Renaud
1807-10
M 3

Institut Industriel
du
Nord de la France

Cours
de
Chemins de Fer

Professé par M^r Le Goaster,
Ingénieur des Arts et Manufactures,
Inspecteur Principal de l'Exploitation
au Chemin de Fer du Nord.

Considérations générales

Il n'est pas besoin d'insister ici bien longuement sur les immenses avantages que l'industrie, le commerce, l'agriculture, et plus généralement toutes les branches de l'activité humaine, ont recueillis de la création et du développement rapide des chemins de fer.

Une véritable révolution économique et sociale en a été la conséquence: La durée des transports a subi, en même temps que les frais de transport, une réduction extraordinaire. Jadis, les relais de poste les mieux organisés ne permettaient pas de dépasser, pour les voyageurs, une vitesse de 10 kil. à l'heure, et le roulage des marchandises se faisait à une vitesse de 4 kil. environ. Avec les chemins de fer, la vitesse a été dès le début doublée pour les voyageurs et, pour atteindre de nos jours, avec les rapides, 110 à 120 kil. à l'heure.

Dès lors, les relations se sont étendues rapidement entre les diverses régions, les échanges de produits se sont multipliés, les installations industrielles ont pu se créer de divers côtés grâce à la facilité d'approvisionnements en matières premières. D'autre part, le service postal a subi un développement colossal qui a été, au point de vue social, l'un des bienfaits les plus appréciables de la création des chemins de fer.

Enfin, les facilités des voyages d'études, d'agrément ou de santé, ont contribué au bien-être des individus.

En envisageant les résultats acquis, on s'explique le développement rapide et considérable de l'industrie

des chemins de fer qui, créée assez tard dans la première moitié du siècle dernier, en devenue, par la force des choses, l'un des plus puissants facteurs du progrès.

L'étude des chemins de fer, intéressante pour le public, en raison des avantages immédiats qu'il en retire en, pour l'ingénieur en le chef d'industrie, éminemment fertile en exemples d'application des connaissances générales acquises dans le domaine de la construction, de la mécanique, des méthodes d'administration financière en d'exploitation.

L'industriel a besoin d'autre part, de connaître les questions de transport afin de tirer le meilleur parti des ressources qui lui sont offertes en des débouchés qui lui sont ouverts — à très longue distance parfois — pour l'écoulement de ses produits.

C'est la justification avant la lettre, de l'utilité pour des Élèves Ingénieurs, du Cours de Chemins de Fer que nous commençons aujourd'hui, en dans lequel nous envisagerons successivement :

l'historique en le régime financier,
la construction des voies,
le matériel roulant,
l'exploitation technique,
en l'exploitation commerciale.

Historique et Régime financier des Chemins de Fer

On désigne généralement sous le nom de Chemins de fer, des voies munies de rails métalliques, sur lesquelles circulent des trains remorqués par des locomotives.

Bien avant le siècle dernier, on s'était aperçu de l'avantage qu'il y avait à interposer des bandes de métal entre le sol et les roues des véhicules, afin de faciliter le roulement : Les Egyptiens et les Romains avaient mis en œuvre ce procédé, d'une façon rudimentaire il est vrai, sur des chantiers déterminés. Au commencement du XIXème siècle, les mines de houilles exploitées en Angleterre et en Allemagne pratiquaient avec la traction des voitures sur rails en bois garnis de fer, au moyen de chevaux. Mais, en l'absence de moteur à vapeur assez perfectionné, l'usage des voies ferrées était restreint à des exploitations de faible développement.

La création en 1830 de la "Fusée" de Stephenson, devait provoquer une application plus large des Chemins de fer. La "Fusée" présentait trois particularités remarquables maintenues depuis dans la locomotive : 1° application du principe de l'adhérence ; 2° emploi de la chaudière tubulaire inventée par Marc Séguin en 1828 ; 3° échappement de la vapeur dans une cheminée, en vue d'augmenter le tirage ; en pouvait remorquer en palier une charge de 13 tonnes à la vitesse de 22 kil. à l'heure. Le problème du transport plus rapide des voyageurs était ainsi résolu, de même que celui des grosses masses de marchandises.

Dès 1832 circulèrent en Angleterre, sur la ligne de Liverpool à Manchester, des trains atteignant 200 tonnes de poids brut remorqué (50 wagons), à une vitesse de 16 kil. à l'heure.

La première ligne de chemins de fer établie en France, fut celle de St Etienne à Andrézieux, construite entre 1823 et 1828. Destinée exclusivement au transport de la houille, elle ne comportait pas l'emploi de locomotives, la traction y était faite au moyen de chevaux.

Cette ligne et quelques autres créées aussitôt après, et uniquement affectées au transport des marchandises, furent concédées à perpétuité par l'Etat aux sociétés privées qui en avaient sollicité la concession: ligne de St Etienne à Lyon (1826), d'Andrézieux à Roanne (1828), d'Epinac au canal de Bourgogne (1830).

Avec l'apparition de la "Fusée", de nombreuses demandes en concession prirent naissance, et, du même coup, se posa pour l'Etat le problème du régime financier à adopter dans l'avenir.

Les voies ferrées, nouvelles voies de communication venant s'ajouter aux routes de terre et aux voies fluviales, devaient nécessairement ne pas être abandonnées au pouvoir de sociétés privées, en faire partie au contraire du domaine public, pour contribuer sous le contrôle et avec le concours financier de l'Etat, au développement de la richesse nationale.

Mais, il fallait choisir entre le principe du monopole de l'Etat, et celui de sociétés privées concessionnaires obligées de respecter les clauses de cahiers des charges établis par l'Etat. De vives discussions qui

retardèrent un moment l'établissement des lignes nouvelles projetées, aboutirent à l'adoption du régime des concessions temporaires, limitées au maximum à une durée de 99 ans.

La première de ces concessions temporaires fut celle de Montrond à Montbrison (1833), à laquelle s'ajoutèrent bientôt les lignes d'Orléans à la Grand-Combe (1833), Paris à St Germain (1835), Paris à Versailles (1836), Montpellier à Cette (1836).

Une crise financière qui survint à cette époque obligea plusieurs sociétés concessionnaires à demander la révision de leur cahier des charges. En 1840, la Compagnie d'Orléans obtint que sa concession fut portée de 70 à 99 ans, et que l'Etat lui garantit pendant un certain temps l'intérêt à 4% de la somme de 40 millions engagée dans son entreprise; l'Etat n'accordait ainsi que des avances qui devaient lui être remboursées quand le revenu net des actions dépasserait 4%. C'était une première application du système de la garantie d'intérêt.

Le système des concessions isolées, accordées au hasard des demandes, et sans plan d'ensemble, ne donnait que des résultats fort maigres: la France ne possédait en 1842 que 573 kilomètres de voies ferrées, éparses sur son territoire, en regard des 1.500 kilomètres exploités sur le reste du Continent et en Angleterre.

C'est alors qu'intervint la loi du 11 juin 1842 qui décidait la création de sept grandes artères rayonnant autour de Paris et se dirigeant:

sur la frontière belge par Lille et Valenciennes
sur l'Angleterre par Rouen et le Havre

sur l'Océan, par Toiro en Nantes,
sur l'Espagne, par Tours, Bordeaux en Bayonne,
sur le Centre en Toulouse, par Bourges,
sur la Méditerranée, par Lyon, Marseille en Cette,
enfin, sur l'Allemagne, par Nancy en Strasbourg;
en de deux transversales allant d'une part de la Méditerranée au Rhin, par Lyon, Dijon, Mulhouse, en d'autre part de la Méditerranée à l'Océan par Marseille, Toulouse en Bordeaux.

Aux termes de cette loi, l'acquisition des terrains était faite aux frais de l'Etat, les travaux d'infrastructure (travaux de terrassement, construction des ouvrages d'art en de la plateforme) étaient exécutés directement par l'Etat en à ses frais. Au contraire les travaux de superstructure (établissement de la voie de fer en du du ballast, aménagement des gares) la fourniture du matériel roulant en l'exploitation étaient laissés à la charge des compagnies concessionnaires. La loi fixait la durée, les conditions de l'exploitation en le tarif des droits à percevoir.

A l'expiration du bail, la valeur de la voie de fer en du matériel devait être remboursée aux Compagnies intéressées à dire d'experts. La dépense totale prévue pour ce premier réseau de 2.500 kilomètres était évaluée à 720 millions, soit 275.000 francs par kilomètre, dont 150.000 francs par kilomètre à la charge de l'Etat.

La loi de 1842 donna une vive impulsion au développement des chemins de fer en France; et, en dépit de la crise financière survenue en 1847 en de la crise politique de 1848 à 1851, le réseau français comptait, à la fin de 1851, un développement de 3.500 kilomètres en

exploitation, dont 552 kilomètres exploités par l'Etat et le surplus exploité par 27 Compagnies particulières. A ce moment l'Angleterre avait plus de 11000 kilomètres de voies ferrées, l'Allemagne 5800, et la Belgique près de 900.

Le second Empire donna dès son avènement, en 1852, un nouvel essor à la constitution du réseau français, groupa par régions les diverses lignes de chemins de fer, de manière à former 6 grandes Compagnies : Nord, Est, Ouest, Midi, Paris-Orléans et Paris-Lyon-Méditerranée, accorda de nouvelles concessions, unifia les cahiers des charges, et porta à 99 ans la durée des concessions. De 1852 à 1857, plus de deux milliards furent dépensés en construction de chemins de fer, et, à la fin de 1857, le réseau concédé aux 6 grandes Compagnies comptait plus de 16.000 kilomètres. Il y avait en outre 1000 kilomètres concédés à 8 Compagnies secondaires.

En raison du gros effort financier nécessité par ces constructions nouvelles, et insuffisamment compensé par les recettes du nouveau réseau, le crédit des Compagnies fut fortement ébranlé, et l'Etat, écartant la solution qui avait consisté à annuler la concession des lignes présumées les moins productives, prit le parti de subventionner les Compagnies sous forme de garantie d'intérêt, suivant le précédent établi en 1840 en faveur de la Compagnie d'Orléans.

En vertu des Conventions de 1859, passées entre l'Etat et les diverses Compagnies, et approuvées par les lois du 11 juin 1859, l'Etat garantit aux actionnaires un dividende minimum pendant 50 ans. Le taux de la garantie, fixé à 4%, fut porté à 4,65% pour tenir compte

de l'intérêt et de l'amortissement pendant 50 ans.

Toutefois cette garantie n'étant appliquée qu'aux lignes récemment concédées, les moins productives par conséquent, il fut spécifié qu'un certain revenu serait réservé aux lignes de l'ancien réseau (dividende réservé fixé à des chiffres un peu inférieurs à ceux que les lignes anciennes permettaient de distribuer les années précédentes) et qu'au delà de ce revenu, les recettes de ce réseau se déverseraient sur le nouveau pour couvrir en tout ou en partie l'intérêt garanti par l'Etat; ce fut le système dit du "déversoir".

Théoriquement, la garantie d'intérêt devait se traduire — pour un capital de 3132 millions — par une annuité maxima de 145.800.000 francs. Mais les réseaux du Nord et du P.L.M. n'y firent pas appel et, pratiquement les sommes avancées par l'Etat entre 1861 et 1870 varièrent de 15 à 31 millions par an, puis de 30 à 50 millions entre 1870 et 1880, époque où l'augmentation du trafic permit aux Compagnies de rembourser, en 1881, 6.500.000 francs, et, en 1882, 5.800.000 francs.

Les lois de 1859, approbatives des Conventions, spécifiaient, en effet, que les sommes versées par l'Etat à titre de garantie, devaient lui être remboursées avec les intérêts à 4 %, dès que les produits du nouveau réseau dépasseraient l'intérêt garanti. En outre, les Compagnies s'engageaient toutes à partager avec l'Etat, à partir de 1872, la portion de leur revenu qui excédait une valeur déterminée pour chacune d'elles. Sous l'effet salutaire de ces conventions, le crédit des Compagnies se raffermit, et il leur fut possible de se procurer les fonds nécessaires à la construction des lignes restant à construire.

Dans la période comprise entre 1860 et 1870 de nouvelles lignes furent d'ailleurs ajoutées aux concessions anciennes, de sorte qu'à la fin de 1870, la longueur totale des lignes en exploitation était de 17.500 kilomètres environ, (exactement 17.464), sur une longueur de lignes concédées voisine de 23.500 kilomètres.

Dans l'intervalle, la loi du 12 juillet 1865 avait autorisé les départements et les communes à exécuter eux-mêmes ou à concéder des chemins dits d'intérêt local, construits et exploités à meilleur compte, destinés à desservir des centres moins importants que les lignes du réseau d'intérêt général, auxquelles ils servaient d'affluents.

Malgré la perturbation amenée dans les travaux par la guerre de 1870, et la cession à l'Allemagne de 835 kilomètres de lignes du réseau de l'Est, le développement des chemins de fer français se poursuivit et la situation était la suivante à la fin de l'année 1875 : le réseau général comptait 18.000 kilomètres en exploitation sur une longueur totale de 26.000 kilomètres de lignes concédées, dont 23.600 concédés aux 6 grandes Compagnies, et le reste, soit 2.700 kilomètres environ, concédé à 35 Compagnies secondaires ; quant au réseau d'intérêt local, il comportait 1804 kilomètres de lignes à voie normale en exploitation, sur une longueur totale concédée de 4382 kilomètres.

A ce moment, un certain nombre de Compagnies secondaires et de Compagnies concessionnaires de lignes d'intérêt local éprouvèrent des embarras financiers les empêchant de poursuivre la construction et l'exploitation des lignes, ou les acculant même à la faillite. Dans la session des Chambres, le Gouvernement présenta

en janvier 1878, un projet de loi comportant le rachat de 2.615 kilomètres de lignes d'intérêt général et d'intérêt local provenant de ces Compagnies et leur incorporation dans le réseau général. Ce fut l'origine du réseau du Chemin de fer de l'Etat, dont les dépenses d'acquisition — voies et matériel roulant, et mise en état de certaines lignes — se chiffrant à 500 millions environ (200.000 francs par kilomètre de ligne) furent converties par une émission de 3 % amortissable (juin 1878).

Un peu plus tard, la loi du 17 juillet 1879, élaborée à la suite d'une enquête générale prescrite par le ministère Freycinet, classait définitivement dans le réseau complémentaire d'intérêt général 181 lignes nouvelles (dont un certain nombre ayant fait l'objet de concessions précédentes à titre d'intérêt local) d'une longueur totale de 8648 kilomètres, et dont l'exécution devait se faire progressivement, indépendamment de la construction ou de l'achèvement de 8.300 kilomètres de lignes concédées antérieurement. Ce programme de 1879, qu'on a appelé le programme Freycinet, devait compléter le réseau général de la France, et on évaluait alors à 340 millions par année pendant 10 ans l'effort financier à produire pour sa réalisation complète. Les lignes nouvelles, construites par l'Etat, devaient être exploitées les unes par lui même, les autres par les 6 grandes Compagnies au compte de l'Etat en vertu de traités provisoires.

La charge devint vite trop lourde pour le budget de l'Etat, qui devait supporter le déficit d'exploitation des lignes nouvelles. La crise financière qui survint en 1882 empêchant l'Etat de faire appel à de nouveaux

crédits l'obligea à recourir au crédit des Compagnies en vue de l'achèvement et de l'exploitation du 3ème réseau. Ce fut l'objet des Conventions de 1883 qui, à l'inverse des précédentes Conventions, n'avaient pas pour but de venir en aide au crédit des Compagnies.

Il convient de dire ici que la situation des Compagnies était devenue exceptionnellement brillante, surtout pendant les dernières années : les recettes du réseau d'intérêt général s'étaient, en effet, accrues de 923 millions pour 22.000 kilomètres exploités en 1879, à 1.100 millions en 1.882 pour 25.500 kilomètres en exploitation. Les Compagnies de l'Est, d'Orléans et du Midi qui avaient fait appel chaque année à la garantie d'intérêt jusqu'en 1879, avaient commencé à rembourser leur dette en, seule, la Compagnie de l'Ouest continuait en 1882, à recourir aux avances de l'Etat. Le moment paraissait donc propice pour exiger des Compagnies, sous certaines conditions de garantie, une participation effective dans l'accomplissement du programme Freycinet.

