a l'inconvénient de se manœuvrer quelquefois de lui-même, il est, en général, peu employé.

D'ailleurs lorsque la locomotive déraille, il arrive plus souvent que sous l'action de la secousse qui se produit, les chaînes, qui remissaient la machine au reste du train, se rompent, de sorte que le dételage se trouve ainsi fait de lui-même.

Dans la méthode de terrassement, dite anglaise, il est nécessaire de dételer le cheval, pour ainsi dire instantanément. On emploie le moyen suivant: (fig. 206). Le dernier anneau de la chaîne à laquelle est attelé le cheval, est traversé par une pièce AB mobile autour du point A . Cette pièce AB est maintenue par un maillon CD , qui lui-même peut tourner autour du point D . Quand on veut dételer on tire une ficelle, attachée au point C de CD ; et le maillon laisse échapper la pièce AB .

Toutes les voitures employées sur les chemins de fer sont munies, en avant et en arrière, de pièces appelées tampons de choc destinés à amortir les chocs.

Dans les wagons employés aux terrassements, les tampons de choc sont simplement formés par le prolongement des longerons du châssis. Les tampons de choc des voitures à voyageurs (fig. 207 & 208) sont formés d'une platine en fer portant un recouvrement en bois; cette platine est munie d'une tige en fer qui peut rentrer plus ou moins dans l'intérieur du châssis en comprimant un ressort disposé à cet effet. Ce recouvrement en bois et ce ressort sont destinés à amortir les chocs.

En général, dans les voitures à grande vitesse on doit faire en sorte que la traction ne se fasse pas par l'intermédiaire du châssis. Voici la disposition généralement adoptée: les tiges d'attelage se prolongent (fig. 209) de chaque côté sous le châssis et aboutissent à deux ressorts de traction A & B reliés entre eux par leurs extrémités; ces tiges de traction sont fixées au milieu de chacun de ces ressorts. Dans ce système, le châssis ne sert plus d'intermédiaire à la traction, il ne joue plus que le rôle de support. Il y a, en quelque sorte, une chaîne continue allant de la locomotive jusqu'à l'extrémité du train, et en différents points de laquelle sont attachées les voitures par le milieu de leurs châssis.

On vient de supposer qu'il y avait des ressorts de choc distincts des ressorts de traction, mais ce système est lourd et coûteux. En général, on se sert des mêmes ressorts pour le choc et pour la traction, ils sont alors disposés comme l'indique la fig. 210.

Les platines en bois qui terminent les tampons sont planes ou courbes (fig. 207. 208).

Les tampons situés aux deux extrémités d'une même diagonale du châssis sont de même forme (fig. 211) de manière qu'un tampon d'une espèce soit toujours en contact avec un tampon d'une autre espèce. Si les deux plateaux en contact étaient plans, il arriverait que dans les courbes, ils ne s'appuieraient plus l'un sur l'autre que par les bords, et que les tiges directrices tendraient à être faussées. Avec la disposition précédente, au contraire le contact a toujours lieu vers le milieu des tampons.

En général, les ressorts de choc et de traction des voitures à voyageurs sont disposés comme il vient d'être dit; ceux des wagons à marchandises ont une disposition plus simple.

Les ressorts sont disposés comme l'indique la fig. 212. S'il se fait un effort de traction trop brusque, il ne sera transmis à la traverse qu'après avoir été amorti par la compression du ressort, et, en outre, elle ne recevra cet effort qu'aux environs des points d'appui, de manière qu'elle aura peu à souffrir.

Dans ces wagons, les ressorts de choc sont remplacés par des tampons avec rondelles en caoutchouc (fig. 213). Chaque tampon est formé d'un cylindre en fonte qui se meut à frottement doux dans un autre cylindre fixé sur le châssis, entre les deux cylindres, sont disposés un certain nombre de rondelles de caoutchouc, séparées par des rondelles métalliques. Le cylindre intérieur est traversé par une tige qui lui sert de guide.

Freins. — Parmi les voitures qui composent un train, il doit toujours y en avoir un certain nombre munies de freins. Il y a deux systèmes principaux de freins. Dans l'un des systèmes, une pièce disposée ad hoc, vient presser sur la roue de manière à produire un frottement qui tend à ralentir son mouvement de rotation, et, à la limite, transformer ce mouvement de rotation en un mouvement de glissement sur le rail.

Dans l'autre système, un sabot vient s'interposer entre la roue et le rail, et arrête immédiatement le mouvement de rotation.

Le premier système est le plus généralement employé. Le frein se compose d'une platine en fer (fig. 213 bis) sur laquelle est fixée, au moyen de boulons, la pièce de bois qui doit s'appuyer sur la roue; on emploie le bois, pour former la surface frottante, parce que le coefficient de frottement de bois sur fer est plus grand que celui de fer sur fer, et de préférence, le sapin ou un bois spongieux qui ne soit pas susceptible de se polir par le frottement: le chêne, par exemple, ne vaudrait rien.

La figure 214 indique un frein à main de la plus grande simplicité. En appuyant à l'extrémité m du levier coudé m, n, o , le système tourne autour du point o et le sabot vient presser la roue.

En général, on manœuvre à la fois deux sabots, qui viennent s'appuyer sur les deux roues placées du même côté d'un wagon. Les dispositions adoptées pour manœuvrer les sabots sont les suivantes:

(Fig. 215) Deux sabots sont fixés aux extrémités d'une barre de fer AB au moyen d'un levier on fait tourner cette barre autour du point O et les sabots viennent s'appuyer sur les

bandages des roues.

(Fig. 216) Les deux sabots sont fixés à deux tiges BC , $B'C'$, pouvant tourner autour des points C & C' , l'un des sabots se manœuvre directement en soulevant un levier DC le mouvement se transmet à l'autre par l'intermédiaire de deux secteurs dentés.

(Fig. 217) Les deux tiges, portant les sabots, peuvent tourner autour des points O & O' , elles se terminent par des tiges horizontales dentées sur lesquelles on agit au moyen d'un pignon A .

(Fig. 218) Les tiges des sabots peuvent tourner autour des points O & O' , on agit verticalement et de bas en haut sur une pièce A qui forme coin.

(Fig. 219) On agit verticalement et de haut en bas sur la tige AO les points O , O'' sont des points d'articulation mobiles les sabots tournent autour des points fixes O''' et O'''' .

Quelquefois on agit simultanément sur les deux côtés de chaque roue (fig. 220) alors, outre les deux sabots A' & B' , il y en a deux autres A & B . Les deux sabots A' & B' se manœuvrent par un des moyens décrits précédemment. Le sabot est relié au sabot A' et, par suite, agit en même temps que lui. Il en est de même des sabots B & B' .

Les sabots en bois, destinés à frotter contre la jante de la roue sont supportés par des patins en fer (fig. 221). Ces patins sont quelquefois attachés au châssis de la voiture, et ils sont mobiles autour d'un axe de rotation A porté par ce châssis. Cette disposition est mauvaise, car, le châssis étant porté sur des ressorts, le patin ne reste pas toujours à la même hauteur, relativement à la roue, et la courbure du sabot ne concorde plus avec celle de la jante.

Une disposition préférable consiste à fixer le patin à une coulisse, pouvant glisser le long d'une barre de fer horizontale BB' (fig. 222) qui réunit les deux boîtes à graisse, et qui, par suite, reste toujours à la même hauteur au dessus du rail.

Cette pièce de fer BB' sert en même temps à maintenir l'écartement des essieux qui, sous l'action des deux freins placés tous deux intérieurement, tendraient à s'éloigner l'un de l'autre.

Les freins doubles, serrant chaque roue de deux côtés, n'auraient point ces inconvénients; mais il est rare que les deux sabots conjugués, dans ce système de freins, arrivent ensemble en contact.

Le bois du sabot est fixé sur le patin à l'aide de boulons (fig. 213) les têtes de ces boulons sont noyées dans le bois afin de ne jamais participer au frottement.

À mesure que le sabot s'use le mouvement à opérer pour amener le frein, desserré à fond, jusqu'au contact de la roue sera de plus en plus long. Or il est bon d'abrégé, autant que possible, ce mouvement, et pour cela il faut que le sabot, lorsque le frein est desserré à fond, soit toujours à une très petite distance de la roue. On doit donc, quelle que soit l'usure de ce sabot, pouvoir le rapprocher convenablement de la surface de la roue; à cet effet la tige qui se termine au patin et qui sert à transmettre le mouvement, devra pouvoir s'allonger à volonté. Cette tige sera par exemple composée de deux parties (fig. 223), l'une, terminée par un écrou, l'autre, par un filet de vis s'engageant dans cet écrou. Ou bien les deux parties seront filetées en sens inverse et s'engageront dans un écrou commun (fig. 224).

Ou bien enfin la tige pourra être terminée par une partie plane percée de plusieurs trous, et l'extrémité du levier de transmission s'engagera, suivant l'usage du sabot, dans l'un ou l'autre de ces trous (fig. 225).

Le coefficient de frottement du bois sur le fer varie de 0,25 à 0,65 adoptant 0,40 et admettant que le coefficient de frottement de fer sur fer soit 0,10 on trouvera facilement que l'effort nécessaire pour arrêter avec ce sabot une roue chargée d'un poids P est de

$$X = \frac{0,10}{0,40} \times P = \frac{1}{4} P$$

L'effort X est donc une fraction de la charge P ; cependant cet effort surpasse de beaucoup celui que pourrait exercer un homme, il faudra donc multiplier par différents moyens de transmission, la force du garde-frein pour obtenir l'effort X .

Le plus simple de ces moyens se rencontre dans les freins dits freins de gare, destinés à arrêter ou à modérer le mouvement des wagons dans les manœuvres de gare.

Ce frein se compose d'un sabot fixé au bout du petit bras d'un levier coudé dont le point de rotation O est fixé au châssis du wagon. Le grand bras passe entre deux guides en fer percés de trous; à l'aide d'une chevillette passée dans un de ces trous jumelés, on maintiendra le sabot à distance de la roue; pour serrer le frein, il suffira de retirer la chevillette et de presser du haut en bas sur l'extrémité du grand levier.

Soient $0^m 40$ et $2^m 00$ les longueurs des deux bras du levier, 70^k l'effort exercé par l'homme, $0,40$ le coefficient de frottement du sabot sur la roue. Ce frottement du sabot sera de $70^k \times \frac{2}{0,40} \times 0,40$, et pourra enrayer une roue chargée de

$$70^k \times \frac{2,00}{0,40} \times \frac{0,40}{0,10} = 1400^k$$

Le coefficient de frottement de fer sur fer étant de 0,10.

Les freins destinés à arrêter la marche des trains, offrent des dispositions plus compliquées: ils multiplient davantage la force de l'homme et on peut les manoeuvrer du haut des wagons.

Freins à crémaillère (fig. 227).

Le levier qui sert à manoeuvrer les deux sabots, il est lié sous un angle invariable, en son point fixe I avec un autre levier GI , ce levier GI est articulé à la pièce horizontale GF terminée par une crémaillère FF' . La crémaillère FF' engraine avec un pignon E calé sur le même axe qu'une roue dentée D , qui reçoit son mouvement du pignon C calé à son tour sur l'arbre de la manivelle BB' . En tournant cette manivelle dans un sens ou dans l'autre, on fera avancer ou reculer la crémaillère et par suite on serrera ou déserrera les sabots.

La force appliquée au bout de la manivelle AB étant F
le rayon de cette manivelle $0,20$

les rayons des pignons C et E 0,05
 les s de la roue D 0,10
 la longueur IG = 0,30
 IJ, IJ' = 0,20

l'effort exercé au point J sera de $F \times \frac{0,20}{0,05} \times \frac{0,10}{0,05} \times \frac{0,30}{0,20} = F \times 12$.

Freins à vis (fig. 228).

Dans ce frein, la crémaillère du frein précédent est remplacée par une équerre FED articulée en F avec la tige FG, et en D avec un écrou C engagé sur l'arbre de la manivelle AB. En tournant cette manivelle dans un sens ou dans l'autre, on fera monter ou descendre l'écrou C et par suite on serrera ou desserrera le frein.

La force appliquée au bout de la manivelle étant F.

le rayon de cette manivelle 0,20

le pas de vis de l'écrou 0,01

les deux bras de levier DE, EF égaux entre eux.

le bras de levier GI = 0,30

id id IJ = 0,10

L'effort qu'on exercera en J sera égal à :

$$F \times \frac{2\pi \cdot 200}{10} \times \frac{300}{100} = F \times 37,68.$$

Ces freins sont généralement employés sur les grandes lignes de Chemins de fer. Pour les grandes pentes, au plan incliné de Liège par exemple, où les convois peuvent prendre, en raison de la pente, une vitesse excessive, on se sert du frein Loignel. Ce frein est porté sur un wagon spécial à six roues, plus ou moins chargé, suivant l'énergie que l'on veut donner au frein. Entre les roues se trouvent quatre patins en fer (fig. 229) que l'on peut, à l'aide d'un système de leviers articulés, faire venir reposer sur les rails, de manière à leur faire porter tout le wagon; le frottement de roulement des roues est alors remplacé par le glissement de ces patins.

Lorsque le wagon frein porte sur ses patins, le frottement de glissement, qui en résulte, n'est pas supérieur à celui qu'on produirait en entravant les roues de manière à les faire glisser sur les rails; mais on n'a pas voulu, dans ce cas particulier, agir sur les roues, parce que les mi-plats qui se produiraient sur les bandages, et qui transformeraient leurs surfaces cylindriques en surfaces polygonales, ne tarderaient pas à mettre les rails hors de service.

Si ces patins, au lieu d'être en fer, étaient en bois, leur frottement sur le rail serait beaucoup plus fort, et, par suite, l'action du frein serait plus énergique; mais, avec quelque soin que la voie ait été posée, il ne tarde pas à se produire, aux extrémités des rails, des dénivellations telles, que les patins en bois seraient promptement déchirés et mis hors de service.

Sur quelques lignes de Chemins de fer, on s'est préoccupé de la possibilité

de mettre tous les freins d'un convoi de wagons à la disposition du mécanicien, de façon, que celui-ci puisse, de son poste, serrer tous les freins à la fois.

Disposition usitée en Bavière (fig. 230). Sur l'impériale d'un wagon se trouve un poids P fixé à une corde qui s'enroule sur un treuil A ; un second treuil B , monté sur le même axe que le treuil A et solidaire avec celui-ci, porte une corde DCB attachée par son autre extrémité au point fixe D . Quand à la poulie C , sur laquelle passe cette corde, elle peut recevoir un mouvement dans les deux directions $C''C'$ et $C'C''$. Si donc on laisse agir le poids P , le treuil B tournera avec le treuil A , la corde s'enroulera sur le treuil B , et la poulie C s'avancera de C en C' . L'axe de cette poulie est fixé à l'extrémité d'un levier droit CEF dont le point E est fixe, le point C venant en C' , le point F prendra la position F' et par l'intermédiaire des leviers $FG-GI-IJ$, les sabots presseront les bandages des roues.

Le frein précédent est complété par la disposition suivante: (fig. 231) l'axe commun des treuils A et B porte une roue à rochet K laquelle est arrêtée dans son mouvement par un cliquet m fixé au levier mns mobile autour du point n , et maintenu par un ressort contre les dents de la roue K . Dans l'état normal, le cliquet m empêche la roue à rochet, et par suite les treuils B et A , de tourner sous l'action du poids P , mais en agissant sur l'extrémité du levier mns , on déclanchera le cliquet et l'action du poids P deviendra libre. Si on attache en S une corde dont le bout sera à la portée du mécanicien, celui-ci pourra, de sa machine, manoeuvrer le frein.

De son côté, le garde-frein pourra, lui aussi, en agissant directement sur le levier mns , serrer le frein. Pour le desserrer, il faut remonter le poids P , on y arrive à l'aide d'une manivelle M donnant le mouvement à un pignon R' qui s'engraine avec la roue R montée sur le même arbre que les treuils A et B .

Chaque voiture à frein devra donc être munie d'un appareil semblable. On a proposé de simplifier un peu ce système, en n'ayant qu'un seul poids P et, par suite, qu'un seul appareil de relevage pour tout le convoi; la corde qui s'enroule sur le treuil B (fig. 232) aurait son point fixe E sur la dernière voiture du convoi, et elle elle passerait successivement sur une série de poulies les unes fixes $DD'D''$, les autres, mobiles C, C', C'' &c... Chacune de ces dernières étant liée, comme on l'a vu plus haut, au levier d'un frein, et ayant une course limitée.

Cette disposition serait peu praticable avec de longs trains, et avec des écartements de wagons qui ne restent pas invariables. C'est grâce à l'emploi de freins convenables sur les chemins de fer que l'on a pu augmenter ^{sans danger} la vitesse, l'usage de freins puissants peut prévenir de graves accidents et l'on doit chercher autant que possible à en perfectionner la construction.

Les freins produisent ordinairement, pendant qu'ils agissent, un mouvement et un bruit désagréable pour les voyageurs, aussi se place-t-on autant que possible, sur les wagons à marchandises, à bagages, de préférence aux

voitures de voyageurs et sur celles de troisième et de deuxième classe plutôt que sur celles de première. De cette façon c'est sur les wagons le plus lourdement chargés que les freins sont adaptés.

Caisse. - Si les châssis des voitures de chemins de fer, peuvent se rapporter à deux types à peu près uniformes, châssis pour wagons à grande vitesse, châssis pour wagons à petite vitesse; il n'en est pas de même des caisses dont les dispositions varient à l'infini, sur les grandes lignes où l'on entreprend toutes sortes de transports.

On trouve, dans le matériel d'une grande ligne, des wagons à voyageurs de trois classes, des wagons à bagages, à bestiaux, à marchandises des wagons plate-formes, des trucks à diligences ou à chaises de poste &c.

À ne considérer que le profil d'une caisse pris perpendiculairement à l'axe de la voie, on trouve en général les dimensions suivantes:

(fig. 233)	demi-largeur de la voie	0,75
	id. de la caisse	1,30
	hauteur de la caisse au-dessus du rail . . .	1,185

Au châssis sont suspendus ordinairement deux marchepieds pour franchir cette hauteur de 1^m 185; le premier marchepied se compose d'une planche qui régit sur toute la longueur de la voiture; il est à 0^m 51 au-dessus du sol.

Le second marchepied se compose de palettes indépendantes placées au droit de chaque portière; elles sont à 0^m 83 au-dessus du sol, leurs arêtes extérieures sont à 1^m 40 de l'axe du wagon, celle du premier marchepied en est à 1^m 50.

Avec ces deux marchepieds une personne peut facilement monter en voiture en partant du niveau du ballast; mais, dans les gares et les stations, on place ordinairement un quai de 0^m 30 environ de hauteur, qui facilite encore l'embarquement.

La caisse est entièrement distincte du châssis, elle est simplement posée sur ce dernier et reliée avec lui à l'aide d'équerres en fer fixées les unes sur la caisse, les autres sur le châssis et réunies entre elles par des boulons (fig. 234).

Cette disposition en permettant la séparation facile de la caisse et du châssis, est utile pour les réparations, et permet d'employer le châssis quand la caisse est en réparation, et réciproquement.

Elle est encore utile en cas de choc; car une partie de la force vive est absorbée par la rupture des boulons d'attache; et cet effet joint à celui des ressorts, réduit le choc.

Les masses en mouvement, sur les chemins de fer, étant beaucoup plus considérables que sur les routes, on a été conduit à donner, en vue des chocs, des dimensions plus fortes aux parties constitutives des voitures de chemins de fer, qu'à celles des diligences de routes ordinaires.

Le fond de la caisse se compose (fig. 235) de deux longerons réunis par deux traverses.

Sur le cadre du fond s'élèvent deux montants verticaux devant servir à

former les panneaux (fig. 236). La disposition de ces montants est combinée avec celle des portières, de façon qu'il y ait un montant de chaque côté de la portière sans préjudice, s'il en est besoin, de montants intermédiaires. Les assemblages sont à tenon et mortaise, et consolidés par des équerres en fer fixées par des vis à bois. Le contreventement des montants est assuré par des pièces inclinées et par des traverses horizontales.

Les dimensions de ces diverses pièces indiquées sur le croquis sont plus fortes qu'il ne serait nécessaire, si on ne se préoccupait pas des chances de collision.

Les panneaux latéraux se terminent, à leur partie supérieure, par une sablière horizontale, de 0,10 à 0,12 d'équarissage, qui supporte le toit (fig. 237). Les deux sablières opposées sont réunies par des membrures courbes assemblées avec elles au moyen d'équerres en fer; des voliges vont d'une membrure à l'autre et sont recouvertes d'une feuille de zinc. La courbure des membrures assure l'écoulement des eaux et oppose une plus grande résistance aux trépidations. Les eaux s'écoulent dans un chéneau disposé dans la corniche et sont rejetées au dehors de la voiture par des petits tuyaux placés dans les angles.

Dimensions des places. — Dans les voitures des routes ordinaires, des règlements de police prescrivent les dimensions minima de l'espace réservé aux voyageurs. La largeur d'une place doit être de 0^m 50, la distance entre les dossiers de deux bancs placés en face l'un de l'autre doit être de 1^m 30.

Voitures de 3^e Classe. —

Les bancs ont 0^m 41 de largeur sur 0^m 40 à 0^m 48 de hauteur (fig. 238) cette hauteur est d'autant plus grande que la caisse est plus étroite.

Les bancs (fig. 239) sont formés de planches de bois qui reposent sur des ferrures transversales composées de trois montants et d'une pièce horizontale. Le montant du milieu est prolongé au dessus des planches pour former le dossier, on a ainsi deux bancs accolés.

On est en général d'accord sur ce point, qu'il convient que les voitures de troisième classe ne forment qu'une caisse sans compartiments séparés, afin de mieux assurer les conditions de ventilation.

Il y a deux dispositions différentes pour les bancs (fig. 240 & 241).

Dans la première disposition (fig. 240) on n'a que deux portières pour quarante voyageurs, car on ne descend que d'un côté. Un autre inconvénient de cette disposition c'est que les voyageurs tournent le dos aux fenêtres. Ces inconvénients sont évités dans la seconde disposition (fig. 241) où on a une portière pour dix voyageurs. Dans les deux cas à la hauteur des dossiers, la voiture est libre et la ventilation se fait sans obstacle.

Dans l'origine, les ouvertures étaient sans moyen de fermeture; actuellement on peut les fermer par des rideaux en toile ou par des châssis vitrés. Le système des rideaux est préférable, car la ventilation si nécessaire dans la troisième classe, est arrêtée par les châssis vitrés.

Il y a avantage à avoir des caisses de hauteur uniforme; on évite ainsi le mieux possible la résistance de l'air, parce que la paroi antérieure de chaque voiture est

de cette manière cachée presque entièrement par la paroi d'arrière de la voiture précédente). La hauteur qui était de 1^m 50 à l'origine est actuellement de 1^m 90.

En France, les voitures de troisième classe sont couvertes, c'est une condition du cahier des charges. En Belgique, les voitures, anciennement construites, ne l'étaient pas; on ne les emploie plus guère qu'en été. Dans les chemins de fer anglais, on a adopté une classe au dessous de la troisième; ce sont des wagons à quatre parois avec portières, sans bancs; les voyageurs se tiennent debout, on peut en mettre un grand nombre dans un wagon et réduire le tarif.

Voitures de 2^e Classe (fig. 242). — La Caisse est divisée en compartiments séparés; (fig. 242) la largeur d'un compartiment, au lieu d'être de 1^m 30 est de 1^m 44, la hauteur reste la même. Les bancs ont 0^m 35 de hauteur et sont recouverts d'un coussin rembourré; le dossier est rembourré jusqu'à la hauteur de la tête. La fermeture des ouvertures se fait toujours par châssis vitrés mobiles. Pour assurer la ventilation, quand les châssis sont fermés, on laisse entre la corniche et le haut de la portière (fig. 243) des espaces vides garnis de lames de persiennes; une planche glissant dans des coulisses et percée d'ouvertures correspondant aux ouvertures formées par les lames de persiennes, peut se placer de manière à établir ou interrompre la ventilation.

Voitures de 1^{re} Classe (fig. 244). — Toutes les dimensions des compartiments sont augmentées au lieu de 1^m 44 il y a 1^m 95 entre les dossiers des deux bancs; on ne met que quatre voyageurs sur les 2^m 44 de longueur du banc. On divise les bancs en deux stalles, de sorte que chaque voyageur se trouve avoir un coin. La banquettes a une hauteur de 0^m 35 sans le coussin et de 0^m 48 en y comprenant le coussin. La largeur des bancs est de 0^m 35 la distance entre les deux bancs est de 0^m 58, l'épaisseur de chacune des garnitures formant dossier de fauteuil est de 0^m 135. Le banc a également une inclinaison vers l'arrière.

Le voyageur a toute facilité de conserver avec lui de petits colis, qu'il peut placer sous le banc ou sur des systèmes de supports avec filets disposés au haut de la voiture.

Le système de ventilation placé à la partie supérieure des secondes existe aussi dans les premières.

Les châssis vitrés des portières sont mobiles (fig. 245); ils ont généralement des contre-poids qui permettent de les maintenir à telle hauteur que l'on veut.

À l'origine, les fenêtres placées de part et d'autre de la portière étaient fixes; mais la grande chaleur qu'elles occasionnaient en été, a déterminé à les rendre mobiles.

Système d'éclairage. Une voiture de troisième classe est éclairée par une ou deux lampes; en seconde classe il y a une lampe pour deux compartiments, ou première une lampe par compartiment. Le service des lampes se fait par le dessus des voitures. La capacité du réservoir d'huile est plus ou moins grande, selon la distance que le convoi doit parcourir. Les réservoirs ont la forme parabolique à l'intérieur et servent de réflecteur. Une cloche en cristal empêche le voyageur de toucher à la lampe. Cette cloche a été primitivement en verre dépoli; mais elle amorti trop la lumière, se tachait d'huile et présentait ainsi l'apparence

d'un mauvais entretien.

On emploie actuellement le cristal ordinaire, si l'éclat de la lumière fatigue ou pèse, dans les premières classes, mettre devant le globe un écran, enroulé d'ordinaire sur un rouleau à ressort, on le déroule et on le fixe à un crochet.

Au dessus de la lampe il y a un système de ventilation à charnière qui permet la ventilation, tout en empêchant l'introduction de l'eau quand il pleut.

Pour que l'allumage se fasse rapidement, les mèches sont imbibées au préalable d'essence de térébenthine.

Dans quelques voitures, on met des coupés, c'est-à-dire des compartiments à un seul banc. Dans ce cas il faut donner au compartiment une largeur plus grande que la moitié de la largeur des compartiments à deux bancs; afin que le voyageur puisse mettre ses pieds; la largeur est celle d'un banc de 1^{re} classe augmentée de l'espacement de deux bancs.

Les portières, avant l'accident arrivé sur le chemin de fer de Versailles, rive gauche, étaient fermées à clef; la gravité de cet événement est surtout attribuée à ce que les voyageurs étaient enfermés dans un train qui brûlait. La fermeture des portières avait été motivée par ce fait, que des voyageurs avaient ouvert des portières pendant la marche du train et étaient tombés sur la voie.

Aujourd'hui chaque portière est munie d'un loquet communiquant avec une poignée qui est à la portée du voyageur. La fermeture est complétée par un loquet, mis à la partie inférieure, qui empêche les portières de se voiler, et qui peut aussi donner le temps de la réflexion à un voyageur imprudent.

Dans les voitures les portières d'un même côté s'ouvrent toutes dans la même direction les portières de côtés différents s'ouvrent en sens inverse (fig. 246) de sorte qu'une voiture peut être tournée bout par bout sans que les portières situées d'un même côté cessent de s'ouvrir dans la même direction. En France, on descend à gauche, la flèche indiquant le sens du mouvement, les portières s'ouvrent comme l'indique la fig. 246.

Cette disposition permet de descendre quand le train n'est pas tout à fait arrêté, ou de monter au moment où le train se met en marche, sans qu'il y ait danger pour le voyageur d'être blessé par la portière; ce qui aurait lieu dans le cas où les portières s'ouvriraient en sens inverse parce qu'elles tendraient à se fermer. Un autre avantage, c'est que les portières du côté de l'entrevoie tendent à se fermer dans le cas où il y en aurait d'ouvertes, et dès lors deux trains passant l'un à côté de l'autre ne se heurtent pas.

Dans les chemins à petit trafic il est avantageux d'avoir des voitures mixtes; c'est-à-dire des caisses ayant à la fois des compartiments de première classe et de seconde; souvent il y a très peu de voyageurs de première classe et on prend alors moins de places.

Pour les chemins de fer de banlieue on ne fait que des voitures de deux classes, première et deuxième; s'il y avait trois classes on ne prendrait jamais la première, parce qu'on recherche peu le confortable pour une petite distance.

Wagons à bagages.—Les caisses des wagons à bagages sont de grands compartiments couverts, fermés de tous côtés, avec parois en bois ou en tôle et ayant

de larges portes qui se manœuvrent à coulisse le long de la paroi. On ménage dans ces voitures des compartiments pour les articles de finances et les valeurs, des étagères pour les petits colis, et sous les bancs à bagages des niches pour les chiens.

Les trucks à chaise de poste sont des plate-formes formées d'un châssis recouvert d'un plancher sur lequel il y a des ridelles. Ces ridelles sont formées de montants verticaux. Pour empêcher le mouvement longitudinal de la chaise de poste, on place une traverse en fer portant à ses extrémités deux trous que l'on met en correspondance avec ceux de la lisse de la ridelle, et que l'on goupille, les jantes des roues s'engagent dans des arêtes échancrées fixées à la traverse, (fig. 247).

Pour être transportées les diligences ne conservent pas leurs roues, la caisse est enlevée avec ses ressorts et posée sur un truck sans ridelles où elle est fixée. Le voyageur, ainsi enfermé dans une caisse de diligence, est évidemment moins à l'aise qu'il ne le serait dans les voitures de chemin de fer. Il n'a qu'un avantage, c'est de ne pas quitter ses bagages; mais cela n'est un avantage réel que si le transport par le chemin de fer est une fraction faible du transport total.

Il y a des wagons spéciaux pour les chevaux et pour les bestiaux. Les chevaux de prix sont transportés dans des stalls; on met trois stalls par wagon. La frayeur à laquelle les chevaux sont en proie force de les attacher dans tous les sens; pour que la sonorité du plancher n'augmente pas cette frayeur on y met des corps élastiques; on met en outre le palfronier dans un couloir où est ménagé une mangeoire; de cette manière le cheval est moins dépaycé.

Pour le transport des chevaux de cavalerie, on se sert de wagons à boeufs, semblables aux wagons à bagages, avec cette différence qu'ils ont des ouvertures pratiquées dans le haut des deux grandes faces latérales, et fermées par des rideaux. On met dans chaque wagon, cinq à six chevaux avec un ou deux hommes, les chevaux ainsi réunis s'effrayent et se fatiguent beaucoup moins.

Les wagons à moutons sont à claire-voie et à deux étages; les planchers ont des garnitures en zinc pour écouler les eaux.

Les wagons à lait sont à étages et à claire-voie avec un plancher également à claire-voie, afin que le lait ne s'échauffe pas; le lait est renfermé dans des boîtes en fer blanc.

Les wagons à poissons sont des wagons à bagages.

Les wagons à houille sont des plate-formes avec des parois assez hautes. On charge 10 tonnes avec des wagons en pesant quatre.

Les wagons à Coke et à Charbons de bois sont analogues.

Les wagons à pierre sont des plate-formes sur lesquelles on place des pièces de bois qui portent les pierres; ces dernières ne reposent pas directement sur la plate-forme à cause de l'usure qu'elles produiraient.

Les longues pièces de bois sont transportées sur des wagons du système américain.

En général les wagons pour les marchandises doivent être le moins possible spacieux, afin d'être utilisés.

Le rapport entre le poids mort et le poids utile doit être le plus petit possible. A l'origine des Chemins de fer le rapport du poids mort au poids utile était $\frac{1}{2}$, plus tard la vitesse augmentant, on arriva à donner aux wagons des dimensions plus résistantes et le rapport devint $\frac{2}{3}$.

Enfin l'emploi du fer ayant permis de réduire les dimensions des pièces il est actuellement de $\frac{2}{5}$.

4^e Section.

Chap. 1^{er} — Détermination du profil transversal.

La première question qui se présente, quand on s'occupe du profil en travers de la voie, c'est la largeur qu'on doit adopter. Cette largeur est, en quelque sorte, déterminée d'une manière invariable par le grand nombre de chemins de fer, avec certains desquels on peut avoir à se raccorder.

Dans la majorité des chemins anglais, dans la totalité des chemins belges et français, la largeur de la voie est $1^m 44$ à $1^m 45$ entre les rails, ou $1^m 50$ à $1^m 51$ d'axe en axe (le rail ayant $0^m 06$ de largeur).

Tout le groupe du Great Western construit par Brunel, a $2^m 13$. Enfin les chemins d'Irlande ont $1^m 70$: Voilà les trois types seuls en usage jusqu'ici.

Influence de la largeur de la voie

1^o au point de vue de sa Construction. — Les travaux de terrassements ne sont pas sensiblement augmentés, mais les liens réunissant entre elles les files de rails, le ballast, les travaux d'art, subissent une augmentation considérable; la voie de fer elle-même devient plus coûteuse par une double raison: Il faut, dans les courbes, prendre des rayons plus grands que ceux nécessaires pour une voie à petite largeur, sous peine de voir augmenter les résistances par frottement. En second lieu, plus les voies sont larges plus les voies de raccordement ont de développement.

Enfin les plaques tournantes coûtent plus cher et sont d'un établissement plus difficile.

Malgré cela l'excédant de dépense pour la voie n'est pas proportionnel à l'augmentation de sa largeur.

2^o au point de vue du matériel roulant. — Les essieux ayant une plus grande portée, devront être plus forts, le rapport du poids mort des wagons au poids utile, augmentera malgré l'accroissement du poids utile.

qu'on pourra leur imposer. Mais on pourra augmenter le rayon des roues et par suite, diminuer les frottements, sans pour cela, diminuer l'angle de stabilité formé par les lignes allant du centre de gravité du chargement aux deux points d'appui des roues sur les rails. L'écartement des roues diminue les secousses pour les voyageurs.

Pour les wagons à marchandises, bien qu'on ait des wagons plus larges, on ne peut augmenter le chargement proportionnellement à leur surface, parce qu'on fatiguerait trop la voie; mais on a l'avantage de descendre le centre de gravité du chargement et de le rapprocher du plan des tampons, ce qui, en diminuant l'influence des chocs, est favorable à la conservation du matériel.

Pour les locomotives, il est certain que les voies larges ont un grand avantage en ce qu'elles laissent plus de place pour développer les organes des machines puissantes, et permettent d'augmenter les rayons des roues et, par conséquent, la vitesse, sans augmenter outre mesure le nombre de coups de piston, et sans diminuer la stabilité de la machine.

Les locomotives Crampton ont résolu la difficulté pour ce qui concerne les trains à grande vitesse sur les voies étroites; comme dans ce cas, on n'a pas besoin d'utiliser pour la traction tout le poids de la locomotive, Crampton a placé sous la chaudière les deux roues portantes (fig. 248). Quant à l'essieu moteur, il l'a placé en dehors de la chaudière et a pu donner ainsi à ses roues un grand rayon sans nuire à la stabilité de la machine.

Mais cette solution n'est pas applicable aux marchandises pour lesquelles les locomotives sont à essieux couplés: à l'origine on avait adopté des roues de faible diamètre afin d'augmenter la charge traînée: Mais les exigences du trafic ont conduit à les augmenter successivement afin de mettre autant que possible, la vitesse des trains de marchandises en rapport avec celle des trains de voyageurs. Sous ce rapport, les chemins à large voie permettent de satisfaire à cette condition de facilité de trafic, en faisant une stabilité suffisante et une grande puissance aux machines des trains de marchandises.

Les dépenses de traction sont les mêmes pour les chemins à voies larges ou étroites, parce qu'on ne peut imposer un surcroît de charge aux premiers.

Le Great-Western, dont la voie a 2^m 134 de largeur, et qui se trouve en communication avec des chemins, n'ayant que 1^m 44 à d'u, pour permettre l'usage des deux matériels, établir une troisième file de rails. Une solution analogue a été appliquée au chemin de fer de Sceaux, qui avait été établi, dans le principe, avec une largeur différente

de la largeur ordinaire.

En présence de ces faits, la question de la largeur de la voie est résolue pour le moment en France, où tous les chemins ont 1^m 44 ou 1^m 45 (Chemin de Lyon).

Ce n'est que dans le cas d'un réseau particulier, n'ayant que des points de contact peu nombreux, allant, par exemple, directement des points de production aux points de consommation, qu'on pourrait établir des voies avec une largeur de 1^m 70 qui paraît en elle-même préférable à 1^m 44.

Mais pour tous les chemins se rattachant directement au réseau, qu'ils soient de communication directe ou secondaire, il est nécessaire qu'ils aient la largeur de voie adoptée jusqu'ici afin que le même matériel puisse circuler partout.

Entrevoie & Accotementa. — Les cahiers des charges fixent les limites, et les lignes construites fournissent les données pour arriver à la meilleure répartition des largeurs prescrites.

Les deux profils ordinaires sont les suivants: (fig. 249)

	Voies.	Entrevoie.	Accotements.	
En remblai	2 (1,50)	+ 2 ^m 00	+ 2 (1,65)	= 8 ^m 30.
En déblai	2 (1,50)	+ 2 ^m 00	+ 2 (1,20)	= 7. 40.

Les limites inférieures sont:

- 1^m 86 d'axe en axe pour l'entrevoie.
- 1^m 50 pour l'accotement en remblai.
- 1^m 00 d: — d: en tranchée.

La largeur de 1^m 86 d'entrevoie a été jugée étroite, et, en général on a donné 2^m 00 d'entrevoie.

On y a été conduit en considération des saillies du matériel par rapport aux voies.

Voiture de voyageurs, saillie de la caisse sur le rail	0. 65
— d: — d: du marchepied	0. 75
Wagon à houille ou coke, saillie de la caisse	0. 75
— d: de marchandises	0. 60
Wagons bâchés, passés sous le gabarit	0. 875

Prenant la saillie maximum, on a $2 \times 0. 875 = 1^m 750$ de saillie totale au passage de deux trains de wagons bâchés. 1^m 86 est trop rapproché de cette limite. Une des considérations qui ont conduit à adopter la largeur de 2^m 00 est la suivante:

Un wagon de voyageurs avec portière ouverte, à une saillie variable de 1 ^m 070 à 1 ^m 15	
Les voitures salon d:	1 ^m 285
Wagons à marchandises	1 ^m 340

Si un train de marchandises avec une portière ouverte, vient à passer à côté d'un train de voyageurs la saillie totale est de $0.65 + 1.34 = 1.99$. L'entrevoie de 2.00 évite alors ces causes d'avarie et d'accident.

Accotements. — Quant aux accotements les cahiers des charges prescrivent $1^m 50$ au minimum en remblai, et $1^m 00$ en déblai; mais l'Administration a accepté les profils (fig. 250, 250^{bis}) dans lesquels la largeur du ballast est diminuée, ce qui assure la bonne tenue et par suite la parfaite stabilité de la voie. Les agents, aux passages des trains, peuvent se garer soit sur les banquettes dans les remblais, soit dans les fossés dans les déblais.

Cour ce que l'Administration exige c'est que le ballast, suivant sa nature, ait une largeur suffisante pour donner assez de stabilité à la voie; un excès de largeur est plutôt nuisible qu'utile.

Fossés. — Dans les cas ordinaires, les fonds des fossés ont $0^m 50$ de largeur et se trouvent au niveau de la partie inférieure du ballast; mais dans le cas particulier où il y a un écoulement d'eau naturel, il faut approfondir le fossé pour que le pied du ballast ne soit pas constamment inondé: on y arrive, soit en élargissant la tranchée (fig. 251) soit en remplaçant le talus du ballast par une murette (fig. 252). La comparaison des prix fera connaître, dans chaque cas, à quelle solution il convient de s'arrêter.

Talus. — En remblai, on donne généralement 3 de base pour 2 de hauteur, les terres argileuses et autres tiennent parfaitement sous cette inclinaison.

En déblai, le talus de 45° est généralement appliqué excepté pour les sables mobiles, les glaises &c.

Pour une grande tranchée, on peut faire les talus continus (fig. 253) ou bien ménager, dans la hauteur, un certain nombre de banquettes (fig. 254).

Dans les cas ordinaires, il sera préférable d'employer des talus continus: l'entretien en est plus facile; la terre, qui s'éboule toujours un peu, tombe dans le fossé et peut être retirée facilement et chargée sans difficulté sur un train, tandis qu'avec des banquettes l'entretien est plus minutieux. Cependant, dans le cas où l'on a des tranchées en terrains humides, les banquettes peuvent être utiles pour entretenir des appareils d'assainissement.

Chapitre 2.

Dimensions des Ouvrages d'art sur la voie.

Les ponts par dessus le Chemin de fer ont leurs dimensions fixées par le cahier des charges (fig. 255).

Largeur minimum	7 ^m 40
hauteur minimum au dessus du rail extérieur	4. 30
Chemin du Nord	4. 30
Plusieurs Chemins ont	4. 40
Chemin de Lyon à Avignon	4. 50
id. de Ceinture	4. 80
id. d'Orléans et de Lyon	4. 80

Il y a avantage à augmenter le plus possible cette dernière dimension, on peut donner plus de hauteur aux cheminées et, par suite, augmenter le tirage, surtout dans les locomotives puissantes des trains de marchandises.

Dans les souterrains, comme il s'agit d'ouvrages continus, il faut tenir ces dimensions un peu plus fortes.

Pour souterrains à deux voies, le profil en travers est le suivant :

	Voies — Entrevoies — Accotements	
$2 \times 1.50 + 2^m 00 + 2 \times 1.50 = 8^m 00$		
Hauteur à l'aplomb du rail	Lyon — 6.40	Lyon - Evignon — 4.75
Hauteur totale	7.40	5.50
	(fig. 256)	(fig. 257)

On ménage, de distance en distance, dans l'épaisseur des pieds-droits, des niches pour remettre les outils et garer les agents au passage des trains. Ces niches ont 1^m 20 à 1^m 40 de profondeur et 2^m 00 de largeur; elles sont écartées de 30 à 50^m et disposées en quinconce.

Sur les viaducs, il doit y avoir des accotements convenables permettant aux agents de se garer. Généralement à l'aplomb des piles se trouvent des avant-corps qui servent de garages sûrs et donnent du mouvement à la construction.

	Voies — Entrevoies — Accotements
Viaduc de l'Indre	$(2 \times 1.50) + 2.20 + (2 \times 1.30) = 7.80$
Viaduc de Lyon	$(2 \times 1.50) + 2.00 + (2 \times 1.50) = 8. "$
	Garages de 0.40 à 0.50

Dimensions des chemins à une voie.

Les profils s'obtiennent en retranchant une voie et l'entrevoies aux profils à deux voies.

Types de souterrains à une voie.

Souterrain de :	Ouverture.	Hauteur	
		au dessus du rail extérieur	Totale
St. Etienne	3. 00	"	5. 00
Belgique	4. 00	"	5. 20
Provins	4. 00	4. 30	5. 50
Gray	4. 50	4. 75	5. 50
Douai	3. 50	4. 30	4. 45

Les dimensions du souterrain de Douai sont insuffisantes. Aussi les chargements des wagons ont-ils laissé des traces sur les arêtes. Cette insuffisance est motivée par les exigences militaires.

En général, dans les passages très longs, il faut se préoccuper de l'aérage et de l'évacuation de la vapeur qui se répand dans le souterrain. On ménage à cet effet un certain nombre de

cheminées ou puits d'aérage).

Gray, pour les souterrains à une voie, et Lyon, pour les souterrains à deux voies, offrent de bons types à suivre.

Francbords.

En remblai comme en déblai, il convient de ménager de chaque côté du chemin, une zone libre pour le service, la clôture et l'assainissement du chemin.

En remblai et du côté d'aval, le chemin ne gêne pas l'écoulement des eaux, un francbord de 1^m à 1^m 50 suffit pour la circulation le long du remblai et pour préserver les propriétés riveraines de la chute des pierres qui peuvent se détacher du remblai. La haie est placée à 0^m 50 de la limite de la propriété voisine.

Du côté d'amont, on a le francbord, la haie, et, au delà de cette haie, un fossé pour l'assainissement des propriétés riveraines qui, en général, en supportent l'entretien.

En déblai et à l'aval il suffit de 1^m 00 pour placer la haie et de 0^m 50 au delà de cette haie. Et l'amont on a le francbord, un fossé pour empêcher les eaux de raviner le talus de la tranchée, et, enfin, la haie placée sur le bord extérieur du fossé. L'entretien de ce dernier est à la charge de la Compagnie.

Profils exceptionnels.

Dans chaque cas particulier, on détermine l'inclinaison du talus d'après la consistance et la nature des terrains. Lorsque la différence de niveau entre le chemin de fer et le sol est considérable, les talus prennent une très grande place; il y a intérêt à la réduire autant que possible lorsque les terrains sont chers. On diminue l'empâtement des talus en faisant à leurs pieds, des murs de soutènement verticaux, ou des perrés à diverses inclinaisons.

On a également recours à ce moyen dans le cas d'un sol rocailleux, pour diminuer la masse de terrassements. On profite alors des matériaux propres à la maçonnerie que procurent les déblais, pour construire des murs de soutènement. C'est ainsi qu'on a réduit à 52^m la base d'un remblai pierreux de 32^m de hauteur. On l'a revêtu de murs en pierres sèches avec parement courbe maçonné ayant 2^m en couronne et 12^m à la base.

Chapitre 3^e.

Exécution des Terrassements &c.

Moyens de préservation des Talus.

L'action alternative du soleil et de l'humidité, des pluies, des gelées et du dégel, diminue ou détruit la cohésion des terres sur une épaisseur plus ou moins grande à la surface des talus, et les terres désagrégées sont incessamment entraînées par la pesanteur, la pluie, ou les vents, le frottement seul étant insuffisant à les retenir.

Les plantations et les semis, lorsqu'on peut les faire pousser assez vite, sont le moyen le plus simple et le plus économique d'empêcher les dégradations superficielles. Les semis exigeant l'ameublissement des terres sur une épaisseur de quelques centimètres, ne

peuvent réussir que sur des talus d'une inclinaison plus douce que celle du talus naturel. La nature des semis dépendra de celle du sol, du climat. La luzerne forme une excellente défense contre les pluies ou les gelées, mais elle ne réussit pas partout. La trainasse et le chiendent qui croissent presque partout sont très bons pour lier les terres et les couvrir. La trainasse surtout dont la forte racine pivote profondément et dont les innombrables branches se traînent sur la surface du sol.

Lorsque le terrain est peu propre à la végétation, on ameublit la surface au râteau, on sème les graines à la volée, on les recouvre d'une épaisseur de 0,02 à 0,03 de terre végétale. Quand le talus est très mobile, on porte l'épaisseur à 0,08 ou 0,10, mais alors le semis se fait par dessus.

Les plantations n'exigeant pas l'ameublissement de toute la surface des talus peuvent être faites sur des inclinaisons un peu plus raides; mais elles poussent moins vite; garnissent beaucoup moins la surface et ne peuvent être employées seules que sur des talus qui se dégradent lentement.

Les essences que l'on plante le plus souvent sont l'Acacia qui pousse partout, l'osier qui est assez productif et le vernis du Japon qui couvre bien. Enfin on peut employer presque partout le chiendent comme plantation.

Quelque soit la nature de la plantation adoptée, il faut éviter les sillons continus qui exposeraient les parties supérieures à des éboulements, et disposer les trous isolés en quinconce. Ces trous, faits avec un fort piquet, doivent être normaux au talus; après l'introduction des plantes on les remplit de terre que l'on comprime légèrement de manière qu'il ne reste ni saillie ni flache apparente.

Souvent lorsque le terrain est très sensible aux influences atmosphériques, il faut l'envelopper d'une chemise de 0^m 25 à 0^m 30 de terre végétale. On établit une solidarité complète entre la couche artificielle et le corps du talus au moyen de sillons de 0.20 de profondeur, que l'on fait sur le talus primitif en chevrons afin que l'eau qui pourrait tomber pendant les travaux puisse s'écouler. L'angle du fond de ces sillons est presque droit (fig. 258).