Les Conventions de 1883, approuvées par les lois de juin 1883, avaient été négociées avec les diverses Compagnies sur les bases suivantes :

Les Compagnies acceptaient la concession d'un certain nombre de lignes nouvelles en exploitation ou à ouvrir, s'engageaient à fournir l'outillage et le matériel roulant nécessaires, et à contribuer aux dépenses de constructions jusqu'à concurrence de 25.000 francs par kilomètre, le surplus devait être fourni par l'Etat (seule la Compagnie du Nord faisant exception à cette formule s'engageait à mettre à la disposition de l'Etat, un fonds

de concours de 90 millions, non compris le matériel roulant, le matériel, le mobilier et l'outillage des gares).

Les Conventions nouvelles, supprimant la distinction qui avait été établie en 1859 entre les recettes et dépenses annuelles de l'ancien et du nouveau réseau (1er et 2e réseau) précisaient qu'à l'avenir on établirait annuellement un compte unique, pour servir de base au calcul de la garantie de l'Etat. Pour le Nord et le Paris-Lyon-Méditerranée la garantie de l'Etat continuait à s'appliquer seulement aux dépenses faites sur le nouveau réseau.

Sur le produit net du compte unique, les Compagnies devaient prélever les sommes nécessaires au paiement des intérêts et à l'amortissement (au taux de 4,65%) du capital obligations. Si le surplus ne suffisait pas pour servir aux actionnaires un dividende garanti, l'Etat s'engageait à avancer les sommes nécessaires pour parfaire le montant exigé. Au contraire, en cas d'excédent des recettes annuelles pour assurer le paiement de ce dividende garanti, cet excédent devait être affecté d'abord au remboursement des avances faites par l'Etat dans les années précédentes au titre de la garantie d'intérêt, puis, après extinction de cette dette, à l'augmentation du dividende servi aux actionnaires, jusqu'à concurrence d'un certain maximum défini pour chacune des Compagnies (dividende réservé). Les bénéfices disponibles excédant le service de ce dividende réservé, devaient être partagés avec l'Etat dans la proportion de deux tiers pour l'Etat et un tiers pour la Compagnie.

Les Conventions précisaient en outre que les tarifs du transport des voyageurs seraient réduits, le jour où l'Etat

réduirait lui-même l'impôt.

La plus value sur les recettes, qui s'était manifestée dans les années précédentes pour atteindre son maximum en 1882, cessa dès 1883, et, en dépit d'économies réalisées sur les dépenses d'exploitation, dès 1884, toutes les Compagnies, sauf la Compagnie du Nord, firent appel à la garantie d'intérêt, de sorte que la dette totale des cinq autres grandes Compagnies atteignait, en 1886, le chiffre de 82 millions. Cette période de crise marqua le début d'un ralentissement notable dans les travaux neufs, afin de retarder le grossissement des annuités à la charge de l'Etat; ce ralentissement se prolongea, même après une reprise de la progression des recettes, pour tenir compte des charges nouvelles créées par les prescriptions ministérielles de 1899 concernant la réglementation du travail. L'achèvement complet des travaux du programme Freycinet, envisagé au début comme ne devant guère dépasser 1893, en fut retardé de plus de 15 ans.

La dette des Compagnies envers l'Etat, qui atteignait, pour les grands réseaux, le chiffre de 100 millions en 1893, diminua ensuite jusqu'en 1899, époque à laquelle deux Compagnies seulement, l'Ouest et le Midi, faisaient encore appel à la garantie pour 9 millions, alors que l'Orléans et l'Est commençaient à rembourser leur dette, et que le réseau Paris-Lyon-Méditerranée avait remboursé complètement la sienne. Les charges créées par les prescriptions ministérielles concernant la réglementation du travail ont contribué, depuis 1899, à obliger momentanément certaines Compagnies, comme l'Est et le P.L.M., à faire appel à nouveau

à la garantie d'intérêt.

Les prévisions des législateurs de 1883, en ce qui concernait un partage éventuel relativement proche des bénéfices, ne se sont donc pas réalisées jusqu'ici, les charges imposées aux Grandes Compagnies tant par les Conventions de 1883 que par les nouvelles réglementations ayant été trop lourdes. Quoi qu'il en soit, après ces alternatives de construction active et de ralentissement, le développement du réseau des chemins de fer français dépassait 40.000 kilomètres en 1907, pour un capital de premier établissement de plus de 18 milliards. Les chiffres correspondants étaient de plus de 300.000 kilomètres pour l'Europe entière et de 900.000 kilomètres pour le monde entier.

Je terminerai cet historique rapide des chemins de fer français, en rappelant que le réseau de l'Ouest a été racheté en 1908 et fusionné avec l'ancien réseau d'Etat. La loi du 19 décembre 1908 posa le principe de la reprise par l'Etat des concessions de la Cie de l'Ouest en spécifia d'une manière générale, que le réseau racheté à la date du 1er janvier 1909 serait administré provisoirement dans les mêmes conditions que le réseau antérieur des chemins de fer de l'Etat, les recettes et dépenses de l'exploitation devant faire l'objet d'un budget annexe, rattaché pour ordre au budget général de l'Etat. L'organisation et l'administration définitives devaient être fixées par une loi spéciale. Le prix de rachat fut négocié à l'amiable entre la Compagnie et le Ministre des Travaux publics sur les bases suivantes :

L'Etat paiera à la Cie de l'Ouest pour chacune des années à courir depuis le 1er janvier 1909 jusqu'à la date du 31 décembre 1956, fixée antérieurement pour l'achèvement

de la concession : 1° une somme de 11.550.000 francs constituant le revenu des actionnaires, augmenté du fonds affecté d'amortissement des actions jusqu'au 1er janvier 1952 ; 2° les charges principales et accessoires de tous les emprunts émis par la Compagnie.

La Compagnie a remis à l'Etat, en même temps que le chemin de fer, ses dépendances, le matériel roulant, les approvisionnements en objets mobiliers de toute nature, la totalité de son actif, y compris ses réserves (à l'exception de la réserve spéciale des actionnaires) et les fonds de la caisse des retraites. Mais il est entendu que ce règlement amiable doit éteindre du même coup la créance de l'Etat sur la Compagnie au titre de la garantie d'intérêts. Une convention intervenue le 29 octobre 1908, entre l'Etat et la Cie d'Orléans, comporte la reprise par l'Etat de la ligne de Tours à Nantes et à St Nazaire, de la ligne de Tours au Mans et des lignes de Bretagne, et la cession à la Cie d'Orléans de quelques petites lignes situées au sud de la ligne de Paris à Bordeaux par Vendôme et Tours. Cette dernière ligne devient donc à l'avenir la frontière du réseau d'Orléans et du réseau de l'Etat. En échange l'Etat doit faire remise à la Cie d'Orléans de la dette contractée au titre de la garantie d'intérêts (dette évaluée en capital et intérêts à la somme de 219 millions) et versera en outre à cette Compagnie une annuité de 15.420.000 francs, jusqu'au 31 décembre 1915 et de 13.700.000 francs de 1915 jusqu'en 1956.

L'exécution de cette Convention donnera au réseau d'Etat l'homogénéité qui lui faisait totalement défaut et qui était préjudiciable à l'organisation rationnelle du service des trains et de la tarification.

Etude de la Voie

L'établissement d'une ligne de chemins de fer est soumis à l'étude du trafic probable auquel elle devra faire face en des conditions de son utilisation.

Ce trafic comprend le trafic local qui prend naissance dans les localités à desservir ou y aboutit, et le trafic de transit qui résulte de la situation de la nouvelle ligne entre les lignes voisines.

Le trafic local comprend deux éléments : le trafic de Grande Vitesse (voyageurs, messageries ....) et le trafic de Petite Vitesse. L'évaluation de chacun de ces éléments dépend de méthodes empiriques ou de méthodes d'observation.

L'étude ainsi entreprise fera connaître le rôle de la ligne à construire, et par suite, permettra de déterminer si cette ligne doit donner passage à des trains de voyageurs à marche rapide, à des trains lourds de marchandises ou si elle n'a à assurer qu'un faible trafic local. Dans le premier cas, on saura qu'il faut adopter dans les courbes, de grands rayons supérieurs à 500 mètres, ne pas dépasser autant que possible des rampes supérieures à 10 m/m. Dans le deuxième cas, au contraire, la ligne pourra comporter des rayons allant jusque 150 mètres, et supporter des déclivités de 20 m/m en plus.

Cet exposé sommaire montre que les conditions à remplir par une ligne ont une influence énorme sur son tracé, et pour y répondre, cette ligne devra parfois faire des détours souvent considérables entre les villes et points importants à desservir.

Influence de la voie sur la traction des trains. — Avant d'aborder l'étude de la voie proprement dite, il est nécessaire d'analyser l'influence de la voie et des conditions de son tracé sur la traction des trains. Et pour cela nous rechercherons successivement comment se comportent les locomotives attelées aux trains, comment elles progressent sur les rails et quelles variations de rendement peuvent résulter pour elles de l'existence de courbes de faible rayon et de déclivités très accentuées.

La substitution de la voie de fer aux chaussées empierrées a eu pour avantage de réduire la résistance au roulement dans le rapport de 30 kilogs à 3 kilogs par tonne ; il y avait donc là un élément d'une grande valeur au point de vue de l'économie des transports.

A coté de cet immense avantage, l'adoption de roues à bandages métalliques se déplaçant sur un chemin de roulement métallique devait créer au point de vue de la progression des machines motrices certaines difficultés. Nous allons voir dans quelles conditions cette progression peut se faire en vertu du principe de l'adhérence.

Principe de l'adhérence. — La locomotive, pour se mouvoir, prend son point d'appui sur le rail, la roue motrice agissant à la façon d'une roue dentée avançant sur une crémaillère fixe. Dans le cas d'une véritable crémaillère, l'avancement de la machine aurait lieu quelle que soit la charge appliquée sur la roue motrice ; mais si on imagine au contraire que les dents en prise se réduisent de plus en plus jusqu'à s'annuler, on conçoit qu'à ce moment, si la charge est négligeable la roue ne mordra plus et patinera, c'est-à-dire glissera sur le rail.

sans avancer. Si on augmente la charge sur la roue motrice — l'effort tangentiel transmis par le moteur à la jante de cette roue restant le même — il arrivera un moment où la résistance produite par cette charge s'opposera au glissement de la roue motrice et l'emportant même sur ce dernier, permettra l'avancement de la machine sous l'action de l'effort du moteur.

Cette résistance proportionnelle à la charge supportée par les roues motrices est ce qu'on appelle l'adhérence; c'est en somme le frottement de glissement des roues motrices sur le rail.

Pour que la locomotive se meuve, il faut que l'effort tangentiel exercé par le moteur à la jante des roues soit inférieur à la valeur du frottement de glissement de ces roues sur le rail, c'est-à-dire inférieur à l'adhérence.

Le coëfficient d'adhérence varie, avec l'état du rail, entre 1/4 et 1/10 ou 1/11. Il peut atteindre 1/4 lorsque le rail est très sec ou très mouillé, on descendre à 1/10 lorsque le rail est seulement humide (comme dans les souterrains) ou recouvert de matières grasses ou de feuilles mortes. On l'augmente artificiellement, le cas échéant, en répandant du sable sur le rail. Dans des conditions moyennes, on l'évalue à 1/6 ou 1/7, ce qui signifie que l'adhérence d'une machine est en moyenne représentée par 1/6 ou 1/7 de la charge p portée directement par l'essieu moteur.

Si on représente par T l'effort tangentiel à la jante des roues motrices, on peut écrire, d'après le principe de l'adhérence : $T \leq p \times 0{,}155$.

D'autre part, l'effort tangentiel T transmis par le moteur doit égaler à chaque instant la somme des résistances à vaincre pour déplacer le train tout entier.
Ces résistances sont de divers ordres :
— résistance propre du mécanisme même de la locomotive.
— frottement de roulement ou de glissement des bandages en des boudins des roues des véhicules.
— frottement des essieux dans les boîtes à graisse.
— résistance opposée par l'air.
— résistance due aux courbes.
— résistance due aux déclivités.

Nous les examinerons séparément plus tard, lors de l'étude de la locomotive.

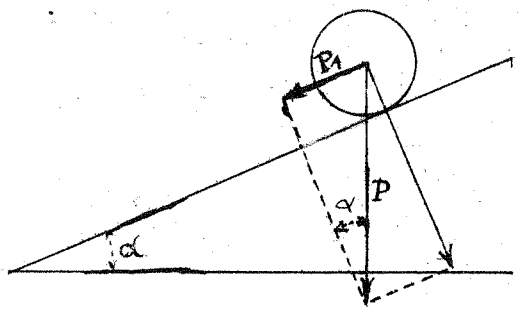
Leur ensemble, pour un train de voyageurs dont la vitesse ne dépasse pas 60 kilomètres à l'heure, peut, d'après les expériences de M. Deodonito, être calculé avec une approximation suffisante au moyen d'une formule empirique de la forme :

$$R = P\left(1^{k}50 + 0{,}0007 V^2\right) + P'\left(1^{k} + 0{,}17\, V\right) + (P+P')\left(d + \frac{750}{\rho}\right)$$

dans laquelle R est la résistance exprimée en kilogrammes, P' le poids de la machine en tonnes, P le poids en tonnes de l'ensemble des autres véhicules du train, V la vitesse en kilomètres à l'heure, d la déclivité en millimètres par mètre, et ρ le rayon de la courbe exprimé en mètres.

Si dans cette formule on fait $d = 0$ et $\rho = \infty$, le 3e terme s'annule et on obtient la résistance du train en ligne droite et en palier, représentée par l'ensemble des deux premiers termes dont le premier représente la résistance des véhicules du train, le second la résistance de la machine.

Pour un train de voyageurs marchant à une vitesse de 40 à 50 kilomètres à l'heure, cette résistance, en ligne droite et en palier, est de 3 à 4 kilogrammes par tonne. Dans cette formule l'influence de la rampe se présente sous la forme (P+P') d qu'on peut établir à l'aide des considérations suivantes :



La résistance en palier (due aux frottements de roulement ou de glissement des bandages ou des boudins des roues des véhicules, au frottement des essieux dans les boîtes à graisse et à la résistance de l'air) s'accroît en rampe de la composante P_1 de la pesanteur.

Le rapport de cette composante P_1 au poids total P est égal au sinus de l'angle α.

$$P_1 = P \sin.\alpha$$

Or si on désigne par d, exprimé en millimètres par mètre, la déclivité on a :

$$\frac{d}{1000} = \text{tg}.\alpha$$

d'où : $$P_1 = P \frac{\text{tg}.\alpha}{\sqrt{1+\text{tg}^2\alpha}}$$

ou, en négligeant $\text{tg}^2\alpha$ qui est toujours très petit par rapport à l'unité, on a sensiblement :

$$P_1 = P \times \frac{d}{1000}$$

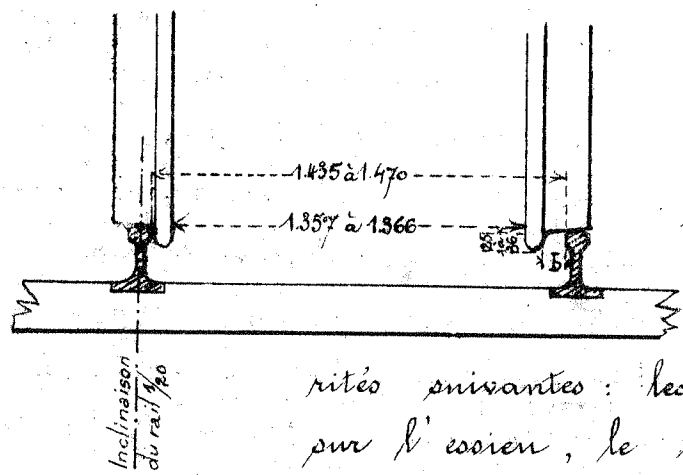
ce qui revient à dire qu'on obtient en kilogrammes la valeur de la résistance due à la déclivité, en multipliant le poids traîné (exprimé en tonnes) par la déclivité (exprimée en millimètres par mètre)

Dans l'exemple considéré précédemment, on calcule

ainsi d'une rampe de 3 à 4 m/m par mètre seulement fait doubler l'effort de traction en palier. Une rampe de 10 à 12 m/m par mètre quadruplerait cet effort.