Quand on peut disposer du gazon d'une prairie, on lève des carreaux de 0.30 de côté sur 0,05 ou 0,08 d'épaisseur et on les applique sur les talus. Les gazonnements pour assises peuvent prendre des inclinaisons assez raides; ils s'emploient surtout pour protéger les remblais de talus élevés dans des vallées submersibles. Ils sont très économiques, mais comme ils ne peuvent réussir que sur des talus habituellement hors des eaux, on les appuie à leur pied sur un perré en moellons.

Les revêtements en moellons posés à sec, sont, à prix égal, préférables aux revêtements de gazon. S'il s'agit d'une simple défense, le mur aura 0.35 environ d'épaisseur constante. Si le mur doit servir au soutènement des terres, l'épaisseur mesurée normalement au rampant, ira en croissant du sommet à la base; elle sera de 0.30 au sommet et augmentera pour chaque mètre de hauteur de 0,05 pour les talus à 2 de base sur 3 de hauteur, et de 0.10 pour les talus à 1 de base sur 3 de hauteur.

Un perré fournit une défense énergique même contre les eaux courantes.

1° lorsque sa base est solide et à l'abri des affouillements

2° lorsque les matériaux sont tellement agencés entr'eux, les grandes dimensions étant en queue, qu'ils sont bien solidaires et qu'aucun moëllon ne puisse être retiré isolément sans produire l'ébranlement de tous ceux avec lesquels il est en contact.

3° Si le corps du perre ne contient pas de vides trop forts, et s'il est établi sur une couche de 0.10 à 0.15 de menu gravier pouvant former filtre et empêcher les eaux d'entraîner les terres délavées.

Pour empêcher les eaux qui tombent sur la partie supérieure du sol de s'épancher sur les talus, on établit sur le sommet de ceux-ci, et du côté d'amont, un fossé avec revers d'eau, qui recueille les eaux et les conduit hors de la tranchée, si la forme du terrain s'y prête, ou, dans le cas contraire, les rejette dans les fossés de la tranchée au moyen de cuvettes rampantes établies au droit des points bas.

Lorsque le terrain est perméable, les fossés supérieurs ne doivent pas avoir une pente moindre de 0.01 par mètre, et il est très important d'entretenir leur écoulement parfaitement libre, autrement les eaux pourraient en s'infiltrant dans le terrain produire des désordres graves. Les cuvettes rampantes sont en maçonnerie et posées sur filtres en pierrailles, elles servent aussi à l'écoulement des eaux des banquettes.

Remblais et tranchées en terrains argileux.

Lorsque la glaise légèrement humectée à son état naturel est mise à nu et exposée à l'air, la superficie, sur une épaisseur assez grande, change incessamment de volume, se contractant ou se gonflant suivant qu'elle perd ou absorbe de l'humidité. Par les gelures plus ou moins profondes ouvertes par la sécheresse, les eaux pénètrent profondément dans la glaise et la ramollissent. Pour la soustraire à ces alternatives qui détruisent peu à peu sa surface, un revêtement en terre est indispensable: ce revêtement ensemençé suffit toujours quand la glaise est compacte et homogène.

Mais bien souvent, au contraire, elle est surmontée par un banc de terrain plus ou moins perméable. C'est après l'ouverture de la tranchée les eaux de la nappe souterraine qui s'écoulaient à la surface de la glaise venant à se perdre dans les fissures que les influences atmosphériques déterminent sur les talus, en ramollissant la surface sur une épaisseur plus ou moins grande, et le ramollissement s'étend ensuite de proche en proche.

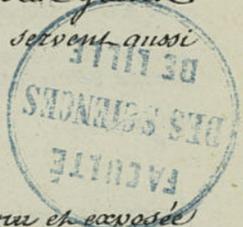
Les gelées aggravent le mal par leur action, l'issue de la nappe se trouve momentanément obstruée; dès lors les eaux s'accumulent dans la partie du terrain qui n'est pas soumise à la gelée, et la détrempe.

Quand survient le dégel, la couche superficielle, qui avait acquis une grande cohésion pendant la gelée, se ramollit et toute la masse détrempée peut s'ébouler (fig. 259).

Le moyen le plus simple pour prévenir ces accidents est le suivant:

On ouvre dans le talus et longitudinalement une petite rigole que l'on fait pénétrer à une profondeur variable dans la masse argileuse de manière à former des pentes et contre-pentes de 0.01 au moins (fig. 260).

À chaque point-bas de la rigole longitudinale on rejoint cette dernière au talus par



une rigole transversale ayant 0.05 de pente vers la tranchée. Sur le fond des rigoles, convenablement réglé; on établit un petit radier en briques et mortier hydraulique, on remplit cette rigole de pierres cassées jusqu'à un peu au dessus du banc de suintement; on recouvre le remplissage soit avec des gazons renversés, soit avec des pierres plates ou des tuiles. Les terres sont rapportées par dessus et pilonnées et les eaux sont rejetées des rigoles transversales dans les fossés au moyen de petites cuvettes rampantes dont les différentes coupes peuvent être représentées par les fig^{es} 261, 262, 263.

Ce procédé de consolidation doit être appliqué à mesure que l'on creuse la tranchée autrement on s'exposerait à de graves accidents, et, en outre la masse des déblais detrempés par les eaux de filtration formerait de très mauvais remblais.

Certains bancs de suintement n'apparaissent qu'à certaines époques de l'année et à certaines heures du jour; il convient donc de visiter souvent les talus surtout avant le lever du soleil, et de recouvrir les parties douteuses d'une légère couche de sable sec qui presque toujours accusera le suintement s'il existe. Enfin il est indispensable de veiller à ce que rien ne vienne obstruer les pierres.

Une mesure radicale à prendre en cas d'éboulement, c'est d'enlever toutes les terres ébouleées puis de dresser les parois de la chambre d'éboulement suivant un talus régulier.

Sur le Chemin de Lyon pour consolider des tranchées glaiseuses, on a cru devoir faire des murs de soutènement montant jusqu'au tiers du talus, aussi épais que hauts et encastrés de un mètre dans le sol.

Si l'on a à ouvrir une tranchée dans des terrains marécageux, on commence par creuser des deux côtés du chemin deux fossés parallèles à l'axe (fig. 264.) La tranche supérieure assainie, on l'enlève par les moyens ordinaires; on approfondit les fossés, on enlève une seconde tranche et ainsi de suite.

Les remblais peuvent être faits avec des terres argileuses humides provenant de tranchées; de plus les mottes de glaise déchargées au wagon laissent entre elles de grands vides susceptibles d'absorber beaucoup d'eau; et, si le remblai est mené de toute hauteur les mottes les plus grosses roulent jusqu'au sol et s'y écrasent. Leur surface inférieure acquiert un poli savonneux qui graisse pour ainsi dire, la surface de contact du sol et du remblai.

Pour éviter les éboulements et diminuer les tassements auxquels on serait exposé il convient d'exécuter le noyau du remblai par couches horizontales, au tombereau, et de l'épauler par des prismes latéraux de bonne terre.

Sur quelques lignes on coupe le remblai de dix mètres en dix mètres par des pierres transversales qui assainissent le corps du talus, et s'opposent aux mouvements latéraux.

Les remblais peuvent être établis sur un sol formé de couches successives perméables. Ce cas s'est présenté au Chemin de Lyon. Le remblai par son poids a auéanti les canaux capillaires par lesquels filtraient les eaux. Ces dernières en s'accumulant dans le sous-sol, en ont ramolli les terres et ont déterminé le glissement du sous-sol et du

remblai. Pour remédier à cet effet, on a construit, à l'amont et à l'aval de grandes pierrées d'assainissement parallèles au remblai, ainsi que des pierrées transversales de distance en distance et un mur de soutènement du côté de la pente.

Un fait analogue s'est produit au Val-Fleury (Chemin de Versailles, rive gauche). Malgré un grand nombre de tentatives, il avait été impossible de terminer le remblai projeté, et la voie avait alors été établie sur des estacades en charpente; mais après sept années de durée, les estacades n'offraient plus assez de sécurité, on dut songer à les remplacer et on en revint au projet primitif. Afin de ne plus être exposé aux premiers inconvénients, on dessêcha le sous-sol en plaçant à l'aval deux pierrées parallèles à l'axe du chemin, et réunies entre elles par des pierrées transversales (fig. 265 & 266). Les eaux se sont écoulées par de petits aqueducs établis au fond et le long de toutes les pierrées, jusque dans un puits général creusé profondément dans la craie absorbante. On a, en outre, donné une grande base au nouveau remblai afin de diminuer la pression par unité de surface.

Pour les remblais sur terrains tourbeux on fait parfois, au préalable un lit en fascinaiges qui ne peut être que d'une durée hypothétique. Sur le chemin du Nord, près de St-Quentin, on a fait le remblai sans précautions, il s'est enfoncé dans le marais (fig. 267) dont le sol comprimé a bientôt acquis une densité suffisante pour faire équilibre au poids du remblai.

Compensation — Foisonnement — Tassement.

Dans un projet de tracé de route, on cherche toujours à compenser les déblais par les remblais; mais quand il s'agit d'un chemin de fer, les pentes généralement très faibles et le grand développement qu'on est obligé de donner aux courbes forcent souvent de s'écarter de ce principe.

Dans tous les cas on doit, dans l'étude du mouvement des terres, examiner la masse de remblai que peut fournir un déblai; autrefois on admettait dans cette appréciation que les terres foisonnaient; par la suite on a reconnu que dans les grands remblais, il y a plutôt un déchet qu'un foisonnement avec les terres ordinaires.

Quand le déblai est de roches quelconques, telles que craie, gros cailloux &c., on a un foisonnement.

Au contraire quand on a à faire à des terrains d'alluvion, tourbeux qui renferment une certaine quantité d'eau, ils diminuent de volume en perdant leur eau.

En général les terrains compressibles donneront un déchet très apparent. Dans les remblais du canal latéral à la Garonne le déchet s'est élevé à $\frac{1}{7}$.

D'après ces considérations, on doit prévoir que, suivant la nature des terres composant un remblai, il y aura plus ou moins de tassement après un certain temps. Pour prévenir l'inconvénient qui en résulterait, on donne au moment de l'exécution de ce remblai une sur-élévation égale au tassement que l'on prévoit, sans quoi on serait exposé, par la suite, à mettre une couche très épaisse de ballast. Ainsi un remblai de 12^m 00 peut tasser de 1^m 00, si l'on n'avait élevé le remblai qu'à la hauteur voulue, on serait obligé quelques mois après, de rétablir le niveau à l'aide d'une couche de ballast qui, ajoutée à celle déjà mise porterait la couche définitive à environ 1^m 50

et accroîtrai les frais de premier établissement.

La sur-élévation à donner aux remblais varie suivant la nature des terres, en général on lui donne les $\frac{15}{100}$ de la hauteur totale du remblai, quand on pose la voie immédiatement après la construction: quand c'est seulement quelques mois après, on donne à la voie moins de sur-élévation. ailleurs on se guide sur l'âge du remblai.

Cette manière d'agir peut avoir des inconvénients quand la vallée franchie par le remblai est étroite et profonde. Alors la courbe de sur-élévation αB_j (fig. 268) peut avoir une flèche telle que la voie posée suivant cette courbe présente des rampes trop fortes pour la traction.

Quand, dans le remblai, se trouve un ouvrage, pour ou passage en dessous, la portion de remblai qui est au dessus de cet ouvrage, ne tassera pas autant et une sur-élévation sera moins nécessaire. De chaque côté, au contraire, les remblais seront sur-élevés de manière que le profil du remblai présentera un point singulier (fig. 269) au dessus de l'ouvrage, et quand les ouvrages seront nombreux on ne pourra donner à la voie la forme ondulée qui en résulterait.

Pour que la voie établie sur un profil initial, ayant des pentes considérables et des ondulations, ne présente pas trop d'obstacles à la traction on adopte pour la voie un profil différent de celui du remblai.

Ainsi, dans le cas où le sur-haussement pour un remblai traversant une vallée profonde et étroite, est trop élevé, on pose la voie, au point culminant, sur la terre, sans ballast, tandis que vers la naissance du remblai, on force la couche de ballast: on arrive ainsi à diminuer la pente.

Au dessus des ouvrages placés dans le remblai, on met une forte couche de ballast pour éviter le point singulier.

Quand le tassement se produit, dans le premier cas, on met du ballast au point culminant en même temps qu'on affaiblit la couche aux naissances. Dans le second cas, on affaiblit la couche au dessus des ouvrages à mesure que les remblais latéraux tassent.

On adopte toutefois la solution qui consiste à placer la voie directement sur le remblai sans ballast, que lorsqu'on ne peut pas faire autrement, car, dans ce cas, le boussage se fait très difficilement, et, la voie manquant d'élasticité, le matériel reçoit des chocs qui le détériorent.

Dans certains terrains, comme l'argile, on ne pose jamais la voie sur le sol directement; mais si, l'on a de la craie, cette roche formant d'excellent ballast pendant deux ans (après ce temps elle se délite) on peut établir la voie directement sur la craie et, plus tard, quand le tassement est effectué on remplace ce ballast provisoire par du bon ballast.

Modes de transport des Terrassements.

Il y a quatre modes différents de transport.

1^o *Jet de pelle.* — La terre, chargée sur une pelle est lancée horizontalement ou verticalement. On admet que le jet horizontal peut atteindre quatre mètres et le jet vertical un mètre soixante centimètres à deux mètres.

On emploie ce mode dans les fouilles d'ouvrages d'art, et, en général, quand le transport des terres n'est que de quelques mètres, comme dans le cas fort rare, où le chemin de fer est sur le flanc d'un coteau moitié en déblai moitié en remblai.

2° **Transport à la brouette.** — Le mode est économique pour les petites distances et quand on a à faire des dépôts de déblais en cavaliers; il est, de plus, très prompt, parce qu'il permet d'attaquer la tranchée sur tous les points de son développement.

3° **Transport au tombereau.** — Ce mode consiste à effectuer le transport des terres dans des voitures traînées par des chevaux. Chacune de ces voitures se compose d'une caisse rectangulaire contenant trente sept centièmes d'un mètre cube pour un tombereau à un cheval, et quatre vingt centièmes pour un tombereau à deux chevaux. La caisse peut facilement tourner autour d'un axe horizontal, de sorte que le déchargement s'opère avec facilité. Dans ce cas il n'y a jamais qu'un seul relais.

Il est à remarquer que les divers modes décrits deviennent de plus en plus compliqués. Dans le transport au jet de pelle et à la brouette, il n'y avait pas de temps perdu pour les ouvriers, au contraire, dans le transport au tombereau le conducteur et les chevaux restent inactifs. On doit donc, dans la formule donnant le prix du transport au tombereau, tenir compte de cette perte de temps.

Soient :

- C — Le chargement du tombereau en kilogrammes.
 Π — Le poids du mètre cube de déblai.
 D — La distance du chargement au déchargement.
 L — La distance totale que peut parcourir un cheval en un jour de travail.
 J — La durée du travail.
 d — La durée du chargement.
 P — Le prix de la journée du véhicule.

Pour chaque voyage d'un tombereau, la distance parcourue est $2D$; le temps employé pour effectuer le parcours est $2D \times \frac{J}{L}$ et le prix de ce transport $\frac{2Dd}{L} \times \frac{P}{J}$; mais on perd un temps d au chargement qui coûte $d \times \frac{P}{J}$, donc en définitive le transport d'un poids C de terre à la distance D coûte :

$$\frac{P(2D}{L} + \frac{d}{J})$$

et le prix du mètre cube

$$\frac{P(2D}{L} + \frac{d}{J}) \frac{\Pi}{C}$$

Il convient aussi d'ajouter à ce prix celui du chargement et celui du déchargement. Ces prix varient d'ailleurs beaucoup d'un lieu à un autre.

4° **Transport au wagon.** — Ce mode est généralement employé dans la construction des chemins de fer où les terrassements sont ordinairement très considérables et les distances de parcours très grandes; il est énergique, très rapide, et n'est pas entravé par les influences atmosphériques. Le transport au tombereau, au contraire, ne peut s'employer d'une manière continue; par les temps de pluie les chemins deviennent impraticables et l'entrepreneur est obligé de suspendre les travaux, ce qui lui occasionne de

grandes pertes d'argent.

Le transport au wagon se faisant sur des voies spéciales, peut avoir lieu par tous les temps; il doit être réglé de manière à éviter les fausses manoeuvres.

On distingue trois périodes, savoir:

Le chargement des wagons, leur transport et leur déchargement; le tout doit s'effectuer d'après un ordre arrêté à l'avance:

Pour un train en décharge, il faut qu'il y en ait un en charge; pour un train qui arrive il faut qu'il y en ait un qui parte pour qu'il n'y ait jamais perte de temps.

On se donne ordinairement le nombre de wagons d'un train, puis, connaissant le rapport du temps nécessaire pour charger un train avec celui pour le décharger, on en conclut le nombre de trains qu'il faut au chargement et celui qu'il faut au déchargement, et, par suite, on a le nombre total des wagons nécessaires. Il convient, en outre, d'avoir un certain nombre de wagons en réserve de manière que si un train est retardé on puisse continuer à occuper les ouvriers.

Déchargement.

Il y a plusieurs manières d'effectuer le déchargement.

Si l'on a un petit remblai et une petite tranchée, on décharge à la main les wagons qui sont composés, dans ce cas, d'une plate-forme portée par des roues et des essieux.

Quand les wagons sont établis de manière à basculer en avant ou de côté, on compose des trains de trois wagons, le premier décharge en avant et les deux autres, l'un à droite et l'autre à gauche. Quand on veut mettre un peu plus d'activité dans les travaux, on établit deux voies, sur la voie de droite, on met un train de trois wagons, dont le premier bascule en avant et les deux autres à droite. Sur la voie de gauche le même nombre de wagons, le premier basculant en avant et les deux autres à gauche:

Le temps de déchargement d'un train de trois wagons, chacun 2^m 50, est de 30' soit pour les manoeuvres de garage au déchargement — 24'
et pour le déchargement — 6'
Total — 30'

Soit 10' par wagon.

Les wagons déchargés restent sur la voie, et, à l'arrivée du train chargé, qu'on conduit sur une voie de garage, l'attelage, sans perdre de temps vient prendre les wagons vides.

Dans une journée de 10 heures on décharge par ce système 60 wagons avec une voie et 120 wagons avec deux voies.

Déchargement à l'anglaise. — Ce mode de déchargement est plus rapide que le précédent, les wagons basculent tous en avant (fig. 270). On attèle un cheval au wagon et on lui fait prendre le trot; arrivé à une certaine distance du point de déchargement, on ôte le cheval, et le wagon lancé, vient se heurter contre un obstacle disposé à l'extrémité du remblai: Cet obstacle est formé par une ou deux couches de traverses. On a soin d'ailleurs

de donner en avant de ce heurtoir improvisé une certaine pente à la voie ou bien un abaissement subit comme le représentent les deux figures 271 & 272; le choc produit lance les terres en avant, déplace le centre de gravité de la caisse et la fait basculer. Dans aucun cas les roues d'arrière ne doivent quitter les rails de la voie.

Ce système comprend plusieurs opérations :

- 1^o Attelage du cheval au wagon, dans le garage, pour le lancer.
- 2^o Dételage du cheval pendant le parcours et à distance convenable du heurtoir.
- 3^o Enlèvement, par l'ouvrier conducteur, du crochet qui maintient la caisse à l'arrière et l'empêche de basculer pendant le trajet.

Ces opérations qui se succèdent rapidement, paraissent, dès l'abord compliquées et difficiles à exécuter, toutefois les hommes et les chevaux soustraits à ce genre de travail et tout s'exécute facilement et sans danger.

Le temps nécessaire au déchargement d'un wagon par cette méthode est de 1' pour l'attelage, 4' pour le parcours au grand trot de 180^m distance moyenne du garage au heurtoir, en tout 5'. Ainsi on peut décharger 12 wagons en une heure, et 120 en 10 heures. On va même quelquefois jusqu'à 150, Néanmoins il convient de ne compter que sur 120.

Avec deux voies les deux services se gênent et l'on ne peut guère décharger que 180 à 200 wagons. Ce dernier mode, comme on le voit, est plus expéditif que le premier.

Déchargement sur estacades. — Il existe encore un système de déchargement plus rapide que les deux précédents, et qui se fait à l'aide d'estacades.

Chaque wagon, après son déchargement, est poussé sur un échafaudage composé de deux poutres portant des rails et formant la continuation de la voie. Ces poutres reposent par une de leurs extrémités sur le remblai en voie d'exécution, et par l'autre sur un système de charpentes disposées sur un petit chariot (fig. 273). Ce chariot est placé sur un chemin de fer auxiliaire établi sur le terrain au pied du remblai, chemin que l'on déplace à mesure que le remblai avance. Le train est amené au devant de l'estacade; s'il est de six wagons, deux se déchargent par devant, dans l'espace que laissent entre elles les deux poutres, deux à gauche et les deux derniers à droite. Les wagons, à mesure qu'ils sont vidés, sont poussés sur l'estacade qui doit pouvoir les contenir tous. Un seul cheval vient les reprendre pour les reconduire au chargement.

Par cette méthode on décharge six wagons en 19'.

7' pour la manoeuvre et 2' pour le déchargement de chaque wagon.

Ce qui donne environ 180 wagons en 10 heures avec une seule estacade et 360 avec deux.

Les poutres de l'estacade doivent être assez longues pour contenir les six wagons du train et, en outre, pour que le chariot qui les supporte ne soit jamais engagé dans les terrassements. Le déplacement de ce chariot s'effectue au moyen de chevaux ou d'engrenages agissant sur les roues du chariot.

L'espace entre le pied du talus et le chariot, doit représenter au moins la quantité

de travail qui peut se faire entre deux repas, afin de ne pas avoir à faire ce déplacement pendant les heures de travail.

Les poutres sont en bois; comme elles ont une longueur considérable on les arme à l'aide de bielles et de tirants (fig. 274) ou bien on les soutient par des contre-fiches portées par le chariot (fig. 275).

Quand on établit des cotacades doubles, il faut qu'elles soient indépendantes afin de pouvoir les déplacer chacune séparément, suivant le degré d'avancement du travail.

Chargement.

Pour effectuer le chargement des wagons, on ouvre, suivant l'axe de la tranchée, une cunette ayant environ 2^m 80 de largeur en retroussant les terres de part et d'autre, (fig. 276).

On établit ensuite une voie sur le fond de la cunette, qui n'est autre que le fond de la tranchée si cette dernière doit être peu profonde, et on jette les terres retroussées dans les wagons.

Après l'enlèvement de ce déblai, on élargit la cunette à droite et à gauche, de manière à obtenir la largeur définitive que doit avoir la tranchée (fig. 277).

Les nouveaux déblais sont jetés directement dans les wagons. C'est ainsi qu'on agit pour les tranchées peu profondes de 2 à 3 mètres.

Quand les tranchées sont plus considérables, on donne à la cunette 3^m 50 de largeur au plafond sur 2^m 00 de profondeur (fig. 277^{bis}); on l'élargit comme il a été dit ci-dessus jusqu'à 4^m 50; dans cette grande cunette on en pratique une nouvelle de 2^m 50 et l'on se sert de banquettes latérales de 1^m 00 pour y rouler des brouettes qu'on décharge directement dans les wagons placés dans la deuxième cunette.

Quand les profondeurs sont trop considérables et arrivent à 20 mètres, on divise la tranchée en étages de 10 mètres qu'on exploite successivement, quand la tranchée n'est pas longue, et simultanément dans le cas contraire.

À la brouette, un homme charge 15 mètres cubes par jour, en wagon il n'en charge que 10. On peut, d'après ces données, calculer le nombre d'hommes nécessaire pour charger un wagon d'une capacité connue, dans un temps donné, et déterminer ainsi le nombre de wagons nécessaire au chargement pour que l'on puisse effectuer les terrassements sans perte de temps. On devra donc, dans chaque cas, faire un véritable projet pour se rendre compte des prix qui varieront non seulement avec la nature des terrains mais encore avec les dimensions de la cunette et la profondeur des tranchées.

Établissements des voies pour les terrassements au Wagon.

On emploie une ou deux voies suivant l'importance des terrassements.

Terrassements avec une voie. — Quand on emploie une seule voie, il convient, en général, d'en avoir deux aux points de chargement et de déchargement, et d'établir, de distance en distance, des voies de garage de manière à permettre le croisement des trains chargés avec les trains vides.

Ordinairement après les deux voies de chargement, il y a une voie unique formée de quatre rails et suivie du premier garage. La même disposition se présente au point de déchargement (fig. 278).

La distance des garages entr'eux est donnée par la formule $\frac{JnV}{2N}$ dans laquelle

J représente le nombre d'heures de travail par jour;

V la vitesse du train par heure;

n le nombre des wagons de chaque train;

N le nombre total des wagons par jour;

J est une donnée ainsi que V qui est généralement égale à 3000^m et N sont donc les seules quantités dont on puisse disposer pour faire varier la distance des garages.

Les garages sont disposés comme l'indique la fig^e 279, la longueur totale de ce garage est de 72^m et permet de garer des convois de six wagons.

Terrassements avec deux voies. — Quand les terrassements deviennent trop considérables et qu'on dépasse 400 mètres cubes par jour, les garages sont beaucoup trop rapprochés et il devient nécessaire d'employer deux voies, l'une pour les trains chargés, l'autre pour les trains vides, avec des changements de voie aux points de chargement et de déchargement.

Deux dispositions principales sont adoptées pour remplir ces conditions (fig. 280 & 281).

La première disposition a l'avantage de ne nécessiter que des manœuvres très simples pour faire passer les wagons d'une voie sur l'autre; tandis que la seconde disposition exige des manœuvres un peu plus compliquées; mais comme les têtes de chargement se déplacent à mesure que le chantier s'allonge, et que, dans le premier cas, le remaniement de voie est beaucoup plus considérable que dans le second, où l'on n'a à déplacer que les rails a et b , il y a une compensation dans les avantages de chacun des deux systèmes, et l'on comprend que, suivant les circonstances, on pourra employer l'un ou l'autre. Ainsi, dans les terrains difficiles, où la pose est compliquée, la seconde disposition devra être préférée.

Terrassements par étages : (fig. 282). — Dans les dispositions qui précèdent, on a supposé que les déblais et les remblais étaient attaqués sur toute leur hauteur. Quand cette hauteur devient trop considérable, on est obligé d'opérer par tranches horizontales successives.

Si l'on est conduit à faire deux étages, on peut adopter trois dispositions principales pour les voies destinées à desservir ces deux étages.

Dans la première disposition (fig. 283) les systèmes de voies des deux ateliers sont complètement indépendants l'un de l'autre. Le système des voies du deuxième est placé au milieu des deux voies de l'étage supérieur comme l'indiquent les deux coupes de la tranchée et du remblai (fig. 284 & 285).

Quand au point de passage du déblai au remblai, on dispose d'une longueur

suffisante, on peut ne mettre que les voies du deuxième étage dans tout cet intervalle de passage (fig. 286).

Ces voies sont alors communes aux deux ateliers, cette disposition est économique, mais elle ne peut être employée qu'autant que le travail n'est pas très rapide.

Enfin une troisième disposition (fig. 287) consiste à adopter trois voies: une voie distincte pour chaque étage, servant au transport des wagons chargés; et une voie commune aux deux étages servant pour le transport des wagons vides. Il ne peut pas y avoir en général, de voie commune pour les wagons pleins, car les wagons de l'étage supérieur, sont mis ordinairement en mouvement par la seule action de la pesanteur, ce qui n'a pas lieu pour l'étage inférieur qui est à peu près de niveau. Cette différence dans la marche des trains entraînerait des chances de rencontre, et amènerait de la confusion dans le service.

Dans chaque cas particulier les circonstances locales, l'activité que l'on voudra donner aux travaux, permettront de choisir le système le plus convenable, et de connaître les longueurs de voies nécessaires pour l'exécution des terrassements.

Remaniement des voies — On a déjà dit que les têtes de chargement et de déchargement devaient être démontées à mesure que les chantiers s'allongeaient.

Supposons un terrassement à une seule voie, et soit A l'extrémité du dernier garage, (fig. 288). A la suite vient une voie unique formée de quatre rails, puis une bifurcation formée également de quatre rails et conduisant aux deux voies de déchargement. Il faut encore deux rails entre le point B, où finit la bifurcation, et le point C où commence le déchargement. Par conséquent la tête de déchargement présente une longueur de

$4 + 4 + 2 = 10$ rails de voie à remanier. Vient ensuite la voie où se fait le déchargement, et dont la longueur n'excède guères 18 à 20 rails, généralement, dans les chantiers à une voie, où toutes les manœuvres se font à bras d'homme, les têtes sont remaniées tous les 85^m 50.

Dans les chantiers à l'anglaise, le remaniement ne se fait que tous les 150^m environ. Cette longueur permet d'utiliser le mieux possible le travail des chevaux.

Ces nombres n'ont du reste rien d'absolu et l'essentiel est de ne pas interrompre le travail des ouvriers; il est bon, par exemple, de profiter des jours de paie ou de fête pour faire le remaniement des voies.

Prix. — Le prix du mètre cube de terrassement est essentiellement variable, il dépend d'une foule de circonstances qui ne permettent même pas de donner de prix moyen. On ne peut qu'indiquer ces circonstances et montrer leur influence.

La profondeur des déblais, la hauteur des remblais, la distance et le mode des transports sont autant de causes dont il faut tenir compte.

La dépense d'établissement des voies dépend du système adopté. A égalité de longueur de chantier, la dépense de ces voies varie fort peu avec le volume des terres à transporter, en sorte que le prix du mètre cube doit diminuer à mesure que le volume

total à transporter augmenté.

Prix élémentaires relatifs à la voie :

Sabotage par traverse	0, 15
Pose par mètre courant	0, 25
Remblai	0, 10
Démontage	0, 10
Déplacements et reconstruction	0, 25.

Ces prix supposent les matériaux transportés à pied d'oeuvre; il faut y ajouter la dépense des transports au lieu d'emploi.

Le déplacement d'un changement de voie coûte 12^f.

Le prix de la voie qui est proportionnel à la longueur de l'atelier, a une influence sensible sur le prix des terrassements.

Ce prix est très variable :

1° On peut acheter les éléments de la voie et les revendre comme rebut après l'exécution des terrassements. Du bois qui a coûté 30^f le mètre, se revend 10^f au plus; les rails achetés 27^f, ne se revendent que 15^f; les coussinets payés 18^f, se revendent 12^f.

2° On peut employer pour les terrassements, les matériaux qui doivent servir à la voie définitive, savoir : les rails et les coussinets, car on ne peut pas prendre les traverses, les chevillettes ni les coins, qui seraient mis hors de service.

Cette seconde méthode est plus économique que la précédente.

Voie provisoire avec matériel spécial.

Par mètre courant	Achat.	Vente.	Perte	Total.
Rails ... 36 ^f	0. 27	0. 15	0. 17	4. 32
Coussinets ... 15 ^f	0. 17	0. 12	0. 05	0. 75
Coin et Chevillettes ... 0. 80	0. 40	0. 20	0. 20	0. 16
Traverses ... 0. 05	35. "	10. "	25. "	1. 25
Perte par mètre courant				6. 48

Connaissant la longueur de l'atelier, on peut en déduire la perte totale; l'évaluation ci-dessus correspond au cas de 100.000^m de terrassements de chemin à une voie, ou de 150.000^m de chemin à double voie.

Voie provisoire avec matériel définitif.

La perte sur les chevillettes et les traverses se calcule comme précédemment. Quand à la perte sur les rails et les coussinets, elle s'évalue différemment: pour les rails, les uns ont été altérés à leurs extrémités et ont besoin d'être rognés, d'autres sont infléchis, la surface de roulement de quelques uns a pu être attaquée par les roues des wagons formant

cisailles & &.

La perte sur les rails résulte donc d'avaries produites pendant l'emploi. Quant aux coussinets ils donnent un déchet assez considérable, soit parce qu'on en perd une partie, soit parce qu'ils se cassent.

Prix pour un terrassement de chemin à deux voies correspondant à 150,000 mètres cubes.

Rails	1.127
Coussinets	0.084
Traverses	1.335
Chevillettes	0.125
Coins	0.142
Prix par mètre Cr	<u>2.^f 813</u>

Cette seconde méthode réalise donc une économie notable sur la précédente, et, à ce point de vue, devrait toujours lui être préférée. Mais il est d'autres considérations dont il faut tenir compte.

Les matériaux définitifs donnent, il est vrai, une voie plus rigide, plus économique; mais ils s'avarent ce qui est un inconvénient. Une remarque importante à faire, c'est que le prix de 6.^f 48 dépend surtout de la perte à la vente et fort peu du volume des terres à déplacer, tandis que le prix de 2.^f 813 dépend essentiellement de l'importance des terrassements.

Il en résulte que pour de petits terrassements, la seconde méthode sera préférable à la première. Pour de grands terrassements le choix dépendra d'un examen attentif des conditions se rattachant à l'un et à l'autre système.

Souvent sur un chemin en exploitation, on a des matériaux de rebut comme exploitation courante, qui sont néanmoins très bons pour des terrassements. C'est là une troisième méthode, moyen terme entre les deux précédentes, et de beaucoup la plus économique. La dépense totale se compose de la dépense de transport à pied-d'œuvre que l'on peut évaluer à

de la dépense des traverses	1.335
de la dépense des chevillettes	0.142
Total	<u>1.977</u>

perte beaucoup moindre que les deux précédentes.

Dépense de traction. — La dépense de traction dépend de trois choses:

- 1^o Le profil du chemin,
- 2^o Le poids mort des wagons comparé au poids utile,
- 3^o La résistance au mouvement.

Les données principales sont les suivantes:

Sur les voies ordinaires avec les roues de 0.65 de diamètre, le coefficient de traction varie de 0.006 à 0.008.

Un wagon cubant $2^m, 20$ de charge effective de déblai offre un poids mort de 2.000^k , un poids utile = $2^m, 20 \times 1800 = 3960$
 et par suite un poids total de 5960 .

Le travail continu d'un cheval répond à un effort de 40^k à 50^k .

On s'arrange toujours de manière à faire les terrassements avec une voie allant en pente du déblai au remblai; ainsi CC' (fig 289) étant la ligne horizontale qui représente la voie définitive, on adoptera pour le profil de la voie servant aux terrassements une ligne inclinée telle que AA' et on fera ensuite le petit remblai ABC' avec le petit déblai ABC.

Soit i la pente de la voie

A la descente les wagons sont chargés et pèsent 5960^k

Si l'on adopte pour coefficient de traction 0.006 , l'effort de traction sera égal à
 $(0.006 - i) 5960^k$

A la remonte, les wagons vides ne pèsent plus que 2000^k , l'effort de traction deviendra égal à

$$(0.006 + i) 2000^k$$

La force de l'attelage devra être calculée sur la plus grande des quantités et le cas le plus favorable sera évidemment celui où elles seront égales, condition qui donne pour la pente i une valeur de 0.003 environ.

On trouvera alors une traction de $(0.006 - 0.003) 5960^k = 18^k$ par wagon. Un convoi de 5 wagons (90^k) exigera 2 chevaux.

Un convoi de 8 wagons (144^k) exigera 3 chevaux et ainsi de suite. On pourra toujours proportionner les attelages à l'importance des trains.

Pour obtenir la dépense de traction, désignons par P le prix de la journée de l'attelage et de son conducteur.

d — la distance à parcourir,

t — le temps perdu au chargement et au déchargement,

V — la vitesse du convoi,

Le temps employé pour l'aller et le retour = $\frac{2 \times d}{V}$

Le temps total employé par le convoi est donc $\frac{2d}{V} + t$

Ce temps étant exprimé par rapport à la journée prise pour unité de travail, le prix de l'attelage pendant ce temps sera

$$P \left(\frac{2d}{V} + t \right)$$

Si il s'agit d'un convoi de 5 wagons cubant 11^m^3 .

On a généralement pour un convoi de cette importance

$$P = 18^f \text{ par jour } t = 20' \quad V = 3000$$

Le prix p du transport d'un mètre cube deviendra

$$p = \frac{18}{11} \left(\frac{2d}{3000} + \frac{1}{3} \right) \frac{1}{n}$$

n désignant le nombre d'heures de travail dans une journée.

Il y a encore un autre élément de dépense à ajouter, c'est la dépréciation des wagons après leur service. Cette dépréciation est proportionnelle au nombre de

wagons que l'on fait construire pour exécuter le terrassement, et est à peu près indépendante du cube de ce terrassement, puisque le nombre de wagons nécessaires dans un atelier est déterminé par des considérations spéciales, suivant l'activité du travail et l'organisation de l'atelier.

Voici quelques nombres qui permettront de se rendre compte de la dépréciation en question.

Les wagons employés ordinairement cubent $2^m^3 20$, ils exigent :

1 ^o pour les roues et boîtes à graisse 520^k de fonte à $0^f 40$ _____	208 ^f „
2 ^o pour les essieux 100^k à $0^f 80$ _____	80 „
3 ^o pour ferrures diverses 135^k de fer à $0^f 80$ _____	108 „
4 ^o Bois, environ _____	100 „
Total _____	<u>496^f „</u>

Ainsi chaque wagon coûte environ 500^f . L'entrepreneur, obligé de faire construire un assez grand nombre de wagons, est donc forcé d'avancer un capital considérable.

Pour faciliter cette opération on avait donné à l'entrepreneur 250^f par wagon qu'il amenait sur le chantier. Ce n'était donc plus, pour ce dernier, qu'une avance de 250^f par wagon. Si le travail durait deux ans, il y avait encore à ajouter l'intérêt de ces 250^f pendant ce temps, soit 25^f . Donc, à la fin du travail, chaque wagon coûtait à l'entrepreneur 275^f et s'il ne les revendait que 140^f pièce, la perte de dépréciation était de 135^f par wagon.

En divisant cette dépréciation totale, par le nombre de journées pendant lesquelles le wagon travaille, on obtient l'élément de la journée du wagon relatif à la perte dont il s'agit.

Il faut encore tenir compte de l'entretien des wagons.

Les voies provisoires sur lesquelles ils circulent sont mauvaises, ils ne sont pas reliés par l'intermédiaire de ressorts comme les wagons servant au transport des voyageurs, ils n'ont pas de tampons ou, du moins, les longerons remplissent ces offices; les chocs sont donc fréquents et assez forts. Il en résulte que les wagons de terrassement se détériorent souvent et ont besoin d'entretien et de réparations. Ainsi, en moyenne, pour transporter 2400^m^3 à 1000^m de distance la dépense d'entretien d'un wagon a été de 130^f . Connaissant la durée du travail de ce wagon, on en déduit la dépense par journée relative à l'entretien.

Le graissage est aussi un article de dépense; pour transporter 50900^m^3 à 100^m on a dépensé $656^f 71$, comme cette dépense est, pour un même matériel, proportionnelle au cube à transporter et à la distance des transports, on pourrait déduire des nombres ci-dessus, la dépense du graissage nécessaire pour un cube et une distance donnés.

D'ailleurs cet élément de dépense varie avec le système de construction adopté pour le matériel de l'atelier. Les petites roues en fonte font, toutes choses égales d'ailleurs, plus de tours que les grandes, et exigent par conséquent plus de graisse.

Le diamètre des roues dans les exemples cités plus haut, était de $0^m 70$.

En résumant, on voit que les éléments qui doivent concourir à la fixation du prix de la journée d'un wagon, sont :

- 1^o la dépense spéciale du chargement;
- 2^o la dépense spéciale du déchargement; ces deux dépenses sont évidemment indépendantes de la distance de transport;
- 3^o la dépense à faire pour l'établissement des voies provisoires. Elle est proportionnelle à la longueur de l'atelier;
- 4^o la dépense de traction qui se compose de deux éléments, l'un proportionnel à la distance, l'autre dépendant du temps perdu;
- 5^o les dépenses relatives aux wagons; elles sont pour la plupart proportionnelles à la distance.

Les considérations qui précèdent permettent de fixer dans chaque cas particulier, le prix de journée du wagon; mais on ne peut pas donner de formule générale, parce que les circonstances locales font varier les prix de revient entre des limites assez étendues.

Si l'on compare le mode de transport au wagon, qui exige des dépenses exceptionnelles d'établissement de voies, de construction de wagons &c., au mode de transport par tombereau, qui ne nécessite que la location des tombereaux ou des attelages, le premier paraît de beaucoup le plus désavantageux au point de vue des dépenses premières; mais, au point de vue de la traction, le transport au wagon devient d'autant plus avantageux qu'on transporte à des distances plus grandes.

Pour des distances égales à 300^m 400^m, le tombereau a encore l'avantage au point de vue de l'économie; mais, même pour ces distances, sur les terrains peu résistants comme les terrains argileux, quand on veut travailler en toutes saisons, il faut préférer le wagon qui a l'avantage d'être toujours applicable; tandis que le tombereau amène forcément des suspensions de travail d'une durée plus ou moins longue.

Il y a encore, au sujet des wagons, une question à traiter, c'est celle de la capacité qu'il est convenable de leur donner. Dans certains chantiers, on a employé des wagons cubant 1^m 20, dans d'autres, ils cubaient 2^m 20.

Quel est celui de ces deux modèles qu'il convient d'adopter?

Le plus grand paraît présenter le plus d'avantages. Ainsi, pour faire le même travail dans un même temps, il faudrait beaucoup plus de petits wagons, or le prix d'établissement ne varie pas dans le même rapport que la capacité, et, par suite, un petit wagon coûte relativement plus cher qu'un grand.

Exemple. Un wagon de 2^m 20 coûte de 500 à 550^f et un wagon de 1^m 20 coûte de 300 à 350^f.

En outre, le déperissement et l'entretien ont relativement plus d'importance pour les petits wagons; l'usure est d'autant plus rapide qu'il y a plus de tours de roues et, par conséquent, plus de roues et de wagons. La dépense de graissage augmente aussi.

dans ce dernier cas, et, enfin le poids mort est plus grand, proportionnellement, pour les petits wagons.

Dans certains cas on s'est servi de la gravité pour faire les transports, les chevaux ne servaient alors que pour remonter les wagons vides. Pour appliquer ce système on fait d'abord une pente de 0.01 à 0.03 pour faire descendre les wagons d'une hauteur de 1^m 50; puis, après, on établit une pente de 0.005 sur laquelle les trains circulent avec une vitesse moyenne de 6 kilomètres à l'heure. Ces trains renferment 10 à 11 wagons mais ils sont moins nombreux et, en résumé cela exige un matériel plus considérable. En outre, le temps perdu des chevaux est plus grand puisqu'il y a plus de wagons et, par suite plus de chevaux à chaque train. (Les chevaux sont mis dans un wagon et descendent avec le train).

Quelquefois on se sert du poids des convois chargés pour faire remonter les wagons vides vers le lieu de chargement; mais ces applications sont rares à cause de la mobilité du chantier. Ces plans automoteurs exigent des appareils assez coûteux, de grandes poulies de renvoi &c et on ne les établit que pour des transports se faisant constamment au même point et, par conséquent dans des circonstances exceptionnelles.

Vitesse d'exécution. — Est-il avantageux d'aller vite pour faire les remblais, ou vaut-il mieux aller doucement?

S'il n'y a qu'un seul atelier, la vitesse entraînera un excédant de dépenses considérable; car, pour aller vite, il faudra beaucoup plus de wagons que pour aller doucement.

Mais si l'on a une série d'ateliers, il pourra être économique d'aller très vite dans chacun d'eux, parce qu'alors on les établira successivement. Le travail fini rapidement dans le premier atelier, on pourra le commencer dans le second et ainsi de suite.

Si, au contraire, on travaille doucement dans chaque atelier, il faudra les établir simultanément. On aura donc le même nombre de wagons, et, en outre, on aura plus de longueur de voies provisoires que dans le premier cas. La rapidité du travail dans chaque atelier est donc économique. Le déblai pour l'exécution du travail total étant supposé le même dans les deux cas.

Transport de ballast. — Les transports par wagons sont applicables au ballast, la dépense de transport n'est pas toujours la même que dans les ateliers de terrassements. Ainsi, quand le ballast vient d'un dépôt il n'y a pas de cuvette à faire et on charge dans les conditions ordinaires. Quand le ballast vient d'une carrière, au contraire, il faut faire des cuvettes et la différence disparaît. Pour ces transports de ballast la pose de la voie se fait avec des matériaux définitifs que l'on place directement sur les terrassements préalablement réglés au niveau convenable. La voie se relève sur place à mesure que le ballast arrive.

Le mode d'opérer est bon au point de vue économique. Ainsi il n'y a pas de dépréciation sur les matériaux de la voie, la résistance à la traction est faible et les trains sont tirés par des locomotives. Ce dernier avantage est très grand parce que

les points où l'on peut prendre du ballast de bonne qualité sont souvent éloignés les uns des autres. Ainsi, par exemple, sur le chemin de St. Quentin à la frontière, le ballast s'est transporté à 40 Kilomètres de distance, on conçoit que, dans ce cas, le travail avec chevaux serait long et coûteux.

Si l'on emploie des wagons à bascule de 2^m³⁰, on pourra composer les trains de 10 à 20 wagons, suivant la force de la locomotive et les hauteurs qu'il s'agit de franchir. Il convient, avec des wagons à bascule qui sont moins bien construits que les wagons définitifs, de ne pas dépasser une vitesse de 20 Kilomètres à l'heure.

Chaque Kilomètre parcouru par la locomotive coûte en moyenne 1.^f 20.

Si l'on emploie des wagons définitifs à plate-forme, les frottements sont plus doux, les roues plus grandes, on peut alors atteindre une vitesse de 30 Kilomètres à l'heure et, bien que les wagons aient une contenance plus grande, on compose toujours les trains de 10 à 20 wagons, de sorte qu'avec la même machine on pourra faire plus de travail chaque jour. Seulement, dans ce cas, on est obligé de décharger à la pelle; cette opération plus longue est un inconvénient qui perd de son importance si l'on a peu de locomotives et beaucoup de wagons.

Construction des wagons de terrassements. — Ces wagons doivent être très solides, de manière à pouvoir résister à des chocs fréquents et assez forts. Ils doivent être, en outre, construits de manière à ce qu'on puisse les amener à décharger tantôt à droite, tantôt à gauche, tantôt en avant.

Un wagon déchargeant à droite, peut ensuite décharger à gauche quand il est retourné bout par bout sur la voie. Ce retournement peut se faire facilement à l'aide d'un appareil très simple composé de deux rails $AD - CD$ (fig. 270) réunis entre eux par une traverse EF , tout le système pouvant tourner autour d'un pivot central G .

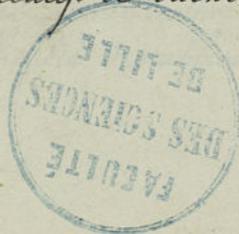
Quelquefois on se borne à faire dérailler le wagon et à le replacer, retourné bout par bout, sur la voie.

Il faut donc déjà que le wagon ne présente ni avant ni arrière; il faut, en outre, pour qu'il puisse se décharger en avant, que la caisse puisse être orientée comme on voudra par rapport aux essieux.

A cet effet, le châssis se compose de deux longerons de $\frac{20}{22}$ d'équarrissage et de deux traverses extrêmes de $\frac{11}{15}$, la figure $m n p q$ (fig. 291) est un carré, il en résulte que les essieux étant en $a b$ et $a' b'$ on peut mettre les coussinets de l'axe autour duquel tourne la caisse, soit en D, D' , soit en Q, Q' .

Le châssis de la caisse peut ainsi à volonté, suivant que l'on place son axe de rotation dans les coussinets D, D' ou dans ceux Q, Q' , tourner autour d'une ligne parallèle soit à DD' soit à QQ' et les longerons font, dans les deux cas, fonction de tampons.

Dans un autre système, l'axe de rotation de la caisse reste invariable de position sur le châssis; mais ce châssis peut se déplacer par rapport aux essieux et prendre une position normale à sa position primitive. Dans ce cas on met sur le prolongement des traverses de faux tampons pour résister aux chocs. Ces longerons et ces faux tampons doivent être tels que quand ceux de deux wagons consécutifs se touchent, les caisses ne puissent pas se toucher.