Ces chiffres font ressortir tout l'intérêt qui s'attache à la limitation des déclivités acceptables dans les tracés de chemins de fer. Il est évident que la locomotive étant un moteur doit, pour conserver un bon rendement, fonctionner avec des variations de travail aussi faibles que possible : le passage des parties de lignes en déclivité prononcée occasionne des réductions importantes de la vitesse.

La résistance due aux courbes est aussi très importante. Elle est la résultante de trois actions distinctes : 1° frottement occasionné par la solidarité des roues, 2° frottement occasionné par le parrallélisme des essieux, 3° force centrifuge. Comme nous le verrons plus loin, le matériel roulant des chemins de fer présente les particularités suivantes : les deux roues sont calées sur l'essieu, le parrallélisme des essieux est invariable, sauf un jeu de quelques millimètres laissé entre les plaques de garde et les boîtes à graisse, les bandages des roues sont légèrement tronconiques et raccordés par un chanfrein à un mentonnet ou boudin qui fait saillie à l'intérieur des rails en laissant un jeu b de 15 à 45 m/m.



Le calage des roues sur l'essieu a été adopté pour éviter une dislocation que les vitesses et les choc

réitérés pouvaient faire craindre à juste titre. Mais, alors que dans les véhicules sur routes les roues tournant folles sur l'essieu peuvent développer des pistes de longueur différente dans les courbes, la solidarité des roues d'un essieu de wagon oblige ces roues solidaires à suivre des parcours de longueur différente dans les parties en courbe ; la roue qui suit la courbe de plus petit rayon éprouve alors une résistance par suite du glissement. La conicité donnée aux bandages vient agir comme correctif pour l'action de la force centrifuge en faisant rouler les deux roues sur des circonférences de diamètres différents.

D'autre part, le parallélisme des essieux d'un même véhicule s'oppose à ce que ces essieux prennent la position qu'ils devraient occuper dans les courbes de faible rayon et qui serait celle de deux lignes convergeant au centre de ces courbes. Pour que le wagon puisse néanmoins s'inscrire dans la voie sans que le frottement du boudin de la roue extérieure contre le rail soit trop grand, il faut que la voie présente un certain jeu dans son écartement, mais ce jeu qui existe comme nous l'avons dit, permet seulement d'atténuer les effets du frottement des boudins des roues, sans les supprimer complètement.

L'action de la force centrifuge qui entraîne un frottement des mentonnets contre le rail extérieur, est corrigée dans la mesure du possible par le surhaussement donné au rail extérieur

Quels que soient les artifices employés pour en atténuer les effets, les courbes apportent une résistance additionnelle importante, qui, d'après les expériences de

M. Desdouits, peut être calculé d'une façon suffisamment approchée par la formule :

$$R_c = (P+P')\frac{750}{\rho}$$ pour une voie normale

ou, plus généralement : $R_c = (P+P')\frac{500\,l}{\rho}$ pour une ligne dont la largeur de la voie est l et le rayon moyen de la courbe, ρ.

On voit immédiatement qu'à une courbe de 375 mètres de rayon correspond une résistance supplémentaire de 2 kilogo par tonne.

Pratiquement, sur les grandes artères, les courbes de 800 mètres sont fréquentes (elles n'ajoutent pas 1 kilog de résistance supplémentaire par tonne remorquée) mais il faut autant que possible se tenir à un rayon minimum de 500 mètres, et, en tous cas, on ne doit jamais descendre au dessous de rayons de 300 mètres. Dans les gares, ou sur certaines parties de lignes où la circulation se fait à faible vitesse, les courbes doivent autant que possible être supérieures à 250 mètres, mais peuvent à la rigueur descendre à 180 et même 150 mètres.

Ces considérations démontrent que dans l'étude du Tracé il faut tenir le plus grand compte de l'influence des courbes et des déclivités, même dans l'étude des lignes secondaires, car pour celles-ci il faut envisager l'accroissement inévitable du trafic au-delà des prévisions primitives.

Etude du tracé

Les circulaires du Ministère des Travaux Publics en date des 28 Juin et 30 Juillet 1879 (contemporaines du grand programme Freycinet) indiquent l'ordre et la forme à suivre pour la production des pièces relatives à la construction d'une ligne de chemins de fer, ainsi que les formalités à accomplir. Elles donnent, en même temps, pour la rédaction des projets, des types courants qui sont recommandés à l'attention et au choix des Ingénieurs.

La circulaire du 28 Juin 1879 groupant et coordonnant les instructions réglementaires contenues dans diverses lois, ordonnances ou circulaires antérieures, a donné, en particulier, la nomenclature et la composition des dossiers à fournir à l'Administration supérieure et qui sont les suivants :

Dossier A. — Avant-projet.
- A'. — Enquête d'utilité publique.
- B. — Projet de tracé et de terrassements.
- B'. — Désignation des territoires traversés.
- C. — Enquête sur le nombre et l'emplacement des gares et stations.
- D. — Enquêtes parcellaires.
- E. — Projet d'exécution.
- F. — Arrêté de cessibilité — Expropriation.
- G. — Prise de possession d'urgence des terrains.
- H. — Estimations — Cessions amiables.
- J. — Offres locales — Constitution et opérations du jury

Dossier K. — Formalités relatives au paiement des indemnités.

L. — Occupations temporaires de terrains.

M. — Récolement, réception en remise des ouvrages aux services intéressés.

Cette énumération indique les phases successives de l'enquête administrative qui suit toute demande en concession de ligne nouvelle.

Le dossier de l'avant-projet doit comporter à lui seul :

1° une carte au 1/80.000e;

2° un plan d'ensemble au 1/40.000e avec courbes de niveau;

3° un profil en long d'ensemble au 1/10.000e pour les longueurs et au 1/2000e pour les hauteurs;

4° des profils en travers au 1/100e pour les longueurs et pour les hauteurs;

5° un devis descriptif;

6° une évaluation sommaire des dépenses;

7° un procès-verbal de conférence entre les Ingénieurs ordinaires des divers services intéressés;

8° des rapports dans lesquels les Ingénieurs ordinaires discutent les questions soulevées par l'étude de l'avant-projet (tracé, alignements en courbes, profils, terrassements, ouvrages d'art, stations, superstructure et matériel roulant, bases d'estimation des dépenses, trafic probable et appréciation des avantages de l'entreprise) et fournissent leurs conclusions motivées, sur le vu desquelles l'Administration supérieure décide s'il convient de donner suite à l'avant-projet et de procéder à l'enquête d'utilité publique et aux études définitives.

Conditions d'un bon tracé. — Un bon tracé doit satisfaire aux conditions principales énumérées ci-après :

1° éviter les courbes de trop faible rayon et les déclivités trop prononcées ;

2° réduire le cube des terrassements, en épousant, autant que possible, la forme du terrain, tout en respectant la condition précédente ;

3° éviter les traversées fréquentes des routes et cours d'eau et choisir avec soin les points de traversée des cours d'eau, dans le but de réduire les dépenses de construction aux ouvrages d'art reconnus indispensables ;

4° arrêter judicieusement les emplacements des gares et stations sur un terrain peu accidenté, (car, en raison de la largeur des emprises sur ces points spéciaux, les terrassements risqueraient d'être trop importants) les prévoir dans le voisinage d'une route et à une distance suffisante des localités pour que des extensions soient réalisables dans l'avenir, les disposer, autant que possible, en ligne droite et en palier, ou en déclivité ne dépassant pas 2 m/m par mètre sur une longueur de 800 ou tout au moins 500 mètres ;

5° passer à l'écart des propriétés bâties, des cimetières, des établissements industriels, afin de supprimer des formalités et des frais d'expropriation trop onéreux ;

6° ménager un alignement de plus de 100 mètres entre deux courbes consécutives de sens contraire (pour écarter une cause de déraillement) et, d'autre part, un palier d'au moins 100 mètres entre deux déclivités de sens contraire (pour éviter des réactions et des ruptures d'attelage).

7° éviter autant que possible de traverser en déblai les terrains argileux, qui exigent toujours des frais de main-d'œuvre supplémentaires pour assainissement en consolidation.

8° rechercher la possibilité d'établir les souterrains en alignement droit et avec des pentes très minimes, l'adhérence des locomotives y étant toujours plus faible qu'à ciel ouvert, à cause du degré d'humidité persistant.

Etudes définitives

En général, le tracé à étudier est donné par ses deux extrémités et passe par un ou plusieurs points intermédiaires. Le problème à résoudre consiste à desservir, entre ces points extrêmes et intermédiaires imposés, autant de centres de population qu'il est possible, tout en adoptant la voie la plus directe et la plus économique.

S'il n'y a pas de méthode mathématique pour faire un tracé, il y a toutefois une méthode parfaitement pure, qui est celle des approximations successives.

Le dossier B — projet de tracé et de terrassements — qui doit fixer les résultats des études définitives comporte, comme l'avant-projet: Carte au 1/80.000e, plan au 1/40.000 avec courbes de niveau et plan au 1/10.000e, profil en long d'ensemble au 1/40.000e pour les longueurs et au 1/2000e pour les hauteurs, profils en travers types au 1/100e pour les longueurs et pour les hauteurs, devis descriptif et estimation sommaire des dépenses. Il doit comporter en outre: profil en long, au 1/10.000e pour les longueurs et au 1/1000

pour les hauteurs ; profils en travers spéciaux au 1/200e pour les longueurs et pour les hauteurs, avant-métré et bases d'estimation des ouvrages.

Carte au 1/80.000e. — La carte au 1/80.000e est celle de l'Etat Major et se trouve dans le commerce en feuilles séparées ; on assemble ces feuilles pour obtenir une carte d'ensemble de la région que la nouvelle ligne doit desservir, et on peut alors étudier sa *direction générale*, en tenant compte du relief (figuré par les hachures) et de l'importance des agglomérations à desservir (qu'on peut indiquer par un cercle teinté en rose et dont la surface est proportionnelle à la population). Sur cette carte au 1/80.000e on peut donc figurer à l'encre rouge la direction générale du tracé de la ligne, en même temps qu'avec des encres de couleurs distinctes (bleu, vert, etc..) celles des variantes qui pourraient être intéressantes. On complète ce tracé approximatif par l'indication des kilomètres et la position des stations.

Carte au 1/40.000e. — Ce travail préliminaire terminé, il faut pousser l'étude plus à fond sur certains points intéressants, ce qui ne peut se faire sur les cartes au 1/80.000e, qui sont trop chargées et à échelle trop restreinte. Le dépôt des cartes et plans du Ministère de la Guerre fournit aux services d'études, sur leur demande et à leurs frais, des calques de sa carte au 1/40.000e avec courbes de niveau espacées de 10 mètres en 10 mètres, et sur lesquelles il est plus facile d'étudier les points de détail, en prenant la peine de teinter les courbes de niveau suivant leur altitude pour en faciliter la lecture : la simple perception des couleurs différentes

permet en effet de connaître pour un point quelconque, la côte approximative de hauteur au-dessus du plan de comparaison.

A l'aide de la carte on précise la direction générale à adopter en suivant de préférence les vallées, en recherchant pour la traversée des faîtes, ceux des cols qui sont le plus facilement accessibles, en égard aux limites qu'on s'est assignées pour les rayons des courbes et des déclivités. On dresse alors un premier profil en long au moyen des cotes fournies par les courbes de niveau.

Étude sur le terrain.— Cette étude faite avec la carte au 1/40.000e (ou avec des cartes ordinaires mentionnant les cours d'eau et complétées par des cotes relevées au baromètre, si on opère en pays étranger), on a localisé, pour chacune des variantes retenues, la largeur de la zône à étudier plus en détail pour reconnaître avec certitude celui des tracés qui doit être préféré aux autres.

Cette étude de détail doit être faite sur le terrain. Pour chacune des zônes à étudier, on lève le plan coté du terrain, en opérant soit par triangulation, soit au moyen d'une ligne de base et de profils en travers. La première méthode est préférable si le pays est plat et très cultivé : on fait alors les levers en suivant les chemins, les limites de propriétés, le bord des ruisseaux, et en prenant soin de fermer les nivellements sur des points déjà nivelés. En pays accidenté, il vaut mieux, au contraire, employer la méthode des profils en travers; mais, dans ce cas, il faut faire bien vérifier la ligne de base et, si les profils en travers sont très longs,

les rattacher entre eux ou à des repères sûrs.

Quelle que soit la méthode employée par l'opérateur sur le terrain, les résultats sont transcrits sur le papier à l'échelle du 1/2000e, avec l'indication de toutes les cotes réellement levées, et on complète le plan coté ainsi obtenu, en traçant les courbes de niveau espacées de 2m en 2m et teintées en couleurs différentes, et en indiquant en outre, sur l'emplacement des ravins ou des dénivellations brusques, toutes les cotes supplémentaires indispensables pour en bien définir la forme et faciliter l'évaluation exacte de la cubature des terrassements.

Sur le plan coté au 1/2000e on indique encore les constructions, les clôtures, les chemins de toute espèce et les cours d'eau traversés par la ligne, en s'aidant des plans cadastraux si on les juge exacts (ces plans qui se trouvent dans les mairies des communes traversées sont en général établis à l'échelle du 1/10.000).

Il est bon d'ailleurs de former, avec les extraits des plans cadastraux, un plan d'assemblage au 1/10.000e qui est celui sur lequel doit être traduit le tracé définitif arrêté d'après les études de détail faites sur le plan coté au 1/2000e. Au cours de l'étude de détail, on doit en tout cas s'assurer que les tracés envisagés successivement ne viennent pas couper sur les plans cadastraux des propriétés qu'on peut avoir intérêt à éviter.

Etude dans le bureau. — On arrive alors à faire dans le bureau, sur le plan coté au 1/2000e, une étude détaillée du tracé en recherchant, par des approximations successives la meilleure répartition des pentes en des rampes, la meilleure position pour les ouvrages d'art et les traversées de chemins, le minimum du cube des

terrassements. Si, pour déterminer certains points, on reconnait que les cotes dont on dispose sont insuffisantes, il ne faut pas hésiter à retourner sur le terrain. Après quoi, on choisit parmi les variantes, le tracé à retenir.

Report du tracé sur le terrain. — L'étude faite dans le bureau d'après les données traduites sur le plan coté au 1/2000e est encore susceptible d'amélioration.

On reporte donc sur le terrain l'axe de la ligne choisi en dernier ressort et on fait un nouveau levé géodésique portant : 1° sur le profil en long, 2° sur des profils en travers très rapprochés qui serviront à la rédaction du projet définitif et au calcul du cube des terrassements, ainsi qu'à l'établissement de plans cotés très détaillés pour l'étude des ouvrages d'art. Sur ces nouveaux plans qui définissent d'une manière plus exacte la forme du terrain, on peut reconnaître l'utilité de modifier légèrement le tracé et le profil en long et l'intérêt qu'il peut y avoir à modifier l'implantation des ouvrages d'art.

Dans l'étude du profil en long, il est une considération qui doit être périodiquement envisagée : c'est l'intérêt que présente, au point de vue de l'économie des travaux de terrassements, la compensation aussi complète que possible entre le cube des déblais et le cube des remblais. En s'attachant à l'obtenir, au cours des tâtonnements successifs, on réduit ultérieurement la longueur des transports de terre provenant des déblais et les frais importants qui en résultent. D'une manière générale, il vaut mieux avoir un excédent de

remblais obligeant même à recourir à des emprunts, plutôt que d'avoir des déblais à mettre en dépôt sur des terrains à acquérir à cet effet. Mais, quel que soit l'intérêt qui s'attache à serrer le plus près possible cette question de compensation entre les déblais et les remblais, il faut se garder d'y sacrifier la considération beaucoup plus importante d'un meilleur profil, qui influence, pendant toute la durée de l'exploitation, le rendement de la ligne et le prix de revient de la traction.

Etude des points spéciaux. — Nous allons examiner plus spécialement les errements suivis pour déterminer les points les plus délicats du tracé, au point de vue de la répercussion sur le profil en long et sur les dépenses en ouvrages d'art : traversée des faîtes, traversée des vallées, traversée des routes et chemins, traversée des cours d'eau secondaires et des ruisseaux, passages à niveau, passages supérieurs et passages inférieurs.

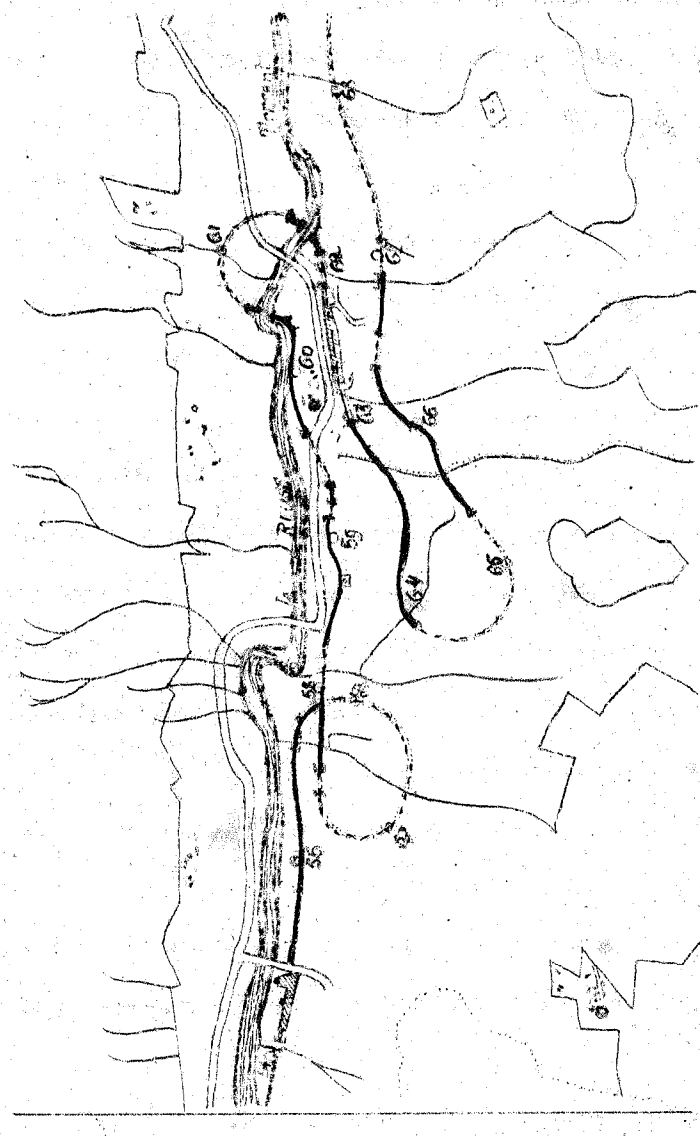
Dans un autre chapitre nous étudierons la construction même de ces ouvrages.

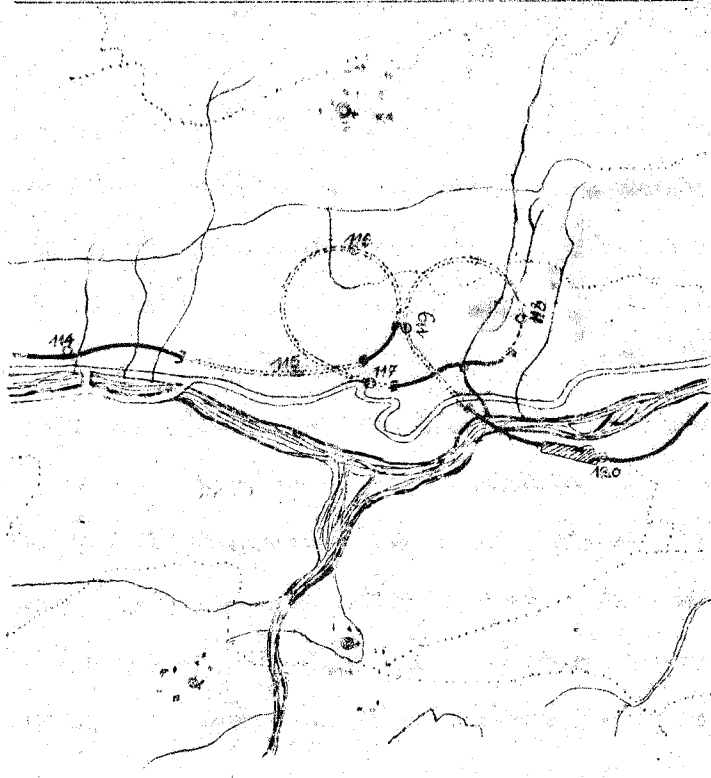
Traversée des faîtes. — Lorsque la ligne doit passer d'une vallée dans une autre, la détermination du point où elle devra franchir le faîte séparant les deux vallées est d'une importance capitale. A priori, la traversée des faîtes se fait au droit des cols, qui se trouvent toujours sur le prolongement de deux vallées de pente inverse. Il faut faire un choix entre les divers cols susceptibles d'être atteints par le tracé général, c'est-à-dire d'être franchis en tranchée, et déterminer, en outre, la hauteur à laquelle on franchira celui qu'on choisit. Si les limites de courbes et de déclivités qu'on s'est imposées ne permettent pas de franchir à ciel ouvert l'un

des cols ainsi visés, il faut recourir à la traversée en souterrain en, dès lors, il n'est plus nécessaire de passer au droit des cols, mais de préférence sur les points où la montagne présentera la moindre épaisseur. On aura d'ailleurs souvent intérêt à s'écarter d'un col où le terrain n'est pas suffisamment consistant, et les considérations géologiques devront être très soigneusement examinées avant d'arrêter définitivement les points de passage. Des sondages doivent toujours être faits sur l'emplacement du souterrain ou de la tranchée et, si on ne rencontre pas à la cote voulue un terrain très compact, il est préférable de modifier le tracé et de changer le niveau de la traversée du faîte.

Il faut établir de préférence les souterrains en ligne droite, avec un profil en long qui rende facile l'évacuation des eaux, et qui ne comporte, en tout cas, que des déclivités peu prononcées car, comme nous l'avons déjà dit, l'adhérence est beaucoup plus faible dans les souterrains qu'à ciel ouvert, par suite du degré d'humidité latente.

Ce n'est qu'exceptionnellement — sur les flancs des montagnes escarpées — qu'on recourt à l'emploi de lacets et de souterrains en courbes ou en hélice, afin de gagner de la longueur et de ne pas dépasser les pentes limites qu'on s'est fixées. Un exemple remarquable de l'application de cet artifice est celui du Chemin de fer du St Gothard qui réunit la vallée de la Reuss à celle du Tessin. Les tracés en lacets et les souterrains en hélice avec courbes minima de 400 mètres de rayon, ont permis, par un allongement notable du développement du tracé, d'atteindre la cote qu'on s'était fixée pour





le percement du grand souterrain de 15 kilomètres de longueur qui franchit le massif principal. On voit sur la carte comment, en particulier, on a passé du kilomètre 59 au kilomètre 67, en effectuant dans la vallée du torrent un double lacet franchissant deux fois la rivière aux extrémités d'un tunnel en hélice en traversant en souterrain les divers contreforts en commun sur d'autres points, par exemple au kilomètre 115 sur le versant italien, on a juxtaposé en presque superposé deux tunnels en hélice successifs.

Ces tunnels hélicoïdaux de 400 mètres de rayon en rampe de 20 m/m par mètre, ont permis sur certains points de gagner d'un seul coup une différence de niveau de 50 mètres.

Mais c'est une solution qui doit rester tout à fait exceptionnelle, tant en raison du prix élevé de la

construction qui, à cause des difficultés de la traction.

Traversée des vallées. — Lorsqu'il s'agit de traverser des vallées encaissées, on recherche en général les parties les plus étranglées, dans le but de réduire la dépense en diminuant l'importance des terrassements ou la longueur des viaducs.

Lorsqu'il s'agit, au contraire, de franchir une vallée très plate, au fond de laquelle on peut descendre, il n'y a aucun inconvénient à traverser la vallée dans la partie large, en desservant quelques localités intéressantes ou en s'attachant simplement à maintenir la ligne au-dessus du niveau des hautes eaux. Les vallées très plates comprennent, outre le lit mineur, un lit majeur souvent assez large ; il faut donc se préoccuper de donner, en cas d'inondation, un écoulement suffisant non seulement au cours d'eau principal, mais encore aux eaux des cours d'eau secondaires fortement grossis en des cours d'inondation.

A titre exceptionnel, en sur certains points où l'on n'avait à prévoir que des inondations extrêmement rares, on a pu laisser la ligne au-dessous du niveau des eaux d'inondation, en perreyant complètement les talus en la plate-forme, de manière à ce que le remblai puisse former déversoir, dans ces périodes d'inondation qu'on n'enregistre guère que tous les 8 ou 10 ans. Cette solution a été appliquée sur la ligne de Château-du-Loir à Saumur, à la traversée du val de l'Authion : si le val de l'Authion vient à être envahi par la crue de la Loire, le ballast qui est en sable sera enlevé par les eaux et la voie sera coupée ipso-facto, mais le remblai restera intact et une fois la crue passée, on en sera quitte

pour procéder au rétablissement d'une partie de la voie. Cette solution exceptionnelle ne peut être employée que pour une ligne n'ayant qu'une importance relative.

En dehors de ce cas spécial, il faut se tenir au-dessous du niveau des plus hautes eaux en traversant le lit du cours d'eau sur des ponts d'une grande longueur avec des arches réservées pour les bras de décharge en d'inondation.

Là encore, il faut, avant d'arrêter le tracé définitif faire des sondages pour reconnaître la nature du terrain en rechercher pour les ouvrages d'art la meilleure assiette possible.

Traversée des routes et des chemins.— Les routes et les chemins peuvent être traversés par dessous, par dessus ou à niveau, mais avant de choisir l'une de ces trois solutions, il faut bien peser les avantages et les inconvénients qu'elles présentent.

Le passage à niveau est le mode de traversée qui est le moins coûteux en général au point de vue des dépenses de premier établissement ; il est souvent, sur certains points le seul praticable, car des passages supérieurs ou inférieurs exigent entre le niveau supérieur du rail et le sol de la route une hauteur verticale d'environ cinq mètres qui est parfois incompatible avec les sujétions du profil général de la ligne.

Les traversées à niveau sont, au contraire, plus onéreuses au point de vue de l'exploitation, puisqu'elles exigent un personnel spécial pour le gardiennage ; elles sont, en outre, une sujétion au point de vue de la circulation sur les lignes à grand trafic et deviennent assez fréquemment, en dépit des

réglementations en vigueur, le siège d'accidents graves.

Aussi sur les lignes à grand trafic s'attache-t-on à faire disparaître les passages à niveau existant dans la traversée des villes, mais cette solution tardive ne va pas sans entraîner de grands frais d'établissement. Il importe donc de tenir compte des enseignements de l'expérience et, lorsqu'il s'agit de lignes nouvelles, de recourir de préférence à des passages supérieurs au lieu de passages à niveau, même au prix d'un excédent pénible de dépenses de premier établissement.

Le nombre moyen des passages à niveau par kilomètre de voie, varie avec l'importance de la ligne et la nature des passages ; il est bon de n'en avoir pas plus d'un par kilomètre, et même moins si possible. On peut alors appliquer en général la formule relativement économique qui consiste à utiliser comme garde-barrières, les femmes des ouvriers de la voie, en leur donnant une solde modique, à laquelle s'ajoutent le logement et la jouissance d'un jardinet situé à proximité du passage ; les femmes ainsi utilisées sont autorisées à vaquer aux soins de leur ménage.

Lorsque le nombre des passages à niveau gardés devient trop grand, il faut recourir à l'emploi de personnes étrangères à l'administration et, malgré les avantages du logement, on trouve rarement des femmes qui assurent le service de garde-barrières à moins de 400 à 500 francs par an. On réduit les frais de gardiennage avec le système des barrières manœuvrées à distance : une même garde-barrières peut alors, outre les barrières du passage à niveau qu'elle garde en permanence, fermer avant chaque passage de train, à l'aide d'un fil en

d'un treuil, les barrières à contrepoids d'un chemin moins fréquenté.

Il n'y a guère que sur les lignes d'intérêt local et sur certaines lignes secondaires d'intérêt général de faible importance qu'on laisse, sur certains chemins peu fréquentés, des passages à niveau libres, c'est à dire sans barrières : le public est simplement prévenu par un écriteau qu'il est dangereux de traverser la voie à l'approche d'un train, et que des précautions sont à prendre, en conséquence, avant de s'engager sur la traversée.

Lorsque la circulation des trains est très active, la femme ne peut plus faire le service des barrières en vaquant à son ménage. Il faut alors avoir recours à un homme et les frais de gardiennage deviennent beaucoup plus élevés. Il en est de même si on assure un gardiennage de nuit, ce qui se fait lorsque la fréquentation du chemin exige plus de 5 ou 6 ouvertures de la barrière pendant la nuit.

Toutes ces considérations montrent que les passages à niveau entraînent des dépenses de gardiennage très onéreuses, que l'Ingénieur doit envisager lorsqu'il arrête le tracé général de la ligne.

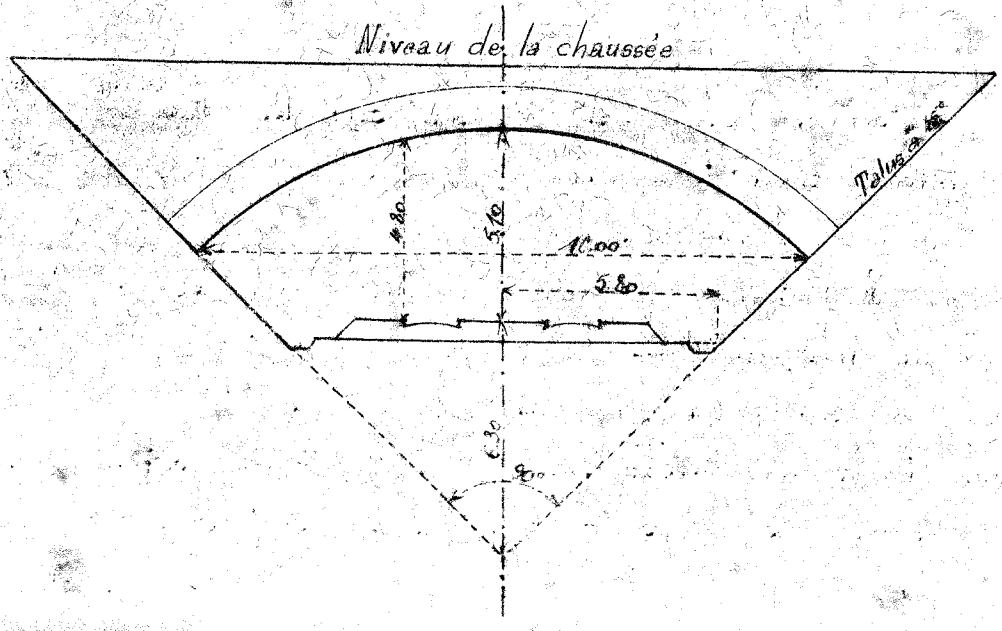
Au point de vue technique, les cahiers des charges exigent que le croisement à niveau de la voie de terre et de la voie de fer soit établi sans saillies, ni dépressions, qu'il ne soit pas effectué sous un angle inférieur à 45°, que les abords immédiats (sur 10 mètres de longueur comptés sur le chemin ou la route de part et d'autre du passage) ne comportent pas de déclivités supérieures à 20 m/m par mètre. L'ouverture libre des passages à niveau ne peut être inférieure à 6 mètres pour une route nationale et à

4 mètres pour les autres chemins. On cherche, par ces prescriptions, à faciliter la circulation des voitures sur route dans la traversée des voies de chemins de fer.

L'angle minimum de 45° imposé par le cahier des charges a pour but d'éviter en particulier des traversées à angle trop aigu, sur lesquelles les voitures ou les animaux auraient tendance à s'engager sur la voie ferrée.

Passages supérieurs. — On appelle ainsi les ouvrages au moyen desquels les chemins franchissent la ligne par dessus la voie.