Il est important que les wagons soient construits dans l'un des systèmes indiqués ci-dessus. En effet, dans un chantier à l'Anglaise, tous les wagons, pendant le terrassement déchargent en avant, et ensuite, lorsqu'ils transportent du ballast, ils doivent décharger soit à droite soit à gauche.

Les roues de 0^m 50 à 0^m 75 de diamètre sont en fonte, elles sont plus économiques et plus légères que des roues en fer, elles sont coulées en coquille avec des moyeux frettés. Les essieux sont en fer, ils sont espacés de 0^m 90 à 1^m 20 ils tournent dans des coussinets fixés sur les longerons.

Quelquefois le coussinet est un palier ordinaire comme l'indique la fig^e 292, mais alors le graissage est peu facile. On emploie plus souvent des boîtes à graisse dans le genre de celles dont il a déjà été parlé dans l'étude des wagons de marchandises.

La rotation de la caisse par rapport au châssis proprement dit se fait autour d'un axe horizontal supporté de diverses manières par des coussinets dont les figures 293 & 294 indiquent les dispositions générales.

AB — longeron de la caisse;

EF — r. — du châssis proprement dit;

I — Axe de rotation.

L'inclinaison que peut prendre la caisse doit varier avec la nature des terres transportées. Les terres sèches glissent sous un angle assez faible de 20° par exemple, les terres grasses ne glissent que sous des angles de 40° à 45°.

Or quand la caisse bascule le longeron CD du châssis de la caisse (fig. 295) vient toucher le longeron AB du châssis inférieur, et cela limite l'inclinaison que peut prendre la caisse. Pour augmenter cette inclinaison, il suffirait d'augmenter AC mais cela reviendrait à élever la caisse relativement aux essieux, ce qui rendrait le chargement plus difficile.

On évite ce désavantage et on augmente l'inclinaison, pour une même hauteur AC, en mettant l'axe de rotation sur le châssis proprement dit (fig. 296) au lieu de le poser sur la caisse comme on l'a supposé précédemment. Dans ce cas AC prend la position AC' et la caisse a la même inclinaison que si elle avait basculé autour du point C.

Accessoires de la voie. — Pour la construction des voies provisoires, on ne devra employer que des appareils très simples, ainsi on n'emploiera jamais de plaques tournantes; on y suppléera à l'aide de rails mobiles, comme on l'a déjà dit. Pour les changements de voie on emploiera le système des rails mobiles (fig. 297) en A & B on mettra des coussinets de joint avec des coins permettant un peu de jeu. Les autres coussinets (C, CC, &c) gliseront sur leurs traverses; une barre de fer D reliera les coussinets extrêmes au moyen de boulons passant dans les trous des coussinets et maintiendra l'écartement des rails mobiles.

Enfin des chevilles d'arrêt E seront placées convenablement pour limiter le déplacement de ces mêmes rails. La manœuvre se fera avec un levier fort simple (fig. 298) ou tout simplement en poussant le rail avec le pied.

Ces rails mobiles ne sont pas très longs, comme les vitesses sont peu considérables, on peut admettre des déviations brusques.

Les croisements seront formés par un angle en fer cloué ou boulonné sur une pièce de bois, et par des morceaux de fer faisant fonction de contre-rails (fig. 299) le tout assez grossièrement travaillé pour qu'au besoin cela puisse être forgé chez un forgeron de village.

Ces voies provisoires ne pourraient généralement pas résister au passage d'une locomotive; il faudra donc les modifier, s'il est nécessaire, pour un motif quelconque, d'y faire passer une locomotive, et le système de construction devra rendre ces modifications promptes et faciles.

Pour les changements de voie, par exemple, on fixera chaque fois les rails mobiles dans la position qu'ils doivent occuper pour donner accès dans la voie que doit suivre la locomotive. Il faudra enlever complètement les croisements, il est donc essentiel que ces appareils occupent une longueur égale à celle des rails ordinaires; de la sorte il sera très facile de compléter la voie sur laquelle arrivera la locomotive.

Freins. — Enfin, si les pentes à franchir sont très fortes, on met des freins comme celui indiqué (fig. 300)

Le plus souvent on cherche à s'en dispenser.

Chapitre 4.

Ouvrages d'Art.

On parlera d'abord des ouvrages destinés à maintenir les communications sur les routes, canaux et rivières que traverse le chemin de fer.

Ouvrages d'art relatifs aux routes. — Quand le chemin de fer rencontre des chemins de peu d'importance ou très nombreux, on en supprime ou bien on en détourne quelques uns par des chemins latéraux que l'on fait aboutir dans un chemin pourvu d'un ouvrage d'art qui permet de traverser la voie de fer.

Il y a encore d'autres cas où l'on fait des chemins latéraux: Quand la voie de fer passe à travers des terres qui aboutissent toutes à un même chemin d'exploitation KM. (fig. 301), outre le passage à travers la voie de fer, on établit souvent un chemin latéral CD pour desservir les parcelles coupées. Ce chemin latéral n'est pas indispensable, car la loi accorde à un propriétaire, sauf indemnité, le droit de passer sur les terrains qui l'empêchent d'arriver à sa propriété; on pourra donc ne pas établir de chemin latéral, mais il y aura alors une indemnité à payer par le chemin de fer.

On se détermine pour la combinaison la plus économique, et, en général on est conduit à adopter un chemin latéral, qui n'est qu'une simple bande de terre sans terrassements ni travaux d'art.

La rencontre des chemins existants, par la voie de fer, se fait souvent sous un angle très aigu, ce qui rend difficile, compliquée ou dangereuse la construction de l'ouvrage. De plus, ses dimensions sont plus grandes que pour une traversée droite, et, par suite de la plus grande difficulté d'établissement, l'augmentation de dépense est

dans un rapport plus grand que l'augmentation de longueur.

Aussi le plus souvent on rectifie le chemin pour l'amener à couper normalement la voie de fer.

Les ouvrages doivent satisfaire à diverses conditions générales.

Pour le tracé en plan, les rectifications et les détournements donnent lieu à des alignements droits qui se coupent et qu'on raccorde par des courbes. Ces courbes doivent être parcourues facilement par les attelages. Les rayons minima qu'on leur donne sont : 50^m pour les routes Impériales, et 15^m pour les chemins ruraux. Mais, par là, on peut être conduit à des tracés très sinués, comme, par exemple, s'il s'agit de raccorder le chemin latéral CD avec celui M.N (fig. 302). Souvent, alors, on établit des croisements par places ou carrefours α , assez vastes pour que les voitures puissent y tourner sur place. La circulation est plus commode de cette manière que la circulation dans des courbes de 15^m correspondant à un grand angle au centre.

Pour ce qui concerne les pentes, le niveau de la voie de fer est presque toujours différent de celui des chemins coupés; on sera donc conduit à modifier le profil en long de ces derniers, afin qu'ils puissent passer au dessous de la voie de fer. Pour les routes départementales et Impériales, la limite des pentes est de 0.03 par mètre, et pour les chemins ruraux de 0.05. Dans les pays montagneux où les chemins eux-mêmes ont des pentes de 0.07 et de plus fortes encore, on se règle alors sur celles existantes.

Quand aux chaussées, on les établit telles qu'on les a trouvées, empierrées, pavées ou en terre. Cependant on empierre, en général, les rampes des chemins en terre, parce qu'un remblai neuf de 0.05 de pente est très difficile à franchir.

Les largeurs des Chaussées doivent être conservées. Il y a cependant une exception: dans certains terrains marécageux, les chaussées ont une largeur excessive, 40 ou 50 mètres, on ne conserve pas cette largeur aux abords du chemin de fer, on a soin seulement d'établir une chaussée suffisamment résistante dans tout le temps.

Quand on crée un chemin latéral pour la culture on ne lui donne que la largeur nécessaire qui est de 4 à 5 mètres.

La partie qui traverse la voie de fer est soumise à des règles fixes.

Pour les routes Impériales la largeur de cette partie doit être de 8^m00 , sauf le cas de grandes avenues où l'on conserve la largeur de ces avenues. Pour les routes départementales, cette largeur est de 7^m00 . Pour les chemins de grande communication 5^m00 , et, enfin, pour les chemins ruraux 4^m00 .

Selon qu'on fait passer les routes en dessus, en dessous ou au niveau du chemin de fer, on a un passage en dessus, un passage en dessous ou un passage à niveau.

En général on n'a pas le choix entre ces trois systèmes. Cependant, comme il peut y avoir des cas douteux, il est bon de connaître les avantages et les inconvénients de chacun de ces systèmes.

L'inconvénient des passages en dessus, c'est d'offrir un obstacle à la vue du mécanicien.

Les passages en dessous n'ont pas d'inconvénients pour le chemin de fer, mais ils peuvent en avoir pour la route, en ce sens que le point de passage sous la voie de fer est souvent trop bas pour être assainis.

Les passages à niveau présentent des inconvénients, et pour le chemin de fer et pour la route : c'est un danger pour le premier, et une gêne apportée à la circulation sur la route. Il faut donc les éviter chaque fois qu'on le peut.

La situation même des lieux indique en général la solution à adopter. Dans le cas d'un déblai ou d'un remblai moyen, lorsqu'on hésite entre un passage à niveau d'une part et un passage en dessous ou en dessous de l'autre, il y a une question de dépense à examiner. Outre le prix d'établissement du passage à niveau, il faut tenir compte du traitement du gardien, c'est une rente qu'il faut capitaliser, quand on fait la comparaison des prix.

Ce capital varie : un chemin rural peu fréquenté sera fermé la nuit, seulement le garde sera tenu de se lever s'il vient une voiture.

Quelquefois il y a plusieurs passages très rapprochés et peu importants, un seul garde suffit pour les desservir. Souvent on met comme gardien de chemins ruraux la femme d'un cantonnier qui, tout en soignant son ménage, peut surveiller la barrière. La femme consent ordinairement à faire ce service pour une faible indemnité dont le minimum est de 0.^f 50^c par jour, ce qui équivaut à une rente de 180.^f

Pour une route très fréquentée, il faut mettre deux gardes, l'un pour le jour, l'autre pour la nuit; ils sont payés 2.^f à 2.^f 50 par jour, ce qui constitue une rente de 1800.^f C'est là un maximum.

Exceptionnellement, il y a des passages non gardés et d'autres qui nécessitent quatre gardes.

À dépense égale ou même peu différente, on doit renoncer au passage à niveau, car il faut tenir compte des chances d'accident qu'il présente.

Passages en dessus.

Il doit y avoir entre les parapets une largeur déterminée :

8.^m 00 pour les routes Impériales ;

7.^m 00 " Départementales ;

5.^m 00 pour les chemins vicinaux de grande communication ;

ou 4.^m 00 pour les chemins ruraux.

La largeur de 8.^m comprend deux trottoirs de 1.^m 20 et une chaussée de 5.^m 60.

La largeur de 7.^m 00 comprend deux trottoirs de 1.^m 00 et une chaussée de 5.^m 00.

La largeur de 5.^m 00, par suite de la nécessité de mettre des chasse-roues, ne laisse pas assez de place pour que deux voitures puissent se croiser; il vaut mieux alors faire deux trottoirs de 1.^m 00 et une chaussée de 3.^m 00 pour le passage d'une seule.

voiture.

Si la circulation est très active, on est conduit à donner une largeur de 7^m 00, bien que le chemin ne soit pas classé dans les routes départementales.

La largeur de 4^m 00 est subdivisée en deux trottoirs de 0^m 80 et une chaussée de 2^m 40.

La largeur entre les culées est fixée par cette condition, inscrite dans le cahier des charges, qu'il y ait une distance de 1^m 20 entre le rail et l'obstacle voisin; cela donne en général une largeur de 7^m 40 à 8^m 00.

La hauteur à l'aplomb des rails extérieurs est au moins de 4^m 30. On la porte à 4^m 50 en même à 4^m 80.

Il y a 3 types généraux de passages en defaut.

La route peut être portée par un tablier horizontal, par une voûte en arc de cercle ou, enfin, par une voûte en plein cintre.

En général la voûte en plein cintre correspond au minimum, et le tablier horizontal au maximum de dépense, en égard aux frais d'entretien et de premier établissement.

Pont en plein cintre. — Suivant les circonstances locales, on fait un pont à une arche ou à trois arches. En général on doit faire l'ouvrage le plus ouvert possible, afin de laisser plus de champ à la vue du mécanicien. Un pont en plein cintre, de 8^m 00 d'ouverture, à une seule arche, forme un véritable obstacle. Aussi est-il préférable de faire trois arches (fig. 303). La dépense n'est pas sensiblement augmentée, car, s'il y a plus de paremens, il y a un cube total de maxime moindre.

Si la tranchée n'est pas très profonde les fossés sont extérieurs à l'arche centrale, si, au contraire, elle est très profonde, pour avoir des culées moins considérables, on élargit l'arche du milieu et l'on met les fossés dans l'intérieur de cette arche.

Dimensions principales d'un pont en plein cintre du chemin de fer du Nord.

Arche centrale	8 ^m 50	
Arche latérale	6 ^m 20	
Épaisseur à la clef	0 ^m 56	
Épaisseur de la chape	0 ^m 05	
Distance de la chape à la chaussée	0 ^m 96 à 1 ^m 00	
Piles	base	1 ^m 20
	naissance	1 ^m 00

Pont en arc de cercle. — Une voûte en arc de cercle demande moins de hauteur et obtient moins la vue; on fait souvent aussi des arches latérales, auquel cas les culées se réduisent presque à rien (fig. 304).

Il y a deux systèmes pour raccorder, dans les deux cas, les culées avec les talus. On peut employer soit un mur en aile (fig. 305) soit un mur en retour (fig. 306).

Le mur en retour est avantageux dans le cas de voûtes en arc de cercle,

parce qu'il fait contrefort en sens de culée. On lui donne souvent une forme curviligne.

Dimensions principales d'un pont en arc de cercle du chemin de fer du Nord.

Arche centrale	7 ^m 40
Arche latérale	5. 82
Pile	1. 20
Épaisseur à la clef	0. 67
Chape	0. 05
Chaussée	0. 35
Rayon de l'arc de cercle	6. 30

Quand il y a peu de hauteur, on peut, pour démasquer la vue le plus possible, faire comme au chemin de Strasbourg, des ponts en anse de panier à une seule arche avec les fossés à l'intérieur (fig. 307).

Ces ponts ont les dimensions suivantes :

Ouverture	17 ^m 00
Hauteur sous clef	4, 70
Rayon de courbure à la clef	9, 00
Rayon aux naissances, (il y a 3 centres)	3, 10
Épaisseur à la clef	0, 80

On peut encore faire, comme au chemin du Nord, des ponts en arc de cercle, à culées perdues (fig. 308). Ces ponts dégagent encore plus la vue que les ponts en anse de panier.

Leur dimensions principales sont :

Hauteur sous clef	4 ^m 658
Rayon	10. 30
Épaisseur à la clef	0. 90

Pont avec tablier horizontal. — Enfin quand on manque tout à fait de hauteur, on fait des ponts à poutres horizontales en bois ou en métal, recouvertes d'un plancher.

On peut faire une ou trois arches : Quand on fait des arches latérales, comme il n'y a pas de hauteur fixée pour ces arches, on peut les faire en maçonnerie (fig. 309) ce qui est généralement le plus économique.

Sur le chemin du Nord, il y a des ponts en bois de 7^m 40 de portée avec des poutres jumelles ayant chacune 0^m 40 de hauteur sur 0^m 15 de largeur, soit 0^m 30 pour la largeur totale d'une poutre.

La distance entre ces poutres est de 0^m 80, d'axe en axe (fig. 310).

Les tabliers faits avec un platelage horizontal de 0^m 15 d'épaisseur calfaté et recouvert d'un bordage en bois blanc de 0^m 05 d'épaisseur sont d'un mauvais usage, car l'eau y séjourne et en amène la destruction rapide. Pour se soustraire à cet inconvénient, il faut donner un bombement au tablier. On y parvient en faisant des poutres plus hautes au milieu qu'aux extrémités, forme qui, en outre, est favorable à la résistance.

On emploie aussi des poutres en fonte, ces poutres auxquelles on donne généralement la forme d'un solide d'égal résistance, supportent directement le platelage (fig. 311) ou bien elles reçoivent sur leurs faces latérales une série de pièces transversales, ou poutrelles, servant tout à la fois à entretoiser les poutres et à supporter le platelage (fig. 312). Ce dernier système demande moins de hauteur. On calcule la résistance des poutres en fonte à raison de 2 à 3 K^g par millimètre carré.

Les poutres en tôle que l'on emploie aujourd'hui de préférence aux poutres en fonte, parce qu'elles ne sont pas sujettes comme ces dernières, à se rompre, s'obtiennent en assemblant entre elles avec des cornières, des feuilles de tôle, de manière à obtenir la forme d'un double T (fig. 313).

La résistance de ces poutres est calculée à raison de 6 à 7 Kilogrammes par millimètre carré.

Sur certains chemins il y a des ponts entièrement en bois; les piles sont alors remplacées par des palées formées de quatre montants reliés par deux pièces inclinées (fig. 313^{bis} et 314) en forme de croix de St-André.

Sur ces palées on met des sous-poutres soutenues par des contre-fiches et les poutres vont d'une palée à l'autre.

En général les matériaux doivent être choisis de manière à résister le plus possible au temps et aux dégradations que produit l'usage.

Pour les passages en dessus, les arêtes des culées peuvent être faites en briques ou en moellons, parce qu'elles sont renfermées dans le chemin de fer où ne passent que les agents de la ligne. Au contraire les garde-corps et les couronnements, qui sont plus exposés, doivent être en pierre de taille.

Passages en dessous.

Dans ce cas la route passe entre les culées, et le chemin de fer entre les garde-corps; les dimensions sont inverses de celles données pour les passages en dessus.

Quand on a la hauteur suffisante, on fait un pont en plein cintre. Dans le cas contraire on emploie des poutres horizontales qui se prêtent très bien au passage du chemin de fer.

Pour les passages à poutres horizontales, la hauteur sous clef doit être de 4^m 30; (1) pour le plein cintre on donne 6^m 50 sous clef pour une largeur de 8^m 00, et 6^m 00 pour une largeur de 7^m 00.

Les passages en dessous donnent lieu à la question suivante: Quand on a un remblai très élevé, faut-il avoir sous clef la hauteur maximum, en établissant la route à la partie supérieure; ou bien vaut-il mieux ne conserver sous clef que les hauteurs de 6^m ou 6^m 50 reconnues suffisantes?

Dans le premier cas on a des culées très hautes et des murs en retour

(1) Les nouveaux cahiers des charges prescrivent 4^m 80.

ou en aile de grande étendue. Dans le second cas on a une route très longue, le reste est dans les conditions ordinaires. En comparant les deux systèmes, on arrive généralement à donner la préférence au second. Dans le premier cas les culées sont des murs de soutènement qui doivent être très épais, dans le second cas, l'épaisseur de la voûte doit être telle qu'elle puisse supporter tout ce qui est au dessus d'elle.

Dans le cas où la hauteur manque, et où on emploie des poutres, on peut, qu'elles soient en fonte ou en fer, les jumeler comme l'indique la figure 314^{bis}, en plaçant entre elles une longrine en bois; on obtient ainsi le maximum de résistance sous le minimum de hauteur. On pourra encore gagner 0^m.07 environ de hauteur en mettant la voie en rails Brunel, sur le pont, au lieu de la poser en rails à double champignon.

Le coefficient de résistance doit être pris de 2 à 3^k par millimètre carré pour les poutres en fonte, et de 6^k pour celles en fer.

Passages à niveau.

Les passages à niveau comprennent généralement un chemin pour les voitures et un pour les piétons; le premier est fermé, de chaque côté de la voie de fer, par une barrière qu'un garde est chargé d'ouvrir ou de fermer suivant les besoins du service. Le second, au contraire, est libre, et le piéton doit pourvoir à sa sûreté en examinant l'état de la voie, seulement un obstacle mobile et manœuvré par le piéton lui-même, tel qu'une barrière ou un tourniquet, l'avertir au moment où il va s'engager sur la voie, du danger qu'il pourrait courir par son imprudence.

Les passages à niveau d'une route Impériale ou Départementale ont de 6 à 8^m d'ouverture, indépendamment des passages de piétons, qui ont de 0^m.70 à 1^m.00. Ceux des chemins vicinaux ont une ouverture de 3^m.50 à 5^m, et ont également, en outre, un passage particulier pour les piétons.

Les barrières des passages à niveau sont de divers modèles: s'il ne s'agit que du passage des piétons, on emploie un tourniquet, sorte de croix en bois à quatre bras égaux montée sur un axe vertical à une hauteur de 1^m au dessus du sol (fig. 315). Avec ce tourniquet les piétons ne peuvent passer qu'un à un en se plaçant entre les deux bras et en faisant tourner la croix en même temps qu'ils avancent.

Une autre disposition consiste à placer une barrière (fig. 316) que chacun peut ouvrir à son gré mais on ne peut également passer que un par un, attendu qu'il faut forcément se loger dans le petit espace (a) pour ouvrir cette barrière, et l'on a en même temps l'occasion d'examiner s'il n'y a aucun danger. On se contente souvent aussi de simples portillons ordinaires.

Les barrières destinées à fermer le passage des voitures sont formées chacune d'un seul vantail ou de deux vantaux. Dans ce dernier cas (fig. 316^{bis}) il faut des manœuvres successives pour clore le passage, aussi on préfère très souvent les barrières à un vantail dont le service est plus prompt et plus facile.

Sur quelques lignes, on a placé les barrières de façon qu'elles puissent fermer tantôt la voie (en CC) fig. 317), tantôt le passage (bb).

Cette disposition sert à empêcher les troupeaux de s'engager à droite ou à gauche sur la voie, à empêcher les voitures de faire fausse route la nuit et de tomber dans le ballast, mais, pour peu que le garde soit surpris par l'arrivée d'un train, ce qui arrive assez fréquemment, la barrière restée en travers de la voie est brisée par ce train. Aussi abandonne-t-on aujourd'hui cette disposition.

Si un passage à niveau est très oblique comme l'indique la fig. 318, c'est aux points C & C' qu'on devra placer les pivots des barrières, et ces barrières s'ouvriront vers l'intérieur du chemin de fer. Elles seront d'ailleurs telles que si l'on mène parallèlement à l'axe de la voie, une tangente à l'arcle du cercle décrit par chacune d'elles, cette tangente soit à $1^m 20$ au moins du rail le plus rapproché.

Les barrières s'ouvrent souvent vers l'intérieur de la voie, sens f (fig. 318) et non pas en dehors, sens f', de façon que si une voiture se présente au moment où le garde est pressé de fermer la barrière, cet agent n'ait pas à faire reculer l'attelage pour faire sa manœuvre. Il n'aura, si la barrière s'ouvre dans le sens f, qu'à la pousser devant l'attelage.

Celles sont les meilleures conditions d'établissement des barrières d'un passage à niveau.

Mais souvent les lieux ne se prêtent pas à ces dispositions. Ainsi, par exemple, lorsque la voie de fer traverse un village ou une ville où le terrain coûte cher à acquérir. Dans ce cas alors, on pourra, au lieu d'une barrière ordinaire, adopter pour fermeture soit une simple lisse (comme fig. 319) pouvant glisser dans deux étriers, soit une barrière roulante (fig. 320) montée sur des galets et pouvant rouler sur un rail établi parallèlement aux voies de fer. Cette dernière fermeture offre évidemment plus de sécurité que la lisse mobile, mais, sur les chemins peu fréquentés, comme certains chemins d'exploitation agricole, une simple lisse suffit.

Il arrive parfois qu'un passage à niveau peu fréquenté se trouve à 200 ou 300 mètres d'un autre passage à niveau plus fréquenté et gardé par un agent. On a songé à faire manœuvrer la barrière du premier passage par cet agent, et voici quelle disposition on a adoptée sur les chemins de fer prussiens.

Le passage à niveau peu fréquenté est fermé par une pièce de bois AB (fig. 321) munie en B d'un poids un peu supérieur au poids de la partie CA. En C est un axe de rotation horizontal. Cette pièce abandonnée à elle-même se lèvera donc de manière à laisser le passage libre. Mais au point B on fixe l'extrémité d'un fil métallique que le garde barrière peut manœuvrer de son poste. En tirant ce fil à lui, il fera retomber la barrière dans la position où elle ferme le passage, et, tant que ce fil sera tiré, la barrière restera dans cette position, le fil étant abandonné la barrière se relèvera sous l'action du contrepoids.

On a vu dans les leçons précédentes de quelle manière sont disposés

les contre rails des passages à niveau, on ne reviendra pas sur ce détail.

La route doit toujours être pavée avec soin et bien entretenue dans toute l'étendue de la traversée. Souvent on place de part et d'autre de ce pavé des bordures saillantes, interrompues au droit de chaque rail, destinées à empêcher les voitures de quitter le pavé et de tomber sur le ballast.

Enfin on doit avoir soin de garantir le pied des poteaux par des bornes ou des chasse-roues.

Il faut, partout où il y a un garde-barrière, établir un abri pour ce garde. Sur les chemins où il n'y a pas de service de nuit, et si le passage est près d'un centre de population, cet abri sera une simple guérite. Plus souvent, on établira auprès du passage à niveau une maison d'habitation que l'on pourra même faire assez grande, dans certains cas, pour y loger, en outre, deux ou trois familles de cantonniers ou d'aiguilleurs.

Dans les cantons peu habités, il est souvent indispensable de loger ainsi la plus grande partie des agents de la ligne et, en tout cas, cette disposition a l'avantage de mettre les employés, dès la moindre alerte, à la disposition des chefs de l'exploitation.

Si la maison est destinée à un employé seul, les dimensions seront d'environ 5^m sur 8^m. Cette maison comprendra au moins une cuisine, une chambre, un petit grenier et un cellier.

La position de la maison, par rapport à la route et au chemin de fer, n'est pas indifférente. Soient A et B les axes des deux voies du chemin de fer (fig. 322) le mouvement s'opère sur chacune d'elles dans le sens marqué par les flèches A & B. Si la maison de garde occupe la position (1) ou (3) cet employé ne pourra pas voir de sa porte, habituellement ouverte sur la route en P ou P', les mouvements qui s'opèrent sur la voie la plus voisine, du point P, par exemple, il ne verra pas venir les trains qui circulent sur la voie A, et il pourra être surpris, s'il s'avance sur le passage, par un train qui viendrait derrière lui. En plaçant la maison en (2) ou en (4) on évitera ces inconvénients.

En principe, les abris de nature quelconque, maisons ou guérites, placés le long des voies, doivent avoir leurs portes dirigées de façon que la personne qui sort, voie venir à elle les trains sur la voie la plus voisine.

En outre, devant les guérites des cantonniers, on place une lisse qui oblige le cantonnier à faire un détour avant de passer sur la voie. Ce détour est comme un avertissement pour lui, et un délai qui lui permet d'examiner l'état des voies.

Après tous ces détails donnés sur les passages à niveau, il ne reste qu'une remarque à faire sur la disposition générale du passage.

Il vaudra souvent mieux faire faire un double coude à la route, pour avoir un passage à angle droit, plutôt que d'accepter un passage à niveau sous un

angle très aigu. En effet, plus le passage sera oblique, plus l'étendue du passage à faire, des contre-rails à poser dans les voies sera considérable. Mais surtout le service d'un tel passage sera très fatiguant et très dangereux car les voitures resteront d'autant plus longtemps engagées sur les voies que le passage sera plus oblique.

Ouvrages d'art relatifs aux cours d'eau. — S'il ne s'agit que d'un simple aqueduc et que le niveau des rails soit très peu élevé au dessus de l'aqueduc, cet ouvrage pourra se réduire à une cuvette en maçonnerie de 0^m50 de largeur environ que l'on franchira sur un rail placé en A et B sur des traverses qui reposent sur le bord de la cuvette (fig. 323). Pour une portée un peu plus grande, on pourra mettre une longrine sous chaque rail.

Souvent un simple tuyau en fonte, enterré dans le ballast entre deux traverses, suffira à donner un écoulement aux eaux.

Si l'on doit construire un aqueduc sous un remblai et que le terrain offre peu de résistance, comme un terrain marécageux, par exemple, il faudra donner des fondations profondes à cet aqueduc qui supportera une portion du remblai. Dans ce cas il pourra être plus économique d'établir d'abord le remblai et de le laisser tasser fortement, en donnant provisoirement un écoulement aux eaux dont l'aqueduc projeté doit permettre le passage; puis, après un tassement suffisant on ouvrira dans ce remblai une tranchée au fond de laquelle on déposera les tuyaux en fonte qui formeront l'aqueduc et on remblaiera au dessus de cette base en pilonnant avec soin.

Du reste, quelle que soit la solution qu'on adopte, les aqueducs destinés à donner un passage aux eaux, sous les remblais d'un chemin de fer devront être établis avec le plus grand soin; car de grandes réparations à ces ouvrages seraient très difficiles à faire par la suite, dans le cours de l'exploitation.

Si l'on passe des simples aqueducs aux viaducs et ponts, les seules conditions particulières à l'établissement de ces ouvrages qu'il suffise d'énoncer sont les suivantes.

S'assurer partout de la largeur de 8^m pour les voies, l'entrevoie et les accotements; ménager de distance en distance, au droit des piles, par exemple, des refuges où les ouvriers puissent déposer leurs outils et se tenir pendant le passage des trains; régler la hauteur du viaduc de telle sorte qu'il reste, entre la chape et le niveau du rail, une épaisseur de ballast assez grande pour que les ébranlements dûs au passage des trains ne se communiquent pas à la maçonnerie.

Pour se rendre compte de la charge que doit pouvoir supporter un ouvrage de cette nature, on supposera les deux voies occupées à la fois, par deux trains composés des véhicules les plus lourds que comporte l'exploitation de la ligne, des locomotives à marchandises par exemple, et on calculera facilement la charge

par mètre courant résultant du passage de ces trains. On établit quelquefois pour le passage des rivières des ponts en charpente; tels sont les ponts jetés sur la Seine par la Cie. du Chemin de fer de Rouen. C'est l'ancien pont d'Asnières.

Dans ces ponts spécialement destinés au passage des chemins de fer, on fera bien de suivre la disposition adoptée pour les ponts du chemin de fer de Rouen. Les arcs du pont au lieu d'être équidistants entre eux, comme dans les ponts ordinaires, sont distribués comme les rails des voies qu'ils doivent supporter. Ainsi il n'y a que quatre arcs et chacun d'eux est placé au-dessous d'une file de rails.

Ce système de construction est préférable à celui de l'ancien pont d'Asnières, détruit en 1848 par un incendie. La charpente de ce pont se composait de 5 arcs équidistants, au-dessus desquels on avait cloué un plancher et sur ce plancher, comme sur un remblai, on avait répandu une épaisse couche de ballast et posé les voies sans se préoccuper de la position relative des courbes de rails et des arcs en charpente. Il y avait donc un arc de plus que dans les ponts du chemin de fer de Rouen; la charge n'était pas dans la verticale des arcs du pont, et il existait une surcharge énorme due à tout le ballast répandu sur le plancher du pont. C'est à cette surcharge qu'on doit, en grande partie, la chute de la totalité du pont lorsque l'incendie en eut commencé la destruction.

On emploie souvent la fonte, soit sous forme d'arcs, soit sous forme de poutres.

Les arcs d'un pont en fonte pourront être disposés comme ceux des ponts en charpente du chemin de Rouen, ou bien comme ceux du pont d'Asnières. Quelquefois on établit entre ces arcs, des plaques de fonte continues sur lesquelles on verse du ballast jusqu'au niveau de la voie. Ces ponts offrent donc, vus en dessous, l'aspect d'une voûte en fonte avec des nervures en nombre égal à celui des arcs.

La charge permanente, dans ces ponts, étant très considérable, la surcharge due au passage d'un convoi est relativement petite, c'est une bonne condition, mais elle entraîne nécessairement une construction solide et par suite coûteuse.

Si la fonte s'emploie sous forme de poutres il sera prudent de ne pas dépasser des portées de 8^m 00; car ces poutres horizontales, soumises moitié à un allongement, moitié à une compression, offrent beaucoup moins de résistance qu'un arc de fonte soumis seulement à la compression.

Du reste, dans ce dernier cas, on préfère employer des poutres en tôle ayant la forme d'un double T. Ces ponts plus coûteux que les autres s'emploient généralement quand on manque de hauteur. On peut alors employer la disposition suivante. Le pont se compose de trois poutres: deux poutres de tête et une dans l'axe de l'entrevoie. Ces poutres sont réunies à leurs parties inférieures par des poutres transversales ou entretoises beaucoup moins hautes que les premières. Sur ces entretoises on pose des longrines destinées à supporter le rail (fig. 324). La distance de deux entretoises doit être telle que chaque longrine ne soit chargée que d'une roue de wagon à la fois.

La grande poutre d'axe doit avoir une résistance double de celle des poutres de tête.

Quand l'étude des lieux et des exigences locales a fait adopter un pont en pierre, en fonte ou en tôle, il faut en calculer avec soin les dimensions et la résistance. Comme base de ces calculs, on admet que deux trains de locomotives se croisent sur le pont; il faut, en outre, tenir compte de la charge permanente, c'est-à-dire du poids du tablier, du ballast, &c.

Quand on franchit un cours d'eau navigable ou un canal, il faut ménager un chemin de halage sous les arches de rive.

C'est une sujétion dont on ne peut pas s'affranchir.

S'il arrive qu'on ait à traverser un canal à niveau, on emploie un pont tournant. Ces ponts devant supporter des charges considérables, on donne aux poutres, aux galets, au pivot &c. des dimensions toutes spéciales calculées d'après les conditions où l'on se trouve.

Viaducs et Souterrains.

Les chemins de fer n'admettant que des pentes très faibles et des courbes d'un grand rayon, ne se prêtent pas aux mouvements de terrain et donnent lieu, souvent à de grands viaducs et à des souterrains.

Viaducs. — Quand on a à traverser une vallée d'une certaine importance, on peut établir la voie soit sur un remblai, soit sur un viaduc en maçonnerie. Pour savoir quel mode il convient d'employer dans tel ou tel cas, il faut faire la comparaison des prix de revient.

Un remblai exige une grande surface de base et par conséquent nécessite l'achat d'une plus grande quantité de terrain. En outre, dans un viaduc, la dépense est à peu près proportionnelle à la hauteur, tandis que dans un remblai cette dépense croît dans un rapport beaucoup plus rapide, car la largeur au sommet reste seule constante.

Indépendamment donc de toute considération d'achat de terrain, il arrivera une hauteur où le viaduc sera plus économique que le remblai.

On devra donc, dans chaque cas, calculer le prix de revient du mètre cube de maçonnerie et du mètre cube de remblai et faire la comparaison de ces prix.

Sur le chemin de fer de ceinture, on a été conduit à construire des viaducs d'une hauteur très faible; on avait économisé à ne pas employer de remblai à cause du prix élevé des terrains aux environs de Paris.

La construction des viaducs est soumise aux mêmes règles que celles des ponts ordinaires; on n'indiquera donc que les considérations spéciales à ces sortes d'ouvrages.

On dépose une couche de ballast de 0^m 80 à 1^m 00 d'épaisseur sur toute l'étendue du viaduc, on évite par là que les vibrations produites par le passage des trains à grande vitesse se transmettent aux maçonneries. L'ouverture des arches dépasse assez rarement 15^m 00. C'est cette ouverture qui, dans la plupart des cas, correspond au minimum des dépenses. Les piles ont un fruit réglé par la condition que la pression n'augmente pas sensiblement par centimètre carré depuis le haut jusqu'en bas.

Les fondations dépendent du terrain sur lequel on assise l'ouvrage. Quelquefois on est obligé de construire un radier général, afin de donner un empatement considérable et de diminuer autant que possible la pression par unité de surface. Dans les terrains ordinaires on ne dépasse pas la pression de 5 à 7 Kilogrammes par centimètre carré. Il est prudent d'entreposer des piles culées de distance en distance, de 6 arches en 6 arches ou de 10 en 10 par exemple.

Le viaduc de Barentin n'a dû sa ruine complète qu'à l'omission de toute pile culée dans sa construction. Les pierres du parement étaient très amaigrées à la queue, la pression les fit pousser au vide dans une arche qui ne tarda pas à céder et entraîna la destruction entière de l'ouvrage.

Quand un viaduc a une grande hauteur, on le construit à plusieurs étages. Cela permet d'augmenter l'empatement autant qu'il est nécessaire.

La décoration d'un viaduc résulte de la construction même et de la grandeur de l'ouvrage. Quand toutes les dimensions sont rationnelles, l'effet est en général imposant. Des cordons aux naissances des voûtes, une corniche saillante avec machicoulis en dessous, des pilastres au droit des piles, des culées, sont les seuls ornements qui conviennent aux viaducs. Il faut procéder par grandes lignes et simplement.

La construction des culées d'un viaduc mérite une remarque toute particulière; si on voulait faire des murs en retour aux abords du remblai, on serait conduit à une dépense considérable et à peu près inutile; on profile ordinairement le talus sous les arches mêmes qu'on prolonge jusqu'au bout du viaduc, comme l'indique le croquis 325. La culée se perd dans le remblai et n'est pas apparente. C'est le système des culées perdues.

Sur certains chemins, cependant, on a préféré rendre les culées apparentes, seulement, pour diminuer le cube de la maçonnerie, on a donné à ces culées la section transversale indiquée fig. 326. L'intérieur de l'évidement est remblayé à la même hauteur qu'à l'extérieur, de sorte que la poussée des terres est nulle contre les parements. La voûte est en ogive afin de résister à la pression supérieure aussi efficacement que possible.

La première solution est plus simple et peut être plus rationnelle.

Pour évaluer approximativement la dépense qu'entraînera la construction d'un viaduc sur une vallée d'une largeur donnée, on calculera la surface du vide A. B. C. D (fig. 327) et l'on pourra compter que le prix de la construction variera de 100 à 200^f par mètre carré de surface évaluée. Il est clair que le prix de 200^f correspond au cas où les matériaux sont très coûteux et les fondations difficiles.

Si le terrain est mauvais, il y a quelquefois intérêt à faire des arches de grande portée; mais, comme les arches en maçonnerie ne peuvent pas dépasser une certaine limite, on est conduit à construire des piles supportant des travées en charpente ou en tôle.

Le pont Britannia sur le détroit de Menay, est un des plus beaux

exemples de ponts en tôle à grande portée. C'est un tube énorme dont la construction est fondée sur les mêmes principes que celle des ponts à double T.

Il y a des caissons en haut et en bas qui accumulent la matière aux points où l'extension et la compression sont minimum.

Souterrains. — Les motifs qui conduisent dans un tracé, à creuser un souterrain sont divers :

Quand on traverse un faite, on est obligé de construire un souterrain à cause de la hauteur du sol qui rendrait toute tranchée impossible. Si l'on rencontre un terrain extrêmement mauvais et qu'on craigne les éboulements, on fera encore un souterrain par mesure d'économie. Il en sera de même si le terrain est très coûteux et qu'on veuille éviter la dépense de l'achat. Enfin, dans certains cas, les municipalités exigent qu'on traverse tel ou tel point en tunnel pour ne pas gêner la circulation ni entraver les besoins ou l'agrandissement d'une ville.

Dans ce dernier cas quand la hauteur du sol au dessus de la voie n'est pas très grande, on attaque en tranchée ouverte, on fait la voûte à ciel ouvert et on remblaye par dessus.

Les souterrains sont coûteux, leur prix varie de 500.^f à 4000.^f par mètres courants. De plus on ne peut les attaquer que par les deux extrémités et au droit de chaque puits de service. C'est un travail lent, pénible et qui retarde presque toujours l'ouverture des lignes.

Il faut avoir soin, dans les souterrains, de ménager l'écoulement des eaux, pour cela, on établit sous le ballast un aqueduc central et on draine ce ballast avec soin. Tous les 50 à 60 mètres on pratique dans l'épaisseur des pieds-droits des niches de garage pour les cantonniers.

Les puits de service servent, après la construction, de cheminées d'appel, on obtient par là une ventilation indispensable, car lorsque la vapeur se condense dans le souterrain même, elle mouille les rails et diminue l'adhérence des locomotives.

5^{eme} Section

Gares et Stations.

Changements de voie en Garages dans les Stations.

Si l'on a une série de voies parallèles à réunir entre elles, on peut, comme l'indique la figure 328, passer d'une voie quelconque A sur les autres B₁ B₂ B₃ par une série de changements de voie s'échelonnant à la suite les uns des autres et décrivant la ligne ondulée A m. n; ou bien encore (fig 329), on peut passer de la voie A sur les autres voies parallèles, successivement par des changements de voie et des raccordements isolés les uns des autres.

La première solution offre des avantages, elle exige moins de place que la seconde, mais les courbes à double courbure, que le matériel roulant est obligé

de décrire, sous un grand inconvénient, d'autant plus que, dans les mouvements à reculons, il faut beaucoup de précautions pour éviter les déraillements.

La manière de résoudre la question et d'éviter les inconvénients qui viennent d'être signalés, est la suivante:

Soit une voie droite AA' (fig. 330) et sur cette voie une série de points $AA'A''$, également espacés, desquels on fait partir des changements de voie courbes de rayons égaux. Sur ces courbes, on prend des points $CC'C''$ semblablement placés, et on mène, par ces points, des tangentes aux courbes. On obtient une série de voies parallèles dont l'entrevoie (l) dépend de la distance $AA' = a$ et de l'inclinaison, sur la voie AA'' , des nouvelles voies parallèles; on a

$$l = a \sin \alpha - l'$$

Ceci posé, supposons qu'il s'agisse de relier plusieurs voies parallèles par une seule en évitant les courbures en sens contraire (fig. 331):

L'écartement des voies parallèles est ici donné, on connaît donc (l), on prend, d'après les convenances, une longueur convenable pour (a) et dans la formule

$$l = a \sin \alpha - l'$$

il n'y a plus que α d'inconnue;

Une fois cette dernière valeur obtenue, on trace deux parallèles $pq - p'q'$ distantes entre-elles de la longueur d'une voie et faisant un angle α avec la direction des voies parallèles.

La direction pq s'obtient d'ailleurs en inscrivant entre les deux premières voies parallèles une droite $CK = a$.

pq devra être parallèle à CK .

On retombe dès lors dans le cas précédent; de la voie M se détacheront par courbes des voies donnant accès aux voies parallèles $A B_1 B_2 B_3$.

Cette disposition, comme on le voit, ne donne jamais que deux courbes à parcourir, quelle que soit la voie sur laquelle on veuille se diriger.

Les voies parallèles accumulées sur un même point servent de garages; il y a, en général, dans les garages, une voie d'arrivée et une voie de sortie. Si on dispose la voie de sortie comme celle d'arrivée (fig. 332), il faut, afin que la voie de garage B_3 soit assez longue pour contenir un train entier, donner une assez grande longueur à la voie B , ce qui est un inconvénient.

On peut l'éviter en construisant une voie de sortie spéciale pour chaque garage (fig. 333). À l'aide de cette disposition on peut donner la même longueur minimum à tous les garages, mais il y a un plus grand développement de voies de service.

Quand la place manque et qu'on est obligé de diminuer autant que possible les entrevoies des garages, il faut prendre pour la longueur $AA' = a$ (fig. 334) la longueur minimum, c'est-à-dire celle nécessaire au jeu d'aiguilles A' . Mais, dans ce cas, on a des croisements de voie plus difficiles et plus nombreux.

Ainsi, dans le cas actuel, il faudra un croisement spécial au point B, croisement que l'on eût évité si l'on avait fait AA' plus grand.

Lorsque deux voies se croisent, on peut donner accès de l'une à l'autre par deux changements de voies suivis de portions courbes (fig. 335). Ainsi pour arriver de la voie (2), sur la voie (1) on prendra les aiguilles AA'; de la voie (1) sur la voie (2) les aiguilles BB'. Dans le cas actuel le mouvement des trains se fait dans le sens indiqué par les flèches. Il faut reculer pour passer d'une voie sur l'autre, c'est, on le sait, une condition pour éviter les chances d'accidents.

Quel que soit le système de garage qu'on adopte, et quelque difficulté que présente l'enchevêtrement des voies, on devra toujours éviter un tracé avec ondulations.

Quand un chemin de fer n'a qu'une voie, il faut nécessairement des garages pour permettre le trafic en sens contraire. Sur les chemins à deux voies, il doit y en avoir aussi, car tous les trains n'ayant pas la même vitesse, il faut qu'ils puissent se dépasser dans le trajet à parcourir. Le nombre des garages à établir dépend essentiellement du nombre de trains qui circulent et du rapport de leurs vitesses. Dans tous les cas il faut s'arranger pour qu'un train partant d'une station puisse arriver au premier garage 15 minutes avant le train qui doit le dépasser.

Au chemin du Nord, où les trains express parcourent 75 Kilomètres à l'heure, les trains de marchandises 30 Kilomètres, et où le trafic est considérable, les garages sont à 15 Kilomètres les uns des autres.

Outre les garages, il est nécessaire d'avoir, de distance en distance, des passages permettant d'aller d'une voie sur l'autre (fig. 336). Si un convoi est arrêté en A par un accident quelconque, le service ne sera pas interrompu pour cela sur la voie P, grâce aux passages m. n. Le convoi arrivant sur la ligne P, dépassera les aiguilles $\alpha\alpha$, s'engagera dans le passage m à reculer, arrivera sur la voie Q, remontera jusqu'au passage n, qui le remettra de nouveau sur la voie P après lui avoir fait franchir l'obstacle, les mêmes passages permettront à une machine de secours venant d'un endroit quelconque, d'arriver sur la voie P et de prendre à la remorque le train arrêté en A.

Comme l'indique le croquis (fig. 336), les aiguilles sont disposées en sens contraire du mouvement sur les voies principales; ce qui oblige à une manœuvre de recul toute spéciale pour entrer dans les passages. On évite ainsi les accidents que pourrait causer la négligence d'un aiguillier. On prend la même précaution dans les garages. Ainsi dans la (fig. 337) les aiguilles sont en m. n. p.

Les passages sont plus rapprochés que les garages; sur le chemin du Nord, on met deux passages dans l'intervalle d'un garage. Il y en a par conséquent tous les 7 Kilomètres environ.

Gares et Stations. — Le croquis (338) représente une petite station aussi simple que possible, avec un passage sans garage.

Une deuxième disposition très souvent employée, est celle représentée par la (fig. 339) elle a l'avantage de concentrer tout le service en un même point.

En α et α' sont deux plaques tournantes en m, n, p, q, r sont des jeux d'aiguilles qui permettent de passer facilement d'un garage à l'autre ou d'un point quelconque des garages sur l'une des voies.

La disposition représentée (fig. 340) convient mieux que la précédente aux besoins d'une gare importante. En α et α' plaques tournantes; en m, n, p, q, r, s aiguilles. On voit qu'il y a une grande facilité d'ajouter des voitures aux trains arrivant sur l'une des deux voies principales.

La (fig. 341) représente une disposition qui est peu employée, car, lorsque l'on veut, dans ce cas ajouter des wagons, la machine est obligée d'aller les chercher dans les garages pour les conduire à la tête du train; les mouvements sont longs et il y a perte de temps.

Dans les diverses dispositions indiquées par les figures 338, 339, 340, 341, les parties hachées $a a'$ bb' représentent les trottoirs sur lesquels descendent les voyageurs. Le bâtiment de la gare doit être placé du côté de la voie la plus fréquentée par les voyageurs partant. On évite ainsi de leur faire traverser le chemin pour les faire embarquer sur le trottoir opposé. Dans les stations voisines de Paris, comme St. Denis, par exemple, le plus grand nombre de voyageurs se dirigeant vers Paris, il faut placer la gare du côté de la voie allant de St. Denis à Paris. La même observation s'applique aux constructions destinées à abriter les marchandises.

Dans les types décrits précédemment tous les garages ne servent généralement qu'à une voie.

Dans le cas contraire, on serait obligé de faire des croisements de voie.