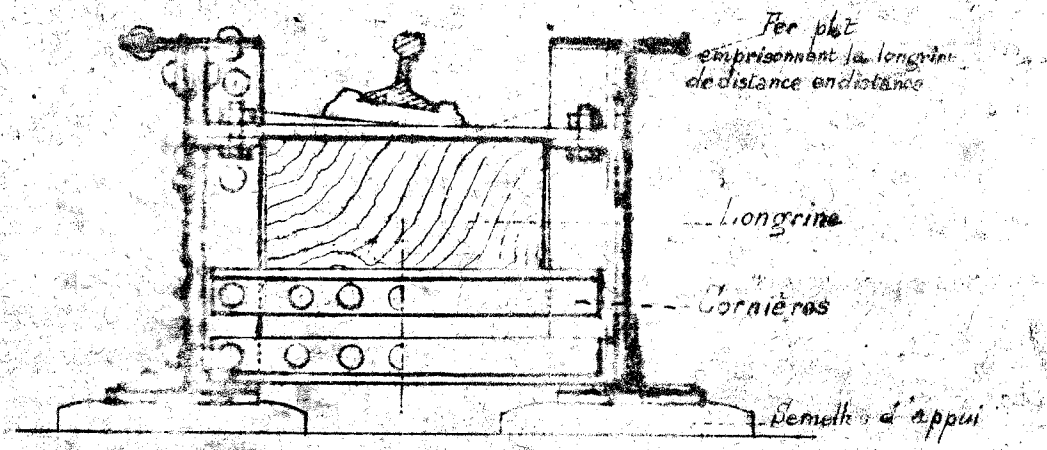
Aux termes des cahiers des charges, il faut en ces points laisser au-dessus du niveau des rails une hauteur libre de 4m80. En tenant compte de l'épaisseur du tablier métallique du pont en de la chaussée, il faut donc disposer d'un minimum de 5m30 entre le niveau de la route et celui du rail. Il faut même compter 5m50 à 6 mètres, si on prévoit une voûte en maçonnerie, au lieu d'un tablier métallique. La voûte en maçonnerie à culées perdues, assez fréquemment employée parce qu'elle n'exige que des fondations peu



profondeo dans le tableo deo tranchéeo, exige une hauteur de 6m.60.

Ceo chiffreo sonu à enviseager lorsqu'on arrête le profil en long de la ligne.

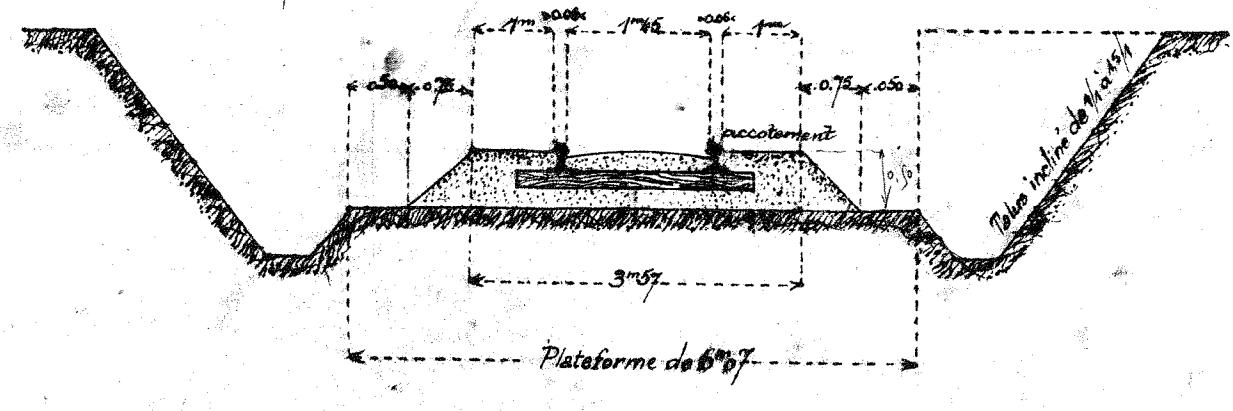
Ouvrages inférieurs. — Sur les pointo où la voie ferrée passe au contraire au-dessus des routeo, il faut compter sur une hauteur minima de 5 mètreo entre le sol de la route et l'intrados à la clé, s'il s'agit d'un ouvrage en maçonnerie, ou d'une hauteur sous poutre droite de 4m30, s'il s'agit d'un ouvrage métallique.



Comme on peut gagner sur la hauteur même de la poutre métallique, en recourant à la poutre en caisson qui donne la possibilité d'abaisser le rail par rapport à la table supérieure, on peut obtenir par ce système une différence de niveau minima entre le niveau du rail et celui de la route, et cet avantage explique que les passages inférieurs avec poutre métallique soient les ouvrages d'art les plus généralement employés sur les chemins de fer.

Etude du profil transversal. — Bien qu'on s'attache à suivre autant que possible les vallonnements du terrain, la nécessité de réduire et de répartir les rampes pour atteindre sur certains points (traversée des cours d'eau, des chemins..) des cotes immuables, oblige à établir la voie, sur une certaine partie de sa longueur, soit en tranchées plus ou moins profondes, soit sur des remblais. Il en résulte que le profil transversal est très variable d'un point à l'autre.

Il est toutefois une partie de ce profil qui est invariable pour toute une ligne, c'est le <u>profil de la plateforme</u>, c'est-à-dire le profil du massif formé par les files de rails, les traverses qui les supportent et le ballast qui forme l'assiette élastique.



S'il s'agit d'une ligne à voie unique, le profil type résultant des conditions imposées par le cahier des charges comprend :

1° la largeur de la voie qui doit être de 1m.444 à 1m.45 entre les bords intérieurs des deux rails ;

2° la largeur des accotements, c'est-à-dire des parties comprises de chaque côté, entre le bord extérieur du rail et l'arête supérieure du ballast ; cette largeur des accotements

ne doit pas être inférieure à 1 mètre ;

3° deux banquettes de 0 m 50 de largeur chacune, au pied du talus du ballast ;

4° de part et d'autre un fossé ou rigole indispensable pour assurer l'assèchement de la voie et l'écoulement des eaux et dont les dimensions sont déterminées, suivant les circonstances locales, après accord entre la Compagnie et l'Administration.

Entre l'accotement et la banquette, l'inclinaison du talus du ballast absorbe de chaque côté 0m75 en plan (pour une hauteur de ballast de 0 m 50 avec talus de 3 de base pour 2 de hauteur).

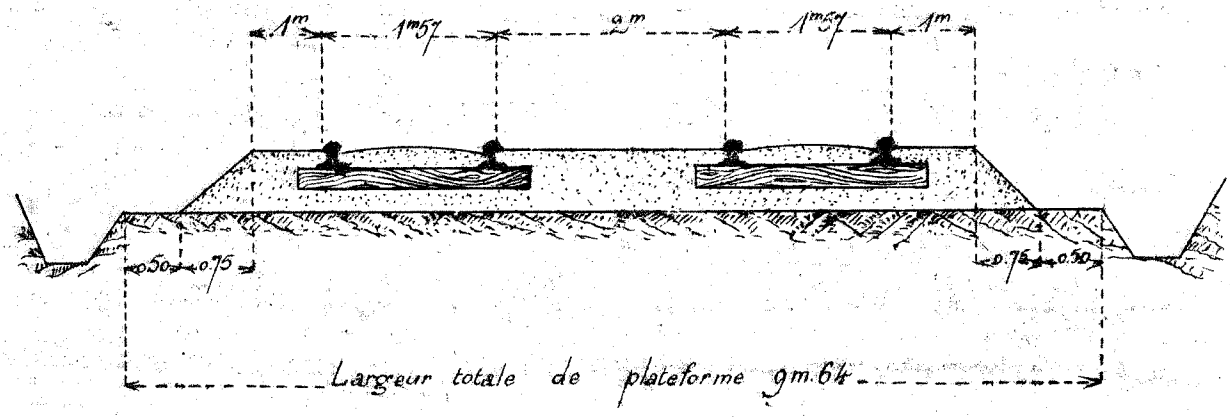
Sur une ligne à voie normale unique, la largeur totale de la plateforme comptée en dedans des fossés est donc de 6 m 07.

La plateforme d'une ligne à double voie comprend en plus de la précédente :

1° une largeur d'entrevoie de 2 mètres comptée entre les bords extérieurs des rails ;

2° la largeur d'une seconde voie mesurée de l'extérieur d'un rail à l'extérieur de l'autre rail soit 1m45+(2×0.06) ou 1m57.

Cela donne une largeur de plateforme de 9 m 64 mesurée



entre les bords des fossés ou les arêtes des talus de remblais.

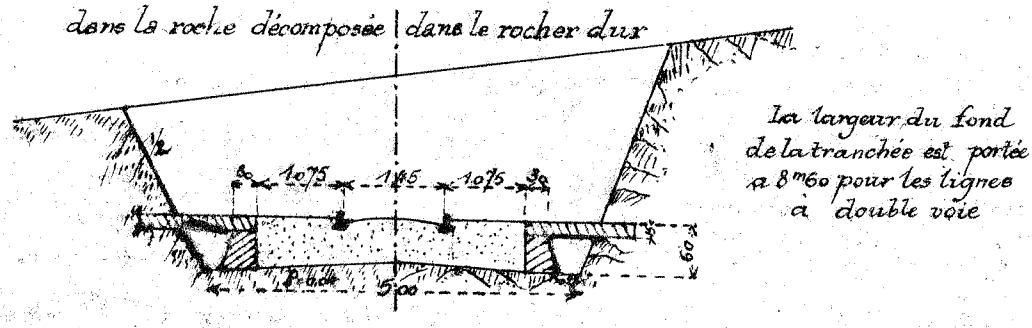
Ces deux éléments (largeur de plateforme 6m07 ou 9m64 , suivant que la ligne comporte une ou deux voies) constituent comme nous l'avons dit, une partie commune à tous les profils en travers des lignes à voie normale. Mais le reste du profil (talus des remblais ou des tranchées) est essentiellement variable avec la nature des terres de remblais dont on dispose ou des terrains à excaver.

En ce qui concerne les remblais, l'inclinaison de 3 de base pour 2 de hauteur est celle qui est généralement adoptée, sauf dans le cas de remblais argileux qu'il ne faut d'ailleurs employer qu'en dernière extrémité.

Dans les parties de ligne en déblai, lorsque les terres sont de bonne qualité, les talus de la tranchée peuvent être réglés à 45°. Mais, si les terres sont médiocres et mélangées d'argile, il faut s'en tenir à une inclinaison de 1/4 à 1/2 pour 1 de hauteur, et on doit adopter sans hésiter 1/2 lorsque les terres sont de mauvaise qualité.

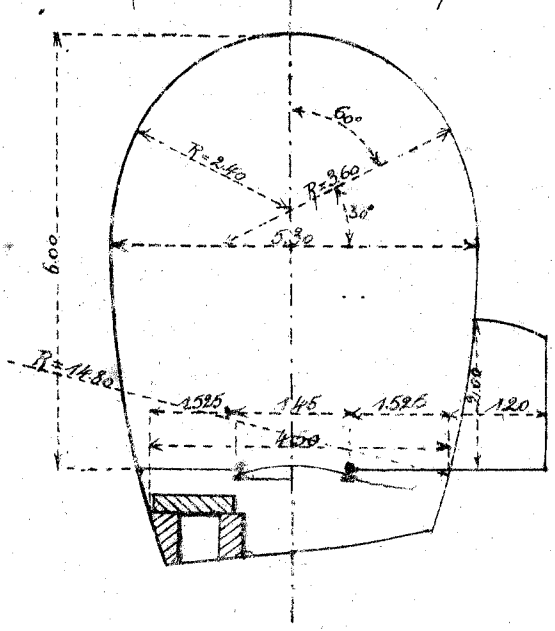
Sur les points où on traverse le rocher, on peut adopter des talus inclinés à 1 de base pour 2 de hauteur et même des parois presque verticales s'il s'agit de rochers durs. Dans ce cas, et cela présente le plus grand intérêt au

Profil en déblai



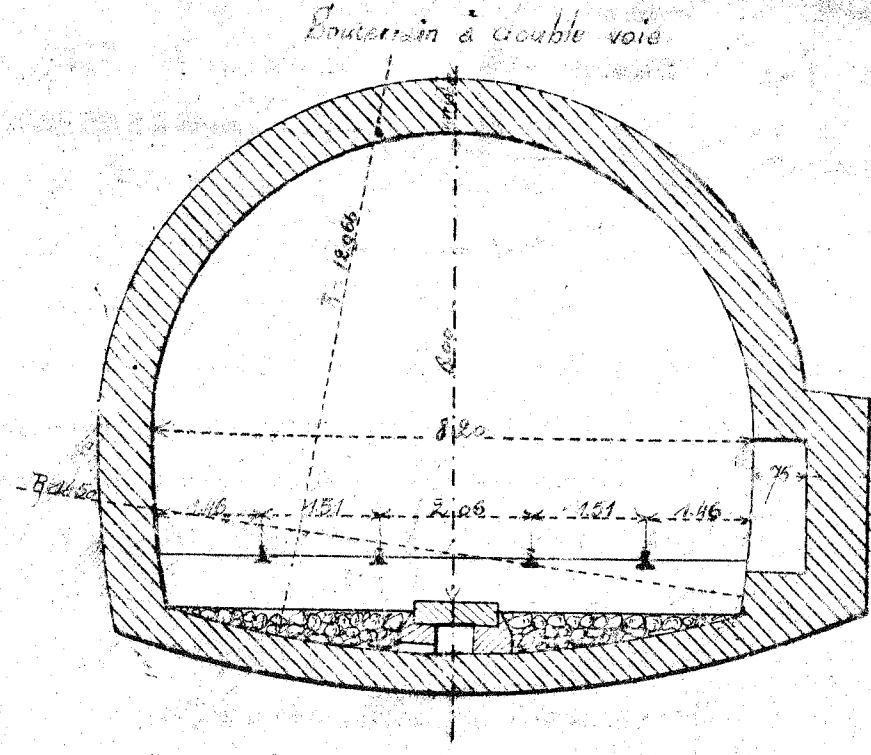
point de vue des dépenses de terrassement — on peut réduire assez notablement la largeur du fond de la tranchée, en supprimant le talus du ballast en en réduisant les dimensions du fossé. Ce fossé devient une simple rigole de 0m28 de largeur à la base en dont les parois sont formées à l'extérieur par le talus du rocher en à l'intérieur par une petite murette de 0m30 d'épaisseur en couronne qui affleure à la partie supérieure du ballast en maintient ce dernier. Cette murette est construite en maçonnerie sur 0m20 à partir de son couronnement en en pierres sèches sur le reste de sa hauteur, à l'exception de parties construites en maçonnerie sur toute la hauteur (parties établies tous les 25 mètres en sur toute la longueur occupée par la dalle de recouvrement).

Souterrain à voie unique



Dans les souterrains à voie unique, le profil type a une forme ovoïde avec une largeur de 4m50 au niveau du ballast en une hauteur de 6 mètres entre l'intrados de la voûte en le niveau des rails. Un aqueduc longitudinal doit être établi pour assurer l'écoulement des eaux qui lui sont amenées par des pierrées, ainsi que par les barbacanes ménagées dans l'épaisseur des parois de maçonnerie.

Dans les souterrains à double voie, la hauteur restant la même, la largeur au niveau du ballast indiquée ci-dessus est augmentée de l'entrevoie de 2m10 en de la largeur de la seconde voie, en comptant ainsi 8,20 environ. L'aqueduc



d'écoulement des eaux se place dans l'axe du souterrain. Sauf sur les points où le terrain offre une dureté tout à fait exceptionnelle, il faut pourvoir le ciel du tunnel d'un revêtement dont l'épaisseur, fixée d'après la nature du sol, peut varier de 0m22 — avec emploi de la brique — jusqu'à 1 mètre. Ce revêtement doit toujours être fait en utilisant le ciment hydraulique et protégé par une chape contre les suintements.

Des niches de 2 mètres de hauteur et d'au moins 0m75 de profondeur sont ménagées tous les 50 mètres dans les souterrains à voie unique. Dans les souterrains à double voie, on dispose ces niches en quinconce à 50 mètres de distance pour un même côté ; il y a donc en réalité une niche tous les 25 mètres.

Profils en travers spéciaux au 1/200e. — On ne dresse de profils en travers spéciaux au 1/200e que pour les points qui présentent des particularités à préciser ; remblais avec redans, tranchées avec talus exceptionnellement raides ou

adoucis, fossés de crête, etc..

Cubature des terrassements. — C'est par les renseignements puisés sur les profils en long et les profils en travers qu'on peut établir pour chacun des éléments de la ligne (tranchées ou remblais) le cube des terrassements, en cherchant à obtenir, au cours d'études successives, la compensation des déblais et des remblais. Pour chacune des tranchées, on calcule approximativement le cube en fonction de la longueur mesurée sur l'axe de la ligne et du profil en travers, en utilisant les tables dressées à cet effet par M. Dupuy ou les tableaux graphiques de M. Lalanne.

Travaux d'infrastructure

Après avoir passé en revue les divers éléments qui interviennent dans l'étude du tracé et du profil en long, nous allons maintenant étudier la construction de la ligne, la constitution des divers matériaux ou appareils utilisés, leur mode d'emploi et enfin les appareils destinés à garantir la sécurité.

Nous examinerons, dans une première partie, tout ce qui concerne l'infrastructure, savoir: les acquisitions de terrains, l'exécution des terrassements, la consolidation des talus et l'assainissement de la plateforme, la construction des ouvrages d'art, des passages à niveau et des maisons de garde.

Acquisitions des terrains. — La surface nécessaire pour l'établissement d'une ligne de chemin de fer à voie normale est variable suivant les accidents de terrain, suivant l'économie plus ou moins grande à laquelle on s'est astreint pour déterminer la largeur d'emprise, suivant le nombre

en l'importance des stations, etc.... Elle peut osciller entre 1 hectare et 2 hectares et demi par kilomètre de ligne à voie unique, entre 1 hectare et demi et 3 hectares par kilomètre de ligne à double voie.

Nous n'insisterons pas sur les formalités administratives relatives à l'expropriation. Il importe de ne se présenter devant le jury d'expropriation que pour les terrains appartenant aux propriétaires intraitables ou par trop déraisonnables, et de procéder au contraire au plus tôt que possible, à des arrangements à l'amiable pour l'acquisition de la plus grande partie des terrains. Il faut, pour remplir ce rôle, des hommes expérimentés ayant une connaissance exacte des valeurs immobilières : on les prend généralement dans le pays même.

Pour diverses raisons (morcellement des propriétés, augmentation de la difficulté d'accès pour les parcelles, inconvénients dus à l'action de la fumée et de la vibration des trains sur l'exploitation des propriétés morcelées, etc.) on paie les terrains à un prix franchement supérieur à leur valeur vénale, et les acquisitions amiables peuvent être considérées comme avantageuses si cette majoration ne dépasse pas 30 à 40 % de la valeur du terrain. Dans certains cas, on arrive à faire baisser le prix apparent des terrains en accordant aux propriétaires dépossédés, des concessions en nature (établissement et entretien de clôtures défensives pour les bestiaux, droit de passage, etc...), mais il faut être prudent sur ce point.

Exécution des terrassements

Exécution des terrassements

Déblais. — C'est la durée d'exécution des tranchées importantes qui influe le plus sur la durée totale des travaux d'exécution d'une ligne, à moins que cette ligne exige la construction d'ouvrages d'art exceptionnels. Il importe donc de bien conduire et d'exécuter rationnellement les travaux d'excavation des parties de lignes en déblais. On règle, en général, la durée des travaux de terrassements sur celle de la tranchée la plus considérable, et pour la bonne utilisation du matériel, on s'arrange de façon à avoir, pendant toute cette durée, le même nombre d'attaques. Exception est faite à cette règle lorsqu'on est limité sur les dépenses à engager chaque année et par suite sur la quantité d'hommes et de matériel à mettre en œuvre.

Dans les tranchées dont la profondeur ne dépasse pas 8 à 10 mètres, on ne fait qu'une attaque à chaque extrémité, et chacune de ces attaques ne peut guère produire qu'une moyenne de 250 à 300 m^3 par jour dans un terrain facile à extraire.

Dans les tranchées dont la profondeur dépasse 10 mètres, on peut exécuter simultanément deux attaques à une même extrémité, dans la partie supérieure, ce qui permet de réduire notablement la durée d'exécution. Dans un terrain facile, les déblais s'exécutent à la pioche et à la pelle et la capacité d'un chantier dépend de la quantité de terre qu'on peut évacuer : on a donc intérêt à disposer d'un front de chargement aussi grand que possible. Dans les tranchées importantes, on creuse tout d'abord une galerie à ciel ouvert de 2 mètres

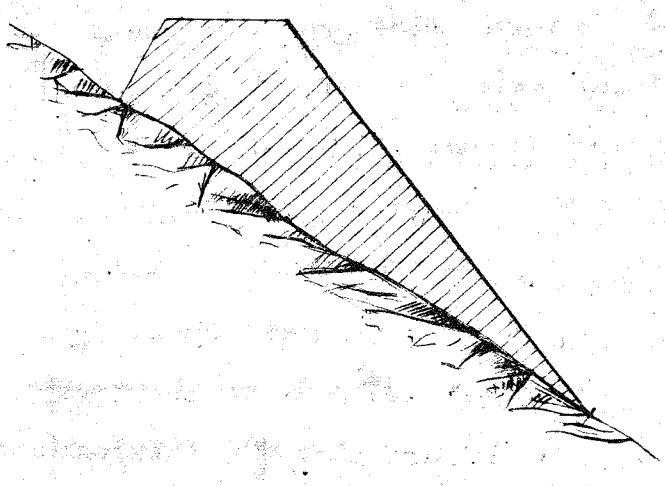
de profondeur, qu'on appelle une cunette ou au fond de laquelle on établit une voie pour des wagonnets. On installe ensuite une équipe de terrassiers qui attaque à la pioche de part et d'autre, les flancs de cette cunette; c'est ce qu'on appelle battre au large. On descend ensuite successivement par étages jusqu'au fond de la tranchée.

Dans un terrain de rocher, l'abattage étant moins rapide, les déblais à évacuer dans une unité de temps déterminée sont beaucoup moins importants et l'extraction prime le transport; on ouvre souvent la cunette sur toute la largeur de la tranchée en travaillant à la mine sur un front en escalier.

Réglement des talus des tranchées. — Il faut avoir soin de régler les talus de déblai de manière à avoir des surfaces régulières qui se ravinent moins facilement par la suite. Si on opère dans le rocher, cette précaution est inutile, mais il faut, en revanche, si le rocher est gélif, donner un excès d'inclinaison au talus, afin d'éviter la chute de blocs sur la voie.

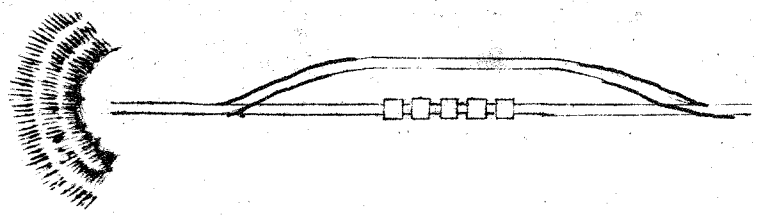
Exécution des remblais. — On obtient la terre de remblai par l'évacuation des déblais extraits d'une tranchée voisine, déblais qu'on transporte généralement dans des rames de wagonnets à bascule, remorqués par des locomotives légères.

Le sol qui doit servir d'assiette aux remblais a souvent besoin d'une petite préparation: il faut enlever les broussailles et piocher un peu à la surface du sol pour qu'il fasse corps avec les terres rapportées. Si on rencontre à flanc de coteau des parties d'argile molle qui pourraient s'écraser sous le poids du remblai et l'entraîner par glissement, il faut prendre des



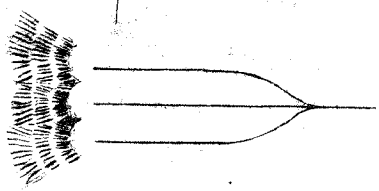
précautions spéciales. Il suffit le plus souvent d'expurger les eaux en drainant le sol, ce qu'on fait en établissant des pierrées transversales reliées par un drain longitudinal à l'amont ; le drain en les pierrées doivent être pourvus de radicles empêchant l'eau de détremper le sol. Si ce remède ne suffit pas, il faut augmenter l'empattement du remblai.

La décharge des terres sur les emplacements à remblayer se fait soit au lancer en avancement, soit latéralement.



Dans le premier cas, on prolonge au fur et à mesure de l'avancement une voie parallèle à l'axe de la ligne, et on la double sur une partie de sa longueur voisine de l'extrémité, par une voie de garage pourvue d'un aiguillage à ses deux bouts. La rame des wagons de terre à décharger étant arrêtée comme l'indique le croquis, entre les deux aiguilles, la machine l'abandonne en se dégageant. On détache le premier wagon, on y attèle un cheval, dit lanceur, qui part au trot. Lorsque le wagon a une impulsion suffisante, on décroche l'attelage ; le wagon continuant son mouvement va buter contre la traverse située à l'extrémité et sous l'influence du choc, ce wagon bascule en bout autour d'un axe hori-

zontal perpendiculaire à la voie en laisse tomber la terre de déblai qu'il contient. Le wagon vide étant immédiatement retiré en garé sur la voie 2, on attèle le cheval lanceur au deuxième wagon, en ainsi de suite. Si la la largeur de la plateforme le comporte, on installe deux ou plusieurs voies de lançage de manière à élargir le front de déchargement.



Pour décharger latéralement on emploie des wagons dont la caisse bascule autour d'un axe parallèle à la voie. On peut alors faire basculer du même coup toute une rame après l'avoir amenée au point convenable.

Les talus des remblais n'ont pas besoin d'être réglés avec autant de soin que ceux des tranchées: il suffit de bien dresser l'arête supérieure qui limite la plateforme réglementaire, de régler le talus sur une hauteur d'environ un mètre à partir de cette crête et de régaler simplement à la pelle le reste du talus. En raison de la perméabilité des terres rapportées qui constituent les remblais, l'eau pénètre facilement et n'a pas tendance à créer des ravinements comme cela est à craindre pour les talus des tranchées.

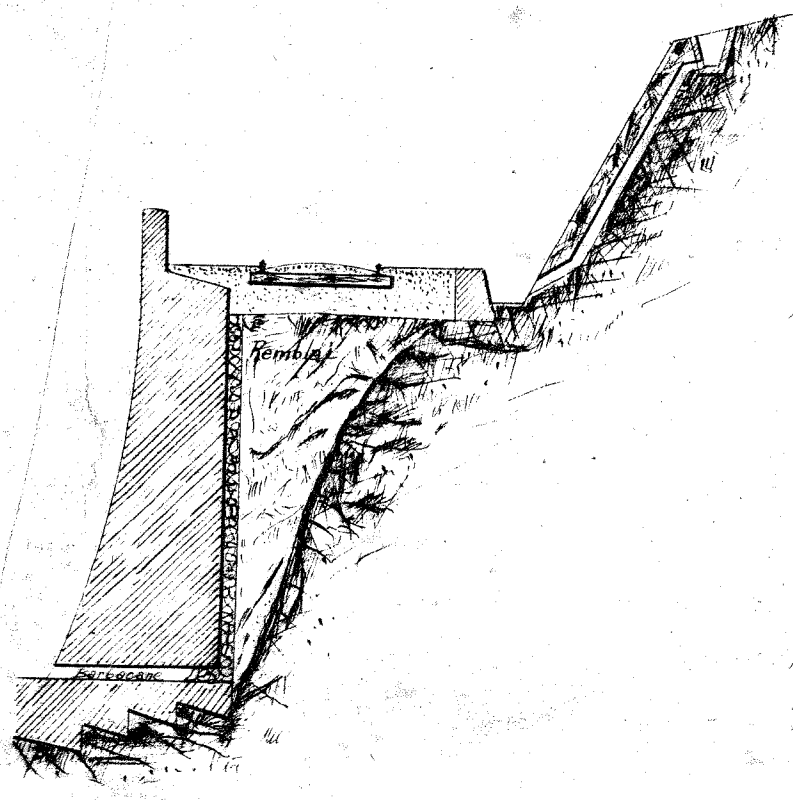
On donne en général aux remblais une surépaisseur de 1/10 pour tenir compte du tassement en ayant un excédent de largeur de 1/10 environ ; on évite ainsi de procéder dans les années qui suivent, à des apports nouveaux de matériaux pour compenser l'affaissement qui se produit toujours.

Consolidation des talus et assèchement de la plateforme

Consolidation des talus en assèchement de la plateforme

Talus des tranchées. — Si, dans le choix de l'inclinaison des talus de déblai, on ne se décide qu'après mûr examen des conditions géologiques, les consolidations de talus ne doivent être qu'une exception. On peut en effet les éviter sur la plupart des points, en adoptant sans hésitation l'inclinaison de 3/2 toutes les fois que les terres sont mauvaises et comportent de l'argile.

C'est l'action de l'eau qui provoque les mouvements des terrains argileux et cette action peut se produire de trois manières différentes : par ravinement à la surface, par l'écoulement des eaux venant de l'intérieur des terres ou par imbibition de l'humidité atmosphérique.

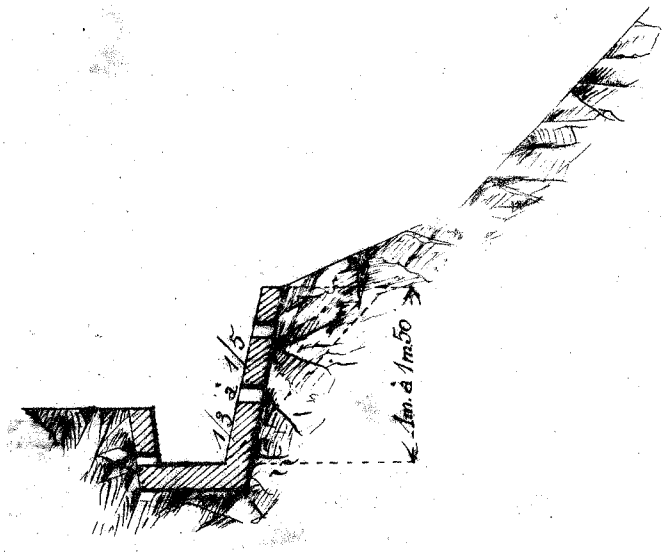


Ravinement. — Le ravinement se produit sous l'action des eaux pluviales qui dévalent de la crête du talus en provoquent à la longue la chute de parties argileuses plus ou moins considérables. On peut l'éviter en partie en arrêtant les eaux qui descendent du coteau par un fossé de crête

à forte pente qu'on relie de distance en distance au fossé inférieur par des descentes d'eau en maçonnerie. Si le fossé de crête est mal entretenu, on risque de favoriser par ce procédé l'infiltration des eaux dans la masse du terrain elle-même et de provoquer des éboulements plus considérables.

Il est préférable de recourir à l'emploi de revers gazonnés qu'on obtient artificiellement à l'aide de semis sur une couche de terre végétale rapportée, maintenue par des clayonnages (procédé assez coûteux) ou à l'aide de bandes de gazon rapportées maintenues par des piquets. L'emploi des genêts et des ajoncs est moins onéreux, car ces plantations peuvent s'accomoder des sols les plus ingrats, et il suffit d'ameublir un peu le terrain sur lequel on les transplante.

Une bonne solution pour provoquer une végétation protectrice consiste à faire au pied des tranchées un mur de 1 m à 1 m 50 de hauteur avec talus de 1/3 à 1/5, en pourvu de barbacanes. Les terres qui s'éboulent par suite des ravinements s'accumulent sur la banquette ainsi formée et se garnissent rapidement de végétations parce qu'elles sont ameublies du fait de leur chute. Elles soutiennent celles qui tombent ensuite et, de proche en proche, la végétation se développe et le talus se garnit.



On a double avantage à ce procédé, car la

construction de la murette formant revêtement du fossé doit être souvent pratiquée dans les terrains argileux pour d'autres considérations que nous envisagerons plus tard.

Eaux provenant de l'intérieur des terres. — Plus dangereuses encore sont les eaux qui proviennent de l'intérieur des terres parce qu'elles peuvent provoquer l'éboulement de grandes masses. Leur effet se produit particulièrement lorsque le talus de déblai recoupe une couche de terrain argileux que recouvre une couche de terrains perméables. Les eaux de pluie pénètrent facilement dans ces derniers, en gagnent la couche supérieure imperméable du banc d'argile, qui se délaie, perd de sa cohésion et provoque des glissements du terrain supérieur.