Sous ce rapport des garages placés entre les voies principales seraient très commodes (fig. 342) mais ils ont l'inconvénient, lorsqu'il y a des wagons qui stationnent, de masquer la vue aux mécaniciens.

Les stations assez importantes pour recevoir des voyageurs et des marchandises et d'où partent des trains spéciaux, présentent des types très variés.

La fig. 343 représente à peu près la disposition employée à St. Denis. L'affluence y est assez grande, mais les trains y sont tous très petits. Le quai A reçoit les voyageurs venant de Paris, l'autre B sert au départ de ceux qui y retournent. En outre, comme il y a des trains spéciaux, le second quai B présente une aile devant laquelle s'effectue le chargement.

Pour faire ce service de banlieue, on emploie des locomotives sans tender; elles n'ont en quelque sorte ni avant ni arrière, et il n'est pas nécessaire de les retourner.

À la station d'Enghien, il y a certains jours, une affluence considérable; les trains renferment beaucoup de voitures, ce qui nécessite des quais et des garages très longs (fig. 344). Entre ces quais il y a 3 voies, les deux voies principales et une troisième, la plus rapprochée du quai B, qui ne sert que pour le service local. Les trains venant de Paris descendent les voyageurs en A, puis la locomotive va en C, recule dans l'un des garages, vient se retourner en D, prend le convoi spécial qui retourne à Paris, et l'amène devant le quai B pour faire le chargement. Cette disposition conduit à des stations très longues, où la surveillance devient difficile.

Pour remédier à ces inconvénients, on peut placer les garages en face des quais (fig. 345) tout en satisfaisant à la condition de n'y entrer qu'à reculons.

On peut aussi disposer les garages à droite et à gauche des voies principales, comme l'indique la (fig. 346): la partie ST est consacrée au service des marchandises.

Garces de bifurcation. — On a employé différentes solutions.

La première consiste à donner des bâtiments spéciaux pour chacun des embranchements, alors ceux-ci, avant de se réunir, sont parallèles sur une certaine longueur, comme l'indique le croquis (347). Cette solution assez simple du reste, présente deux inconvénients: Le premier c'est d'exiger des locaux très vastes. Le second résulte de ce qui a été dit plus haut: qu'il fallait en général, placer le bâtiment de service des voyageurs du côté de la partie principale de la ville où est la station. Or cette solution ne peut être remplie dans ce cas pour les deux lignes à la fois.

Cette première solution convient assez pour deux lignes d'une égale importance: les trains qu'elle amène viennent se placer en (1) ceux de A viennent en (2), et, enfin, les trains qui viennent de la partie commune (C) se placent en (3). Les voyageurs du train (2), c'est-à-dire ceux qui viennent de la ligne la moins importante, changent de train en vont dans (3) ou dans (1) suivant qu'ils se rendent dans les directions B ou C.

Ainsi (3) sert pour aller de C en B.

(1) ————— de B en C

et (2) sert pour aller soit de A vers la bifurcation, soit de la bifurcation vers A.

Comme on le voit, il y a toujours une voie qui est libre, elle sert pour la commodité du service dans le cas d'encombrement.

Il convient de parler d'un cas particulier qui s'est présenté sur la ligne du Nord, près d'Amiens. Les lignes avaient la disposition indiquée par le croquis (fig. 349).

A est du côté de Paris, C dans la direction du Nord et B représente la ville d'Amiens. À l'origine on avait réuni les deux embranchements par la partie courbe ponctuée. Le service se faisait alors de la manière suivante.

Les trains venant de Paris et allant vers le Nord, se rendaient d'abord à Amiens pour y déposer une partie de leur chargement, puis prenaient la partie courbe et se dirigeaient vers le Nord. Il en résultait ainsi un retard et un excès de parcours d'environ 7 Kilomètres pour les voyageurs allant dans le Nord. On a alors songé à établir une gare en A près du village de Longueau et l'on a supprimé la partie courbe. Cette gare est représentée (fig 350).

Le train venant de Paris se place en (3) tandis qu'un petit train spécial venu d'Amiens se trouve en (4). S'il en venait un du Nord, il se placerait en (5). Il y a alors un échange de voyageurs, ceux du train (4) venant d'Amiens montent dans les trains (3) ou (5) suivant qu'ils se rendent dans le Nord ou à Paris, et réciproquement, les voyageurs des trains (3) et (5), qui se rendent à Amiens, montent dans (4). En outre il y a échange de machines : celle qui est venue d'Amiens et qui est approvisionnée se place en 6 et prend le train (3) tandis que la machine qui est venue de Paris ramène le train (4) à Amiens. Comme on le voit, le service d'Amiens consiste en un mouvement de va et vient entre cette ville et Longueau. Depuis la construction de la ligne d'Amiens à Boulogne, cet ordre de service a dû être modifié.

Gares terminales. — Il peut se présenter deux cas : 1°. Si la gare que l'on construit doit devenir par la suite une gare de passage, il est évident qu'il faut se conformer aux dispositions précédentes.

2°. Si cette gare doit rester tête de ligne, elle devra présenter des dispositions particulières. Les voies s'y terminent toutes par des parties parallèles. Quand le service de la banlieue est presque nul, comme cela s'est présenté à la gare de Lyon, deux quais peuvent suffire, l'un pour l'arrivée, l'autre pour le départ, (fig. 351). Entre ces quais, outre les voies principales, il faut un certain nombre de voies intermédiaires destinées au service des machines, au garage des voitures, et enfin à la préparation des trains.

Toutes ces voies secondaires devront se rendre dans la voie du départ et ne communiquer qu'indirectement avec la voie d'arrivée, c'est à dire que les trains n'y pourront entrer qu'à reculons.

Dans le cas où une ligne aurait ou devrait avoir par la suite un service de banlieue considérable, il faudrait établir plusieurs quais, et, par suite les salles d'attente, au lieu d'être placées latéralement devraient se trouver en tête des voies. Cette disposition est nécessaire, bien qu'elle allonge le trajet des voyageurs, car sans cela ils seraient forcés de traverser des voies; ce qui serait dangereux, peu commode et deviendrait quelquefois impossible dans le cas d'encombrement des voies.

Sur la ligne du Nord, les bâtiments sont placés en tête, mais à l'origine, on n'avait établi que deux quais, et, depuis, en raison des développements qu'a pris cette ligne, on a été obligé d'en ajouter d'autres. Ces additions faites

après coup, ne remplissent jamais toutes les conditions voulues, et on sera peut-être obligé de démolir la gare actuelle.

Sur la ligne de Strasbourg, on commence également à être gêné. Comme exemple d'une gare à plusieurs quais assez bien disposés, on peut citer la gare de St. Lazare où viennent aboutir plusieurs lignes.

Dépôts des Locomotives. — Ces dépôts doivent communiquer avec les extrémités des garages, et il faut que les locomotives puissent aller prendre les trains dans toutes les directions. La fig. 352 donne deux positions possibles soit en A soit en B.

Quand on emploie des dépôts circulaires on les dispose en général comme l'indique la fig. 353.

Gares à Marchandises. — Pour les gares à marchandises principales, c'est-à-dire celles des têtes de lignes, il faut établir une balance entre le prix d'établissement et la commodité du service, pour savoir s'il faut séparer le service des voyageurs de celui des marchandises.

Si l'on juge que cette séparation est utile, comme les marchandises demandent de grands locaux, on place les bâtiments qui y sont destinés à l'entrée de la ville, dans un endroit où l'emplacement ne coûte pas très cher. Mais comme il est utile que la gare des voyageurs soit dans l'intérieur de la ville, on fait alors de nouveaux bâtiments près de ceux des voyageurs et qui servent à recevoir les marchandises de prix. On a donc ainsi une gare intérieure et une gare extérieure; c'est dans cette dernière, en général, que l'on place aussi les remises de voitures et de locomotives.

Il y a entre ces deux gares un mouvement continuels soit de machines soit de voitures vides. Les deux voies principales ne pourraient donc suffire, aussi en établit-on plusieurs. A la rigueur trois suffisent: l'une pour aller de la gare extérieure à la gare intérieure, et les deux autres pour l'arrivée et le départ des trains. Cette dernière peut, sans inconvénient servir pour se rendre de la gare intérieure à la gare extérieure. Habituellement on établit quatre voies: deux pour la ligne principale, départ et arrivée, une pour le service des machines, et une quatrième servant à mener les marchandises de prix de la gare extérieure à la gare intérieure.

Disposition des Bâtimens. — Ces dispositions sont quelquefois commandées par les circonstances locales, néanmoins, quelles que soient les dispositions d'ensemble, il faut toujours satisfaire aux conditions de première commodité: Ainsi, ces bâtimens, pour le départ, devront comprendre:

Un vestibule ou une salle des pas perdus convenablement disposée par rapport à la voie publique; autour de cette salle seront disposés les bureaux de distribution des billets, les salles d'attente divisées en trois classes et rapprochées du vestibule autant que possible. Enfin il faudra une salle des bagages assez

rapprochée des bureaux de distribution des billets pour faciliter leur enregistrement.
 Pour l'arrivée il suffira d'avoir une grande salle commune où les voyageurs attendront que leurs bagages soient déchargés et disposés convenablement pour en faciliter la reconnaissance.

Ceux-ci seront dans une grande salle où pourra se faire le service de l'octroi et de la douane.

En outre, il faudra des locaux pour le personnel, pour le service des lignes télégraphiques, pour le service de l'exploitation.

Pour les différentes sortes de marchandises, il faudra souvent des installations particulières. Ainsi pour la marée, pour les fontes, pour le chargement des chevaux, on ne pourra prendre tous-à-fait les mêmes dispositions.

Ce qui précède convient aux gares importantes, mais il est évident que de là à la simple maison de garde, qui est l'autre cas limite, il y a une quantité d'autres dispositions, toutes plus simples que la précédente, et que l'on trouvera facilement dans chaque cas suivant les exigences locales.

Quais de Voyageurs. — On a vu les cas où il fallait employer deux quais ou un plus grand nombre, ceux où il convenait de leur donner une grande ou une faible longueur; il reste à savoir s'il faut des quais bas ou élevés.

S'ils sont élevés, la peine des voyageurs sera moindre, car ils monteront dans les voitures ou en descendront plus facilement, et sans se servir des marchepieds. Mais on ne doit les employer que quand deux quais suffisent, car lorsqu'il y a des quais intermédiaires, il faut alors une complication d'appareils tels que ponts-levis, escaliers et autres qui nuisent à la simplicité d'établissement et de service.

En général on préfère maintenant les quais de 20 à 30 centimètres de hauteur, comme à la gare de Lyon.

Cette hauteur est déterminée de façon à laisser entre le niveau du quai et le marchepied inférieur des voitures la hauteur ordinaire d'une marche.

Quais à Marchandises. — Ces quais sont couverts ou non, suivant la nature des marchandises. Quant à leur hauteur, ils seront d'autant plus commodes que leur niveau coïncidera mieux avec le fond des caisses des wagons car le chargement et le déchargement seront plus faciles.

Ils pourront être soutenus par des murs de soutènement des deux côtés ou d'un seul côté seulement. Le dernier cas a lieu généralement pour les quais non couverts, pour lesquels on ménage, du côté opposé à la voie, un plan incliné donnant accès aux voitures (fig. 354). Ce plan incliné forme une rampe de $\frac{1}{10}$ environ; bien que cette rampe soit très forte, elle n'a pas beaucoup d'inconvénient, car dans une gare on a tous les moyens de la surmonter.

Les quais couverts ont toujours deux murs de soutènement, l'un du côté de la ligne, l'autre du côté de la voie publique. Quant à la manière dont on place les cloisons elle est différente pour chacun de ces deux murs.

Souvent on a raisonné ainsi : La Compagnie est responsable des objets qui lui sont remis, il faut donc qu'une surveillance active s'établisse dans ces halles; et pour cela, du côté de la ligne, les portes des wagons ne devront être ouvertes que sous les yeux des agents qui sont préposés à une halle; il est donc convenable qu'à ces instans, les voitures soient dans la halle même, aussi, de ce côté la cloison comprendra la voie par laquelle viennent les wagons.

De l'autre côté on a deux raisons pour faire le contraire. D'abord le voiturier est responsable des objets qui lui sont remis et, en outre, il est bon qu'il reste en dehors du quai. On adoptera donc la disposition (fig. 355) en ayant soin de prolonger suffisamment la couverture du côté de la voie publique pour abriter les voitures.

Les halles à marchandises doivent être considérées sous deux points de vue correspondant aux deux services de l'arrivage et de l'expédition. Les deux systèmes sont quelquefois réunis dans les gares peu importantes, mais ils doivent être séparés dans les grandes villes. Les conditions sont en effet très différentes; pour l'expédition, qui se fait à la volonté de la Compagnie, le stationnement n'est pas obligé, et la largeur du quai doit pouvoir contenir seulement le chargement d'un ou, plus habituellement de deux wagons. On lui donnera donc de 6 à 12^m.

Pour l'arrivée, le destinataire ayant un certain nombre de jours de planche, c'est-à-dire de délai pour enlever sa marchandise, il faut que le quai ait la largeur nécessaire au transbordement et au stationnement, c'est-à-dire que ce quai puisse servir d'entrepôt souvent jusqu'à ce que les marchandises soient vendues.

À la gare de la Chapelle, au Chemin de fer du Nord, le quai d'expédition a treize mètres de largeur et le quai d'arrivée trente mètres. À l'origine la gare d'arrivée était formée de deux quais parallèles séparés l'un de l'autre par trois voies (fig. 356) en donnant accès aux voitures des deux côtés de la halle en A et en B. On s'est décidé depuis à combler l'espace intermédiaire, pour faire un seul quai accessible d'un côté par les wagons, et de l'autre par les voitures, on a augmenté ainsi la surface du quai et diminué la largeur accessible. Le service des marchandises se fait dans des conditions meilleures.

Les halles mixtes des petites villes ont ordinairement 8 à 10 mètres de largeur.

Dans les villes importantes, il y a des halles affectées à un service particulier, et qui doivent être établies dans des conditions spéciales en rapport avec le service que l'on a en vue. Par exemple, à la Chapelle, il y a une halle exclusivement destinée aux huiles dans le sol, recouvert de dalles en pierre dure, à des pentes convenables pour que l'huile perdue se réunisse dans des rigoles et puisse être retrouvée.

Il faut, dans ce cas, avoir soin de fermer la halle au vent pour

diminuer autant que possible l'évaporation.

Les marchandises qui ne peuvent s'altérer à l'air, comme la fonte, le charbon, n'exigent qu'un service fait à découvert; quelquefois même le service n'exige pas de quai comme pour le transport des pierres qui doivent rester au stationnement sur une surface de niveau à côté d'une chaussée pavée, jusqu'à ce qu'on vienne les chercher successivement pour les employer.

Il faut empiler les pierres de même nature ensemble et les disposer par groupes appartenant au même propriétaire.

Le service se fait au moyen d'une voie d'arrivage CD (fig. 357) de part et d'autre de laquelle sont deux files de rails (AB) (EF) supportant un appareil triangulé surmonté lui-même d'un treuil roulant. Cette disposition permet de prendre une pierre en un point quelconque de la voie CD , et de la déposer en un point quelconque de l'espace $E C D F$.

On emploie une disposition analogue pour le service des messageries, l'appareil triangulé est fixe; et le treuil en se déplaçant horizontalement, sert à enlever la caisse de la voiture et à la porter sur un wagon spécial. Toutes ces machines ingénieuses sont dues à M^r ARNOUX.

Les derniers appareils installés permettent d'effectuer tous ces mouvements au moyen d'un ouvrier placé au niveau de la voie.

On emploie encore dans les gares, pour charger ou décharger les wagons, les grues à chariot ou à pivot.

Le service des marchandises exige encore l'emploi de bascules pour le pesage des colis. Ces bascules doivent pouvoir peser de 2000 à 3000 kilogrammes, elles sont encastrées dans le quai et peu en saillie, de manière à permettre une manœuvre facile des objets que l'on veut peser.

Les bascules sont encore nécessaires pour le pesage des wagons, elles sont analogues alors à celles employées sur les routes et sont établies sur la voie de parcours; leur force doit être en rapport avec le matériel de la ligne; et le mécanisme doit pouvoir supporter les plus fortes locomotives sans se déranger.

Ces bascules servent à contrôler les chargements en pesant les wagons successivement pleins et vides, car la Compagnie qui est responsable de la marchandise doit s'assurer du chargement au départ afin de ne pas s'exposer à payer à l'arrivée la différence qui pourrait exister avec la lettre de voiture.

Remises pour les voitures. — Ce sont, en général des hangars couverts pour mettre les voitures à l'abri du soleil et de la pluie. Dans les petites stations on se contente de remises à une voie, n'ayant que 3^m 20 de large. Dans les stations plus importantes on fait les remises à plusieurs voies, et comme il y a intérêt à réduire le plus possible la portée des charpentes, on ne donne aux entrevoies que juste l'espace nécessaire pour laisser passer les marchepieds des voitures. Dans ce cas, on les établit ordinairement à 3 voies

correspondants à chaque classe de voitures (fig. 358). Si les remises sont à deux ou quatre voies, on dispose en général des plaques tournantes ou des charriots roulants pour rendre le service plus commode.

Remises pour les locomotives. — Elles servent en général pour les petites réparations et le nettoyage des machines; il doit y avoir, autour de chaque machine, l'espace nécessaire pour placer quelques étaux et permettre de déposer facilement les pièces provenant du démontage de la machine.

Dans la plupart des remises, les voies sont disposées sur longrines portées elles-mêmes sur deux petits murs de soutènement comprenant entre eux une fosse de 0^m 70 de profondeur (fig. 359). Ces fosses servent à jeter le feu sans qu'il y ait danger d'incendie; elles servent aussi à rendre plus facile la visite et le démontage de la machine qui, souvent est placée au-dessous de la chaudière. Enfin elles servent encore à recevoir les eaux qui proviennent du lavage de la chaudière; au moyen de conduits on les rejette au dehors sans les faire passer sur le sol de l'atelier.

Les remises peuvent être circulaires (fig. 360) ou à voies parallèles (fig. 361).

Les remises circulaires ont l'avantage de rendre chaque locomotive immédiatement accessible; mais elles ont l'inconvénient de faire dépendre le service d'une seule plaque tournante qui peut subir des avaries.

Les remises à voies parallèles ont l'avantage d'avoir des appareils extérieurs plus simples et présentant, par conséquent, moins de chances d'avaries. Leur service se fait en général au moyen de changements de voie, mais elles ont l'inconvénient de ne pas donner libre accès à chaque machine, de sorte que pour en avoir une, on est obligé souvent d'en déplacer plusieurs.

Service d'Alimentation. — Les machines actuelles peuvent faire de 50 à 60 Kilomètres sans renouveler leur provision d'eau; mais il ne faut pas s'exposer à ne pouvoir prendre de l'eau qu'à ces distances limitées, à cause des accidents qui peuvent survenir et des stationnements plus ou moins longs de certains convois tels que ceux de marchandises. En général, on doit avoir de l'eau dans toutes les stations où l'on peut garer un train. On met des réservoirs tous les trente et même tous les 15 Kilomètres si les gares sont, comme au Chemin de fer du Nord, espacés seulement de 15 Kilomètres.

Les prises d'eau sont en général d'autant plus importantes que les gares elles-mêmes le sont davantage.

On se sert pour élever l'eau, de machines à vapeur, à vent ou à bras. Dans les gares importantes on emploie en général la machine à vapeur et l'on dispose les appareils de manière à pouvoir pomper à bras si la machine vient à se déranger. Dans les stations de peu d'importance on se contente de faire mouvoir les pompes par des hommes.

Le moteur doit être calculé d'après la consommation; mais si la machine devait travailler d'une manière continue, on aurait une machine de très faibles dimensions et travaillant dans de mauvaises conditions sous le rapport du combustible. Au lieu de cela, on fait des machines de quatre à cinq chevaux travaillant par exemple deux jours sur trois, et on donne aux réservoirs une capacité telle qu'ils puissent contenir l'eau nécessaire pour plusieurs jours. De cette manière s'il survient des avaries on a le temps d'y remédier.

Les conduites d'eau ont des diamètres différents suivant les cas: Pour refouler simplement l'eau dans le réservoir, on a cherché à arriver au minimum de dépense d'établissement. Or, en augmentant le diamètre de la conduite on diminue les frottements et, par suite, le travail, mais on augmente la dépense d'établissement. Le contraire a lieu si l'on diminue le diamètre. Il est alors nécessaire, dans chaque cas, d'examiner quel système est le plus économique. Les conduites d'eau de 0^m 08 de diamètre sont celles qui conviennent généralement.

Dans les parties qui vont du réservoir aux prises d'eau, les conduites doivent satisfaire à la condition d'une alimentation rapide. Pour un train qui marche à raison de 90 Kil. à l'heure, il ne doit pas falloir plus de 1 ou 2 minutes pour remplir le tender. Il y a avantage, à cause de cela, à placer la prise d'eau immédiatement au dessous du réservoir. Lorsqu'on ne peut le faire, on se sert de petits réservoirs placés à côté des prises d'eau et se remplissant eux-mêmes dans l'intervalle du passage de deux trains.

L'eau ainsi accumulée dans le tender passe successivement dans la chaudière au moyen des pompes d'alimentation mises par la machine elle-même; mais lorsque la locomotive est en stationnement dans une gare, elle ne peut plus pourvoir à son alimentation, et on est obligé, dans ce cas, s'il est nécessaire de mettre de l'eau dans la chaudière, de faire courir la machine sur la voie pour faire fonctionner les pompes. Ce moyen présente des inconvénients dans les gares où il y a une circulation active; on y supplée alors en amenant la locomotive sur une partie de voie où l'on a interrompu les rails pour les remplacer par un galet mobile autour de son axe C (fig. 362).

Si les choses sont disposées de telle sorte que la roue motrice repose exactement sur le galet, on voit qu'en ouvrant un peu le régulateur on mettra l'essieu moteur en mouvement sans que la machine change de place, et que les pompes fonctionneront comme dans la marche. Cette disposition facilement applicable aux machines à voyageurs à un seul essieu moteur, l'est très difficilement pour les machines à roues complètes dont les écartements d'essieux sont souvent variables; on est obligé, dans ce cas, d'adapter sur les chaudières une petite machine de la force d'un cheval, dont le mouvement est complètement indépendant du mécanisme général, et qui sert à alimenter la

chaudière quand la locomotive est au repos.

Gabarin de chargement. — On trouve encore dans les gares le gabarin de chargement qui sert à s'assurer que chaque wagon chargé pourra passer librement sous les ouvrages ou devant les obstacles qui peuvent exister à côté de la voie.

6^e Section.

Tracé d'un Chemin.

(Plan et profil en long. Courbes et pentes.)

Les courbes des chemins de fer sont, en général des arcs de cercle, dont les rayons varient d'une ligne à l'autre suivant les conditions d'exploitation. Certains chemins de service présentent des courbes de 30 mètres de rayon. Au contraire, celles des chemins à grande vitesse ont rarement un rayon inférieur à 800 mètres. Dans les nouvelles concessions on fixe à 500 mètres le rayon minimum des grandes lignes; quand aux voies de service placées dans les gares, on admet des courbes beaucoup plus prononcées.

Sur les chemins de fer allemands il y a souvent des courbes de 160 à 190 mètres de rayon; on trouve même dans l'un d'eux, une courbe de 270 mètres de rayon, combinée avec une pente de 0^m 022 par mètre.

Considérons une voie d'une largeur C placée dans une courbe d'un rayon r , ce rayon correspondant à la ligne équidistante des deux files de rails.

La file de rails extérieure appartient à une circonférence d'un développement égal à

$$2 \pi \left(r + \frac{C}{2} \right)$$

celle intérieure à

$$2 \pi \left(r - \frac{C}{2} \right)$$

Ces files de rails sont évidemment de longueurs inégales et si les roues n'ont pas des diamètres différents, l'une d'elles, celle extérieure à la courbe, roulera tandis que l'autre roulera et glissera tout à la fois, le chemin parcouru par le faisceau du glissement étant égal à la différence des développements des deux files de rails, et se faisant en sens contraire du mouvement. Ce glissement donne naissance à une résistance considérable qui peut varier de 0.005 à 0.17.

À désignant l'angle au centre de la courbe, les longueurs des files de rails sont :

$$\frac{\alpha}{360} \left\{ 2 \pi \left(r - \frac{C}{2} \right) \right\}$$

$$\frac{\alpha}{360} \left\{ 2 \pi \left(r + \frac{C}{2} \right) \right\}$$

Ces files de rails sont évidemment de longueurs inégales et si les roues n'ont pas des diamètres différents, l'une d'elles, celle extérieure à la courbe, roulera tandis que l'autre roulera et glissera tous à la fois; le chemin parcouru par le faisceau seul du glissement étant égal à la différence du développement des deux files de rails, et se faisant en sens contraire du mouvement. Ce glissement donne naissance à une résistance considérable qui peut varier de 0,005 à 0,17.

α Désignant l'angle au centre de la courbe, les longueurs des files de rails sont :

$$\frac{\alpha}{360} \left\{ 2\pi \left(r - \frac{c}{2} \right) \right\}$$

$$\frac{\alpha}{360} \left\{ 2\pi \left(r + \frac{c}{2} \right) \right\}$$

La différence de ces deux développements est proportionnelle à αc d'où l'on peut conclure que le glissement est indépendant de la grandeur du rayon. Néanmoins cette grandeur du rayon n'est pas indifférente, car elle développe une force centrifuge qui est d'autant plus considérable que le rayon est plus petit.

Pour faciliter le passage des courbes sur les chemins de fer, on fait les bandages coniques, et il est facile alors de calculer le rayon minimum des courbes.

Si R représente le rayon du cercle de l'axe de la voie, (fig. 363) r & r' les rayons extrêmes des roues, dus à leur conicité, c la largeur de la voie, on aura :

$$R : \frac{r+r'}{2} :: c : r-r'$$

$$R = \frac{c}{2} \frac{r+r'}{r-r'}$$

La conicité du bandage des roues fait que r et r' peuvent différer notablement, car en désignant par ρ le rayon de la roue quand elle porte sur le milieu du bandage, par (i) l'inclinaison du bandage et par (a) le jeu de la voie (fig. 364). Si le wagon se porte d'un côté de la voie, les rayons des deux cercles de roulement deviennent pour la roue qui touche le rail :

$$\begin{aligned} & \rho + \frac{a}{2} i \\ \text{pour l'autre} & \rho - \frac{a}{2} i \end{aligned} \quad (i = 1/20)$$

En substituant ces valeurs à la place de r et r' , on a la valeur minimum de R .

En tenant compte de tous ces éléments on trouve que les roues peuvent facilement tourner dans les courbes de 300^m à 400^m de rayon.

Pour parcourir des courbes de rayon moindre, qui ne se parcourent qu'à de faibles vitesses, on a la ressource d'augmenter le jeu de la voie, pour permettre à la conicité des roues d'agir complètement, ou d'augmenter l'inclinaison des bandages.

Tout ce qui vient d'être dit se rapporte à deux roues fixées sur un même essieu. Dans chaque véhicule il y a au moins deux essieux. S'ils sont complètement parallèles, le cercle correspondant à l'un des essieux ne sera pas le même que celui correspondant à l'autre, et il en résultera nécessairement des frottements de glissement. La disposition indiquée a donc simplement diminué les frottements sans les faire disparaître.

M. Laignel a proposé de faire rouler une des deux roues de chaque essieu sur son boudin. Cette disposition permet, en augmentant la différence des rayons de roues, de passer dans des courbes de 30^m de rayon. Il faut dans ce cas que le rail extérieur porte un rebord pour faire l'office du boudin et empêcher la roue de dérailler (fig. 364 bis).

Ce système peut être admis dans les chemins de service, mais il doit être repoussé dans les chemins à grande vitesse à cause de la force centrifuge qui tend à faire parcourir aux roues une courbe différente de celle qu'elles suivraient en vertu de leur conicité.

Avec son système, M. Laignel voulait remplacer les courbes à grands rayons par des contours polygonaux dont les côtés eussent été raccordés par des courbes de 30^m de rayon. Ce système a l'inconvénient de demander des rails spéciaux, et de faire porter la roue sur une surface très étroite qui n'est point disposée pour le roulement; en outre, il n'évite pas les frottements provenant du parallélisme des essieux d'une même voiture.

Ce parallélisme n'est pas du reste absolu dans le matériel actuel, les essieux peuvent prendre une certaine convergence par suite du jeu des boîtes à graisse dans les plaques de garde, et ce jeu est suffisant pour que les frottements soient, sinon annulés, du moins considérablement amoindris dans le système ordinaire où les courbes sont toujours à grands rayons.

D'autres dispositions ont été proposées pour résoudre le problème du passage des courbes à petit rayon: Ces dispositions sont dues à M. Arnoux, et elles subissent depuis plusieurs années l'épreuve d'un service incessant sur l'un des chemins de fer de la banlieue de Paris, celui de Sceaux et d'Orsay.

Le système Arnoux diffère du système Laignel en ce que les modifications portent sur le matériel roulant et non sur la voie.

Soit une voie en courbe, et une ligne AB placée à égale distance des deux files de rails, (fig. 365) pour faire circuler un wagon sur cette voie, il faut que chacun des essieux E. de ce wagon se dirige suivant la normale

mencée par le point E à la courbe AB; il faut de plus que chaque roue puisse parcourir un chemin proportionnel au rayon de l'arc sur lequel elle se trouve.

L'indépendance des deux roues montées sur un même essieu en la direction donnée aux essieux, tel est le principe de ce système.

Considérons d'abord un essieu et la paire de roues qu'il porte: l'essieu ne tourne pas, il porte, comme les essieux des voitures qui circulent sur nos routes, deux fusées sur lesquelles tournent les deux roues complètement indépendantes l'une de l'autre dans leur mouvement de rotation. A cet essieu E (fig. 366) est soudée une couronne de grand diamètre, sur tout le pourtour de laquelle s'appuie une autre couronne C de même diamètre. Cette couronne C supporte la charpente du train de la voiture, la caisse et ses ressorts.

Les deux couronnes C et C', qui peuvent tourner l'une sur l'autre, ont leurs centres sur une même ligne verticale, axe d'une cheville ouvrière D qui traverse d'une part l'essieu E, et, d'autre part, le lissoir L attaché à la couronne C.

L'essieu peut tourner avec la couronne C autour de l'axe de la cheville ouvrière et pendant ce temps la couronne C rester en place, mais sans cesser de reposer par toute sa face inférieure sur la couronne C. On peut donc faire tourner l'essieu indépendamment de la caisse sans rien changer à la stabilité de celle-ci.

Il y a une grande analogie entre cette disposition et celle des avant-trains des voitures ordinaires.

Reste à diriger l'essieu:

Une solution fort simple consiste à attacher au dessous de l'essieu un rectangle R'R' (fig. 367 & 368) aux quatre sommets duquel sont fixées quatre petites roues ou galets inclinés à 30° environ sur les rails. Ces galets forment un rectangle inscrit dans la voie, et l'essieu invariablement lié à ce rectangle sera toujours dirigé normalement à l'axe de la voie.

Tous les essieux d'un convoi pourraient être guidés ainsi; mais fixer un appareil directeur à quatre galets sous chaque essieu, ce serait s'assujétir à traîner un poids énorme avec soi, et la multiplicité même de ces galets exigerait un entretien et des soins continuels. Aussi M. Arnoux n'a-t-il employé l'appareil à quatre galets directeur que pour le premier essieu du convoi et s'est-il proposé, une fois la direction ainsi donnée au premier essieu de la première voiture, de la communiquer de cet essieu au second de la même voiture, puis de cette voiture aux suivantes.

Voyons d'abord comment le second essieu reçoit la direction du premier.

On enroule une chaîne sans fin sur les couronnes C des deux essieux (fig. 369) de manière qu'elle soit croisée entre ces deux couronnes, et on la fixe en un point de chacune d'elles.

Si le premier essieu, d'abord normal à la ligne AB , vient à faire un angle α avec sa position primitive, la chaîne forcera évidemment le deuxième essieu à décrire le même angle α , mais en sens inverse du premier, donc les deux essieux convergeront en un point O . Si le premier A est dans une courbe en arc de cercle, et se trouve dirigé par ses galets suivant un rayon de cet arc de cercle, le second essieu faisant le même angle ($90^\circ - \alpha$) que le premier avec la corde AB , sera aussi dirigé suivant un rayon de cet arc de cercle.

C'est par un moyen analogue que la direction se communique du premier wagon au deuxième puis de celui-ci aux suivants. Mais avant d'entrer dans ce détail il convient de faire connaître la manière dont se fait l'attelage des wagons dans le système Arnoux.

Il a été dit que sur la couronne C , liée à l'essieu, (fig. 370) repose une couronne C' boulonnée à la charpente du train, c'est-à-dire à la flèche F et au lissoir I , et que la flèche, le lissoir I et l'essieu sont traversés par une cheville ouvrière D . Entre les deux essieux d'une même voiture, la liaison se fait par la flèche F ; entre les deux essieux voisins de deux voitures consécutives elle se fait par un timon en fer T qui est traversé à ses deux extrémités par les deux chevilles ouvrières et peut tourner autour de l'axe de chacune de ces chevilles.

Ce timon T a une longueur égale à celle de la flèche F , de telle sorte que si l'on considère un convoi dans une courbe (fig. 371) les flèches des wagons et les timons qui relient deux wagons consécutifs constituent un polygone inscrit dans l'arc AH , polygone dont les sommets sont les projections des chevilles ouvrières.

Chaque essieu $G'G'$ doit, pour se trouver normal à la courbe, être toujours bissecteur de l'angle BGH ou $180^\circ - \alpha$. Quand le convoi était en ligne droite, cet essieu faisait un angle égal à 90° avec le timon $B.G.$ et, puisque le timon $B.G.$ a tourné d'un angle α , l'essieu $G'G'$ aura dû tourner de l'angle α par rapport à la direction primitive. Or l'angle α ou IGB est égal à KBA , angle dont la flèche AB , primitivement en ligne droite, a tourné relativement à sa première direction; donc il suffit, pour guider convenablement le premier essieu $G'G'$ de la deuxième voiture, de le faire tourner d'un angle moitié de celui que la flèche de la voiture précédente a décrit avec sa direction primitive. A cet effet, on fixe (fig. 372) à cette flèche AB une couronne C'' dont le centre est sur la cheville ouvrière B . Cette couronne C'' doit avoir un rayon moitié du rayon de la couronne C liée à l'essieu G .

Une chaîne croisée fait le tour de cette couronne C'' et de la couronne C , et est attachée sur l'une et l'autre couronne.

Par suite de cette disposition, si la flèche AB tourne d'un angle α autour du point B , le point M décrira un certain arc; le point N décrira un arc égal

mais sur une circonférence d'un rayon double, et, par suite, l'angle dont il tournera autour du point G sera égal à $\frac{\alpha}{2}$.

De l'essieu G à l'essieu H la direction se communiquera comme de A en B par chaînes croisées; puis la seconde voiture étant ainsi dirigée, guidera à son tour la troisième au moyen de chaînes allant d'une couronne I fixée à la flèche GH, autour du centre H, à une couronne de rayon double fixée au premier essieu de la voiture suivante, et ainsi de suite jusqu'à la dernière voiture du convoi.

C'est l'ensemble des trains imaginés dans le principe par M^r Arnoux et auquel il donna le nom de trains articulés. Examinons les inconvénients de cette disposition: Les trains articulés comportent l'emploi de chaînes dites de convergence; on peut craindre que ces chaînes ne se rompent, ce qui amènerait peut-être un déraillement; en réalité ces accidents s'est présentée très rarement pendant une exploitation de plusieurs années.

Un autre inconvénient est celui-ci: Supposons un convoi tout entier en ligne droite, sauf le premier essieu qui vient d'entrer en courbe, et examinons les positions respectives de ces essieux: Le premier essieu A guidé par ses galets est dirigé suivant un rayon de la courbe, le second essieu B de la première voiture bien que se trouvant encore sur la voie droite, se dirige aussi vers le centre de l'arc de cercle où il va entrer (fig. 372) mais de plus la flèche AB, de la première voiture, ayant son extrémité A en courbe s'est inclinée d'un angle α , et il en résulte que le premier essieu G du deuxième wagon s'est incliné de l'angle $\frac{\alpha}{2}$ sur la perpendiculaire à la ligne droite sur laquelle il se trouve ainsi que l'essieu H appartenant à la même voiture entraîné par le mouvement de G.

Mais cette prédisposition des essieux à la convergence s'arrête là, car la flèche GH, de la seconde voiture, est encore toute entière sur la ligne droite et n'imprime par suite aucun mouvement au premier essieu de la voiture suivante. Il y a donc un mouvement de convergence qui se fait ressentir aux essieux B-G-H, avant leur entrée en courbe.

Enfin un inconvénient très réel au point de vue de l'Exploitation, c'est la difficulté du changement de marche. On a vu comment la convergence se communique d'une voiture au premier essieu de la voiture suivante. Or si un accident, une manoeuvre de gare, exigent que le convoi marche à reculons, la dernière voiture devenant la première, c'est elle qui devra maintenant, donner la direction à la voiture qui tout à l'heure la guidait. Il faudra donc changer les chaînes de convergence entre deux wagons consécutifs, et, au lieu de les faire aller de la couronne C" de centre B à la couronne C liée à l'essieu G'G' (fig. 373) il faudra les diriger de la couronne C" de centre G et liée à la flèche GH à la couronne C qui est fixée sur l'essieu B'B.



Cette manoeuvre se fera ainsi : les chaînes sont composées de maillons à la Vaucanson et de triangles $t t$ (fig. 374), on enlèvera les goupilles qui fixent les triangles aux derniers maillons, et on fixera ces triangles aux bouts des chaînes $b b - a a$ (fig. 373) qui étaient tous à l'heure sans emploi.

Quant aux chaînes qui relient les essieux d'un même wagon, on n'aura pas évidemment à y toucher.

Telles sont les manoeuvres qui devront être faites toutes les fois qu'on voudra faire reculer un convoi.

Dans le but de simplifier le mécanisme des trains articulés et de parer aux inconvénients que nous venons de signaler, M^r Arnoux et M^r Henri Arnoux, Ingénieur des mines, ont imaginé la disposition suivante :

Concevons, comme plus haut, l'essieu muni de sa couronne C , supportant la couronne C' avec la flèche, et la cheville ouvrière traversant à la fois l'essieu, la flèche et le timon d'attelage.

Plaçons sur l'essieu (fig. 375) deux manchons M susceptibles de glisser sur l'essieu suivant sa longueur, et attachons à chacun de ces manchons deux bielles $M B'$, $M B$ articulées l'une à la flèche F , l'autre au timon T , l'ensemble des quatre bielles formera un losange qui pourra se déformer si on vient à incliner le timon sur la flèche (car les deux manchons glisseront sur l'essieu) mais qui restera toujours un losange.

Cela posé, il est facile de voir que quelle que soit l'inclinaison du timon sur la flèche, l'essieu sera toujours dirigé suivant la bissectrice $T A F$ (fig. 376) car les deux triangles $B A I - B' A I$ sont toujours égaux entre eux comme ayant leurs trois côtés égaux; donc quel que soit l'angle que formera le timon avec la flèche, l'essieu sera bissecteur de cet angle, et, comme on l'a vu plus haut, dans l'exposé du système à chaînes de convergence, cette condition suffit pour assurer la direction de l'essieu.

Les chaînes de convergence ont donc disparu et ont été remplacées par ces losanges articulés; de là résulte une simplification notable. La direction ne s'opère plus ici voiture par voiture, comme dans les trains à chaînes, mais successivement essieu par essieu; le train peut marcher à reculons sans qu'on ait rien à y modifier et l'inconvénient de la convergence opérée trop tôt a disparu.

Cel est le principe de la construction des trains articulés soit à chaînes soit à parallélogrammes. Ces trains peuvent circuler dans des courbes de très petits rayons. Sur le Chemin de fer de Sceaux le rayon des courbes descend à 60 et 50 mètres et jusqu'à 25 mètres dans les gares. Dans des expériences faites autre part, ces trains ont circulé dans des courbes de 18^m de rayon.

À la suite de cet exposé, il convient d'indiquer quelques dispositions

de détail. Il a été dit que l'attelage se fait par timons rigides; ces timons se composent de deux parties; chaque voiture porte un demi timon fixé à chacune de ses deux chevilles ouvrières. En rapprochant deux voitures, deux demi timons se trouvent vis à vis l'un de l'autre; l'un des deux porte un goujon et l'autre une douille, on entre l'un dans l'autre, on enfonce une clavette C (fig. 377) et l'attelage est ainsi terminé.

La caisse de la voiture est suspendue sur des ressorts placés au dessus de la couronne C ou plutôt du lissoir L et fixé à ce lissoir par des brides. Ces ressorts sont donc intérieurs à la voie et, avec des caisses de 2^m 60 de largeur, comme celles de nos wagons de chemins de fer, il en résulterait un porte-à-faux considérable. M^r Arnoux s'est préoccupé de donner plus de stabilité à la caisse, et voici comment il y parvient :

Il conserve tout le système intérieur de convergence, ainsi que les cercles C & C', mais (fig. 378) il interpose les ressorts R entre l'essieu et la couronne au lieu de les attacher au dessus de la couronne C', puis il place à l'extérieur sur les fusées des essieux prolongés, d'autres ressorts R' pareils, qui sont surmontés de portions de couronne C, C', concentriques à la couronne C le châssis de la caisse porte sur sa face inférieure la couronne C' C' et des portions de couronne C, C', correspondants aux secteurs C, C', et destinées à glisser sur ces secteurs.

La caisse a donc quatre points d'appui sur l'essieu, deux intérieurs à la voie et deux extérieurs, cette disposition procure une grande stabilité, mais elle comporte quatre ressorts au lieu de deux que l'on place habituellement au dessus d'un même essieu; il est vrai que ces ressorts sont notablement plus légers. Dans cette disposition la flèche est supprimée et remplacée par un fort longeron du châssis de la voiture, par suite les manchons de convergence sont relevés et appliqués, non pas à l'essieu même mais à un faux essieu invariablement lié au premier.

L'appareil de convergence est donc relevé ainsi que les timons d'attelage, et rapproché du fond de la caisse, d'autre part la suppression de la flèche permet de baisser de 0^m 15 à 0^m 20 environ la caisse des voitures.

Comme autre détail de construction, il est bon de citer le mode de graissage des roues: l'emploi de boîtes à graisse était impossible ici, les surfaces de frottement étant la fusée de l'essieu et le moyen de la roue. M^r Arnoux a fait percer la fusée des essieux suivant leur axe (fig. 379) et y a fait pratiquer un réservoir d'huile R; on verse l'huile dans ce réservoir par l'extrémité E de la fusée puis on bouche l'orifice au moyen d'une vis.

L'huile se rend du réservoir R à la circonférence de la fusée où suivant un petit conduit CC, cette huile peut alors lubrifier la surface intérieure du moyen et elle ne peut se perdre au dehors, car les extrémités du moyen sont

fermées par des rondelles AA.

Ce graissage à l'huile donne lieu à la même dépense que l'emploi de la graisse, car si l'huile coûte plus cher il en faut une quantité beaucoup moindre, et de plus elle n'a pas besoin d'être renouvelée aussi fréquemment que la graisse. Quelques expériences faites sur le chemin du Nord où des wagons articulés ont été placés dans des convois express, ont prouvé que l'on n'avait pas besoin de renouveler le graissage à l'huile dans un trajet de près de 400 Kilomètres fait à grande vitesse.

L'usage des trains articulés sur le chemin de fer de Sceaux a révélé un fait intéressant relativement à l'usure des roues; des roues de wagons n'ont été mises au rebut, sur le chemin de fer de Sceaux, qu'après un parcours de 300,000 Kilomètres; les bandages de ces roues s'étaient usés uniformément sur toute la largeur et n'avaient pas été placés sur le tour; on les a mis au rebut en grande partie à cause de l'usure des rebords. Or sur la ligne du Nord les bandages sont mis au rebut après un parcours de 100,000 Kilomètres qu'ils n'achèvent qu'après avoir été tournés deux fois.

Nul doute que ce résultat ne soit dû à l'emploi des bandages cylindriques sur le chemin de fer de Sceaux. Là, en effet, les bandages coniques ne serviraient à rien, les wagons ayant dans les courbes un moyen de direction bien plus énergique.

Les trains articulés offrent sur les wagons à essieux parallèles l'avantage d'une traction beaucoup plus régulière. Car les trains à essieux parallèles présentent dès leur entrée dans une courbe, même de très grand rayon, des résistances notablement plus fortes qu'en ligne droite.

Les inconvénients des trains articulés sont les suivants:

L'emploi d'un mécanisme fort simplifié, il est vrai, par l'introduction du parallélogramme de convergence, mais qui veut être encore posé avec précision et toujours entretenu en bon état. Il est nécessaire de visiter et de graisser les manchons et les couronnes. On peut craindre, enfin, à la suite d'un très long service, la rupture de quelqu'un des organes de ce mécanisme.

L'inconvénient principal est celui-ci: les fusées des essieux des trains articulés présentent un diamètre plus grand dans les moyeux des roues, que les fusées des essieux ordinaires dans les boîtes à graisse. De là résulte un frottement un peu plus grand, un coefficient de traction plus élevé; c'est du reste pour parer en partie à ces inconvénients que M. Arnoux s'est attaché à employer un mode de graissage plus parfait.

Sous le point de vue économique, la construction d'un wagon articulé revient au même prix que celle d'un wagon ordinaire. S'il y a en plus,

en effet, les couronnes, les manchons et leurs bielles, les chevilles ouvrières et les timons d'attelage, on ne trouve plus ni tampons, ni chaînes d'attelage, ni ces ressorts de choc et de traction qui sont toujours très lourds et très coûteux.

Les wagons à trains articulés peuvent s'atteler sur les lignes de Chemin de fer à la suite des wagons ordinaires; il suffit de placer à demeure sur l'un des wagons ordinaires, une cheville ouvrière et un demi-timon d'attelage, auquel on viendra fixer le demi-timon d'avant du premier wagon articulé. Il sera d'ailleurs inutile de fixer à ce premier wagon l'appareil à quatre galets directeurs, le premier essieu se dirigeant suffisamment de lui-même sur des lignes où les courbes ont de très grands rayons, et où les mouvements de convergence resteront toujours très petits.

On connaît maintenant tout ce qui se rapporte au système articulé et on peut se demander quelle raison s'oppose à l'emploi de ce système qui pourrait rendre exécutable, au moyen de courbes à très petits rayons, des tracés de chemins de fer en pays accidentés: pourquoi, par exemple, un embranchement qui se détacherait de l'une de nos grandes lignes pour desservir un pays de montagnes ne se construirait-il pas avec des courbes à petits rayons qui éviteraient souvent des travaux hors de proportions avec l'importance de la ligne.

La raison la plus plausible est celle-ci:

Si le matériel articulé, en circulation sur l'embranchement, peut aller sur la ligne principale le matériel à essieux parallèles de la ligne principale ne pourra pas s'engager sur les petites courbes de l'embranchement. Il en résultera donc la nécessité de transborder fréquemment au point d'embranchement les voyageurs et les marchandises des wagons ordinaires dans les wagons articulés.

Cel paraît être le véritable motif qui s'oppose au développement du système articulé.

Pour compléter tout ce qui regarde ce sujet, il reste à parler d'une question soulevée par l'emploi des courbes à petits rayons: Dans toutes les expériences faites sur ces courbes, on ne s'est préoccupé que des wagons et on n'a rien changé au moteur ordinaire, la locomotive, qui a ses deux roues motrices calées sur un même essieu et solidaires l'une de l'autre.

On voit parfaitement que cette locomotive éprouvera dans les courbes à petits rayons une résistance notable, provenant de ce que si la roue motrice du côté extérieur se développe selon le chemin qu'elle parcourt la roue motrice du côté intérieur glissera sur le rail.

M^c Arnoux a imaginé de rendre les deux roues motrices indépendantes, chacune d'elles étant calée sur une moitié d'essieu, qui porte à ses deux extrémités deux manivelles conduites par les pistons de deux cylindres. La locomotive aura donc ses roues motrices indépendantes et quatre cylindres en tout.

Une machine est construite d'après ce principe et sera bientôt mise sur la voie. Comme cette machine est destinée à des expériences, une disposition

simple permet de rendre les roues motrices solidaires ou indépendantes à volonté, de façon que l'on puisse évaluer, par des essais comparatifs, la résistance due au glissement de l'une des roues lorsqu'elles sont toutes deux solidaires.

Pose de la voie dans les parties courbes.

Lorsqu'on pose la voie dans une partie courbe, il est nécessaire de relever le rail ^{extérieur} de façon à incliner le plan de la voie vers le centre de la courbe.

Si on ne prenait pas cette précaution le passage d'une courbe avec une certaine vitesse produirait sur les voyageurs et le chargement, le même effet qu'une dénivellation du rail extérieur.

En effet, soit un wagon circulant dans une courbe avec la vitesse V , ce wagon est soumis à une force de traction, à son propre poids P et à la force centrifuge $F = \frac{P}{g} \cdot \frac{V^2}{r}$ dont l'intensité est fonction de la masse $\frac{P}{g}$, de la vitesse V et du rayon r de la courbe. Les deux forces F et P composées ensemble (fig. 380) donnent une résultante R inclinée sur le plan de la courbe.

C'est l'action de cette force qui entraîne les corps vers le côté extérieur de la courbe, comme s'ils étaient sur un plan incliné de ce côté.

Le seul moyen d'éviter cet effet consiste évidemment à incliner le plan de la voie de façon que ce plan soit normal à la résultante R .

Mais la force R dépend en grandeur et en direction de la force centrifuge $\frac{P}{g} \cdot \frac{V^2}{r}$, c'est-à-dire de la vitesse V ; et si l'exploitation du chemin de fer comporte des convois animés de vitesses différentes on peut se demander laquelle de ces vitesses il faut prendre pour calculer l'intensité de la force centrifuge et par suite la direction de la résultante R .

On prend la vitesse des trains les plus rapides; mais alors les voyageurs des trains plus lents sont exposés à ressentir dans les courbes l'effet de l'inclinaison transversale de la voie. Cet effet sera moins désagréable si on arrive à cette inclinaison par degrés insensibles.

Dans ce but, sur l'alignement droit qui précède la courbe, on ménage une rampe douce à la ligne de rails qui doit former le côté extérieur de la voie dans la courbe. Ainsi les wagons prennent peu à peu, en descendant cet alignement droit, l'inclinaison transversale qu'ils doivent conserver dans la courbe.

De la même manière, au sortir de la courbe, sur la dernière portion de cette courbe, on ménage une pente douce au rail du côté extérieur de façon que chaque voiture reprenne sa position normale à l'entrée de l'alignement droit qui suit.

Lorsque plusieurs courbes et contre-courbes se suivent ce sera tantôt le rail de droite tantôt le rail de gauche ^{d'une même voie} qui sera surhaussé. Aussi devra-t-on, pour remplir la condition précédente, ménager un alignement assez long pour qu'on puisse y établir une pente faible, qui conduise graduellement au surhaussement réglé par le rayon de la courbe vers laquelle on se dirige.

Résistance à la traction sur les Chemins de fer - divers modes d'exploitation suivant la déclivité.

Les profils en long des chemins de fer offrent des pentes, des rampes et des paliers et sur chacune de ces parties, les résistances à la traction varient nécessairement.

La locomotive, moteur ordinaire sur les chemins de fer, est à détente variable, on a donc le moyen de faire varier la force dans des limites très étendues et par suite de la proportionner à la résistance à la traction.

Ainsi, si l'on ferme le régulateur entièrement on ne produit pas de force, c'est ce que l'on fait quand la locomotive, en trainant le train, descend une pente rapide, on fait même agir les freins pour empêcher une trop grande accélération. Pour des pentes moins considérables, on ouvre un peu le régulateur, et pour des rampes on donne toute la vapeur s'il est nécessaire.

Supposons une machine réglée à sept atmosphères, cette pression indiquée par le timbre de la chaudière, n'est pas la pression effective, en effet il faut en déduire la pression atmosphérique et la diminution de force résultant des frottements de la vapeur dans les tuyaux qui offrent des coudes et des étranglements. Déduction faite il reste environ une pression de 4 atmosphères $\frac{1}{2}$; or la pression par centimètre carré pour une atmosphère est de 1^{re} 033, donc une machine à 4 atmosphères $\frac{1}{2}$ effective travaille à raison d'une pression de 4^{re} 648 par centimètre carré. Cette pression, assez élevée, permet à l'aide du régulateur et de la détente, de faire varier dans des limites très étendues l'effort à produire sur les pistons.

Pour apprécier l'influence des pentes sur le service des machines, il faut établir l'équation du travail de la locomotive et du travail résistant dû à la rampe.

Soient p la pression de la vapeur par mètre carré.

d le diamètre des pistons

l la Course id.

Le travail pour une allée d'un piston c'est-à-dire pour une demi-oscillation sera donné par le terme $\frac{p\pi d^2 l}{4}$.

Une oscillation complète avec aller et retour des deux pistons donnera un travail quatre fois plus grand, soit :

$$p\pi d^2 l$$

Ce travail correspond à un tour de roue complet de la machine.

Soit maintenant T la résistance du train au mouvement, D le diamètre des roues motrices. Si l'on suppose la résistance appliquée à l'extrémité du rayon de la roue, le travail résistant de T pour un chemin égal au développement de la roue sera :

$$\pi D T$$

d'où une première relation

$$p\pi d^2 l = T.\pi.D \quad (1)$$

entre le travail moteur et le travail résistant.

Cherchons maintenant quelle est l'expression de la résistance: plusieurs expériences ont été faites à ce sujet, mais les résultats ont toujours été différents. Du reste il est très difficile, vu le faible parcours des trains soumis à l'expérience, d'évaluer toutes les résistances partielles qui se présentent dans les longs trajets que parcourent les trains ordinaires.

Les variations de vitesse dans la marche du train expérimenté, les circonstances atmosphériques ont une grande influence sur les résultats. Il ne faut donc pas s'étonner que, dans des expériences aussi difficiles, les chiffres obtenus par divers expérimentateurs soient discordants. Cette discordance est encore augmentée par les différences de forme et de construction qui existent entre les divers matériels.

Coutefois on ne peut déterminer mathématiquement les résistances d'un train en il faut nécessairement avoir recours à l'expérience.

Voici les conditions dans lesquelles se sont faites quelques expériences et les résultats auxquels on est arrivé:

Les trains pesaient de 20 à 100 tonnes; les vitesses variaient de 60 à 100 kilomètres à l'heure.

La moyenne d'un grand nombre d'expériences faites dans diverses conditions a été pour la résistance à la traction sur niveau:

$$T = P \times (2.^{\text{e}} 72 + 0.094 V + 0.00484 \frac{SV^2}{P})$$

dans cette formule,

P représente le poids du train en tonnes,

V la vitesse par heure en kilomètres,

S la surface du train dont il sera donné plus loin la signification exacte.

Rendons nous compte de la valeur des divers termes du coefficient de P , que nous désignerons par M , et des causes auxquelles il faut les attribuer.

Le premier $2.^{\text{e}} 72$ correspond à la résistance d'un train marchant très lentement. Quand la vitesse augmente, le train reçoit des chocs, par suite de l'irrégularité de la voie, et la résistance s'accroît avec la vitesse et le poids du train, cet accroissement de la résistance est représenté par le second terme $0.094 V$.

Enfin le troisième représente la résistance du milieu dans lequel se meut le train. Cette expression est celle généralement adoptée pour représenter la résistance qu'éprouvent les corps en se mouvant dans les milieux denses. On admet qu'elle dépend du carré de la vitesse relative du corps et du fluide et de la projection du corps sur un plan normal à cette direction; elle est d'ailleurs indépendante de la masse du corps.

Dans la formule précédente S exprime la section normale du train et V , sa vitesse; cette expression n'est donc pas mathématiquement vraie, car d'après ce qu'il vient d'être dit, si l'on voulait avoir la résistance exacte, il faudrait prendre la

vitesse relative du train au lieu de sa vitesse absolue; suivant que le vent serait dans le sens du mouvement ou en sens inverse, on devrait retrancher ou ajouter sa vitesse à celle du train.

S'il était oblique par rapport à la direction du train, la surface et qu'on devrait prendre, serait la projection du train sur un plan normal, à la direction de la vitesse relative du train, laquelle serait en grandeur et en direction la résultante de la vitesse absolue du train et de la vitesse de l'air prise en sens contraire.

En résumé la forme du dernier terme peut être critiquée, mais, quand il faut poser une formule moyenne, on ne peut pas tenir compte de tout et on la détermine empiriquement.

Cette formule s'applique à un train sans machine; la résistance de la locomotive et de son tender est différente de celle d'un wagon; elle n'a la même forme qu'autant qu'on les considère comme des véhicules roulants; mais comme moteur, la machine donne lieu à des résistances spéciales distinctes des autres et qu'il faut apprécier à part.

Soient P le poids du train, P' le poids de la machine et de son tender la résistance propre à la traction sera $T = (P + P') \cdot M$.

Il faut y ajouter la résistance du moteur elle dépend du travail qu'il doit produire, car les frottements augmentent avec le travail. Cette résistance est 0,15 à 0,20 de la résistance due aux véhicules.

L'expression générale de T sera donc $T = 1,20 (P + P') M$.

Il y a bien ici quelque chose d'incorrect dans la manière d'exprimer la résistance due au moteur; car cette résistance doit être évidemment proportionnelle au nombre de pulsations, et par suite, pour un même chemin parcouru par deux locomotives ayant des roues de diamètres différents le travail résistant ne doit pas être le même. Il faut donc considérer le coefficient de 0,20 que l'on place dans la formule, comme une moyenne.

Substituons maintenant l'expression de T dans la relation (1) précédemment posée entre le travail moteur et le travail résistant on aura :

$$p \pi d^2 l = 1,20 (P + P') M \times \pi D$$

Ce n'est pas là la seule relation à poser, car elle indique seulement que le travail développé dans les cylindres répond à la résistance du train, il faut encore que l'adhérence de la machine sur le rail soit suffisante pour entraîner le convoi. Cherchons une nouvelle équation exprimant cette condition.

Soient ϕ le coefficient d'adhérence

D la charge sur les roues motrices : alors ϕD représente l'adhérence, — Cette adhérence, pour qu'il y ait propulsion en avant doit être égale à la résistance à vaincre, non compris celle du mécanisme du moteur, on a alors : $\phi D = (P + P') M$.

Avec les deux expressions précédentes on peut déterminer les éléments d'une machine.

Mais dans ces formules la valeur de M correspond aux résistances sur niveau; or, sur une rampe ou sur une pente, cette valeur devra être modifiée.

Soit une rampe (fig. 381) faisant avec l'horizontale un angle α : le poids P doit être décomposé en deux l'un perpendiculaire, l'autre parallèle à la voie. La première composante $P \cos \alpha$, à cause de la faible valeur de l'angle, peut être prise égale à P ; la deuxième, $P \sin \alpha$, par la même raison peut être remplacée par P tangente α . On peut encore l'exprimer autrement en introduisant les données avec lesquelles on détermine ordinairement les rampes: On se donne une pente ou une rampe en indiquant le nombre de millimètres dont on monte ou dont on descend par mètre courant; c'est-à-dire la valeur de la tangente de l'angle que fait la rampe ou la pente avec l'horizontale. Soit i cette tangente, on l'exprime en millimètres, mais, dans la formule, P représentant des tonnes et non des kilogrammes, il faut multiplier i par mille. La composante devient alors $(\pm Pi)$, suivant que l'on monte ou que l'on descend, et on doit l'ajouter à la résistance qui doit être vaincue; les formules précédentes deviennent alors, la première:

$$p \pi d^2 l = 1,20 (P + P')(M \pm i) \pi D$$

la seconde

$$L d = (P + P')(M \pm i)$$

Examinons ce que devient M quand on considère diverses valeurs de V pour $S =$ cinq mètres carrés pour des vitesses de:

Les valeurs des termes sont:

	10. ^{Kilom.}	20. ^{K.}	40. ^{K.}	60. ^{K.}	100. ^{K. à l'heure}
pour le 1 ^{er} Terme	2,72	2,72	2,72	2,72	2,72
2 ^e	0,94	1,98	3,76	5,64	9,40
3 ^e	2,42	9,68	38,72	87,12	2,42
	P	P	P	P	P

Le terme de la résistance de l'air contenant P en dénominateur est toujours faible quelle que soit la valeur du numérateur, et il a peu d'influence. Comme P multiplie M on peut en conclure que la résistance de l'air est indépendante de la masse du train.

Le second terme est celui qui influe le plus, et augmente le plus rapidement avec la vitesse; il tient compte de la résistance des chocs sur la voie, ces chocs augmentent avec la vitesse et avec l'imperfection du chemin et montrent l'intérêt qu'il y a à faire des voies aussi parfaites que possible.

Quand on veut établir une machine, la première chose à faire c'est de déterminer quel doit être son poids, pour cela on doit considérer que le poids n'est qu'une fraction du poids de la machine.

Pour les machines à voyageurs avec deux grandes roues motrices d'égale le tiers ou la moitié du poids total. Pour les locomotives à marchandises et à

roues couplees d'egale le poids total. Quelquefois on fait participer une partie du poids du tender à l'adhérence en reliant ses essieux à ceux de la machine.

Dans ce cas $d = \frac{4}{5}$ du poids de la locomotive et du tender.

Pour employer la seconde formule $d = (P+P')(M \pm i)$ il faut connaître la valeur du coefficient μ qui varie avec les circonstances atmosphériques, il est élevé par un temps sec, il diminue quand il y a du brouillard et il est généralement faible dans un souterrain où par suite de la condensation de la vapeur des locomotives, les rails sont constamment mouillés et par suite glissants.

Le coefficient d'adhérence dans les circonstances les plus favorables a été trouvé égal à $\frac{1}{4}$ c'est généralement sur $\varphi = \frac{1}{6}$ qu'il faut compter et encore ce coefficient est-il élevé car quelquefois il n'est pas atteint.

Coutefois, dans les circonstances ordinaires, les machines établies avec $\mu = \frac{1}{6}$ fonctionnent bien. Seulement on doit ralentir la vitesse dans les mauvais passages, afin de diminuer la résistance et de rendre l'adhérence suffisante. En effet dans la formule $d = (P+P')(M \pm i)$ quand V diminue M diminue aussi de manière que, dans certaines limites, on peut à mesure que μ diminue faire décroître le second membre de manière que l'égalité subsiste.

Quand on veut calculer une machine il ne suffit pas de savoir le poids qu'il faut lui donner, il faut encore calculer le diamètre, la course des pistons et le diamètre des roues motrices qui ont une grande influence sur les dispositions de la machine. Les locomotives, en vertu de la grande puissance d'évaporation de leurs chaudières, peuvent donner un grand nombre de pulsations; cependant, les frottements de la vapeur dans les tuyaux d'amènée croissant avec la vitesse, il ne faut pas dépasser certaines limites données par l'expérience. Ces limites sont deux ou trois pulsations par seconde, c'est-à-dire 1 tour à 1 tour $\frac{1}{2}$ de roue dans le même temps.

Supposons qu'une locomotive doive marcher à une certaine vitesse, 20 Kilomètres à l'heure, si on prend des roues de deux mètres on aura moitié moins de pulsations qu'avec des roues de un mètre pour un même chemin parcouru; la machine étant identiquement la même dans les deux cas, on voit que dans un même temps la première machine aura fait un travail représenté par 1 et la seconde un travail représenté par deux. Donc cette dernière produira plus de travail et sera mieux utilisée. On doit, en conséquence déterminer le diamètre des roues motrices de manière à produire le maximum convenable de pulsations par seconde pour la vitesse considérée. On est ainsi conduit à un minimum de diamètre des roues pour chaque machine et chaque vitesse.

La détermination du diamètre et de la course du piston, la description des différents organes de la machine &c se trouvent dans un autre cours.

Dans la construction d'un chemin, on réduit les inclinaisons autant que possible afin que les conditions de traction soient à peu près partout les mêmes. On cherche à s'écarter le moins possible de cette règle mais on y est quelquefois forcé par les circonstances locales; ainsi, à Stampes, sur la ligne d'Orléans, pour franchir le plateau sans trop de dépenses, c'est-à-dire pour éviter des travaux très dispendieux, on a adopté une rampe de $0^m 008$. Pour les trains de voyageurs qui vont toujours assez vite, le mécanicien arrivé à ces endroits, ralentit la vitesse, donne la vapeur sans détente et arrive à franchir la rampe.

Mais quand il s'agit de trains de marchandises, la vitesse étant faible on ne peut pas trop la réduire et partant diminuer la résistance de traction, dans ce cas on emploie toujours une locomotive de renfort.

En général, suivant les difficultés, on ajoute une seconde machine au train ou bien on remplace celle qui l'amène par une autre plus puissante; on a alors un service de traction local, comme par exemple, pour le passage du Semmering, sur la ligne de Vienne à Trieste (Allemagne). La traversée des Alpes en ce point, malgré un souterrain considérable qui a été percé pour le passage de la crête, a nécessité des rampes de $0^m 025$ et des courbes descendants jusqu'à 189 mètres. Les locomotives de la ligne, calculées pour des rampes de $0^m 008$, ne peuvent franchir cet obstacle; le service est fait par des locomotives spéciales. La recherche d'un moteur convenable présentait de grandes difficultés, il fallait, en raison des grandes pentes, une machine de très grande puissance et de forte adhérence, et d'un autre côté, il fallait qu'elle pût passer dans des courbes à petit rayon. Un concours fut ouvert, plusieurs machines furent présentées, une seule, la machine Engerth, fut couronnée, mais elle ne put fonctionner longtemps d'une manière satisfaisante, les chaînes qui rendaient solidaire les essieux de la locomotive avec ceux du tender se faussaient, se brisaient &c...

Aujourd'hui on emploie la même machine, mais modifiée. Le tender relié à la locomotive, peut tourner autour d'une cheville ouvrière afin de permettre la convergence dans les courbes, en des engrenages mettent en communication les essieux de la locomotive avec ceux du tender. Les dents de ces engrenages sont arrondies afin que dans les courbes, lorsque la roue menante n'est plus dans le même plan que la roue menée, la liaison existe encore et l'engrenage soit efficace.

Voici quelques résultats moyens obtenus par ces machines sur le Semmering.

Vitesse par heure	17 ^{Km} 5
Poids de la locomotive et de son tender	68 ^t 32
Pression absolue de la vapeur dans la chaudière	9 ^{atm}
Diamètre des roues	1 ^m 10
Charge remorquée	181 ^{tonnes}
sur une rampe de	$0^m 025$
en brûlant par kilomètre :	
{ Bois	181 ^{Kg}
{ ou bien Coke	74 ^{Kg}

Résultats de quelques observations faites sur le Chemin de fer du Nord.

	Vitesse.	Charge du Train.	Consommation par Kilom. en Coke.
Machine Crampton (Train de Voyageurs)	80. ^{Km}	60. ^T	8. ^{Kg}
Machine très puissante (Train de Marchandises)	30. ^{Km}	400. ^T	14. ^{Kg}

Si l'on cherche dans chaque cas, la consommation en coke pour un travail d'un Kilogramme, on trouve :

Qu Sommering	0. ^K 013
Qu Chemin du Nord:	
Trains de Voyageurs	0.008
Trains de Marchandises	0.005

Comme comparaison d'une application plus pratique, on peut énumérer pour chaque exploitation les frais moyens de traction par kilomètre et par train :

Sur le Chemin du Nord on a trouvé :

Personnel	0. ^f 250
Combustible	0. 355
Éclairage, graissage, frais de dépôt	0. 015
Réparations	0. 370
	<u>0.^f 990</u>

Ainsi donc, dans les conditions ordinaires de traction, les frais moyens pour un train quelconque par kilomètre, s'élèvent à 0.^f 990.

Qu Sommering, à cause de la complication des organes de la machine, le personnel est double de celui des machines ordinaires, le graissage, l'éclairage sont quatre fois plus grands, de sorte que l'on a :

Personnel	0. ^f 500
Combustible	1. 420
Éclairage, graissage &c.	0. 060
Réparations	0. 770

Total 2.^f 750

Le chiffre de 2.^f 75, qui n'est, du reste, qu'un résultat approximatif, est beaucoup plus fort que la dépense de 0.^f 990 sur chemin de fer ordinaire; Aussi cherche-t-on généralement à éviter les fortes rampes. Dans le cas actuel, on n'avait pas le choix des moyens, et, si on l'avait eu, on aurait peut-être

préférée ce que l'on a exécuté. Ainsi, si l'on avait réduit les pentes de 0,025 à 0,005 il aurait fallu un développement cinq fois plus grand, et la dépense par train au lieu d'être de 2^f,75, eût été de $5 \times 0,99 = 4,95$, c'est-à-dire beaucoup plus considérable.

Outre ce premier moyen pour gravir les fortes rampes (l'emploi de locomotives puissantes) il en existe un second que nous allons exposer, c'est celui où la traction se fait à l'aide de machines fixes.

Un avantage qui se présente au premier abord, c'est d'éviter la traction du poids mort que représente une machine puissante mais on verra plus loin que cet avantage n'est pas complet et qu'il y a des inconvénients.

On connaît aujourd'hui deux systèmes de machines fixes. Les machines tirant le train au moyen de câbles comme celles employées au plan incliné de Siège et les machines atmosphériques attirant le train au moyen d'un piston qui se meut dans un tube par l'effet du vide et de la pression atmosphérique (Chemin de St. Germain).

Plans inclinés de Siège. — La hauteur à franchir était de 110 mètres. on a établi deux plans inclinés, séparés par un palier et rattachés chacun une hauteur de 55 mètres. Sur le palier on a établi les machines.

Pour éviter les chances d'accidents et l'inconvénient de faire suivre aux câbles des lignes courbes, ce qui n'eût pu se faire qu'imparfaitement à l'aide des poulies de renvoi, et eût considérablement augmenté les frottements, on a fait ces plans inclinés suivant deux alignements droits AB. BC (fig. 382) faisant entre eux un angle de 32°.

Les machines au nombre de quatre sont groupées de manière à ne former réellement que deux machines doubles; elles fonctionnent toutes deux, mais elles sont établies de telle sorte que l'une d'elles étant en réparation, l'autre puisse faire à elle seule le service.

Ces machines font tourner deux arbres m et n (fig. 383) auxquels sont fixés quatre tambours P-P' Q-Q' ayant 4^m 80 de diamètre; ils portent chacun une gorge en spirale ayant cinq spires et une jante cylindrique destinée à recevoir l'action d'un frein. En marche ordinaire deux des tambours, ceux P' et Q, par exemple, sont fixes sur leurs arbres; les câbles, soutenus par des galets le long des rails et sont dirigés vers les tambours, autour desquels ils s'enroulent 5 fois, au moyen de poulies de renvoi qui ont 3^m 30 de diamètre. La tension de ces câbles est produite, pour chacun, par un poids (fig. 383 et 384) venant agir sur un chariot qui porte la poulie D; le poids descend dans un puits et tend à entraîner le chariot.

Pour faire monter un convoi, on embraye l'arbre m qui fait tourner le câble au moyen du tambour P, dans le sens de la flèche. Le mécanicien s'étant attaché au câble au moyen d'une pince qui est à sa disposition, le convoi

arrive au palier qu'il franchit par la vitesse acquise après avoir quitté le premier câble. Il saisit ensuite le second câble qui est mis en mouvement par l'arbre n au moyen de ce tambour Q'.

Si la machine de l'arbre n était dérangée, le câble BC pourrait être mis en mouvement par l'arbre m au moyen du tambour P' que l'on embrayerait sur l'arbre. De la même manière, la machine de l'arbre m étant en réparation le tambour Q embrayé pourrait transmettre le mouvement au câble AB.

Les trains descendent la pente sous l'influence de la pesanteur; mais, dans ces conditions, l'emploi de freins puissants est indispensable; on les place à l'arrière du train, à la montée, et en avant à la descente. Ces freins sont disposés sur des wagons particuliers qui sont d'autant plus lourds qu'ils doivent fournir au besoin une adhérence plus considérable. Il y a donc là un poids mort que l'on ne peut même pas éviter par l'emploi de la machine fixe.

Les éléments suivants peuvent servir à calculer la puissance de la machine.

A représentant le travail utile, on aura :

Résistance du train à raison des frottements et de pente	1.00	A
Résistance due au frottement des poulies	0.19	A
Résistance due à la raideur des cordes	0.14	A
Résistance propre de la machine	0.22	A
Résistance non prévue	0.22	A
Total	1.77	A

La machine doit donc avoir une puissance de 1.77A ce qui a conduit à 235 chevaux pour un train pesant 70 tonnes et animé d'une vitesse de 16 kilomètres à l'heure.

Les dépenses, pendant une année, pour 8000 trains composés chacun de 10 voitures pesant 70 tonnes, la durée de l'ascension étant de 7' 30", en moyenne, pour chaque rampe, ont été les suivantes :

Charbon	20,198 ^f	pour 2308 T.
Graisse, entretien courant	9,914,37	
Usure des câbles	9,000	
Réparation des chaudières	2,480	
Personnel	29,772,49	
Entretien des bâtiments	2,634,64	
Total	73,999 ^f ,50	

La consommation en combustible est de 60 kg par kilomètre parcouru, elle a été trouvée précédemment de 80 kg au Semmering. Mais il faut tenir compte de l'importance des trains qui est trois fois plus grande dans le second cas.

Il reste à indiquer les frais d'établissement, qui ont été beaucoup augmentés par la condition qu'on s'est imposée d'avoir des alignements droits: la longueur des deux rampes est de 4800 mètres.

L'établissement du chemin a coûté	2.723,400 ^f
Les machines et appareils	1,488,579
	<hr/> 4,211,979 ^f

Pour ce qui a rapport à ces deux dépenses, l'avantage paraît rester à la disposition prise au Semmering, c'est-à-dire à l'emploi des locomotives. En effet, il y a économie dans la construction du Chemin par la facilité où l'on est d'admettre des courbes; économie pour la construction des machines qui ne coûtent que 100,000^f en moyenne, on en aurait 14 pour le prix qu'ont coûté les machines fixes et de plus, elles sont bien préférables pour des besoins d'une exploitation ordinaire.

Machine atmosphérique de St. Germain. — La hauteur à franchir est de 51 mètres, on a établi une rampe allant en croissant de 0 à 35 millimètres par mètre, et donnant pour profil en long une courbe parabolique. La longueur du plan incliné est de 2171^m, cette longueur eût permis d'établir une pente uniforme de 23^m/m, et d'employer, comme au Semmering, des machines locomotives spéciales.

Le système qui a prévalu est le suivant:

On a placé entre les deux files de rails, et tout le long de la rampe à gravir, un tube en fonte muni d'une ouverture longitudinale fermée par une soupape.

Dans ce tube se meut un piston en vertu de la différence des pressions qui s'exercent sur chacun de ses deux côtés, et qui sont, d'une part, la pression atmosphérique équivalant à une colonne de mercure de 0^m 76, c'est-à-dire à une pression de 1^{re} 033 par centimètre carré, d'autre part, le vide fait entre 30 et 40 centimètres de mercure, la pression correspond donc environ à 36 centimètres soit à 0^{re} 489 par centimètre carré.

Le piston est formé d'une partie cylindrique terminée par deux disques de cuir embouti (fig. 385); il est fixé à l'extrémité d'un axe horizontal, à l'autre extrémité duquel se trouve un contrepoids; du milieu de cet axe horizontal part une tige verticale coudée (fig. 386) qui sort du tube en soulevant la soupape et va s'attacher à l'un des wagons du train montant. Quatre petites galettes fixées sur la tige horizontale facilitent le soulèvement de la soupape. Cette soupape est formée d'une bande de cuir, qui fait charnière et couvre l'ouverture longitudinale du tube. Des plaques de métal sont fixées de chaque côté de cette bande (fig. 387) et tout en lui donnant une certaine rigidité dans le sens transversal, elles déterminent par leur poids la fermeture de la soupape.

Pour que cette fermeture soit assurée, le wagon, auquel est attachée la tige verticale, porte une petite roue qui vient peser sur la soupape après le passage de cette tige. Malgré ces précautions il y a encore beaucoup de rentrées d'air qui augmentent considérablement la dépense.

L'extrémité où la sortie du tube (fig. 388) est simplement terminée par une soupape AB qui, lorsque le vide n'est pas encore fait, est maintenue dans sa position par un contrepoids C , lorsqu'on fait le vide la pression de l'air extérieur vient s'ajouter au contrepoids pour rendre la fermeture parfaite. Le train arrivant lorsque le piston a dépassé le tube d'aspiration, placé à une certaine distance en D , l'air qui reste se trouve comprimé et finit par ouvrir la soupape avant l'arrivée du piston.

La fermeture de l'entrée du tube présentait plus de difficultés; car, dans ce cas, la soupape doit s'ouvrir de dehors en dedans pour permettre le passage du piston, et la pression atmosphérique tend à l'ouvrir aussitôt qu'on commence à faire le vide.

La disposition qui a été adoptée est la suivante:

La soupape AB (fig. 389) fixée en A est reliée par une tige articulée à un piston CD d'une section plus grande que le premier. Un tiroir mobile, pareil à celui des machines à vapeur, permet de faire agir sur la surface $C'D$, soit la pression extérieure soit la pression intérieure. Dans le cas représenté par la figure la pression extérieure agissant, la soupape est comprimée par une force proportionnelle à la différence des surfaces CD & AB . Pour partir on met le tiroir dans la position figurée en pointillé la pression devient dominante en AB , la soupape se couche en AB' et le piston situé dans la partie du tube qui précède la soupape, se met en mouvement. Cette fermeture a l'inconvénient de n'être pas parfaite, on entend le sifflement produit par la rentrée de l'air.

Les éléments nécessaires pour déterminer la force à donner à la machine sont les suivants:

Résistance du train à raison de ses frottements et de la pente	1,00	A
Résistance due aux frottements du piston	0,05	A
Force perdue par les rentrées d'air et le frottement de l'air dans les tubes	1,05	A
Résistance de la machine	0,90	A
Total	3,00	A

Ainsi, pour un travail utile représenté par A , la machine doit faire un travail représenté par $3A$. Mais il faut remarquer que ce travail peut être produit dans un temps plus long que celui de la montée du train. En commençant à produire le vide avant le départ, on accumule une certaine quantité de travail, ce qui permet de diminuer la force de la machine: ainsi on a donné à celle de St. Germain la force de 400 chevaux, $3A$ aurait conduit à une force de 5 à 600.

On a établi deux machines pour les cas de réparation, on les fait travailler alternativement, ce qui fait que l'on dispose en réalité de 800 chevaux. La vitesse moyenne des trains est de 11 mètres par seconde soit 39 Kilomètres, 6 à l'heure, ils sont composés de quatre voitures et d'un wagon à bagages, leur poids est de 28 tonnes, 8.

La machine est plus puissante que celle du plan incliné de Liège et fait pourtant un travail moindre. La vitesse est plus considérable mais c'était une nécessité du système, car les pompes pneumatiques doivent enlever l'air rapidement afin que l'effet des fuites soit moins nuisible.

Le nombre des trains est de 5800 par an, la dépense en houille est de 1000 tonnes, elle est plus considérable qu'à Liège. Les frais de locomotion s'élèvent à 58,700^f, elle est à Liège de 74.000; mais la circulation y est bien plus active.

Les frais de premier établissement sont un peu diminués par la facilité d'admettre des courbes; mais ils s'élèvent considérablement à cause du tube.

Ces frais ont été :

Machines et bâtiments	830, 000 ^f
Tube de 63 cm de diamètre	482, 000
Wagon directeur	78, 000
Total	1,390, 000 ^f

(Dans le principe on se servait d'un wagon particulier pour conduire le train; maintenant on emploie simplement un wagon à bagages disposé pour recevoir la tige du piston).

La dépense pour les bâtiments et les machines est à peu près la même qu'à Liège et la hauteur à franchir n'est que moitié.

En résumant toutes les considérations exposées ci-dessus, on voit que l'avantage paraît rester au mode d'exploitation par locomotives dans des conditions de pente ne dépassant pas 25^m/m.

On plan incliné de Liège il y a les frottements des câbles.

À St-Germain, des rentrées d'air considérables, au Semmering, un poids mort à traîner beaucoup plus fort que dans les deux autres cas. Mais, outre l'avantage que ce dernier système offre sur le premier de pouvoir admettre des courbes qui descendent jusqu'à 180^m de rayon, il présente, sur les deux, l'avantage immense de mettre le moteur en action directe sur le train.

La dépense en charbon est encore minimum au Semmering, en regard à l'importance des trains. Car celle-ci est représentée par 1 à St-Germain, 3 à Liège et 6 au Semmering.

Le système atmosphérique est de beaucoup inférieur aux deux autres; les inventeurs avaient cru qu'il pourrait être avantageusement appliqué dans les conditions d'exploitation ordinaire, en établissant des pompes tous les cinq Kilomètres.

L'impossibilité d'un pareil système est aujourd'hui reconnue par tout le monde. L'établissement d'une seule voie dépasse de beaucoup, à cause du tube, le prix des deux voies dans les chemins ordinaires; de plus, le moteur étant à une grande distance des trains il n'y aurait aucun moyen de venir au secours de l'un d'eux arrêté par accident sur la voie. Les divers accidents, inévitables dans une exploitation en grand, nécessiteraient alors des locomotives de secours.

Enfin les machines aspirantes étant établies à des distances constantes, il en résulterait des variations très considérables dans la marche des trains par suite de l'alternative des pentes et des rampes inévitables dans un tracé.

La pression motrice constante, exercée sur le piston, aurait à vaincre la résistance ordinaire tantôt diminuée tantôt augmentée de toute la force résultant de l'action de la pesanteur.



Errata.

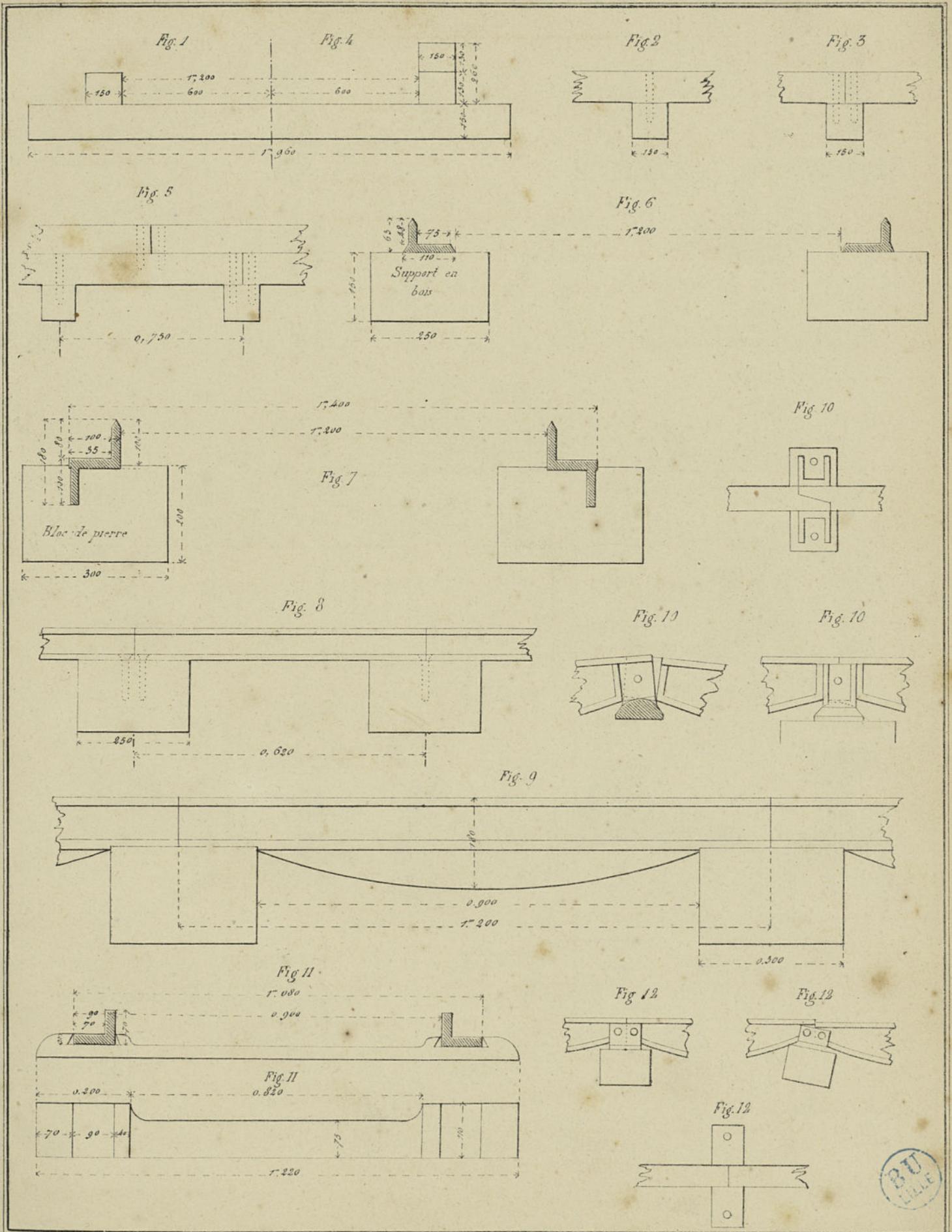
Page	10	ligne 6	en montam :	fig. 31	ajoutez :	et 31 ^{bis}
"	11	ligne 19	— idem — :	0,20 à 0,22	ajoutez :	mm. ; même ligne : 0,14 ajoutez : mm.
"	14	ligne 1 ^{re}	en descendam :	ajoutez :	fig. 33.	
"	17	ligne 6	en montam :	fig. 36	ajoutez :	bis.
"	"	"	2 ^e — idem — :	ajoutez après	en diagonale :	fig. 36.
"	18	ligne 8	en descendam :	mettez fig. 39	au lieu de	38.
"	"	"	11 — idem — :	fig. 39 :	ajoutez :	bis.
"	"	"	18 — idem — :	ajoutez :	fig. 37.	
"	"	"	20 — idem — :	ajoutez :	fig. 40.	
"	"	"	8 en montam :	ajoutez :	fig. 42.	
"	"	"	10 — idem — :	ajoutez :	fig. 41	
"	19	ligne 1	— idem — :	ajoutez :	fig. 44	
"	"	ligne 16	— idem — :	ajoutez :	fig. 43	
"	32	ligne 2	— idem — :	effacez la phrase : dans chaque extrémité'..... sur les plateaux.		
"	35	ligne 15	en montam :	effacez :	fig. 102 et 103.	
"	37	ligne 8	— idem — :	ajoutez :	fig. 104.	
"	"	ligne 14	— idem — :	ajoutez :	fig. 103.	
"	38	ligne 3	en descendant :	ajoutez :	fig. 105.	
"	"	ligne 6	— idem — :	ajoutez :	fig. 106	
"	"	ligne 3	en montam :	effacez :	m. n.	
"	"	ligne 7	— idem — :	ajoutez :	suivant C'A.	
"	"	ligne 14	— idem — :	ajoutez :	fig. 108.	
"	"	ligne 18	— idem — :	ajoutez :	fig. 108.	
"	39	ligne 6	en descendam :	ajoutez :	fig. 109.	
"	"	ligne 13	en montam :	ajoutez :	fig. 110.	
"	40	ligne 11 à 14	— idem — :	remplacez ces 4 lignes par :		

Les expressions (1), (2) et (3) deviennent alors en prenant $C = 1,45$

$$(1) = 0,038 \quad b = 0,038 \quad p. \text{ wagons et } 0,035 \quad p. \text{ locomotives}$$

$$(2) = 0,080 \quad a' + b' = 0,073 \quad \dots \text{idem} \dots \quad 0,08 \quad \dots \text{idem} \dots$$

$$(3) = 0,0475 \quad \frac{a'}{2} + b' = 0,044 \quad \dots \text{idem} \dots \quad 0,0475 \quad \dots \text{idem} \dots$$



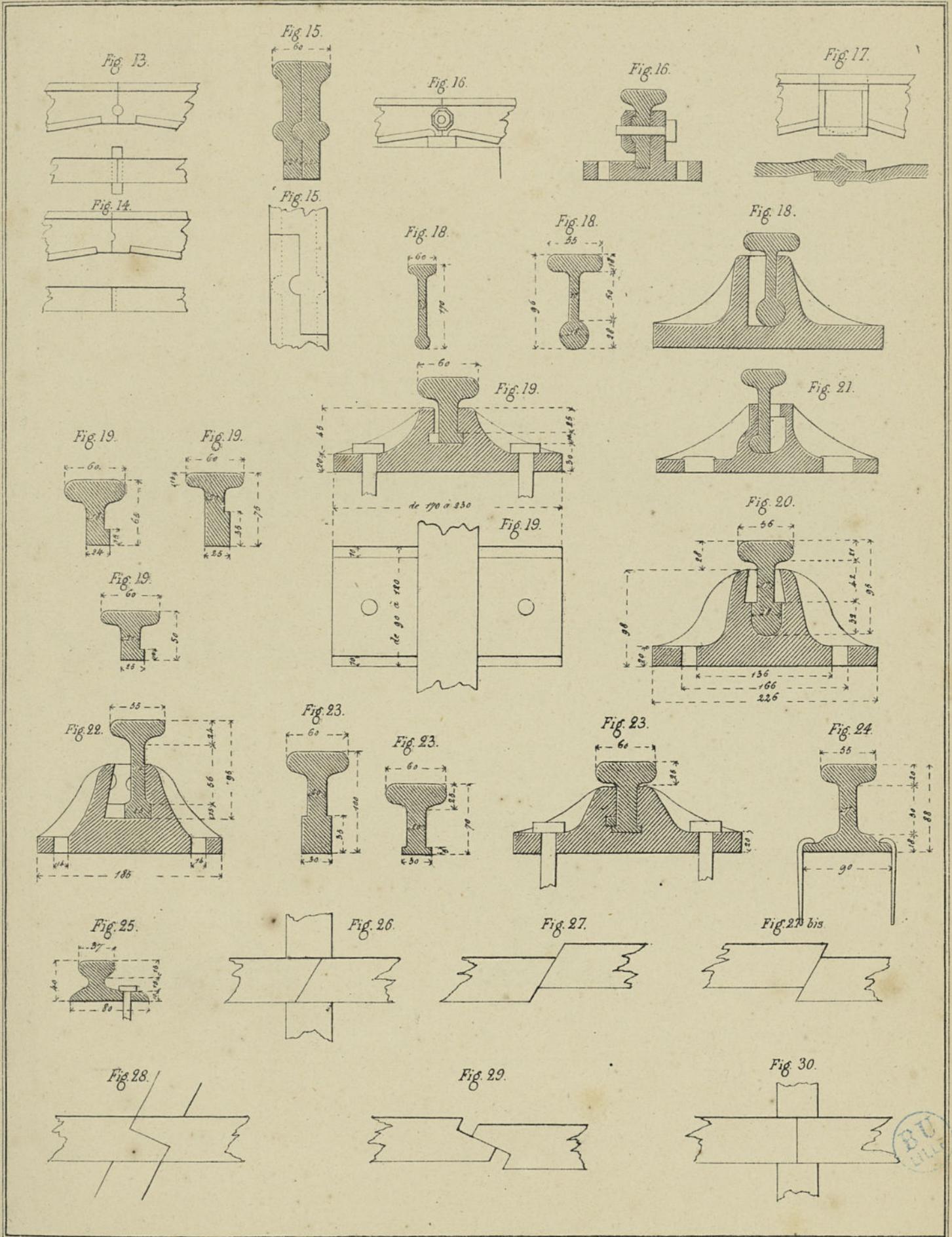


Fig. 31.

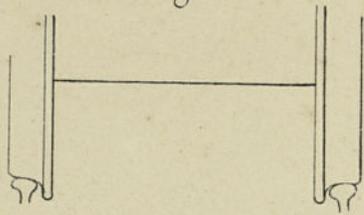


Fig. 31 bis.

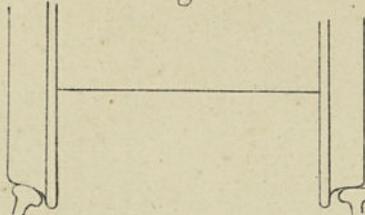
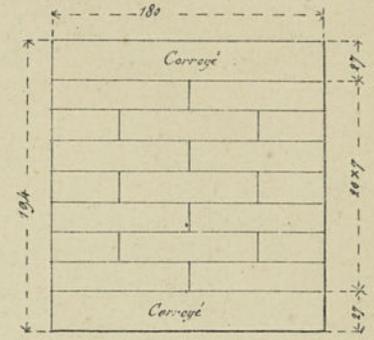


Fig. 33.



Long. du Paquet 1^m 020

Fig. 32.

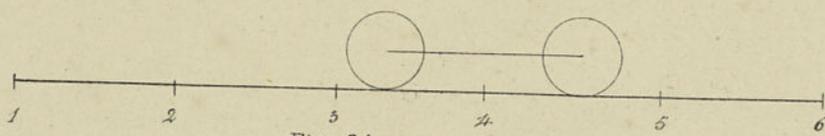


Fig. 34.

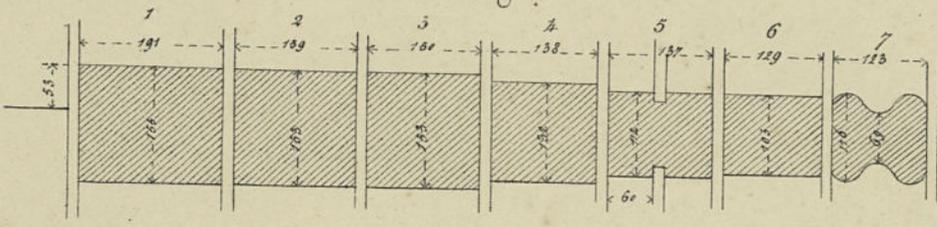


Fig. 36.

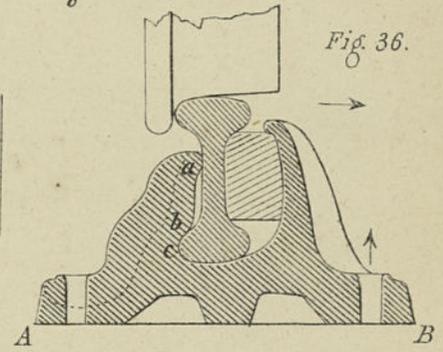


Fig. 35.

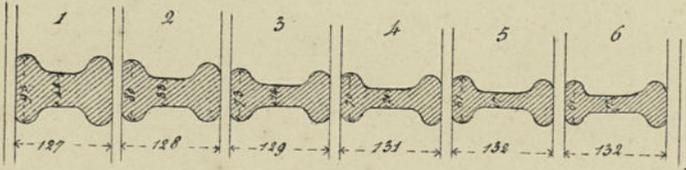


Fig. 36.

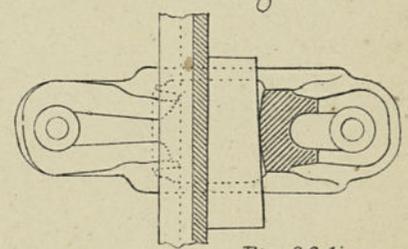


Fig. 36 bis.

Fig. 37.

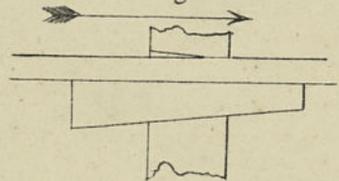


Fig. 38.

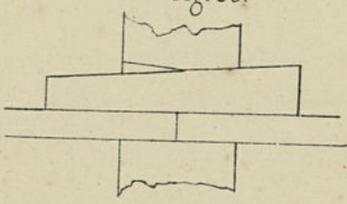


Fig. 39.

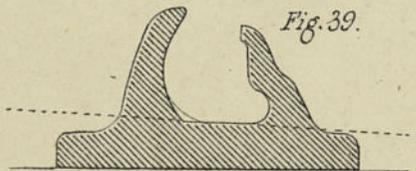


Fig. 39. bis.