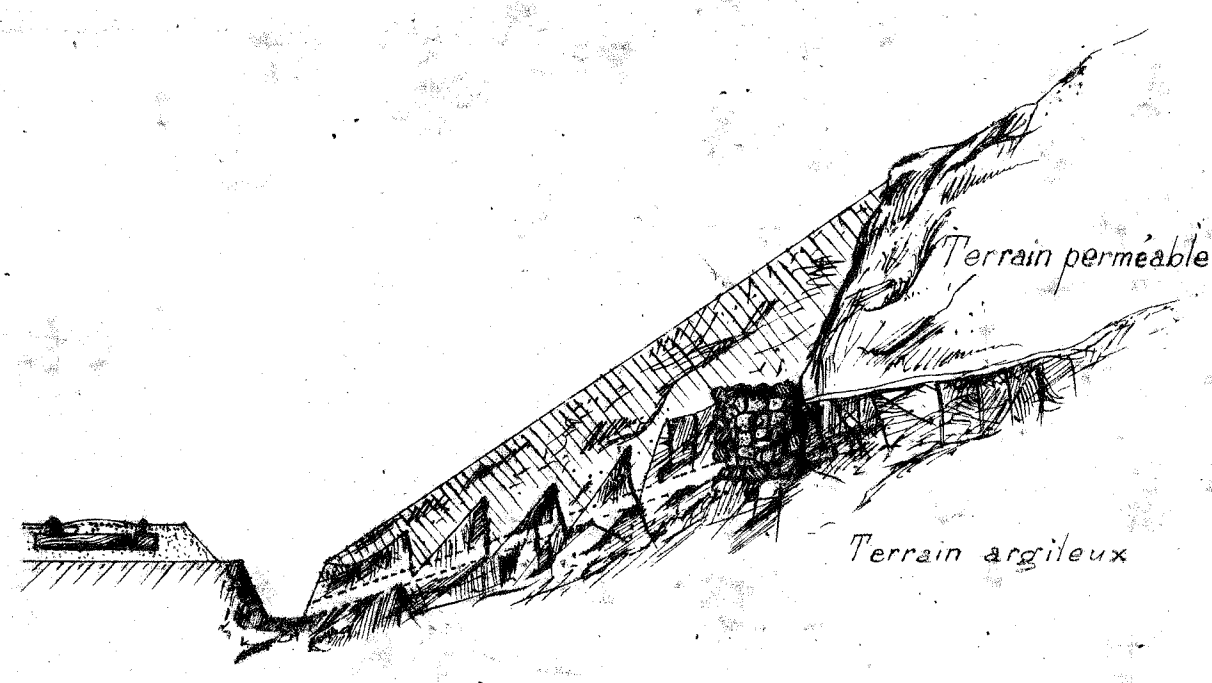
Pour y remédier, il faut assurer un écoulement rapide aux eaux qui traversent les terrains perméables.

Le procédé le plus radical consiste à rejeter les eaux en dehors de la tranchée, au moyen d'un drain établi à l'extérieur de l'emprise du côté de l'amont. Construit dès le début des travaux de terrassement, ce drain supprime les difficultés en cours d'exécution.

Lorsque, en cours d'exécution, on rencontre des sources apparentes bien localisées, c'est-à-dire un écoulement à travers le talus, il faut à tout prix capter ces sources. A cet effet, on pratique une sorte de puits pour enlever toute la terre ramollie ; on comble le puits avec des moëllons et on établit un tuyau ou un petit aqueduc pour conduire au fossé les eaux ainsi captées.

S'il existe sur la surface du talus une ligne

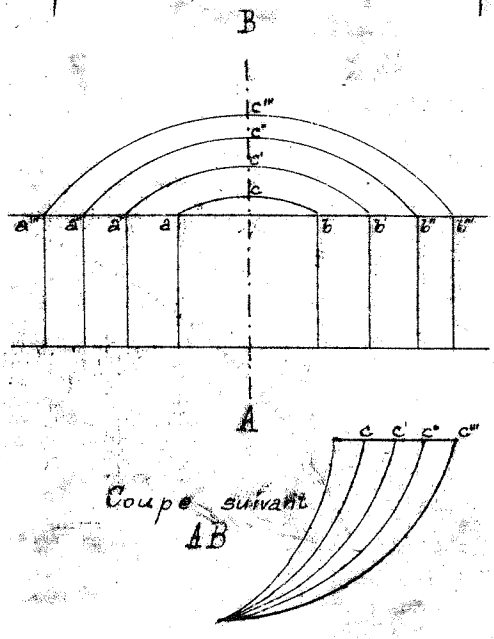
séparative bien marquée entre la couche perméable et les terrains argileux placés au-dessous, on peut employer le procédé de Dazilly, qui consiste à capter les eaux



de suintement, au moyen d'un drain établi sur la ligne séparative dont il vient d'être parlé ou à recouvrir le parement argileux d'une couche de terre végétale avec inclinaison de 3/2. Le drain est constitué par des briques à plat maçonnées pénétrant de 30 à 35 centimètres dans le banc d'argile et doit avoir une pente d'au moins un centimètre par mètre. On le remplit de moëllons ou de pierrailles et on complète par l'installation de rigoles conduisant les eaux dans le fossé.

Imbibition de l'argile. — Les sources localisées, ou les bancs de suintement bien délimités sont assez rares et on a affaire le plus souvent à des eaux qui se répandent dans la masse d'argile elle-même. Bien que l'argile paraisse imperméable, elle subit

une action au seul contact de l'humidité : elle s'imbibe à la façon d'une éponge, augmente de poids, en même temps que sa cohésion diminue. On conçoit que cette transformation produise dans la masse une rupture d'équilibre entre les parties atteintes



par l'imbibition en celles qui sont restées indemnes : il se produit des éboulements de terrain avec une surface de rupture qui présente habituellement la forme d'un arc de cercle en coupe horizontale en une forme cycloïdale dans un plan vertical perpendiculaire au talus.

Si l'imbibition de l'argile est due au seul contact de l'humidité atmosphérique et si la masse qui tend à se détacher est faible, on peut recourir simplement aux revêtements qui mettent le talus à l'abri des eaux extérieures. On peut aussi drainer toute la surface du talus (procédé Ledru) au moyen de tuyaux de 3 centimètres de diamètre espacés de 2 à 3 mètres et recouverts de pierrailles et de gazon avec drains profonds des deux côtés de la tranchée et au dessous de

la voie. Ce procédé a en outre l'avantage d'assainir du même coup la plateforme.

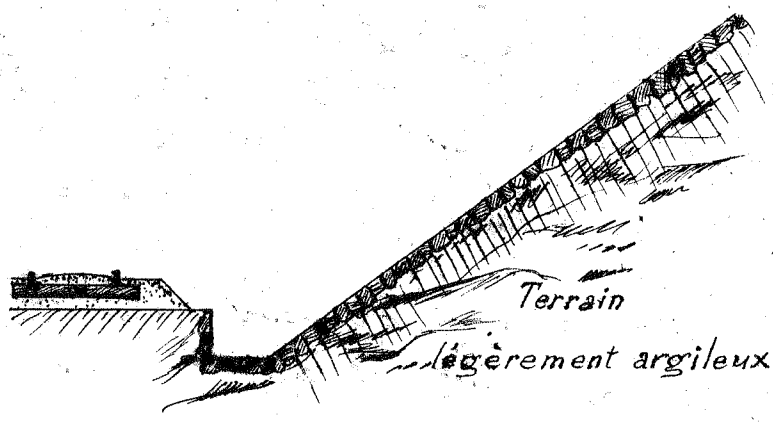
Mais l'imbibition gagne de proche en proche et peut atteindre de plus grandes profondeurs. Il est alors indispensable d'employer le système des éperons qui a une double action de soutènement et de drainage.

Les éperons sont des massifs artificiels pénétrant dans la profondeur du talus et qui sont constitués par des moëllons bruts rangés à la main. On leur donne généralement 1m. à 1m50 de largeur et on ne les élève pas jusqu'au haut du talus ; une épaisseur moyenne de 1 mètre est suffisante pour des talus de 5 à 6 mètres de hauteur. Il faut les rapprocher plus ou moins suivant la profondeur atteinte par l'imbibition des terres argileuses. L'éperon constitue un massif fixe dont le poids agit à la façon des contreforts, tant par sa masse même que par celle de la partie d'argile qu'il a contribué à assécher grâce à son rôle accessoire de drain.

On peut procéder progressivement, en se réservant d'ajouter des éperons intermédiaires si ceux qu'on a établis primitivement paraissent insuffisants ; c'est donc une méthode très avantageuse au point de vue de la dépense, en même temps que très efficace.

Perrés - Murs de soutènement. — Les perrés exécutés en pavés jointifs formant parement sur la surface des talus n'ont pas autant d'action que les éperons judicieusement répartis. Au point de vue du soutènement, ces perrés ne donnent qu'un appui très faible aux terres et seraient sans efficacité dans

un terrain sujet à des éboulements en masse. Ils agissent surtout comme revêtement et peuvent à ce titre donner de bons résultats dans les parties des talus légèrement argileuses qui sont ainsi préservées contre les actions de l'air et celle du ravinement des eaux pluviales.



On les emploie également pour préserver de l'action de l'air les talus gélifs.

Lorsque la base du talus de tranchée ne risque pas de s'ébouler, alors que les parties supérieures sont moins bonnes, on ne donne pas aux perrés toute la hauteur de la tranchée, mais on les exécute sur voûtes en laissant à nu la partie inférieure. Si la hauteur est trop grande, on soutient les voûtes par des contreforts maçonnés formant piles.

C'est à titre exceptionnel que l'on utilise les murs de soutènement pour la consolidation, en raison de leur prix de revient très élevé. Encore ne le fait-on qu'après coup sur des points spéciaux où des éboulements se sont produits, et où un élargissement des emprises est impraticable. En dehors de ces circonstances fortuites, on réserve l'emploi des murs de soutènement pour les cas où la place fait défaut pour exécuter des talus, soit en remblai soit en déblai par suite de la proximité de bâtiments ou d'installations

à maintenir.

Revêtement des fossés. — Dans la traversée des terrains argileux, il est la plupart du temps nécessaire de revêtir les fossés, afin d'en faciliter l'écoulement normal, d'empêcher le ravinement des pieds du talus par délayage de l'argile et en même temps d'assurer l'assèchement de la plateforme. On établit du côté de la voie, un parement vertical et, du côté du talus, un parement incliné ; on ménage sur ces deux parements en maçonnerie des barbacanes pour l'écoulement des eaux. Nous avons vu que, en donnant au parement incliné une inclinaison de 1/3 à 1/5, la murette est éminemment propre à retenir les terres amenblies entraînées par ravinement et à favoriser la propagation d'une végétation très avantageuse pour le maintien des terres.

Consolidation des remblais. — Dans les remblais, les consolidations sont peu fréquentes, car on est maître d'écarter les terres de trop mauvaise qualité. Il arrive cependant que le désir de réduire la largeur des emprises sur certains points des très grands remblais fasse adopter une inclinaison insuffisante en égard à la nature des terres employées.

Dans les cas graves, les éperons peuvent rendre les mêmes services que dans les talus de déblais. On les complète par un revêtement en terre végétale, ou, si c'est nécessaire, par un revêtement en plaques de gazon sur couche de gravier, afin de combattre l'action de l'imbibition.

Lorsque les remblais comportent une petite proportion de terres argileuses menaçant de s'ébouler, il suffit le plus souvent de les revêtir d'une couche

de bonne terre susceptible de se garnir de végétation pour les maintenir.

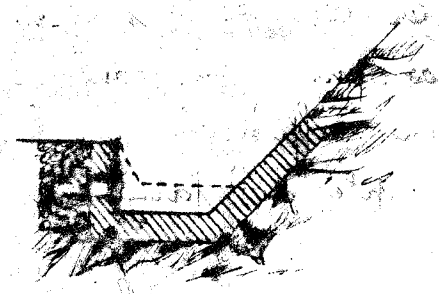
Asséchement de la plateforme. — Pour avoir de réelles garanties concernant la stabilité de la voie, il faut, avant de l'établir, être certain que toutes les mesures ont été prises pour assurer une bonne exécution et un complet assainissement de la plateforme.

Lorsque le terrain est bon, il suffit pour avoir une plateforme saine de donner à son profil transversal une pente régulière assurant l'écoulement des eaux. Cette condition suffit encore pour les terrains médiocres si la plateforme est en remblai.

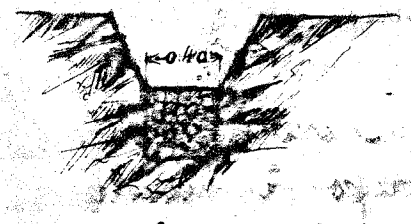
Si au contraire la plateforme est en déblai ou à niveau, il faut prendre des précautions spéciales, surtout si le sous-sol est argileux. Sous l'action de l'humidité, l'argile amollie n'offre plus assez de cohésion pour supporter la pression qui lui est transmise par le ballast : elle s'écrase, reflue dans la couche de ballast, tandis que celle-ci a tendance à s'enfoncer de plus en plus dans la plateforme. Les traverses ne sont plus bourrées comme il convient, mais finissent par reposer sur des mottes d'argile incrustées de pierre ou de sable, et des affaissements partiels sont à craindre sous le poids des trains. Inconvénient plus grave, l'argile délayée forme une surface savonneuse qui n'offre plus dans le sens transversal qu'un frottement insuffisant pour résister aux efforts horizontaux ; la voie devient donc instable et peut former des crochets susceptibles de provoquer des déraillements.

Aussi, importe-t-il d'assurer l'asséchement de

la plateforme lors de la construction même. A cet effet, en terrain argileux, on doit s'écarter du type normal de fossé de 0m30 de profondeur en adoptant des fossés de 0m40 à 0m60 de profondeur avec revêtement en maçonnerie en barbacanes. Ainsi que l'indique le croquis, cet approfondissement peut être obtenu en général sans augmentation sensible du cube des déblais.

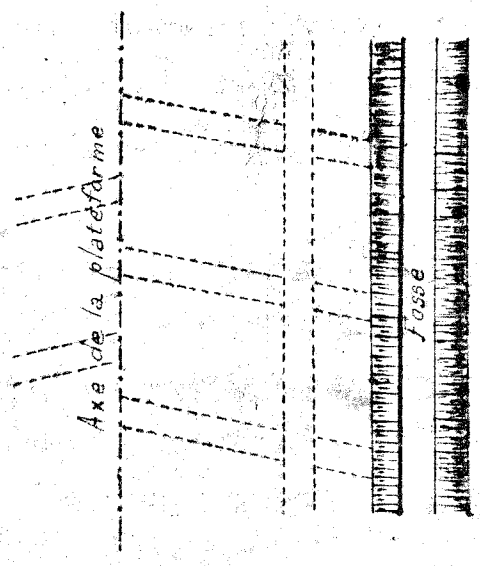


Si le terrain n'est pas trop mauvais, il suffit parfois de creuser au-dessous du plafond du fossé une tranchée de 0m40 de largeur et de 0m50 à 0m60 de profondeur que l'on remplit de pierres pour former drain. On recouvre ces pierres avec des mottes de gazon pour former le fond de la partie libre du fossé.



Dans les mauvais terrains l'approfondissement et le revêtement des fossés ne sont pas des mesures préventives suffisantes, et il faut en outre drainer d'une façon spéciale l'assiette de la plateforme elle-même. On creuse à cet effet dans la plateforme de petites tranchées de 0m30 à 0m40 de profondeur qu'on remplit de moëllons. On dispose généralement ces drains en forme d'arête de poisson par rapport à l'axe de la plateforme et on





les complète sur les lignes à voie unique par un drain longitudinal ménagé sous l'accotement ; sur les lignes à double voie, on ménage, en outre, un drain longitudinal dans l'entrevoie. Écartés de 6 mètres au plus, les drains ainsi formés assurent un écoulement des eaux très efficace en asséchant suffisamment la plateforme pour éviter tout mécompte du fait du délayage de l'argile.

Sur l'emplacement des stations, les plateformes étant beaucoup plus larges, exigent un drainage très soigné pour prévenir la stagnation des eaux. Là encore, on emploie le drainage en arête de poisson complété, si l'importance de la station le justifie, par de petits aqueducs collecteurs.