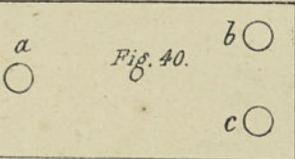
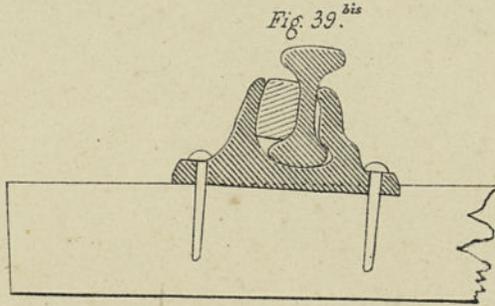


Fig. 40.

Fig. 41.

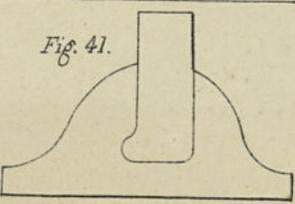


Fig. 42.

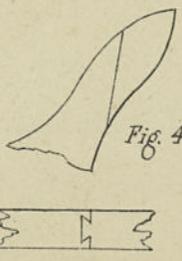
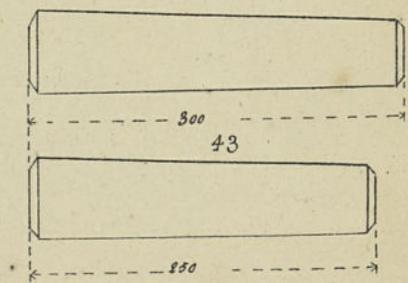


Fig. 43.



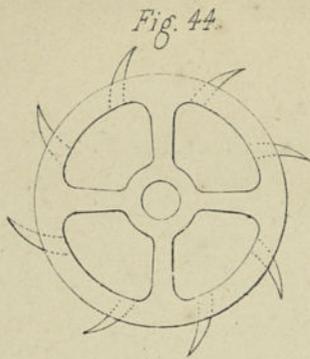


Fig. 44.

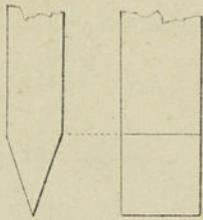


Fig. 46.



Fig. 45.

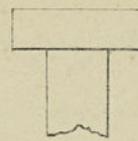


Fig. 49.

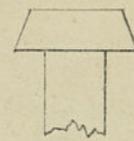


Fig. 48.

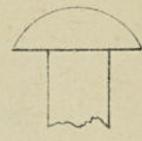


Fig. 47.

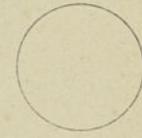
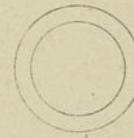
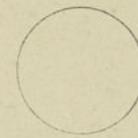


Fig. 50.

Chevillette du Nord.

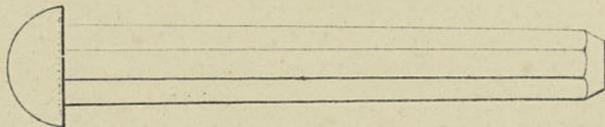


Fig. 51.



Fig. 52.



Fig. 53.



Fig. 54.

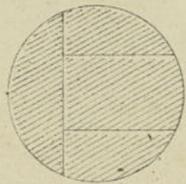


Fig. 55.



Fig. 56.



Fig. 57.

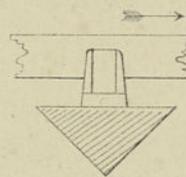


Fig. 58.

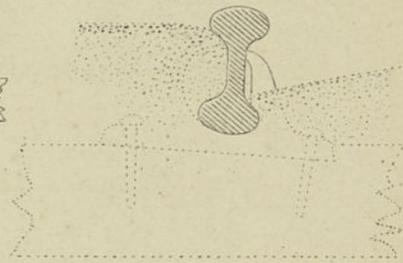


Fig. 59.

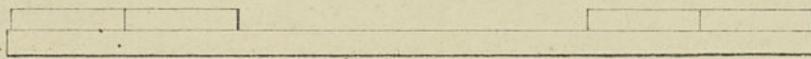


Fig. 60.

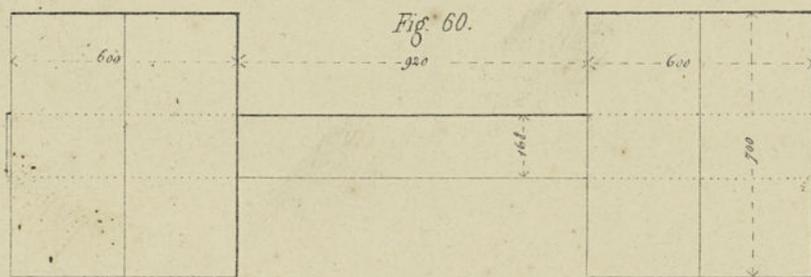


Fig. 61.

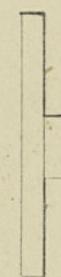


Fig. 62.

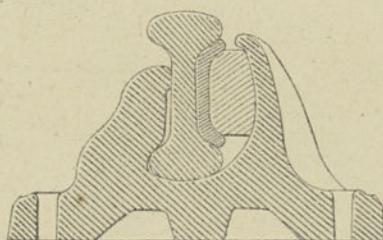


Fig. 63.

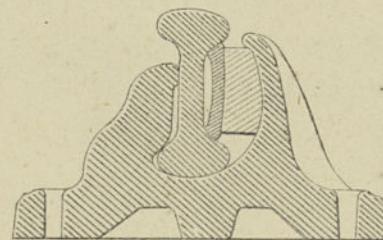


Fig. 64.

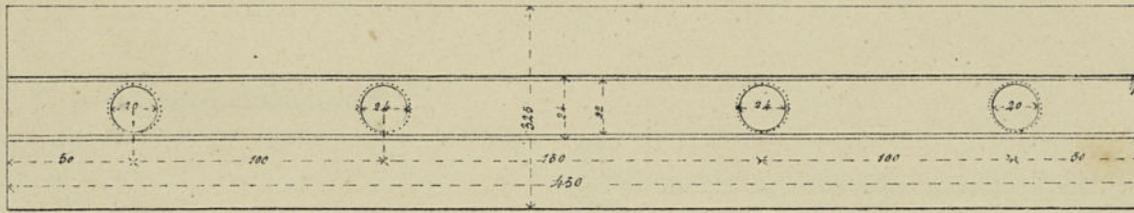


Fig. 65.

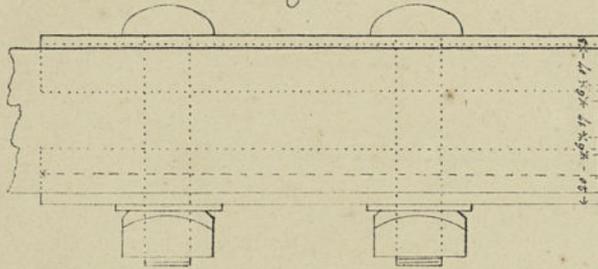


Fig. 66.

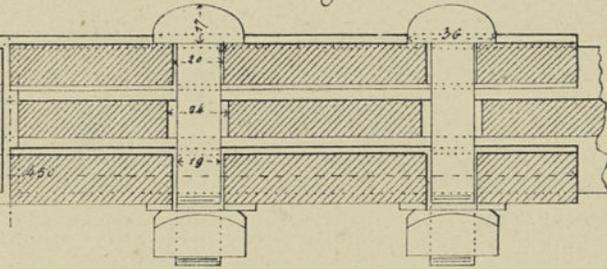


Fig. 67.

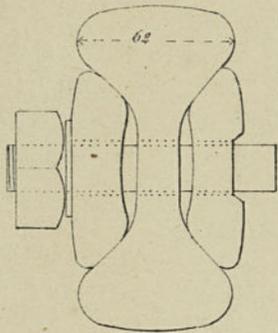


Fig. 68.

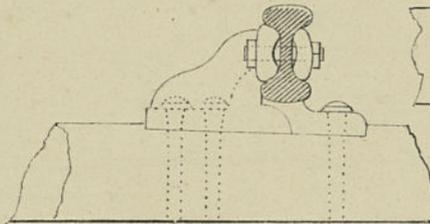


Fig. 70.

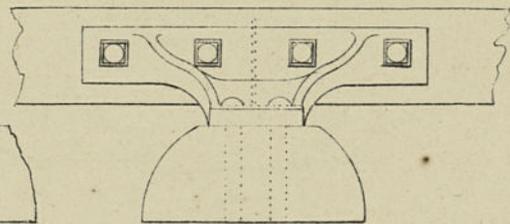


Fig. 69.

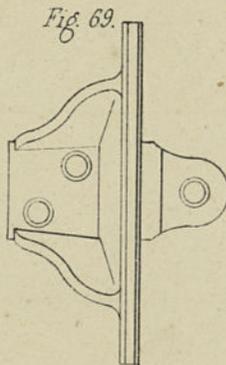


Fig. 71.

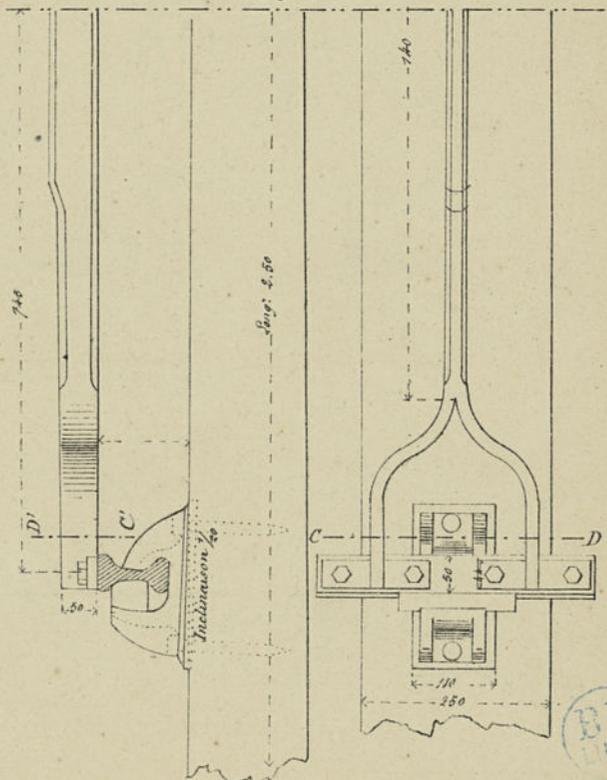


Fig. 72.

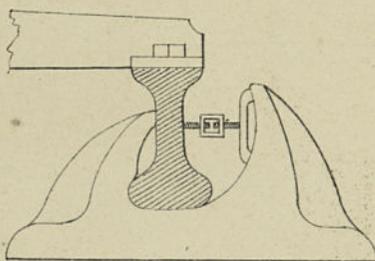


Fig. 73.

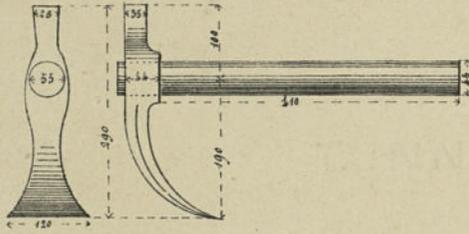


Fig. 74.

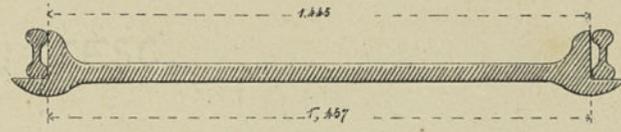


Fig. 75.

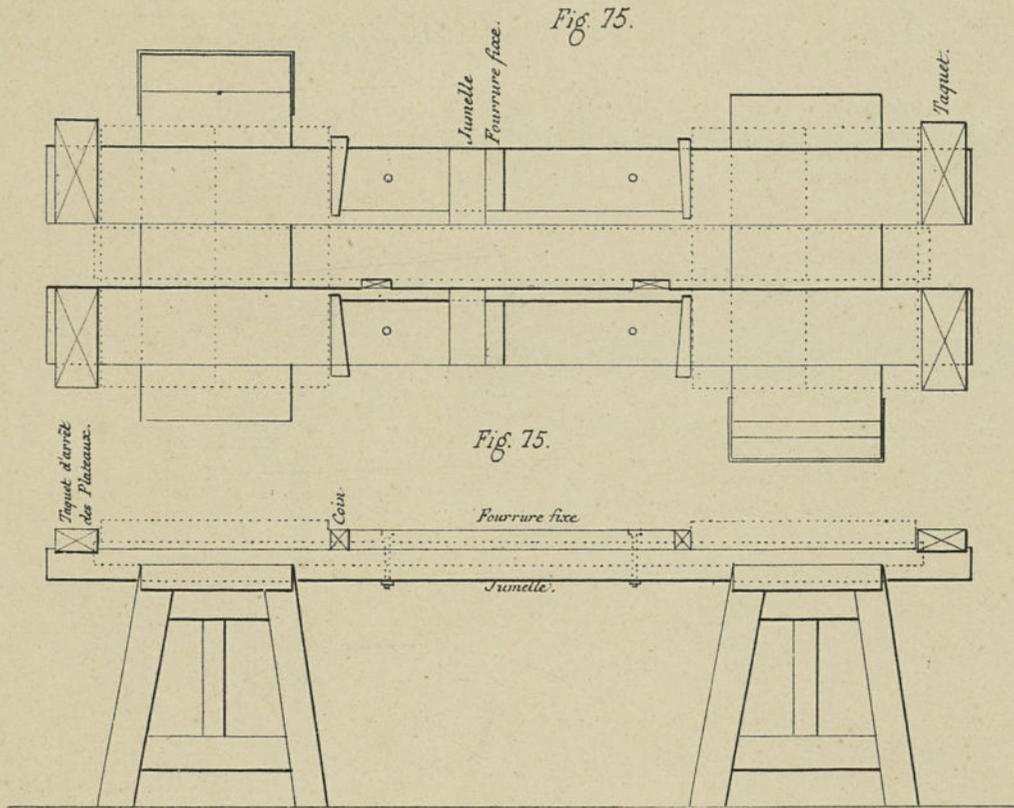


Fig. 76.

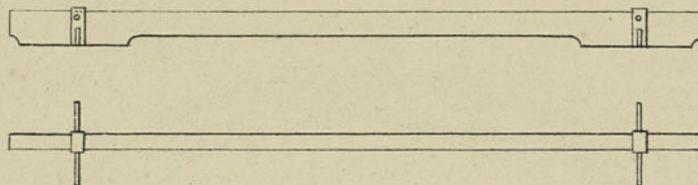


Fig. 76.



Fig. 77.

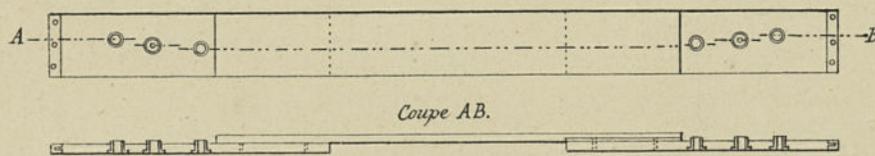


Fig. 78.



Fig. 80.

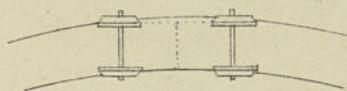


Fig. 79.

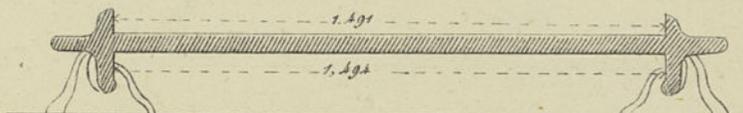


Fig. 79.



Fig. 81

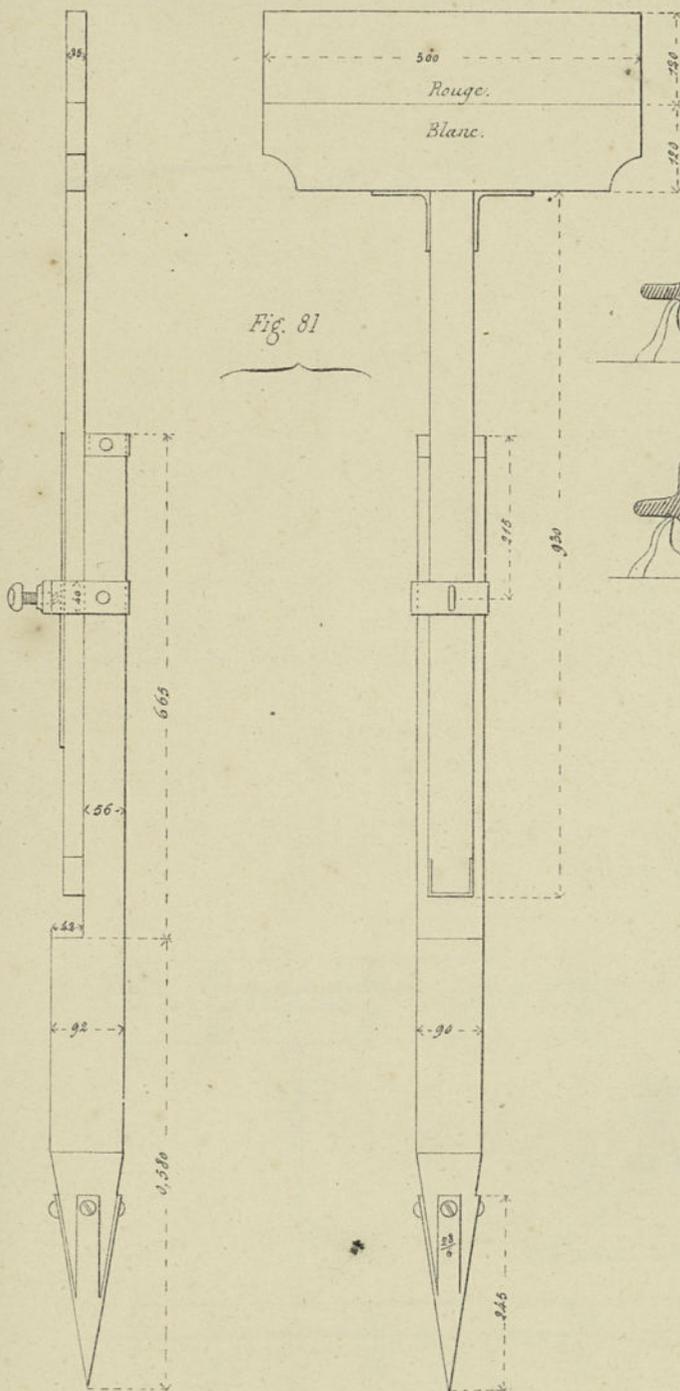


Fig. 82.

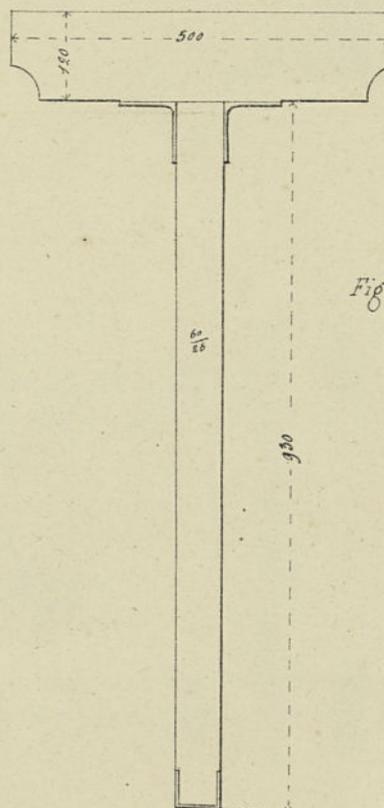


Fig. 83.

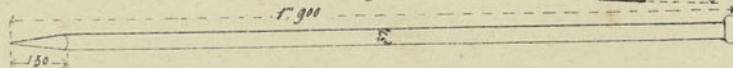


Fig. 83.

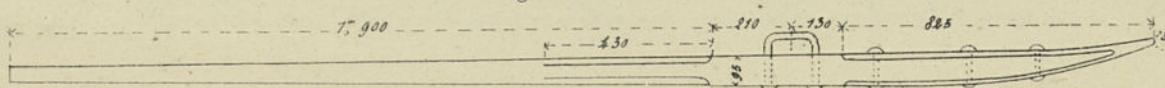


Fig. 84.

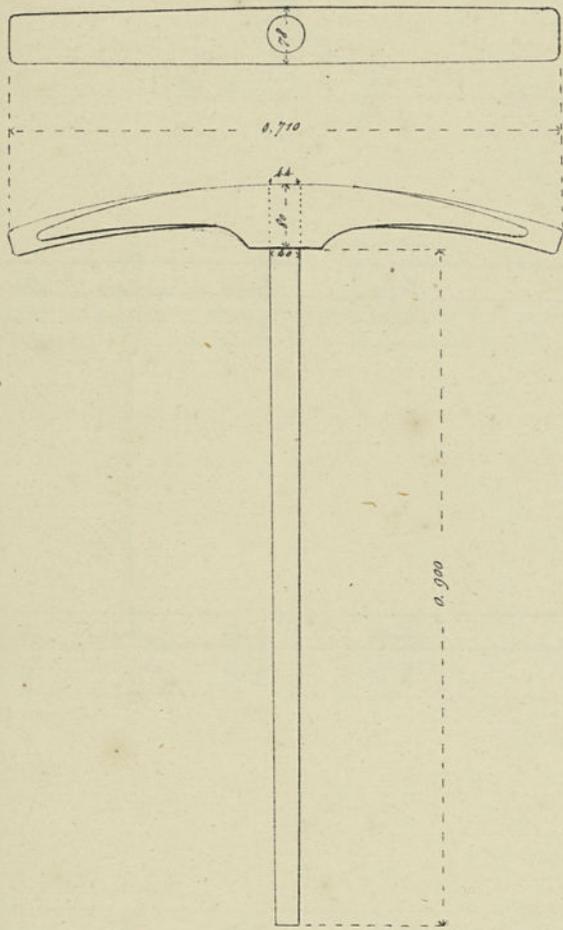


Fig. 85.

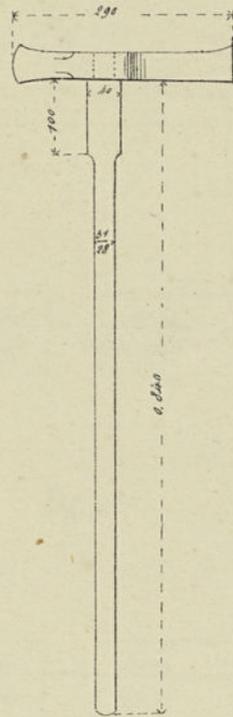


Fig. 86.

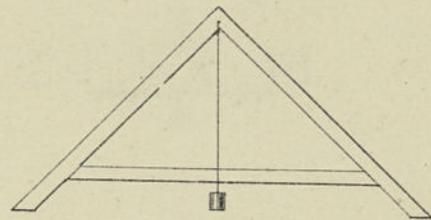


Fig. 87.

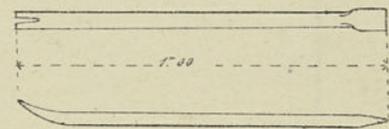


Fig. 88.

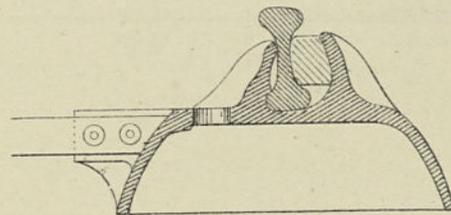


Fig. 89.

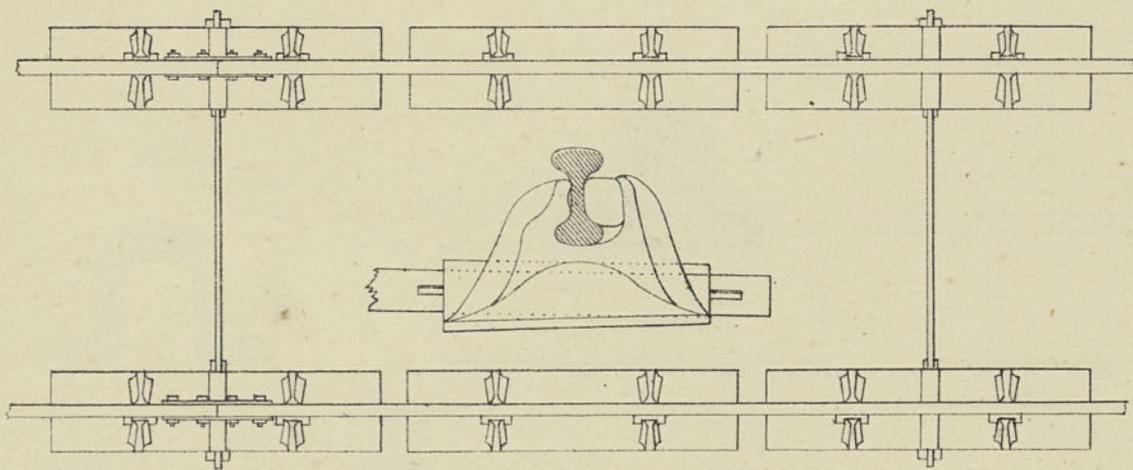
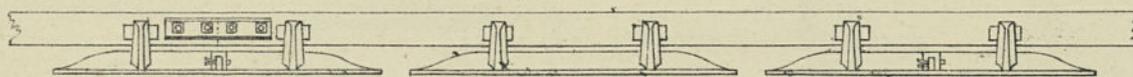


Fig. 89.



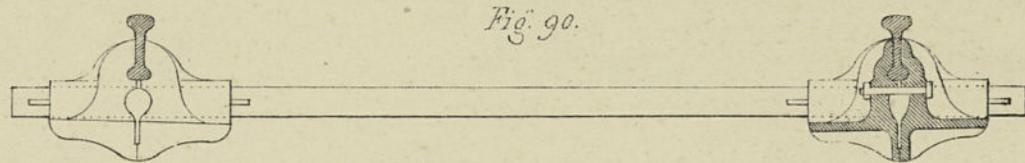


Fig. 90.

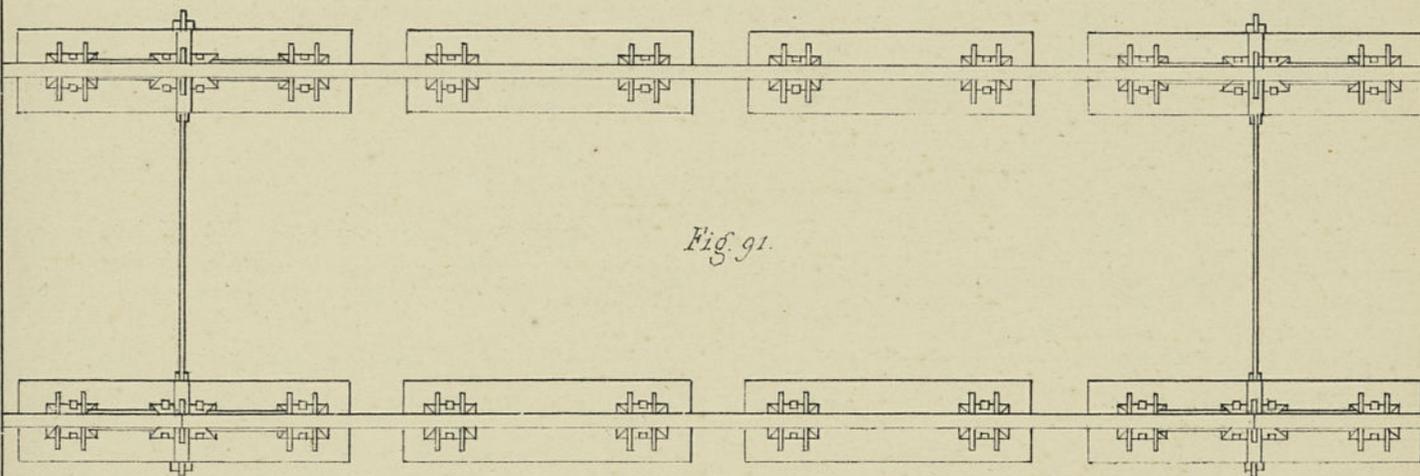


Fig. 91.

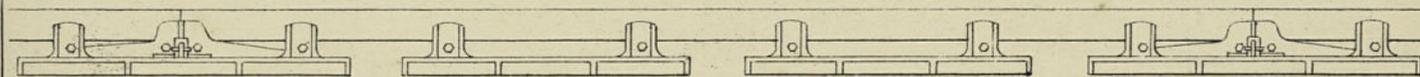


Fig. 92.

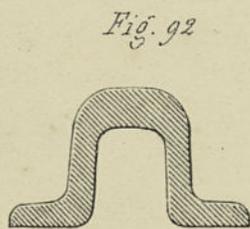


Fig. 94.

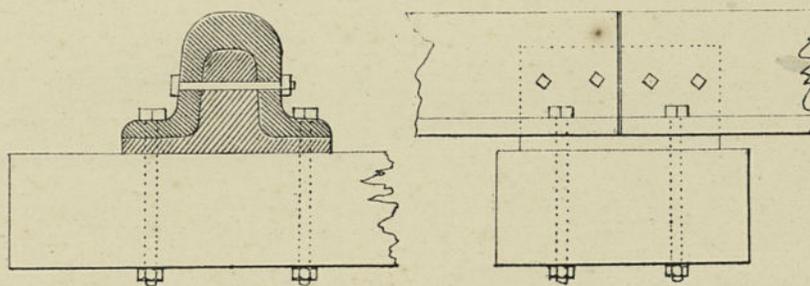


Fig. 93.

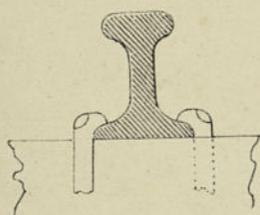


Fig. 95.

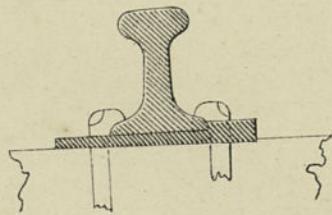


Fig. 96.

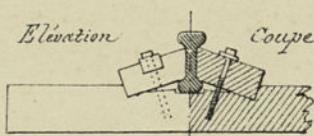
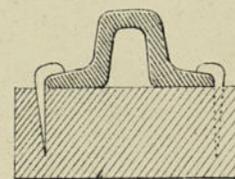


Fig. 97.



BU
LLE

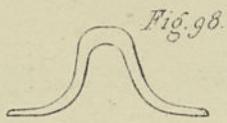


Fig. 98.

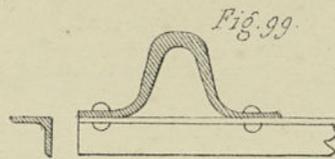


Fig. 99.

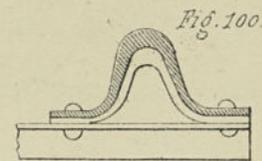


Fig. 100.

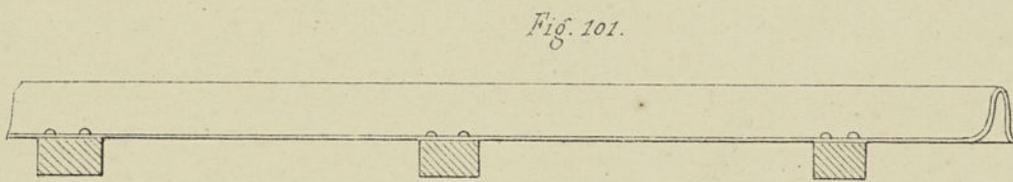


Fig. 101.

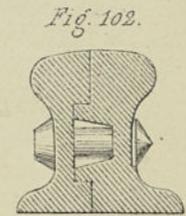


Fig. 102.

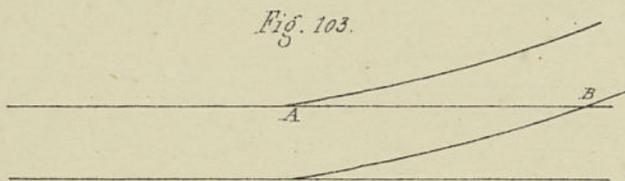


Fig. 103.

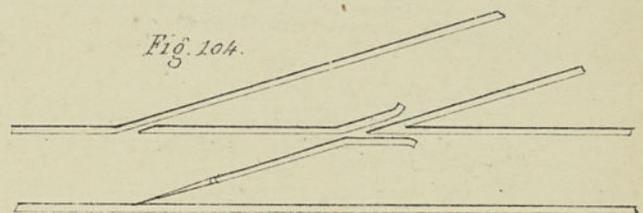


Fig. 104.

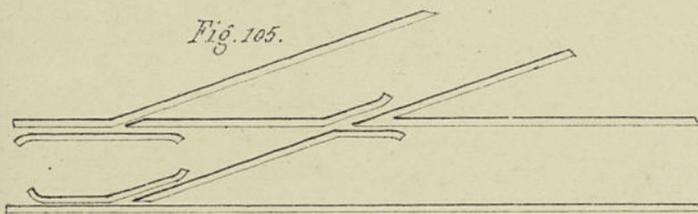


Fig. 105.

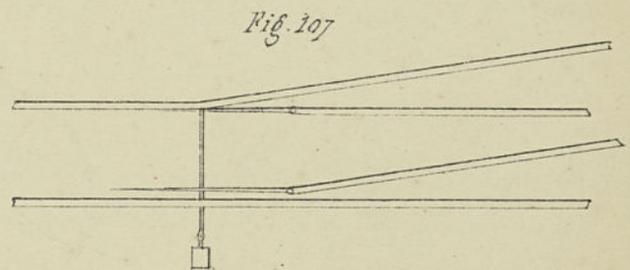


Fig. 107.

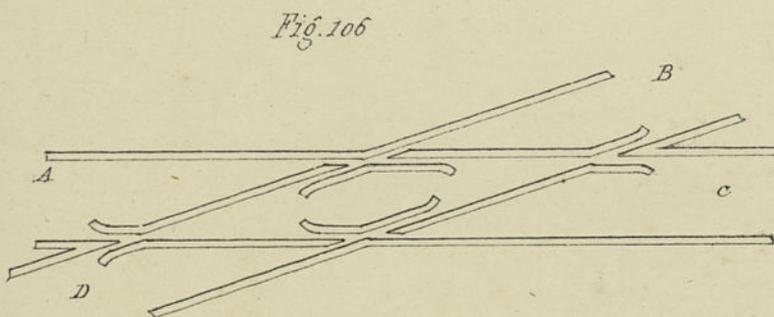


Fig. 106.

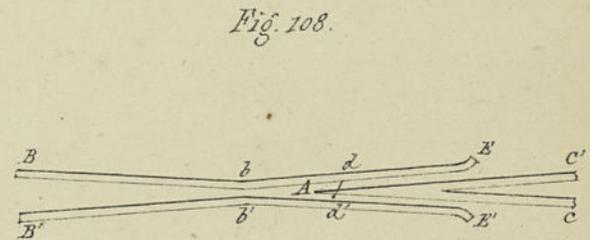


Fig. 108.

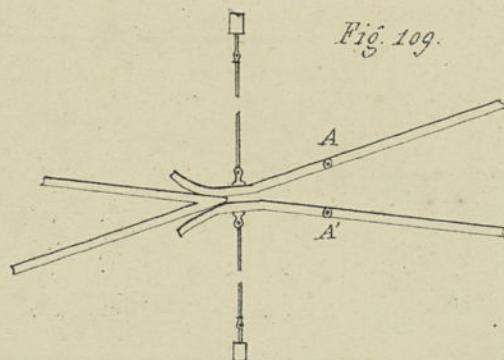


Fig. 109.

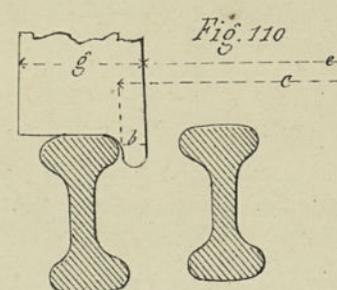


Fig. 110.



Fig. 111

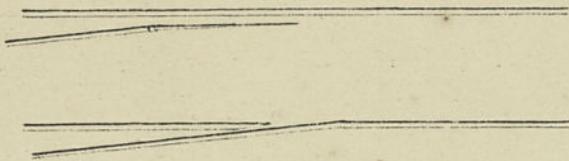


Fig. 112

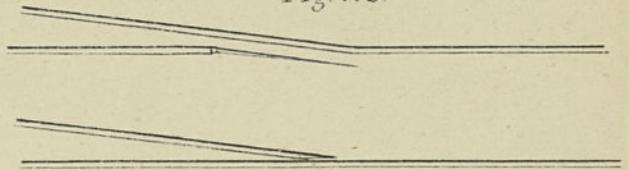


Fig. 113

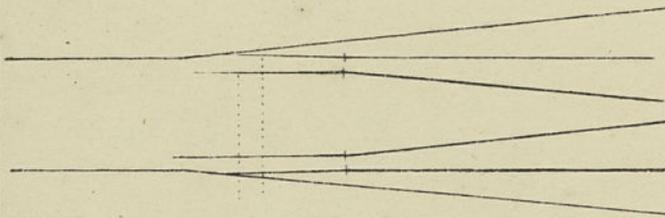


Fig. 114

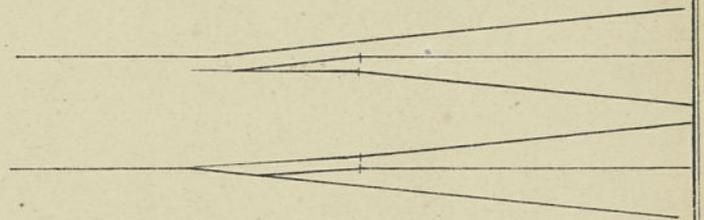


Fig. 115

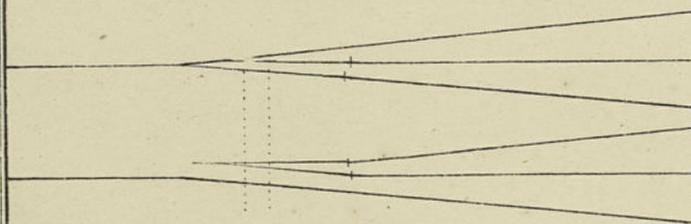


Fig. 117

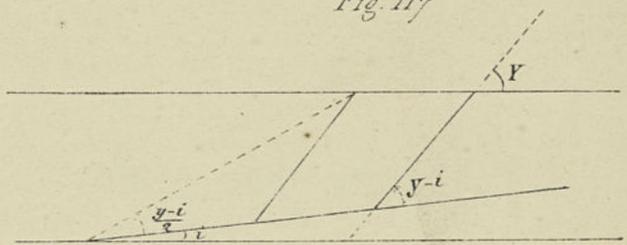


Fig. 116

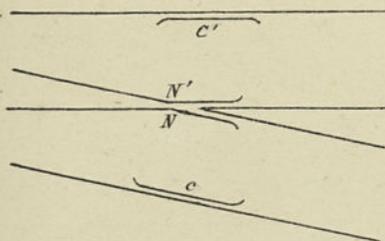


Fig. 118

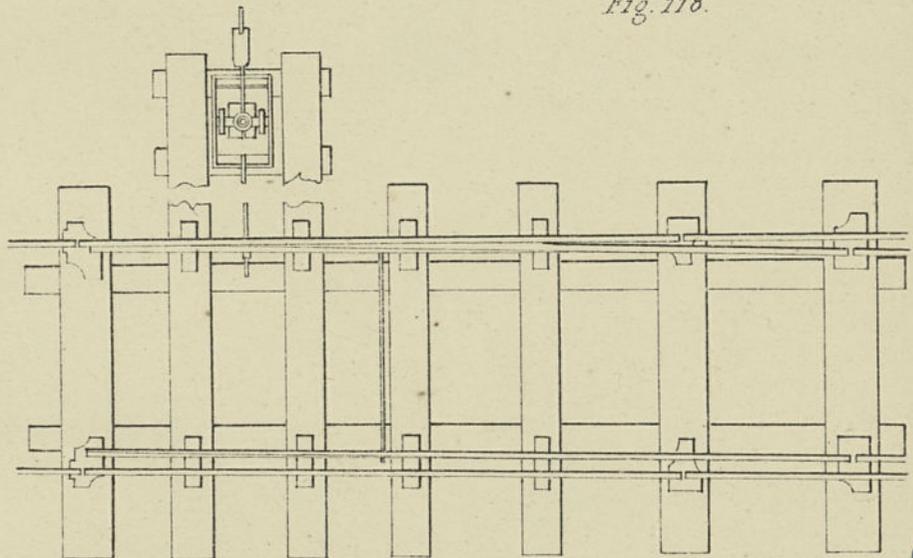


Fig. 119.

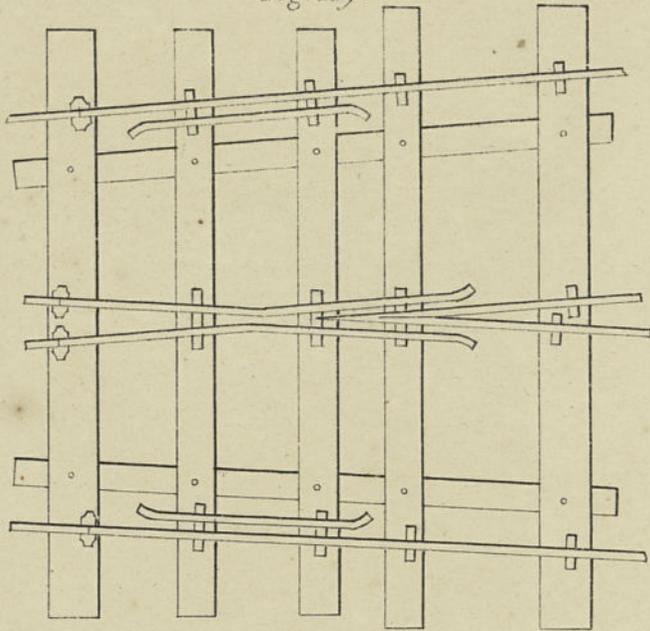


Fig. 120.

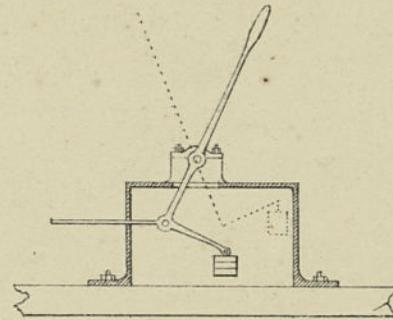


Fig. 121.

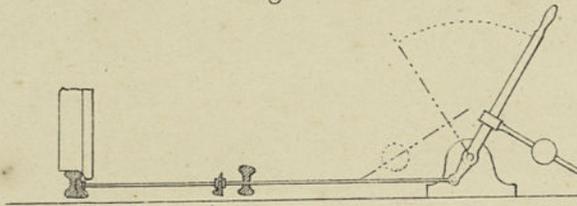


Fig. 122.

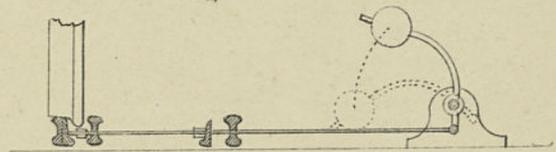


Fig. 123

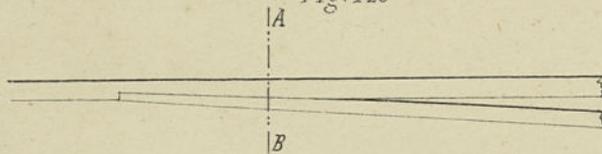


Fig. 124
Coupe AB

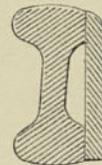


Fig. 125.
Coupe AB.

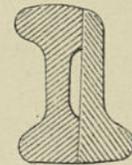


Fig. 125. bis

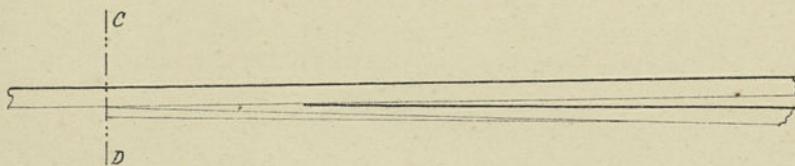


Fig. 125. ter
Coupe C.D.

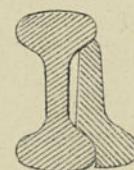


Fig. 126

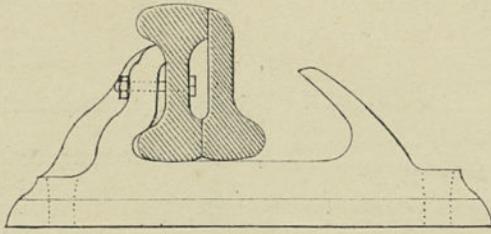


Fig. 127.

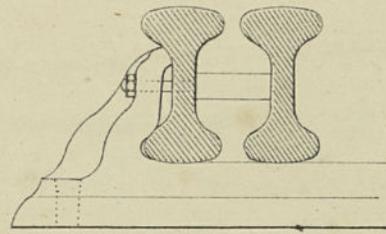


Fig. 128

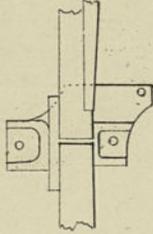


Fig. 129

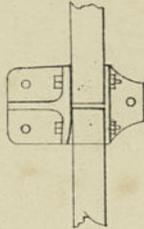


Fig. 130.

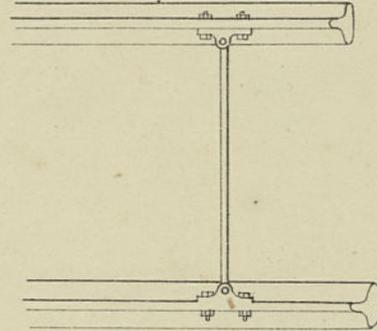


Fig. 131

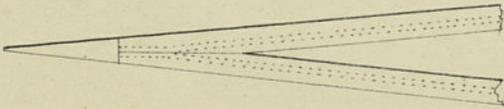


Fig. 132

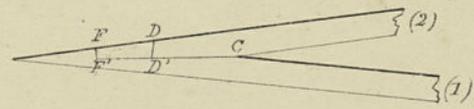


Fig. 133

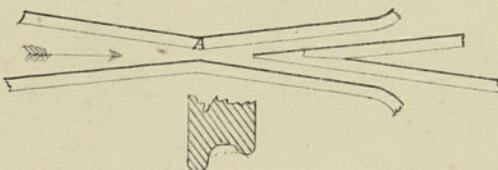
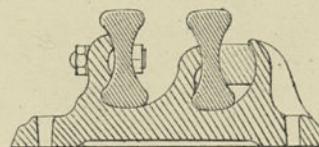


Fig. 134



Changements et Croisements.

Fig. 135.

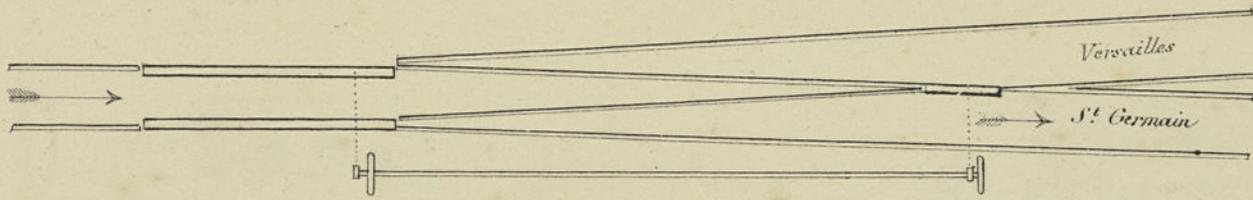


Fig. 135^{bis}.

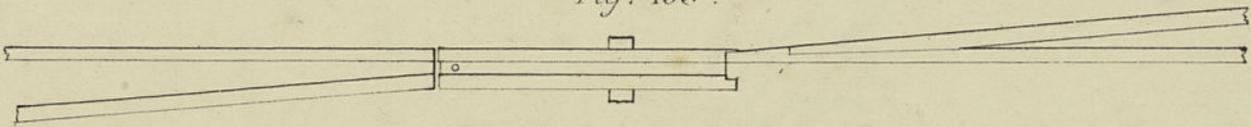


Fig. 136

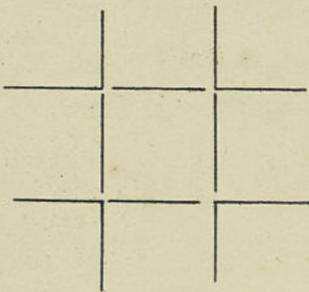


Fig. 137

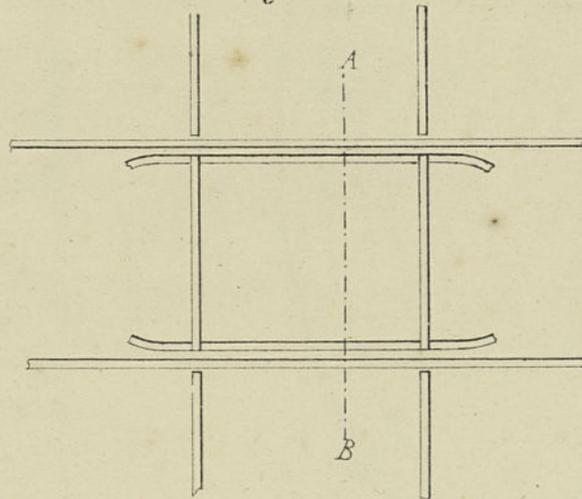


Fig. 138.

Coupe AB.

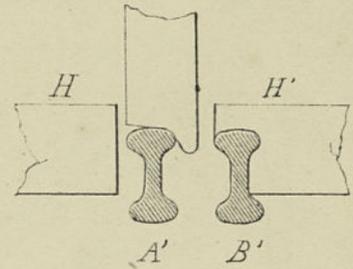


Fig. 139

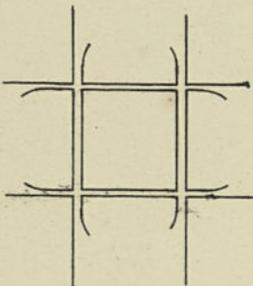


Fig. 140

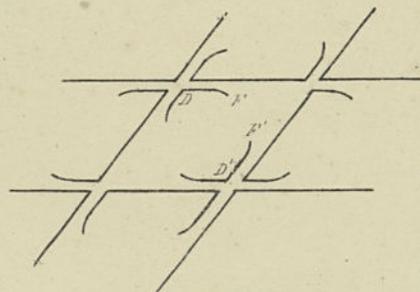


Fig. 141.

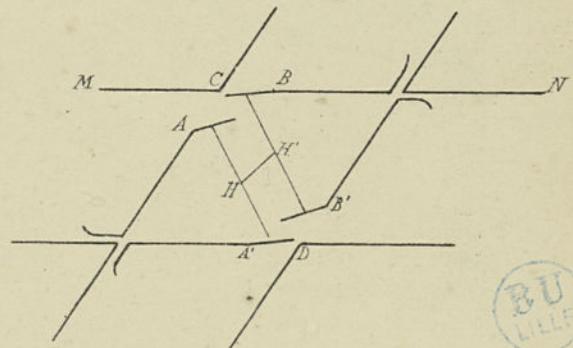


Fig. 142

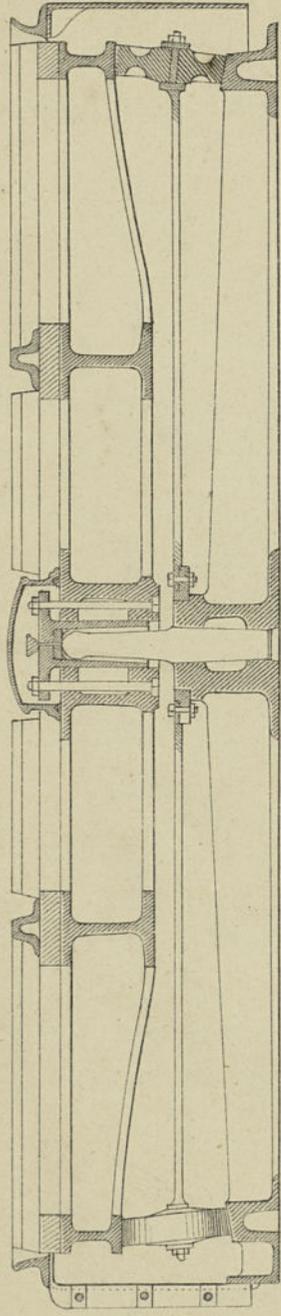
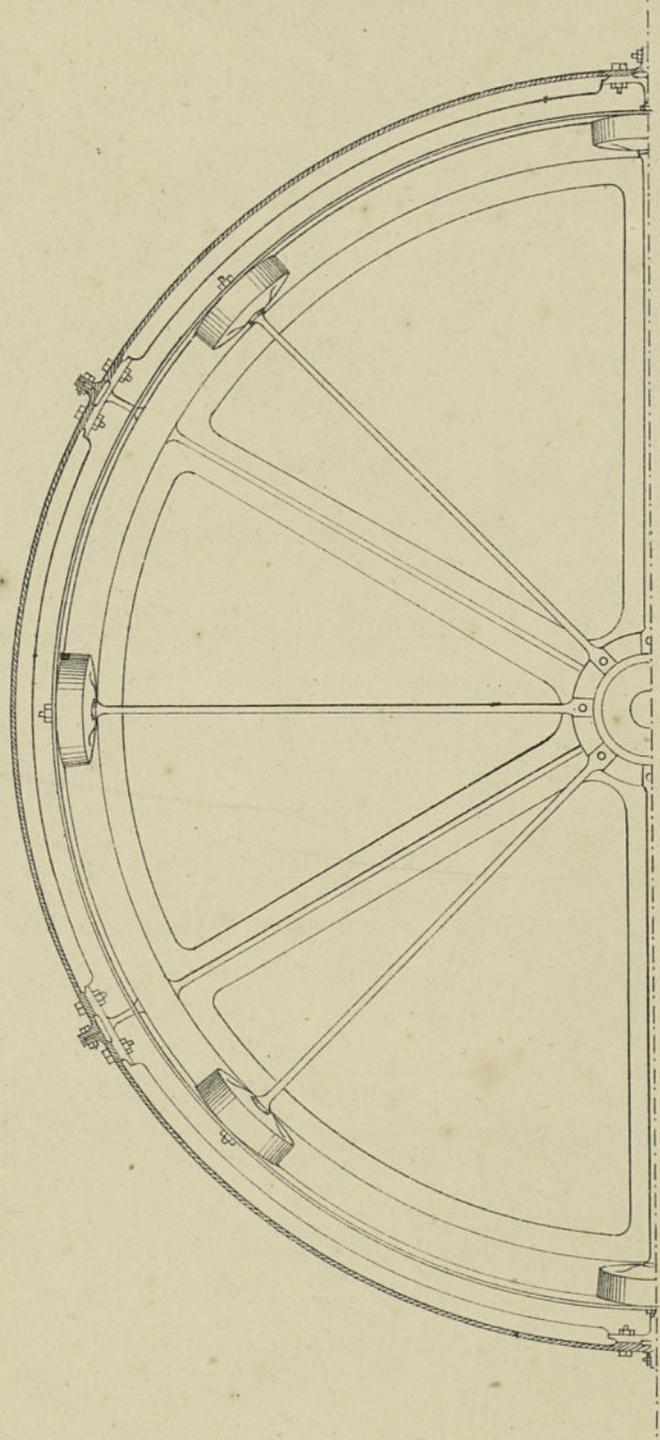
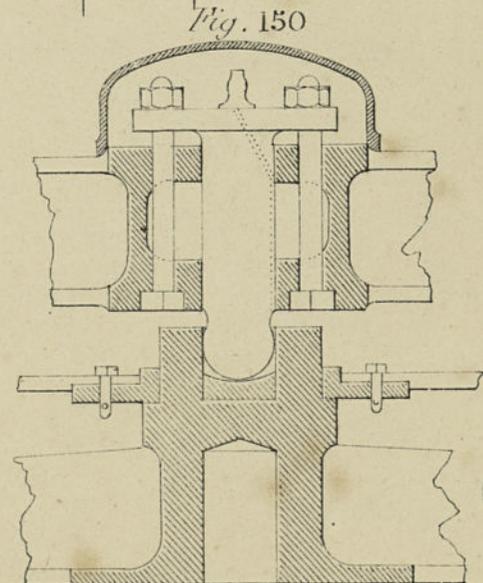
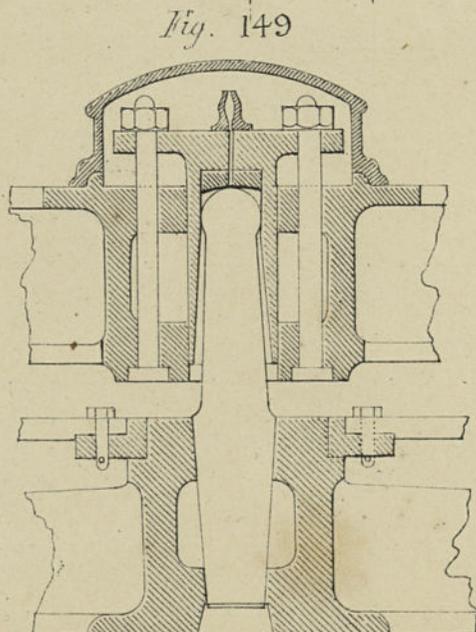
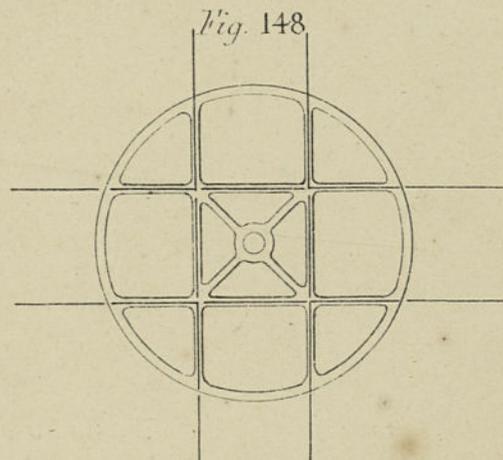
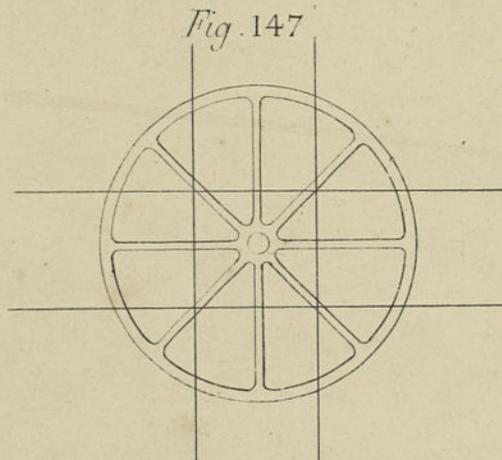
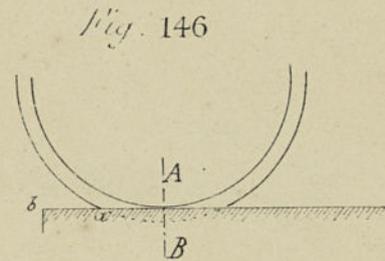
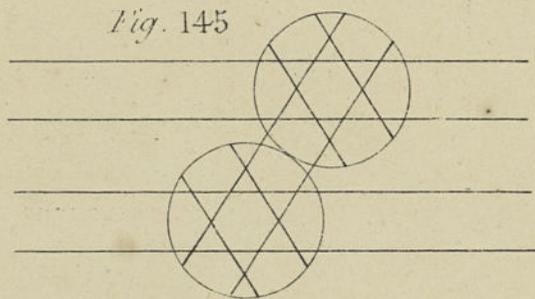
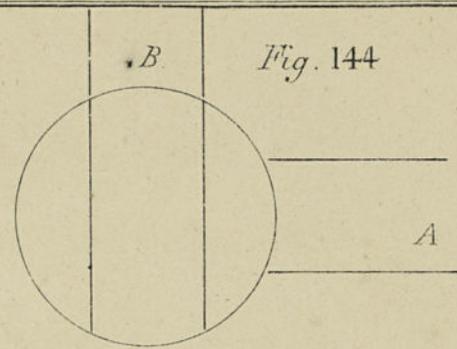
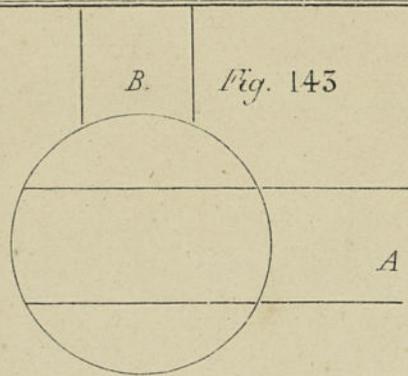


Fig. 142^{bis}



BU
LILLE

Plaques tournantes



BU
LILLE

Plaques tournantes.

Fig. 151

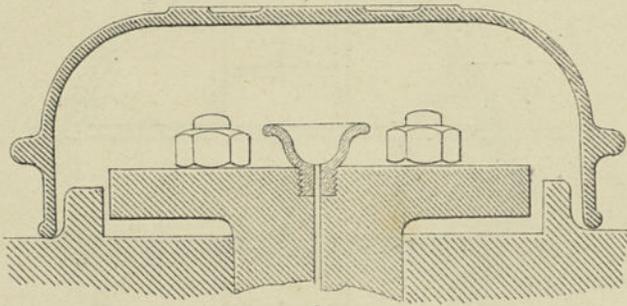


Fig. 152

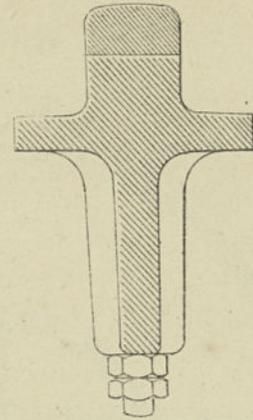
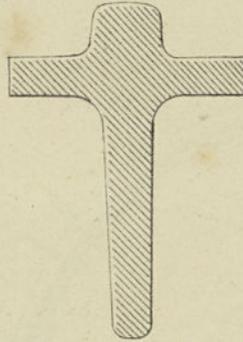


Fig. 153.

Fig. 154

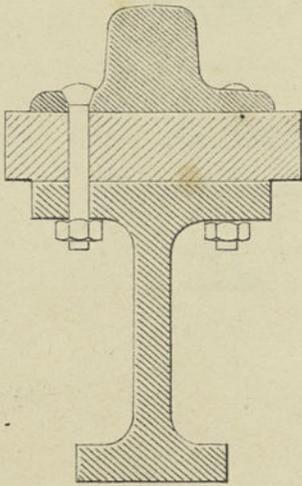


Fig. 154^{bis}

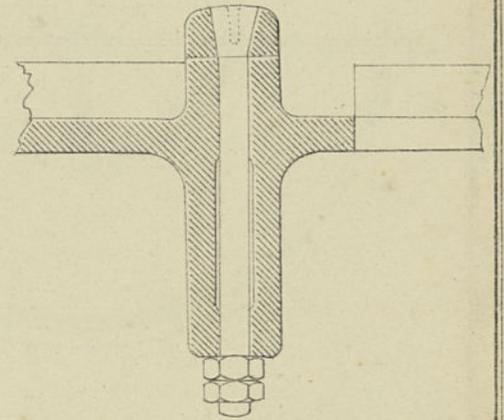
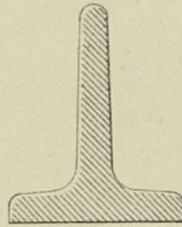


Fig. 155

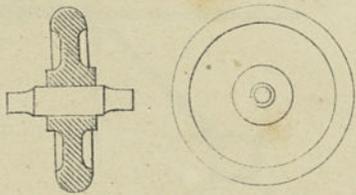


Fig. 156

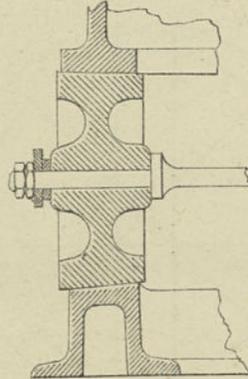


Fig. 157

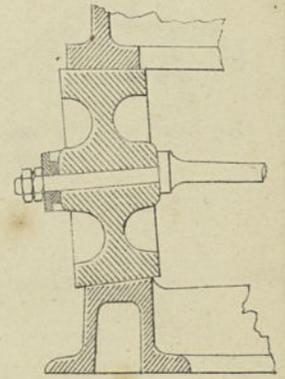


Fig. 157^{bis}

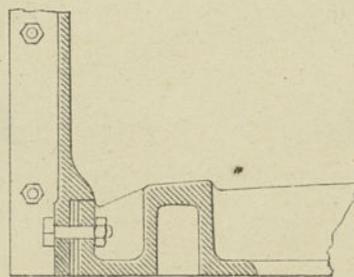
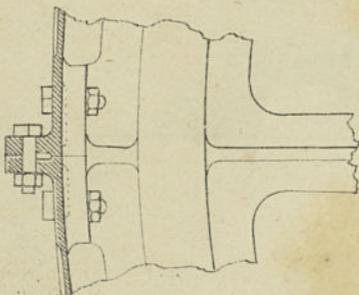
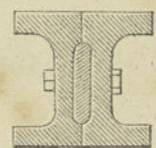


Fig. 158



Plaques tournantes.

Fig. 159

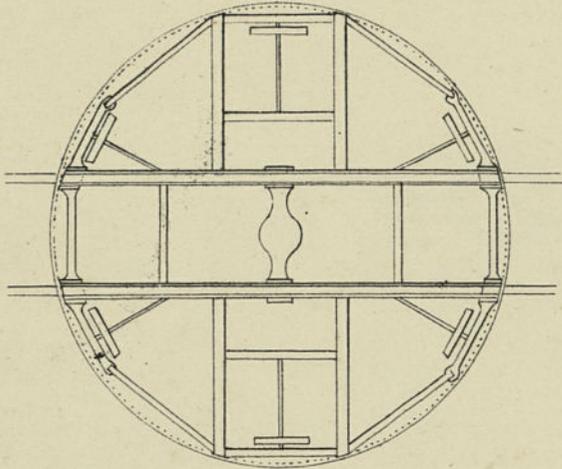


Fig. 160

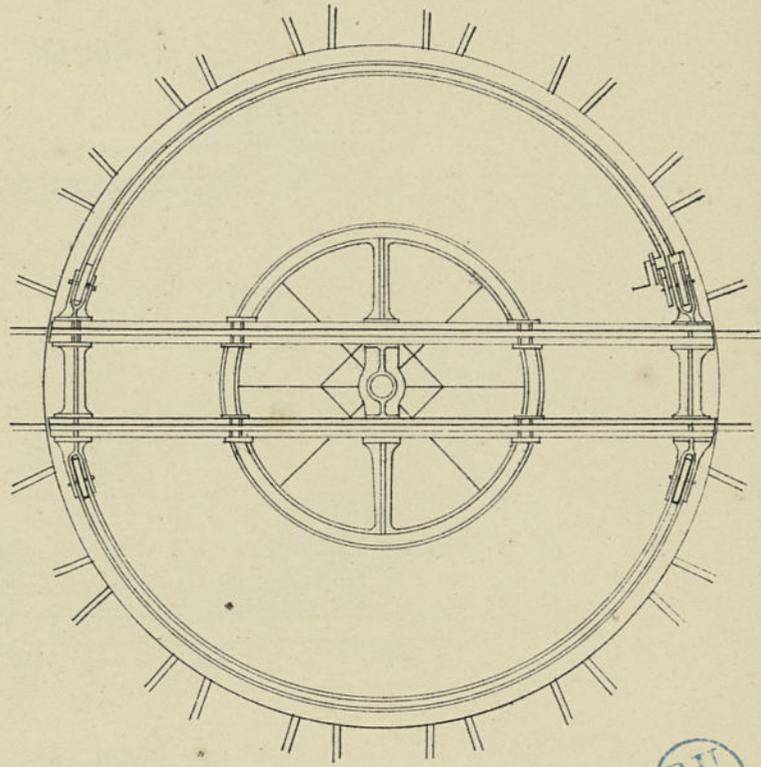


Fig. 160 bis

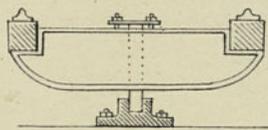


Fig. 161 bis

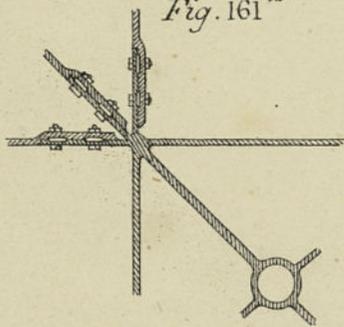


Fig. 161

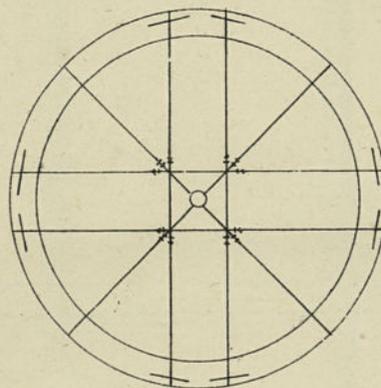


Fig. 162

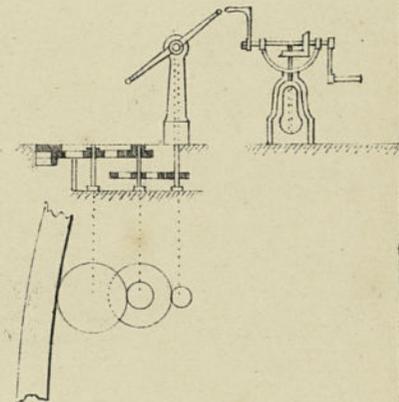


Fig. 162 bis

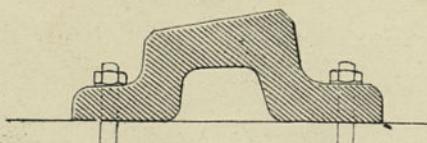


Fig. 162 ter



BU
LILLE

Fig. 163.

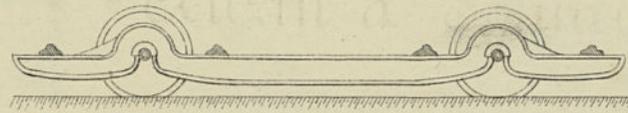


Fig. 163^{ter}

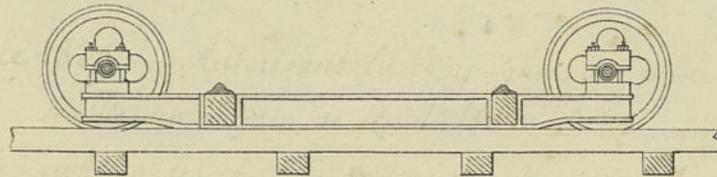
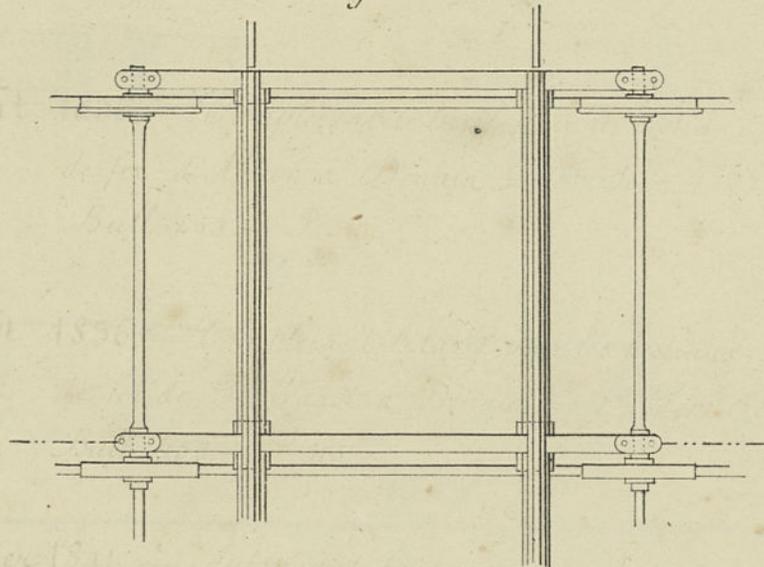


Fig. 163^{bis}



BU
LILLE

Fig. 164

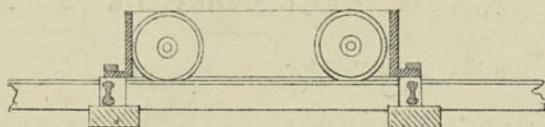


Fig. 165

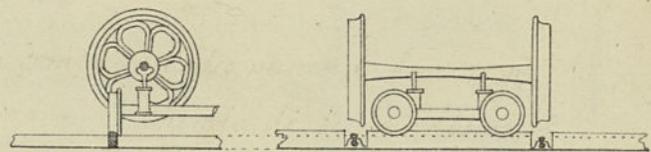


Fig. 166.

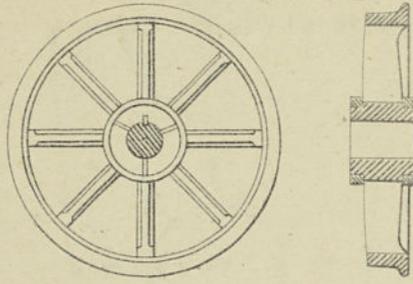


Fig. 167.

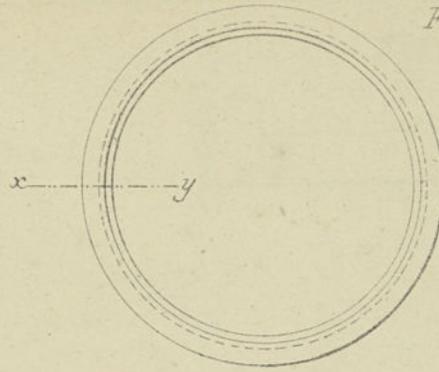
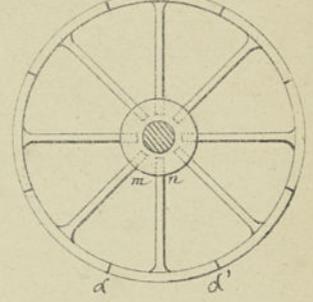


Fig. 168.



Coupe xy.



Fig. 169.

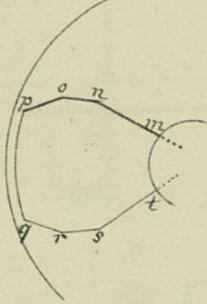


Fig. 170.

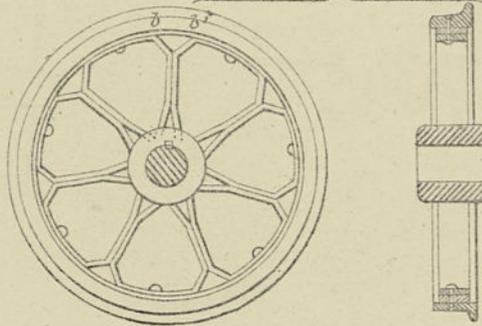


Fig. 171.

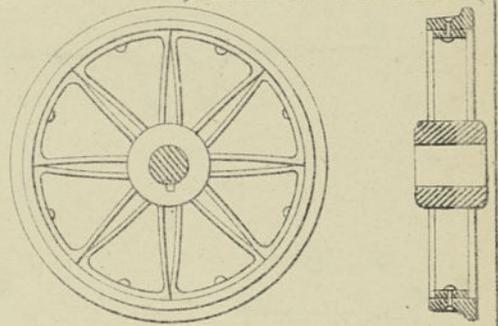


Fig. 172.

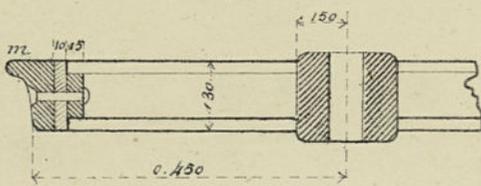


Fig. 173.

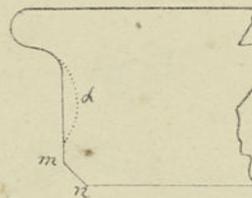


Fig. 174.

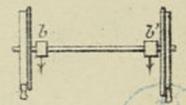


Fig. 176.

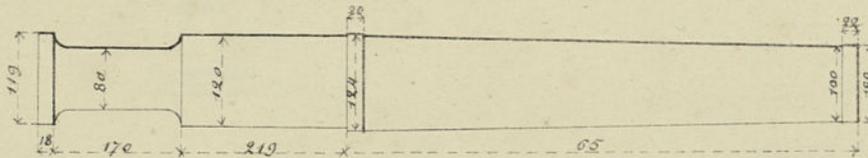


Fig. 175.

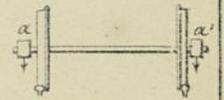
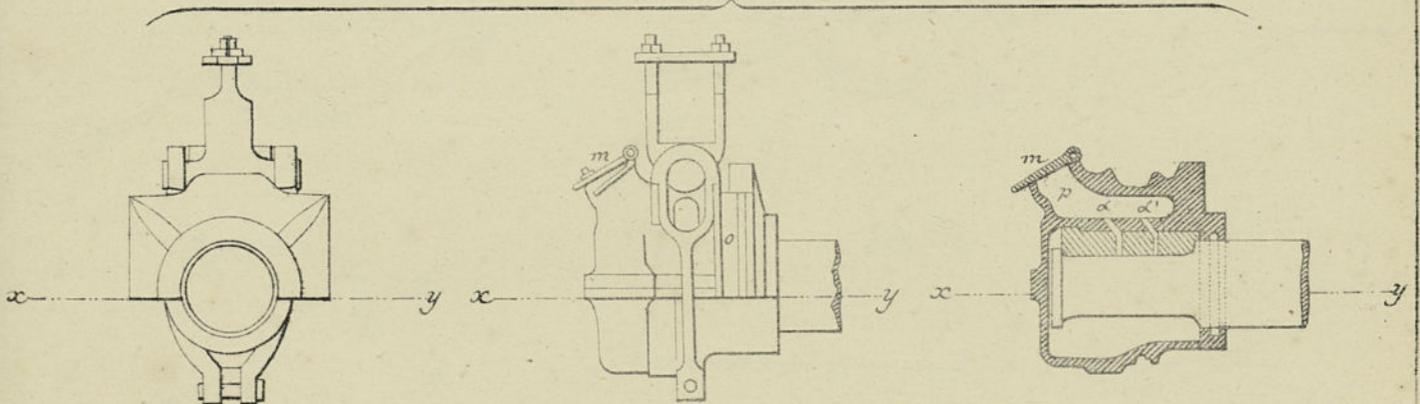


Fig. 177.



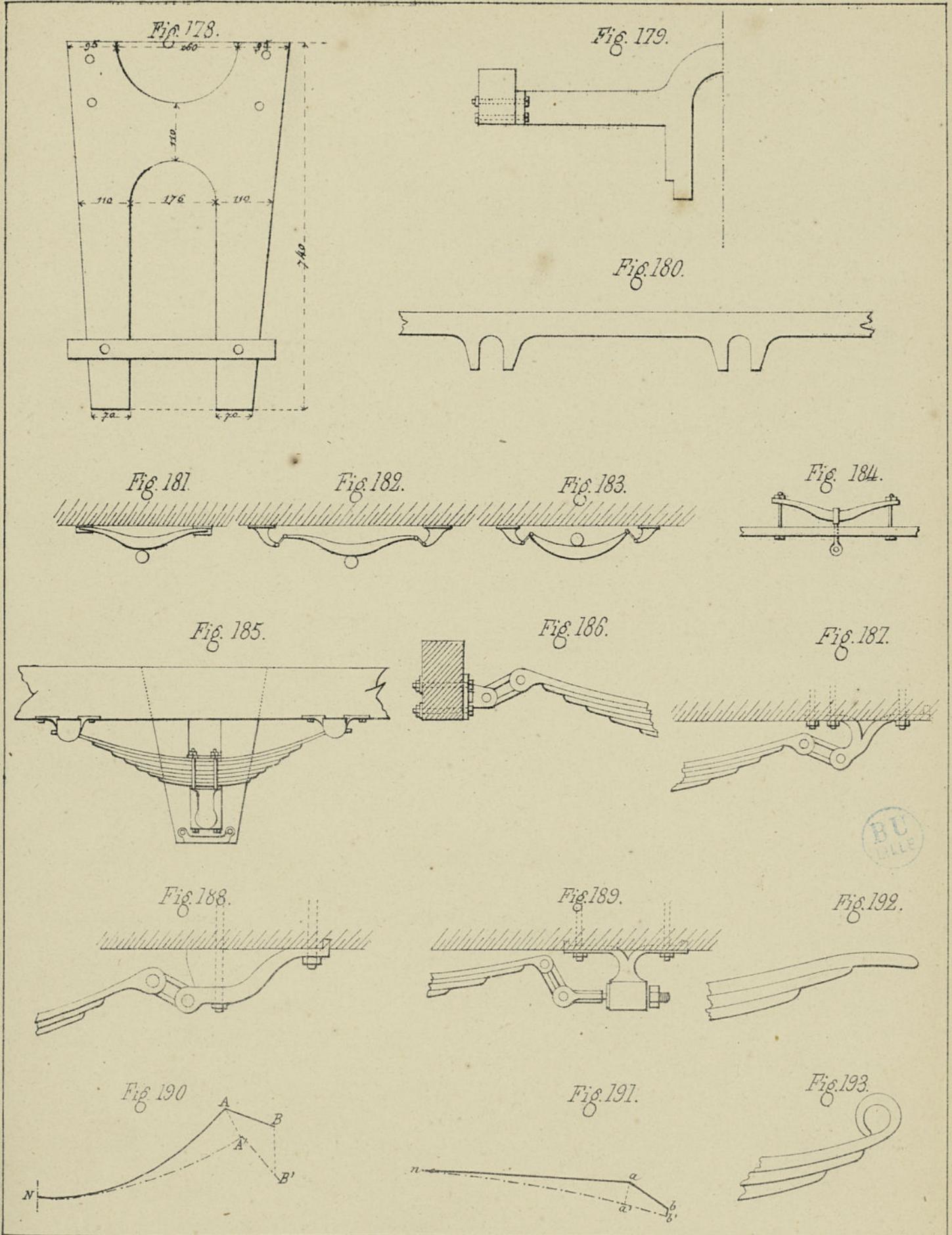


Fig. 194.

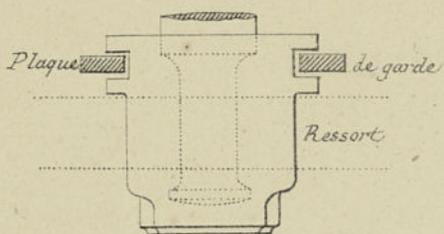


Fig. 195.

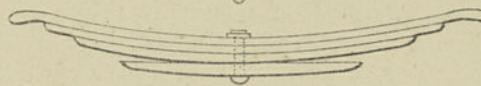


Fig. 196.



Fig. 197.

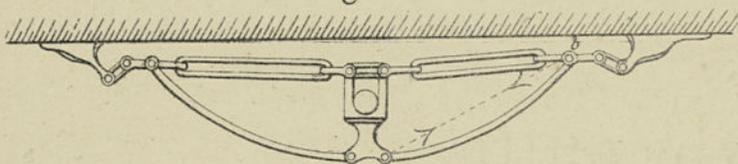


Fig. 199.

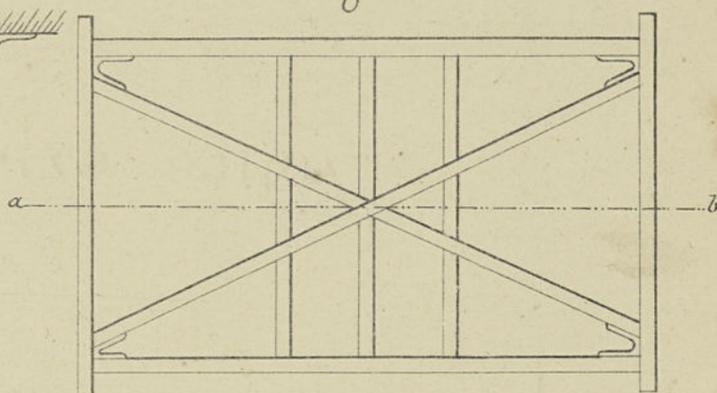
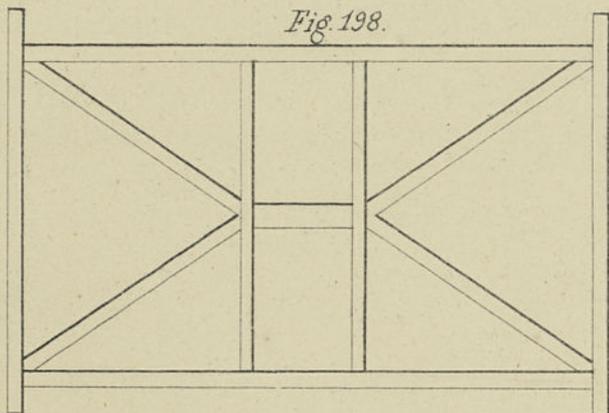


Fig. 198.



Coupe a b.

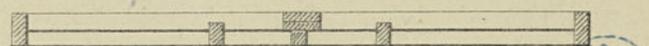


Fig. 201.

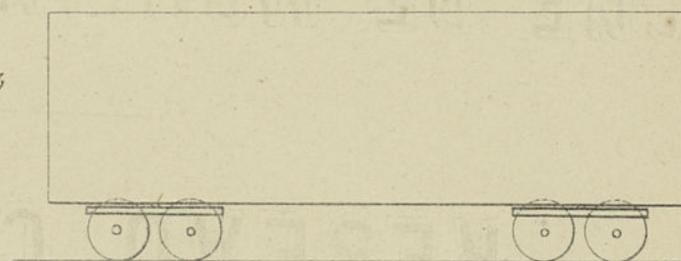


Fig. 200.

Coupe suivant a b

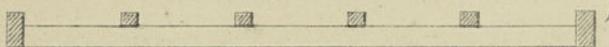


Fig. 202.

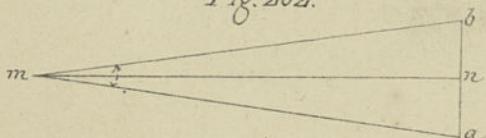
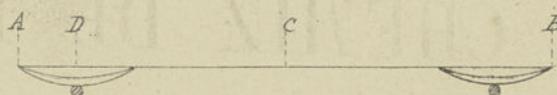


Fig. 205.



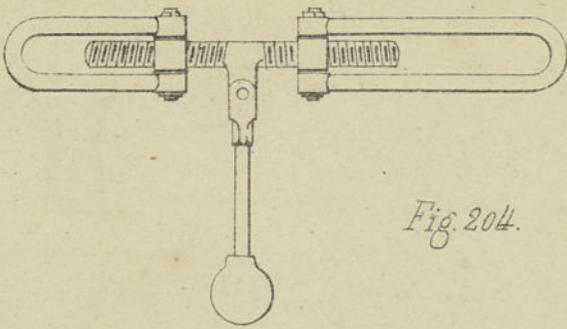


Fig. 204.

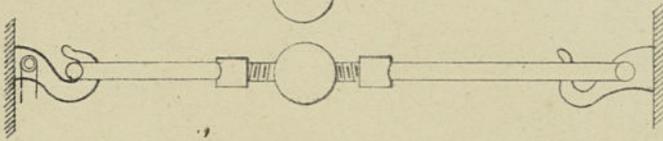


Fig. 205.

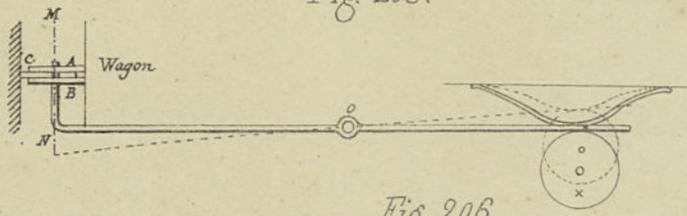


Fig. 206.

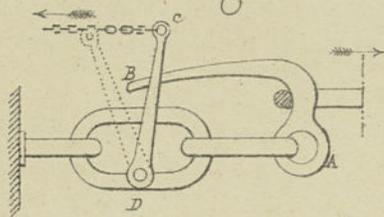


Fig. 207. Tampon rond.

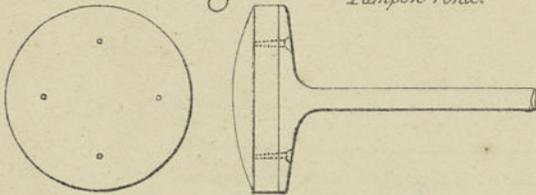


Fig. 208. Tampon plat

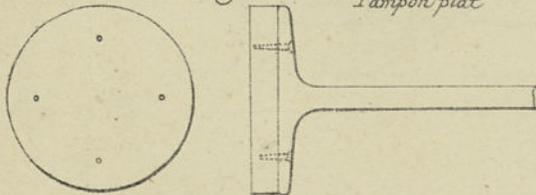


Fig. 213.

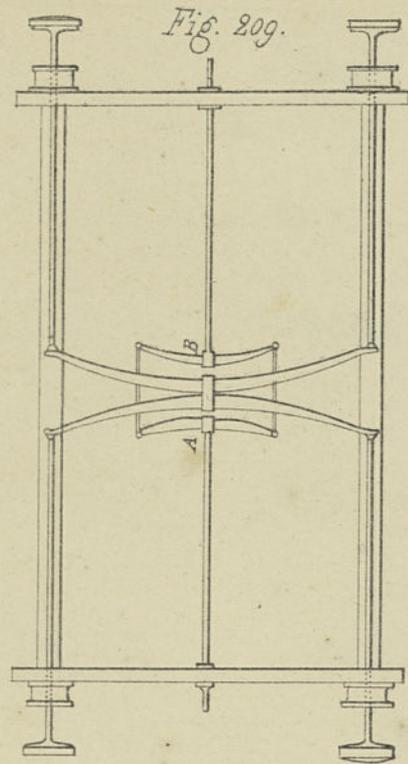


Fig. 209.

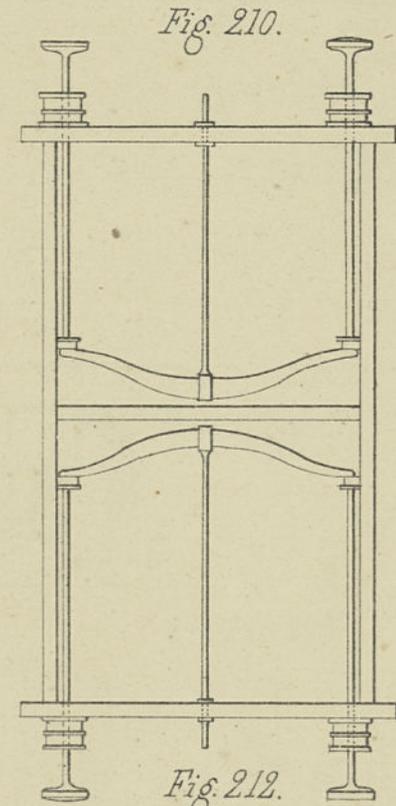


Fig. 210.

Fig. 211.

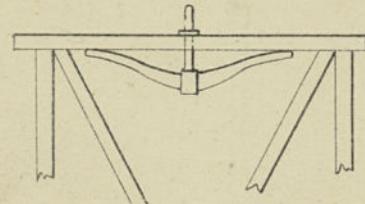
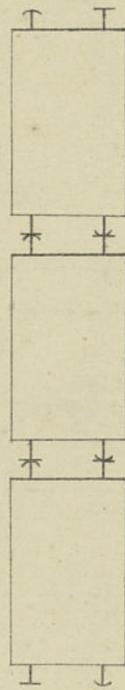
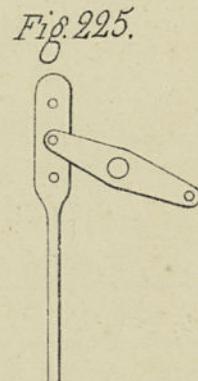
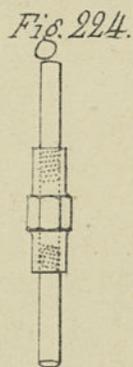
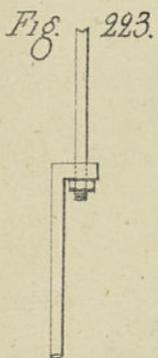
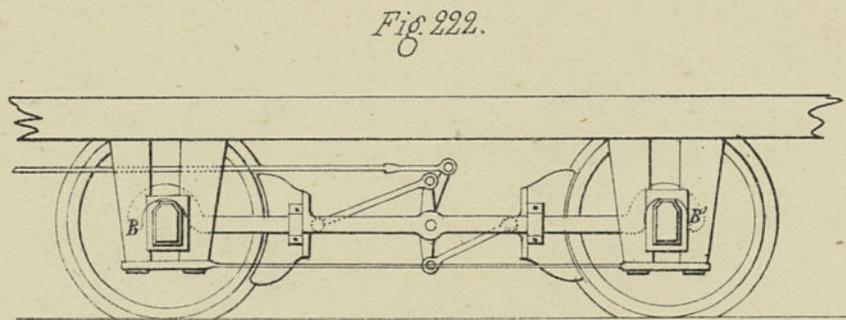
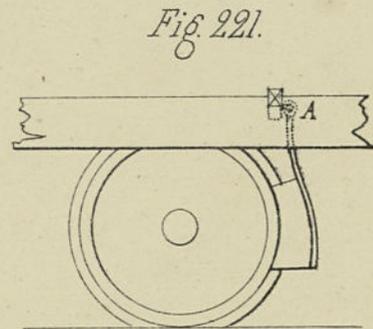
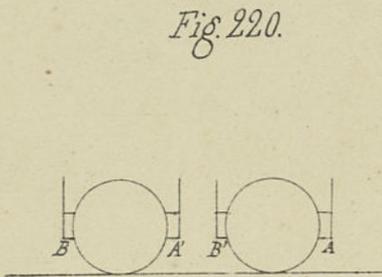
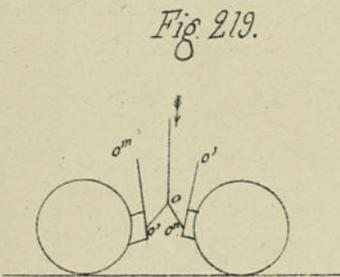
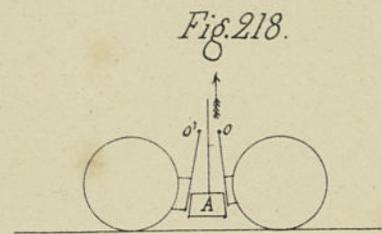
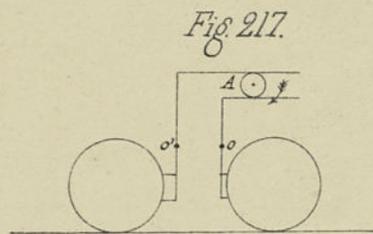
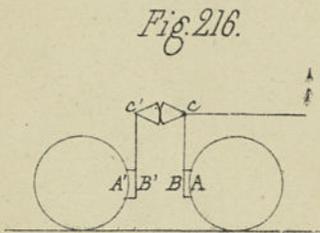
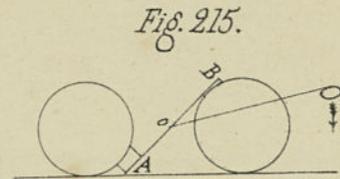
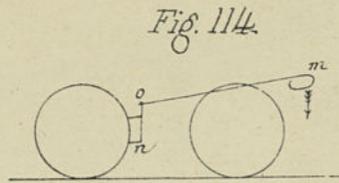
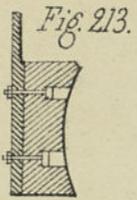


Fig. 212.





FILE

Fig. 226.

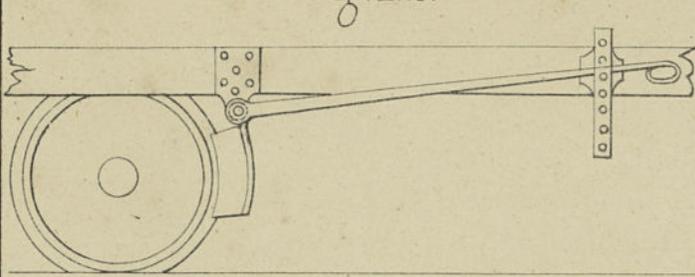


Fig. 227.

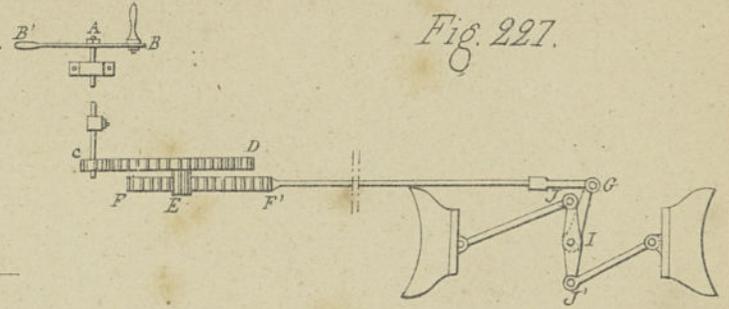


Fig. 228.

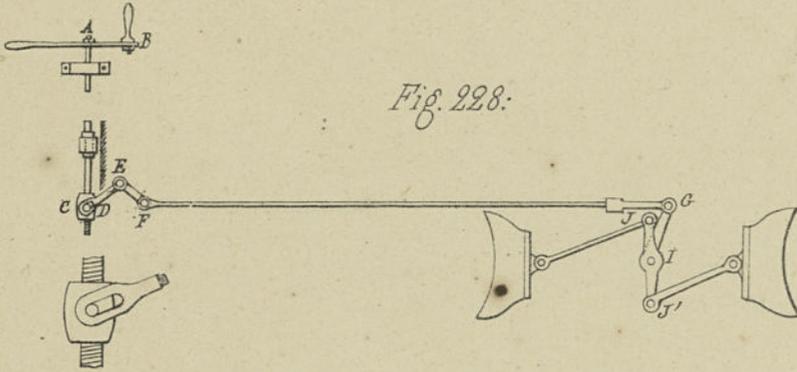


Fig. 229.

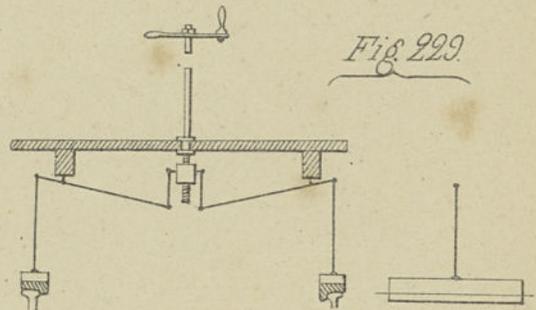


Fig. 230.

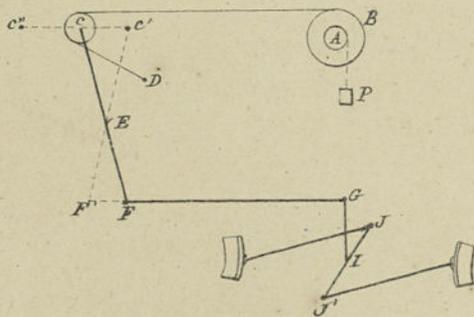


Fig. 232.

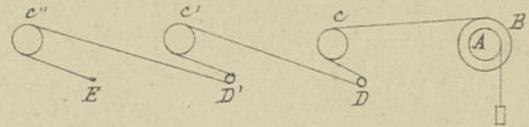


Fig. 231.

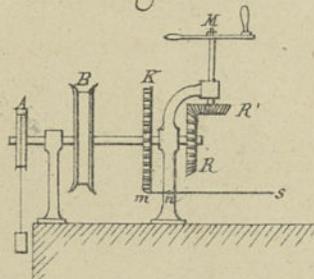


Fig. 233.

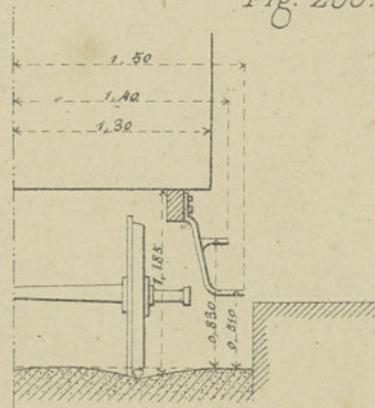


Fig. 234.

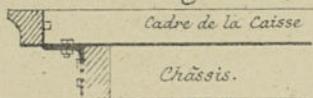


Fig. 235.

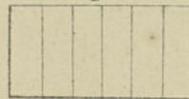


Fig. 236.

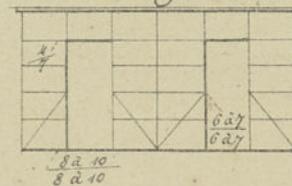


Fig. 237.

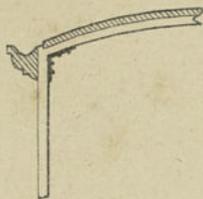


Fig. 238.

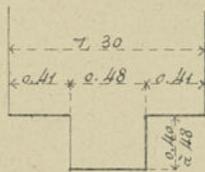


Fig. 239.

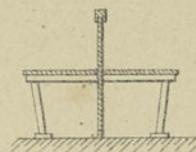


Fig. 240.

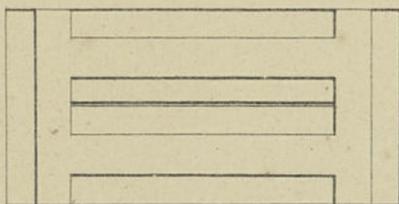


Fig. 241.



Fig. 242.

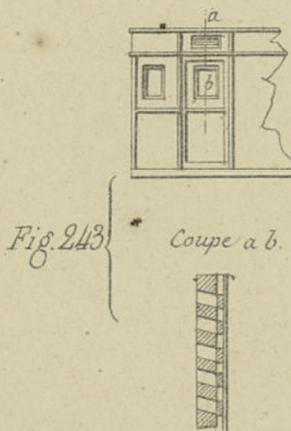
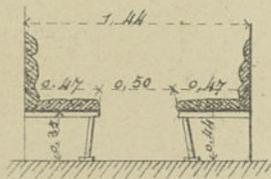


Fig. 243. Coupe a. b.

Fig. 244.

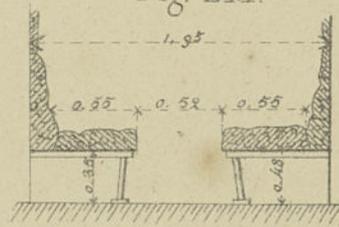


Fig. 245.

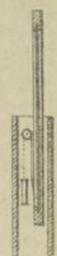


Fig. 246.

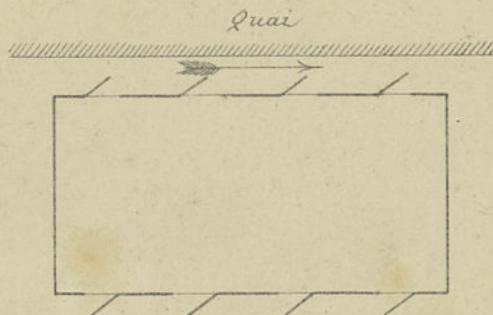


Fig. 247.

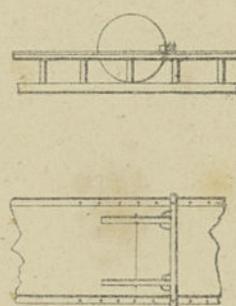


Fig. 248.

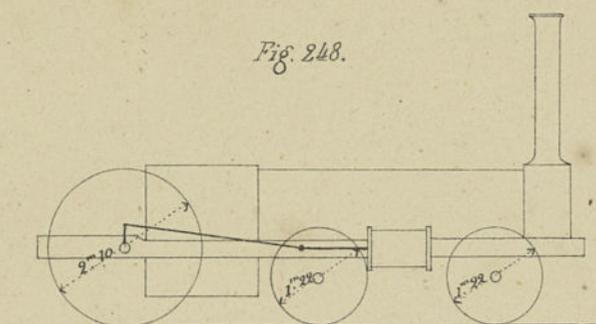


Fig. 250.

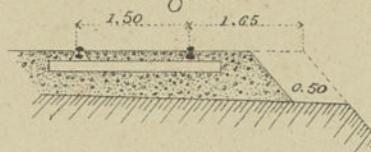


Fig. 250 bis



Fig. 251.

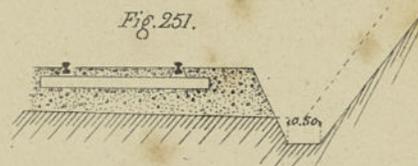


Fig. 249.

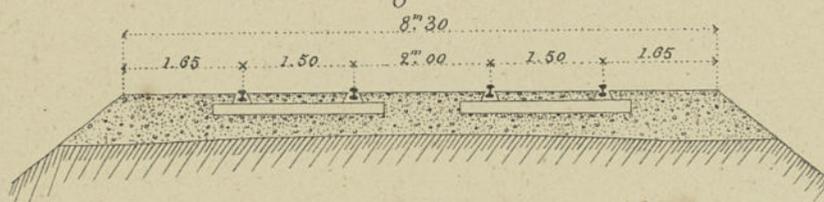


Fig. 249 bis

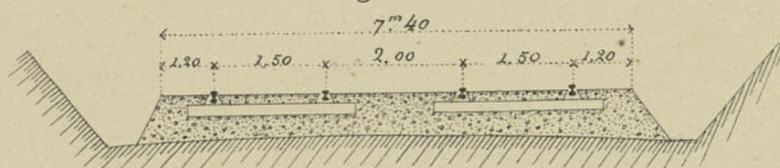


Fig. 252.

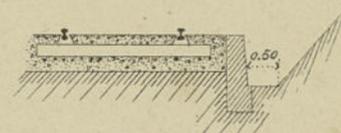


Fig. 255.

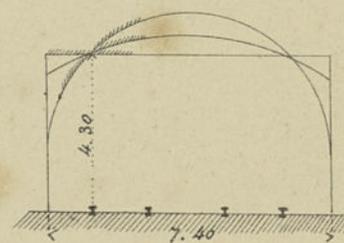


Fig. 253.



Fig. 254.

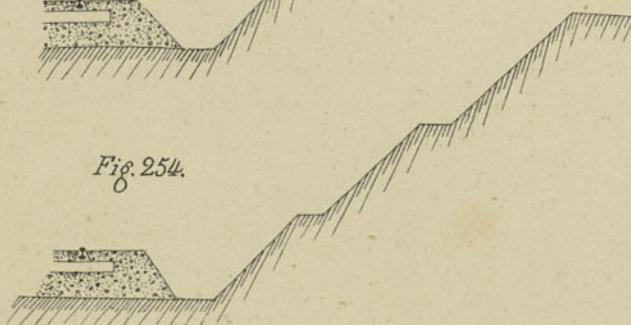


Fig. 256.

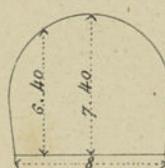


Fig. 257.

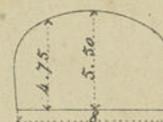


Fig. 258.

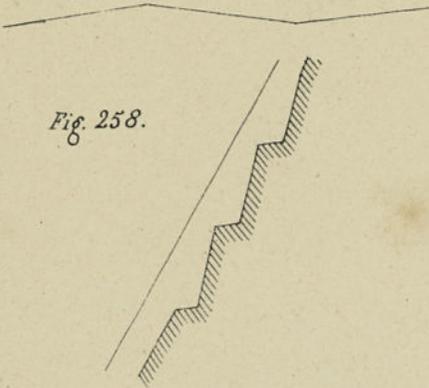


Fig. 259.

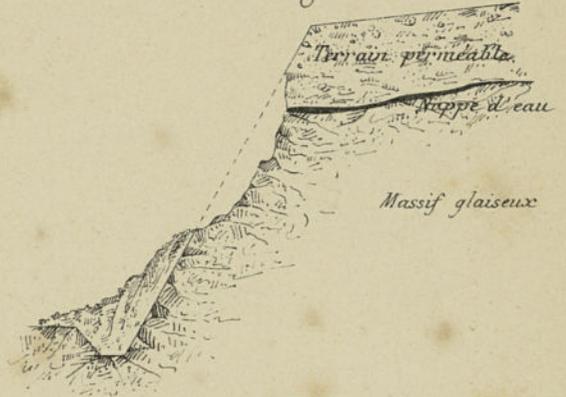
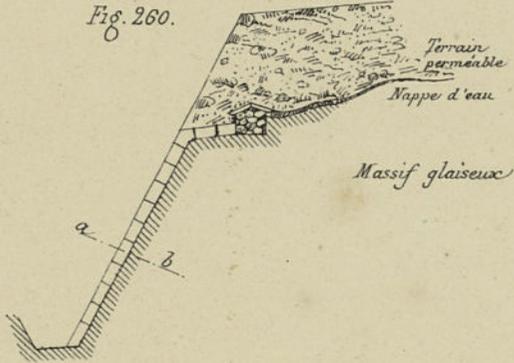


Fig. 260.



Coupes a b de la fig. 260.

Fig. 261.

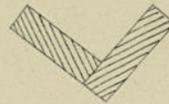


Fig. 262.



Fig. 263.

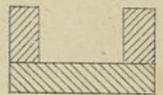


Fig. 264.

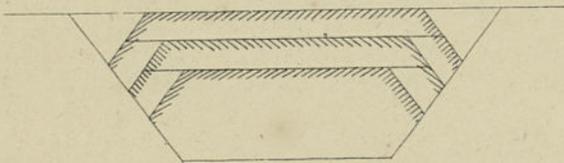


Fig. 265.

Coupe transversale.

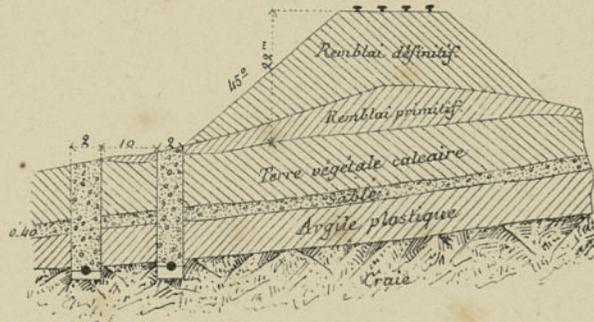


Fig. 267.

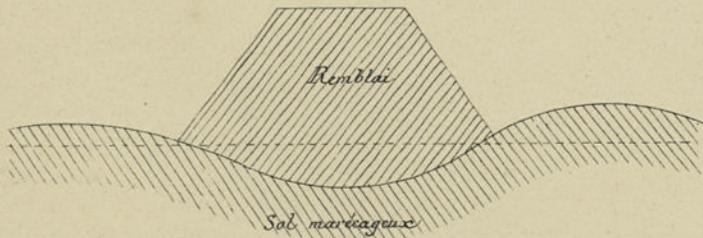
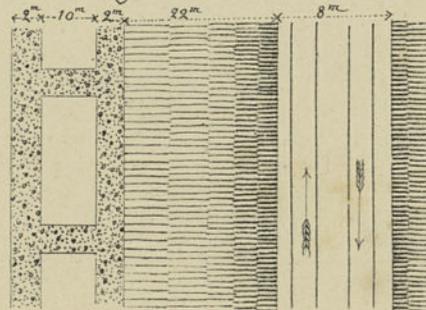
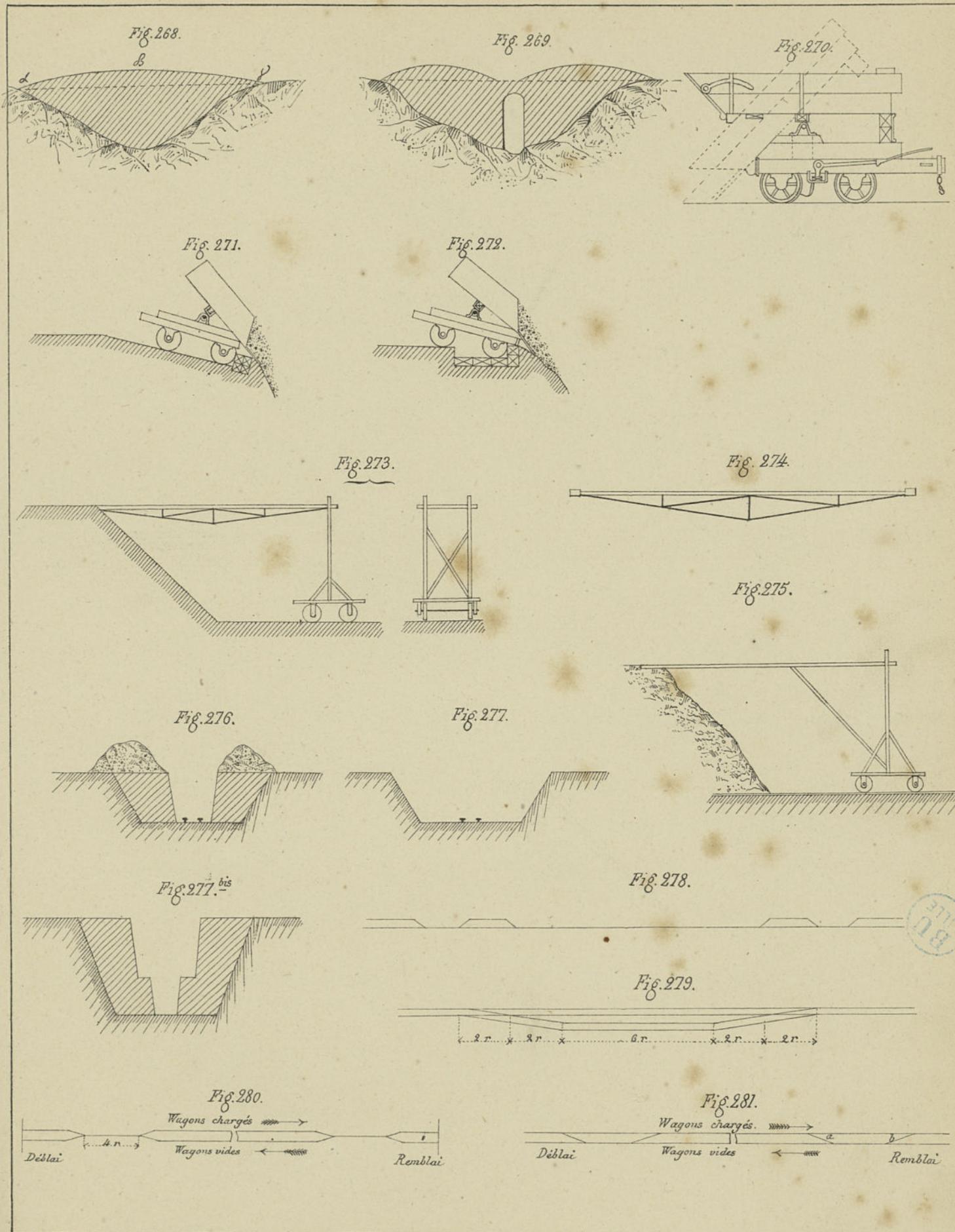


Fig. 266.

Plan.





BU
FILE

Fig. 282.

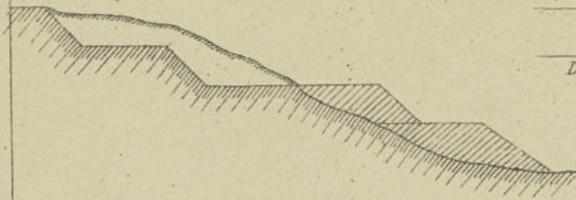


Fig. 283.

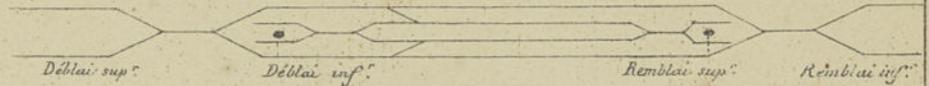


Fig. 284.

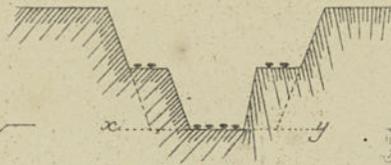


Fig. 285.

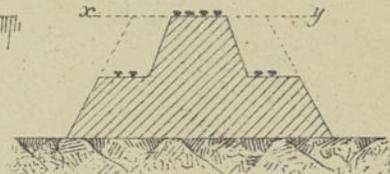


Fig. 286.

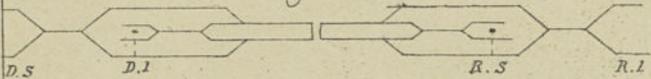


Fig. 287.

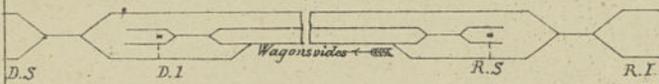


Fig. 288.

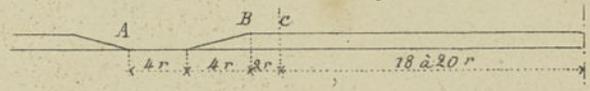


Fig. 289.

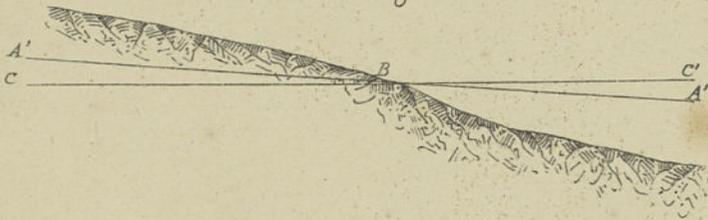


Fig. 290.

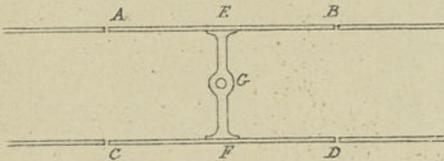


Fig. 291.

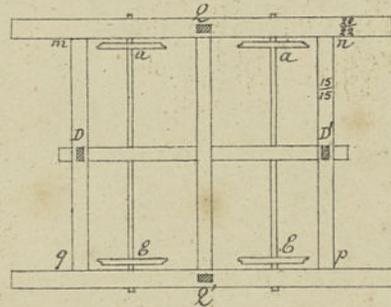


Fig. 293.

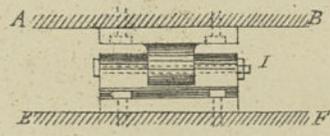


Fig. 294.

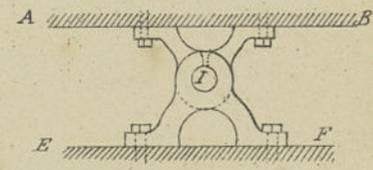


Fig. 292.

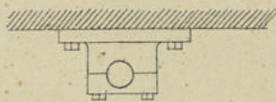


Fig. 297.

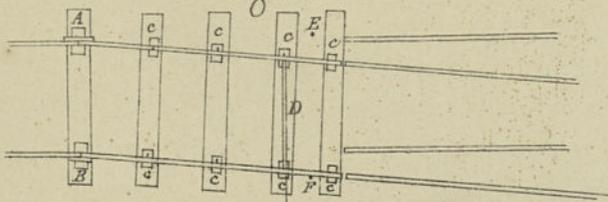


Fig. 295.

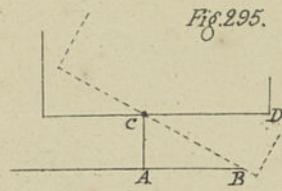


Fig. 296.

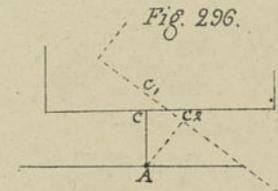


Fig. 298.

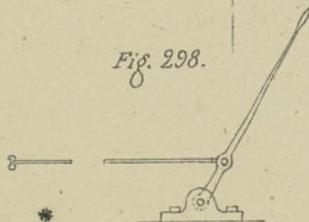


Fig. 299.

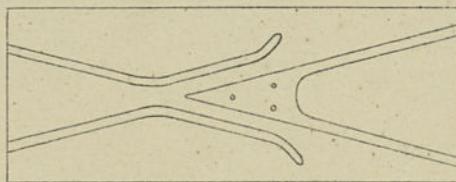


Fig. 300.

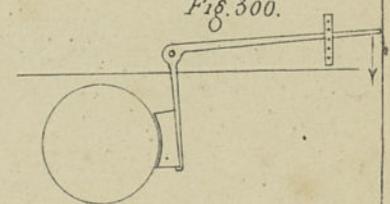


Fig. 301.

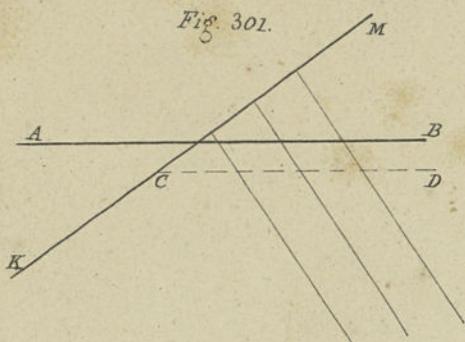


Fig. 302.

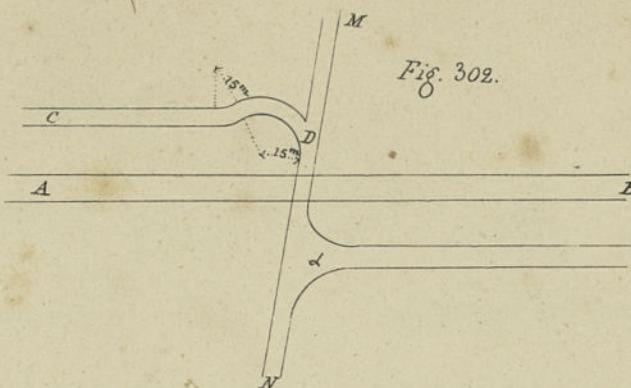


Fig. 303.

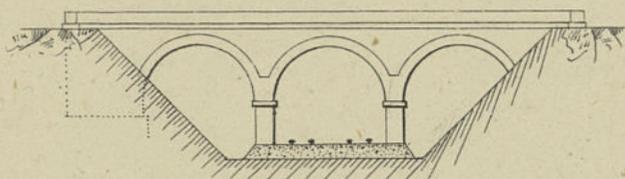


Fig. 304.

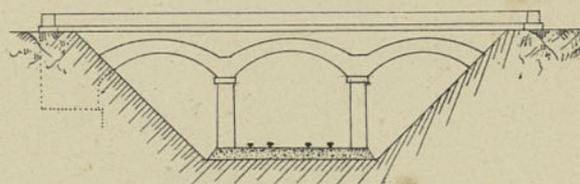


Fig. 305.

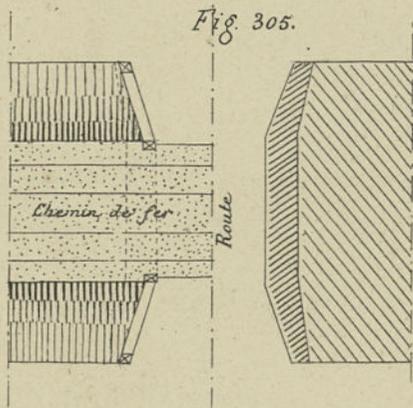


Fig. 306.

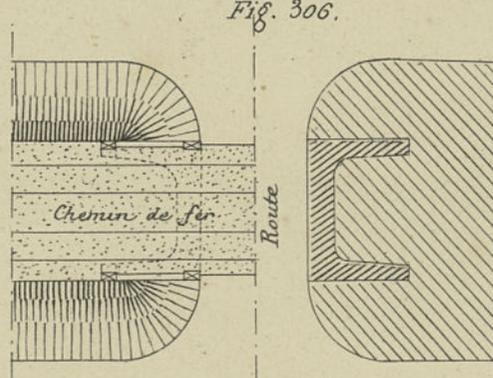


Fig. 307.

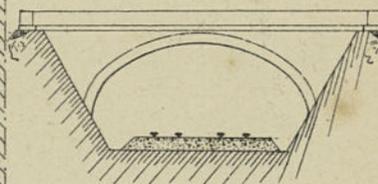


Fig. 308.

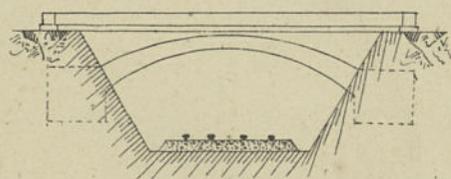


Fig. 309.

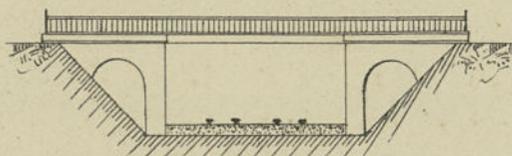


Fig. 310.

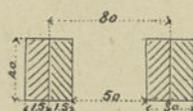


Fig. 311.

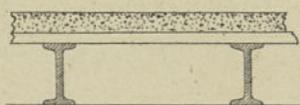


Fig. 312.



Fig. 313.

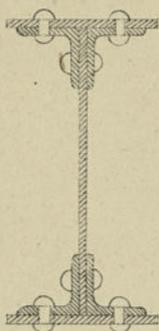


Fig. 313 bis

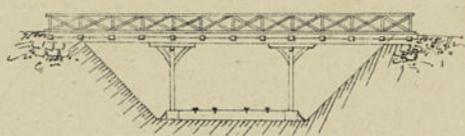


Fig. 314.

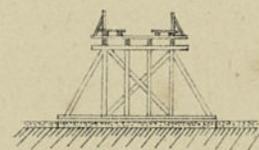


Fig. 314 bis

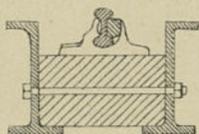


Fig. 315.

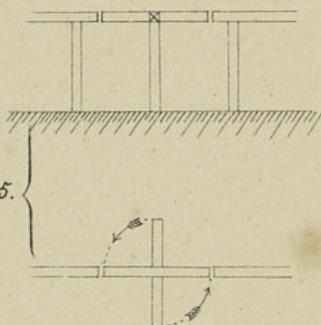


Fig. 316.

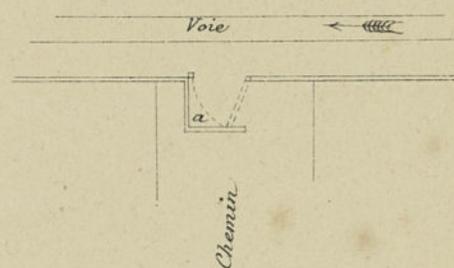


Fig. 317.

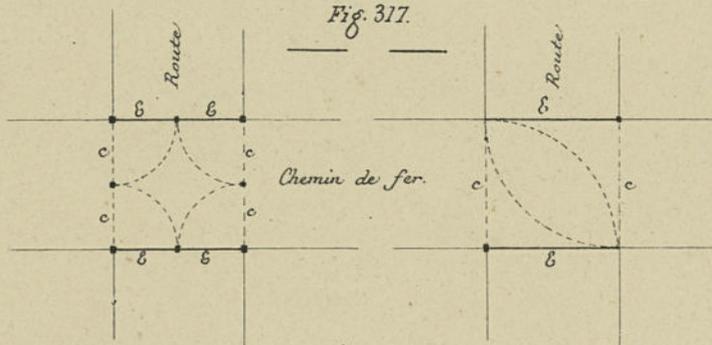


Fig. 316 bis

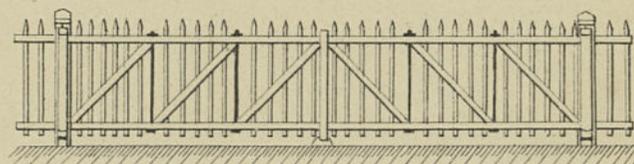


Fig. 318.

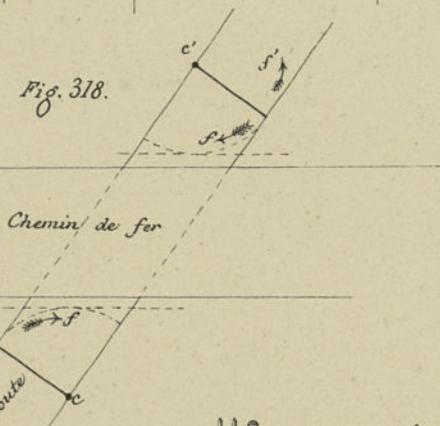


Fig. 319.

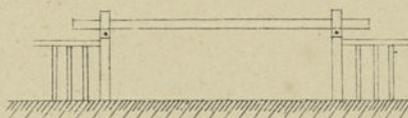


Fig. 321.

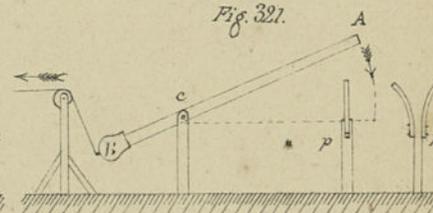


Fig. 320.

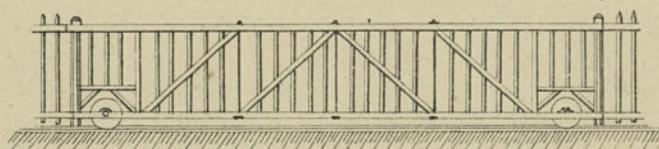


Fig. 322.

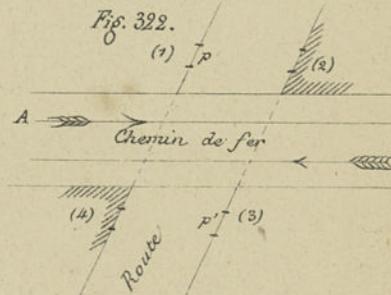


Fig. 323.

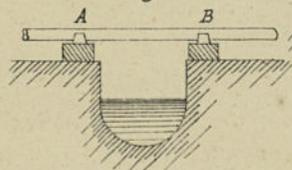


Fig. 324.



Fig. 325.

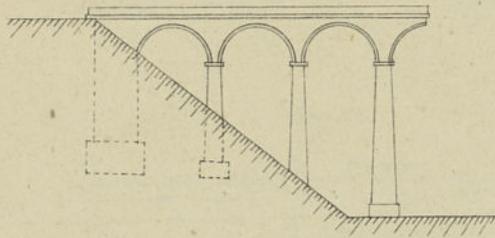


Fig. 326.

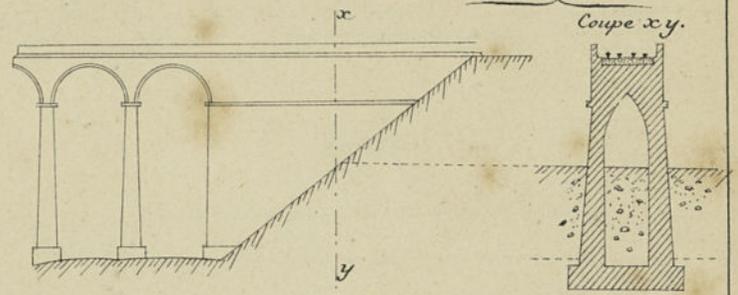


Fig. 327.

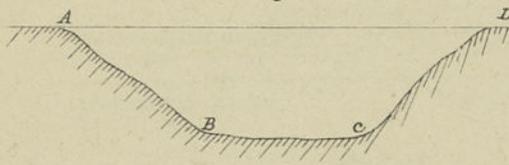


Fig. 328.

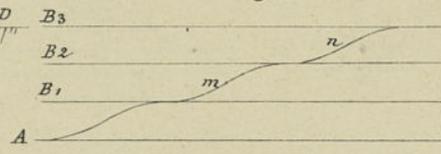


Fig. 329.

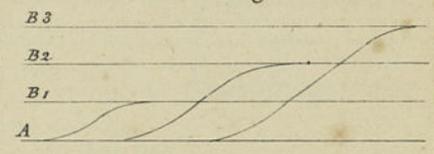


Fig. 330.

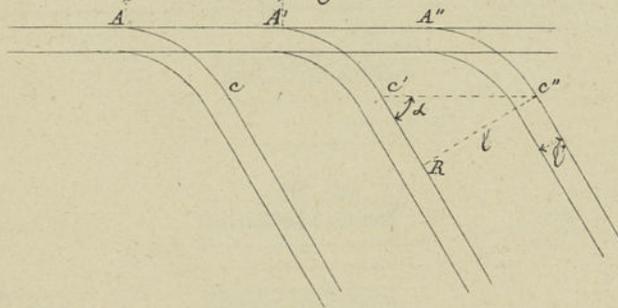


Fig. 331.

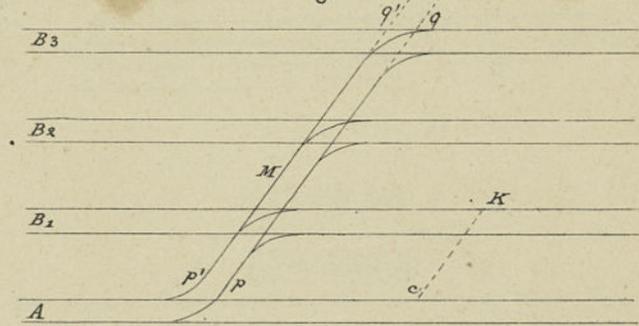


Fig. 332.

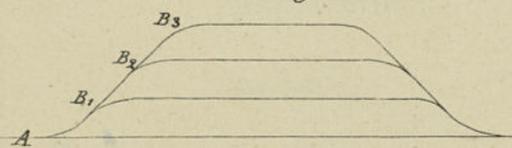


Fig. 333.

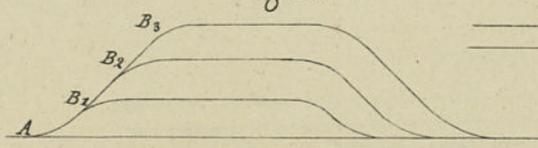


Fig. 334.

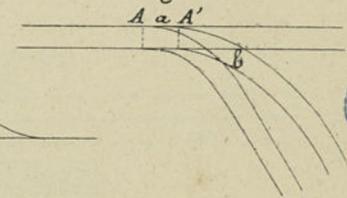


Fig. 335.

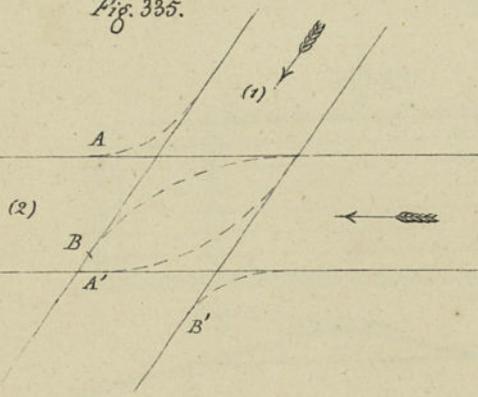
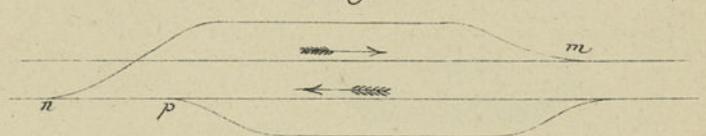


Fig. 336.



Fig. 337.



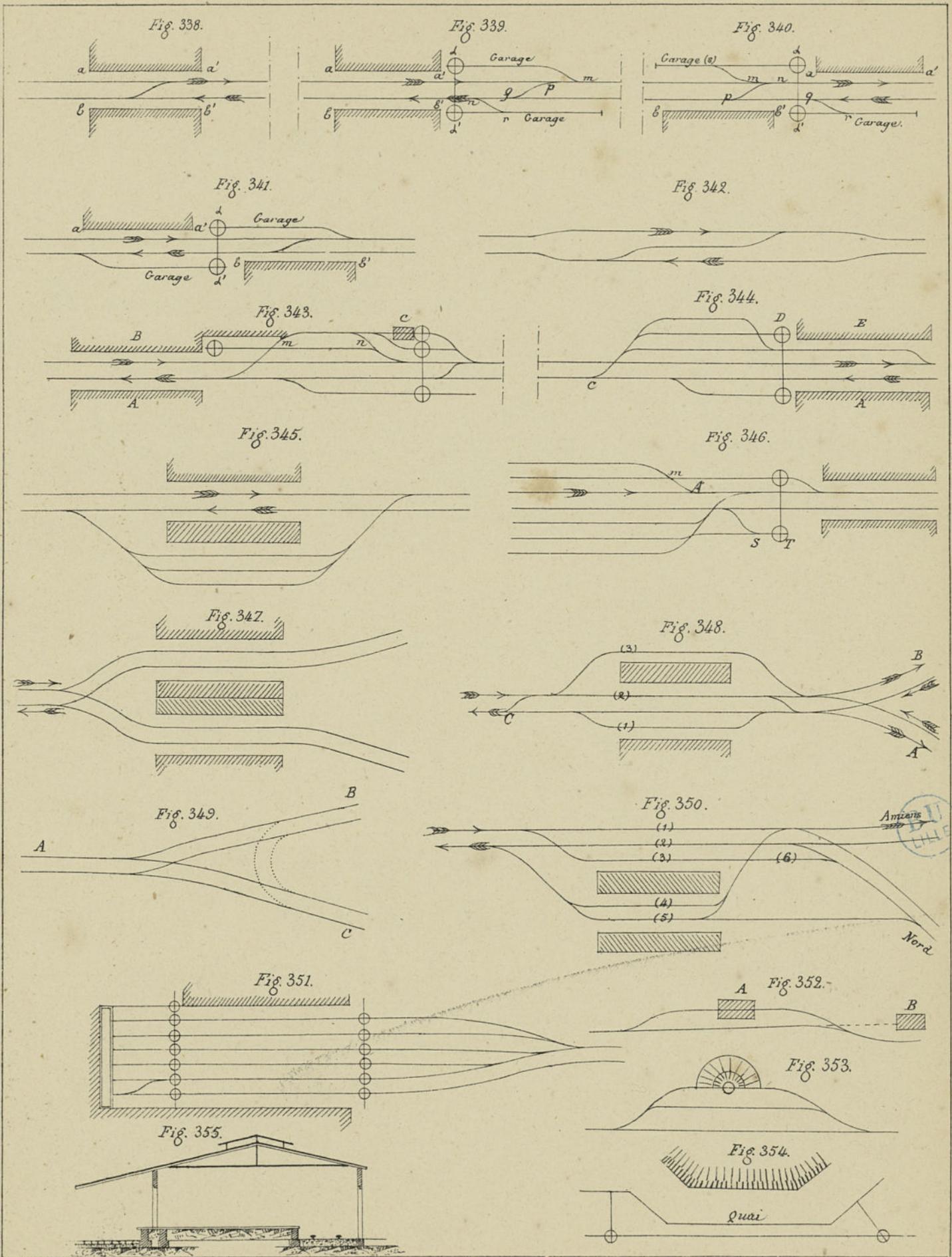


Fig. 356.

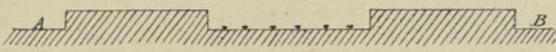


Fig. 357.

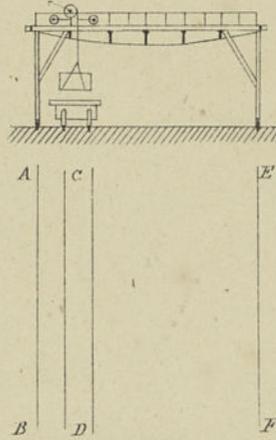


Fig. 358.

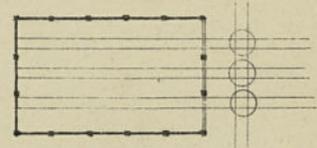


Fig. 359.

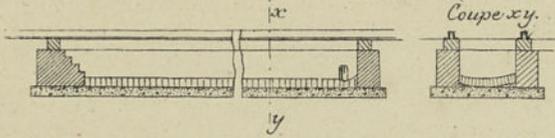


Fig. 360.

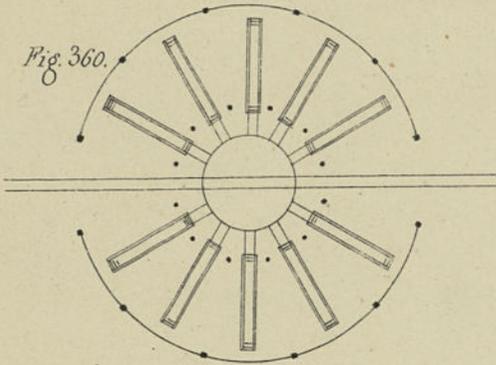


Fig. 361.

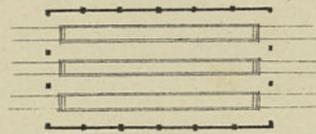


Fig. 362.

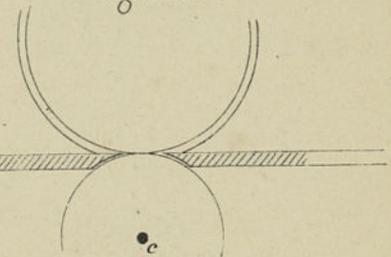


Fig. 364.

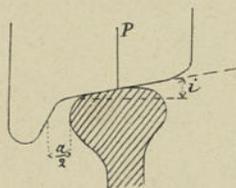


Fig. 363.

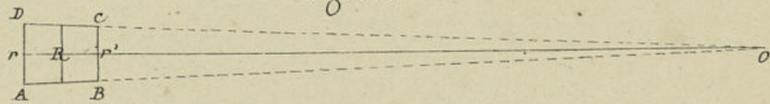


Fig. 365.

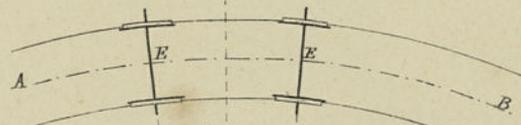


Fig. 364 bis

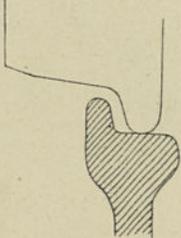


Fig. 366.

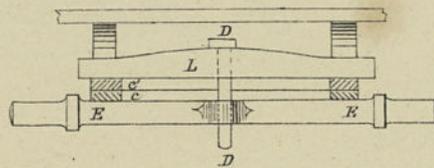


Fig. 367.

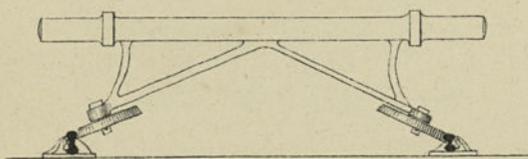


Fig. 368.

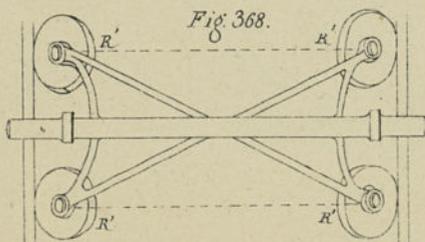


Fig. 370.

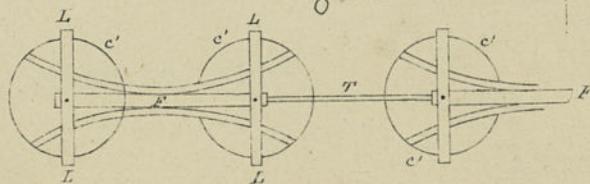


Fig. 369.