Construction des ouvrages d'art ordinaires — en des passages à niveau

On donne le nom d'ouvrages d'art aux constructions édifiées pour assurer le passage du chemin de fer, soit au-dessus des cours d'eau, soit au-dessus ou en dessous des routes, des chemins ou des canaux. On peut les séparer en deux groupes distincts : ouvrages d'art destinés à assurer l'écoulement des eaux ; ouvrages d'art destinés au rétablissement des communications.

Avant de les envisager séparément, nous passerons, en revue, certains principes essentiels qui leur sont également applicables. Dans la construction des ouvrages d'art des chemins de fer, il faut plus sévèrement qu'ailleurs appliquer les deux règles

fondamentales de la construction : *fonder solidement et construire simplement*.

La circulation des trains lourds animés de grandes vitesses transmet à l'infrastructure, par l'intermédiaire de la voie, des vibrations dont la fréquence et l'amplitude pourraient devenir une cause d'ébranlements dangereux pour des ouvrages insuffisamment soignés au point de vue des fondations.

Quel que soit l'ouvrage d'art, il importe de chercher à établir ses fondations sur un terrain incompressible : sur le rocher indemne de bancs d'argile, sur le gravier ou le sable compacts ou sur l'argile dure. Le mot incompressible ne doit pas être pris ici dans son sens absolu, qui ne pourrait s'appliquer qu'aux rochers durs et aux graviers très compacts ; mais on l'applique par extension à d'autres terrains qu'on peut considérer comme assez solides pour recevoir des fondations d'ouvrages importants : rocher plus ou moins dur, gravier, sable compact, argile dure et dont la compressibilité est assez faible pour qu'on n'ait pas à s'en préoccuper.

Entre ces terrains que nous venons d'appeler solides et ceux qu'on considère comme nettement compressibles, il en est d'autres qui ne subissent que de faibles tassements sans s'écraser, si le poids des maçonneries n'est pas trop considérable. On peut s'en contenter à la rigueur pour l'établissement des petits ouvrages ; à la condition de faire des petits aqueducs dont il s'agit, de véritables monolithes de forme homogène (à l'exclusion par conséquent

des redans établis à des hauteurs différentes et sur lesquels des compressibilités partielles pourraient provoquer des cassures).

Pour les ouvrages de quelque importance, il faut au contraire s'attacher sans exception à atteindre les terrains solides. On peut dans certains cas réduire la dépense en se bornant à faire descendre jusqu'au solide, non pas toute la fondation, mais de simples piliers qu'on relie par des voûtes ; cela se pratique notamment pour les fondations des piédroits des aqueducs sans remblai, des murs de soutènement et de certaines culées de ponts lorsqu'on éprouve trop de difficultés à ouvrir la fouille en grand.

Il faut s'attacher à donner aux ouvrages une assiette homogène, c'est-à-dire que si une partie d'un ouvrage est fondée sur le rocher, il faut l'y asseoir tout entier. Lorsqu'on pratique les sondages préparatoires dont nous avons indiqué la nécessité en traitant la question des études définitives du tracé, il faut se mettre en garde contre une hâte inconsidérée qui pourrait conduire à de graves mécomptes : il peut arriver, en effet, qu'on se figure avoir rencontré le rocher alors qu'on s'est trouvé en présence d'un bloc isolé reposant sur une couche de terre ou d'argile. L'étude géologique du terrain aux abords, rapprochée des résultats des sondages, permet seule de se rendre un compte exact et de n'arrêter son choix qu'à bon escient.

Lorsqu'on se trouve dans l'impossibilité de trouver le terrain solide à une distance raisonnable, on peut, lorsqu'il s'agit d'ouvrages peu im-

portants, répartir la pression sur le terrain au moyen d'un radier général en bonne maçonnerie bien liée (le béton n'est pas indispensable), ou même constitué par une couche de pierre cassée, de gravier ou de sable, s'il s'agit d'un petit ouvrage. Dans ce dernier cas, il faut avoir soin de bien arroser le sable et en tout cas, d'établir la couche de sable ou de pierre cassée sur une épaisseur bien uniforme.

Si on rencontre des terrains tourbeux, on peut les affermir en les lardant de piquets de 2 mètres de hauteur et de 10 centimètres de diamètre environ.

Les terrains mous peuvent encore être raffermis par l'emploi de pieux de sable, qu'on obtient en remplissant à l'aide de sable mouillé le vide laissé par le dégagement d'un pieux conique enfoncé préalablement à cet effet.

Lorsqu'on fonde sur pieux on établit ensuite un radier général et l'on se trouve ramené au cas des petits ouvrages fondés simplement sur radier.

Dans les très grands ouvrages, la possibilité d'avoir une fondation absolument sûre est presque une condition essentielle de l'exécution ; il ne faut donc pas être retenu par une question de dépense.

Il importe de descendre la maçonnerie de fondation jusqu'au terrain solide, soit au moyen d'une fouille à ciel ouvert, soit au moyen de puits foncés, soit au moyen de l'air comprimé ou de la congélation si on traverse des terrains vaseux.

Exécution des maçonneries. — La seconde règle fondamentale énoncée plus haut : construire simplement, s'explique suffisamment par une raison d'économie

car, en égard du grand nombre des ouvrages d'art qu'exige la voie de fer, le luxe déployé, sans grand intérêt d'ailleurs, sur des constructions éparses dans la campagne ne laisseraient pas que d'exiger des dépenses supplémentaires très élevées.

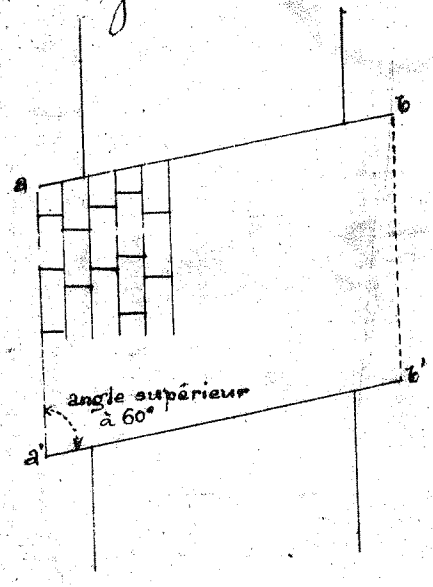
Le mieux est d'exécuter les maçonneries, y compris les parements, avec des matériaux puisés à proximité. Pour les fondations, comme pour le reste de l'ouvrage, les moëllons et les briques bien cuites qui font facilement corps avec le mortier, conviennent très bien. Les parements sont exécutés en moëllons durs ou demi-durs à opus incertum. Si on en trouve dans le pays; ils peuvent être à la rigueur construits en pierre tendre qu'on emploie soit sous forme de moellons têtués, soit sous forme de moëllons smillés, selon que les matériaux disponibles se prêtent mieux à l'un ou l'autre mode d'emploi. L'essentiel est que le parement fasse bien corps avec la maçonnerie placée derrière.

On peut aussi exécuter les voûtes, y compris les parements en maçonnerie brute, en évitant toutefois que les moëllons des parements ne forment pas coin — ce qui les prédisposerait à être chassés au dehors sous l'action de la pression intérieure des voûtes — et en prenant soin de maçonner la voûte en coupe, c'est-à-dire en disposant toujours les lits normaux à l'intrados.

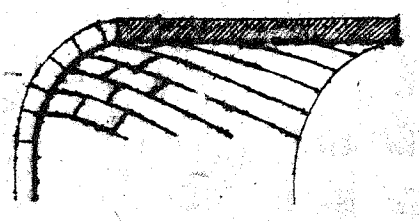
On n'emploie en général le moëllon d'appareil (c'est-à-dire des pierres dressées sur tous leurs joints) que pour les grandes voûtes dans lesquelles la maçonnerie aura à supporter de fortes pressions; le

mortier se trouvant alors réduit à de très faibles épaisseurs ne sert plus qu'à transmettre les pressions et on est en droit de compter sur la résistance de la pierre elle même.

Pour les angles supérieurs à 60° les ponts biais peuvent être appareillés comme des ponts droits, c'est-à-dire en disposant les lignes de joint suivant les génératrices du cylindre de la voûte. Cette méthode a l'avantage de faciliter la taille des moëllons d'appareil, les joints de chacun d'eux étant des plans normaux à l'intrados. La seule différence qu'il y ait avec les ponts droits provient de ce que les voussoirs des deux têtes ab, a'b' de la voûte n'ont pas des joints normaux aux plans des têtes ; il y a en conséquence sur chacun d'eux un petit angle à abattre par un chanfrein allant des naissances à la clef.



Lorsque le pont biais fait au contraire avec l'axe de la voie à traverser un angle notablement inférieur à 60°, le mode d'appareillage indiqué ci-dessus ne convient plus. Des joints parallèles aux génératrices rectilignes du cylindre d'intrados se présenteraient beaucoup trop obliquement par rapport aux pressions de la voûte, et il en résulterait une poussée au vide très défavorable pour la conservation de l'ouvrage. On a recours dans ce cas à l'appareillage en voûte biaise, dans lequel

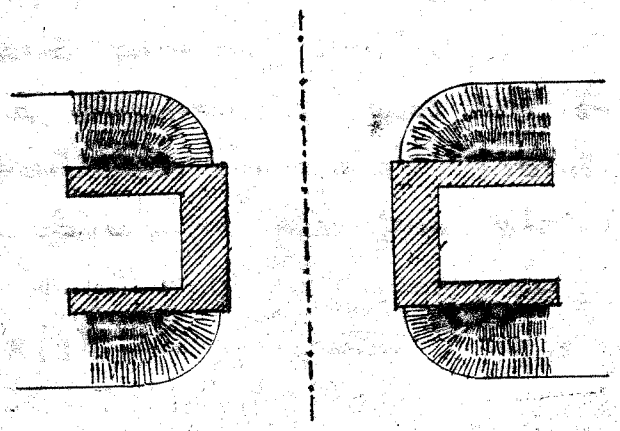


les joints sont conçus de façon à être à la fois normaux aux plans des têtes et normaux à l'intrados. Ces joints constituent alors des surfaces gauches dont la taille est plus difficile. Les traces des joints sur le cylindre d'intrados ont l'aspect indiqué sur le croquis ci-contre.

Dans le cas des angles inférieurs à 60°, on simplifie parfois la construction en traçant sur le cintre même de la voûte une série de lignes coupant normalement des parallèles aux têtes espacées de 0 m. 50, et en exécutant les assises suivant ces lignes au moyen de moëllons équarris d'épaisseur variable sans autre taille préalable.

Dans les parements comme dans les voûtes, il faut s'attacher à faire le rejointoiement au fur et à mesure de l'avancement, à 24 heures de date. On peut alors exécuter les joints en creux avec le mortier de pose de la maçonnerie encore frais ; cela tient beaucoup mieux que les joints en mortier spécial qu'on pourrait rapporter ultérieurement.

Murs en aile et murs en retour. — Nous avons dit précédemment qu'on employait assez fréquemment le type de pont à culées perdues, formé d'une voûte très surbaissée dont les culées sont noyées dans le remblai. Ce type dont la construction est très simple a l'avantage, s'il s'agit d'un passage supérieur, de bien dégager la vue et de permettre une bonne visibilité des signaux, s'il s'agit du passage d'un cours d'eau, le débouché augmente avec la hauteur des



Pont avec murs en retour
(Coupe par les culées)

eaux, ce qui est très important en cas de crue.

Lorsqu'on n'emploie pas ce type, il faut raccorder les culées du pont avec le talus, ce qu'on peut faire, soit au moyen de murs en aile, soit au moyen de murs en retour.

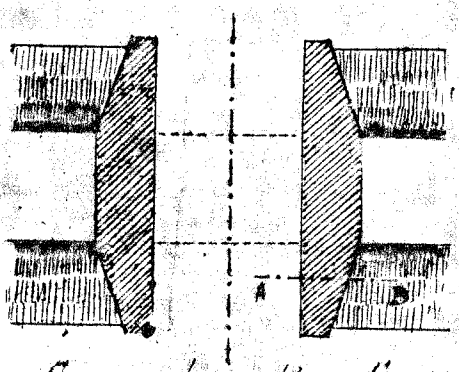
Les murs en retour ont été très fréquemment pratiqués autrefois. Ils sont caractérisés par l'existence de pans de murs en maçonnerie prolongeant les parements de la voûte jusque dans l'épaisseur du remblai, lequel se termine en quarts de cône épaulant les murs de retour. Les quarts de cône avaient pour but de soutenir le mur en retour en faisant équilibre à la pression des terres intercalées entre les deux murs de retour ; pratiquement, cette action d'équilibre doit être assez imparfaite parce que la terre du tronc de cône qui est relativement pèche au droit des murs pousse peu, tandis que la terre emprisonnée entre les murs en retour ne se débarasse que très difficilement de son humidité et pousse beaucoup plus.

Il résulte de cette remarque qu'il faudrait, pour avoir des murs en retour solides, les traiter à la façon de murs de soutènement, ou remplir avec des moëllons qui ne donnent pas de poussée, le vide existant entre eux ; ou encore transformer en fait l'intérieur de la culée en la fermant

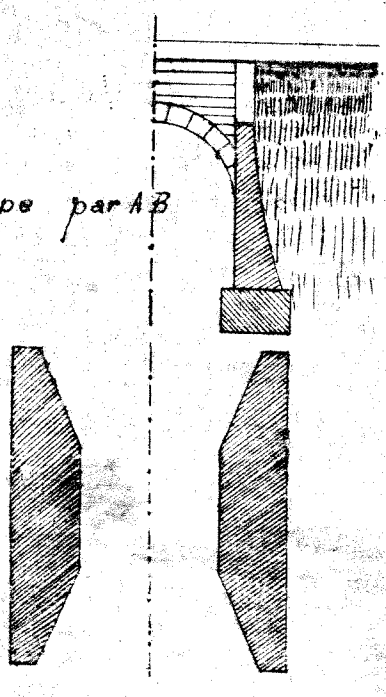
par un mur transversal ; ce qui ne serait pas économique.

Les murs en retour, qui ont donné d'assez nombreux exemples de dislocation, sont donc beaucoup moins en faveur aujourd'hui ; on les construit encore néanmoins dans les terrains difficiles, car les murs en aile ont une forme allongée qui s'accommode moins des pressions dissymétriques.

Les murs en aile sont au contraire des prolongements des prédroits, dont la hauteur décroît à mesure qu'ils s'écartent davantage de la voûte. De cette manière, ils se maintiennent constamment à la hauteur du talus dont ils équilibrent la poussée. Pour les rendre aptes à jouer ce rôle, on leur donne une section d'égale résistance comme cela se pratique pour les murs de soutènement.

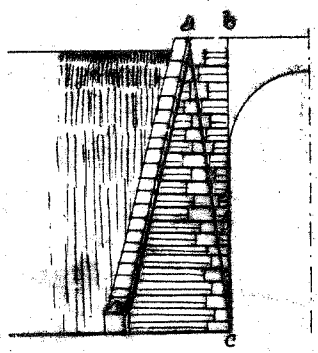


Coupe des culées d'un pont avec murs en aile

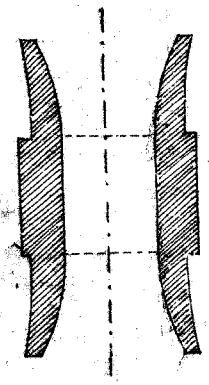


Coupe par AB

Les parements intérieurs des murs en aile peuvent être parallèles à l'axe du pont, comme dans la figure ci-dessus ; cela convient aux aqueducs. Mais s'il s'agit d'un chemin, il est préférable d'adopter une forme évasée qui atténue les dangers de l'étranglement que présente presque toujours le passage entre les culées.

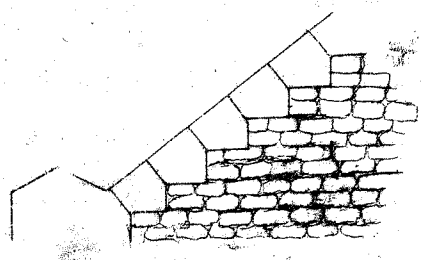


On donne parfois aux murs en aile un léger fruit dans la partie évasée ; cela complique la construction et l'aspect du triangle a b c qui reste en parement à l'angle de la culée n'est pas très satisfaisant.

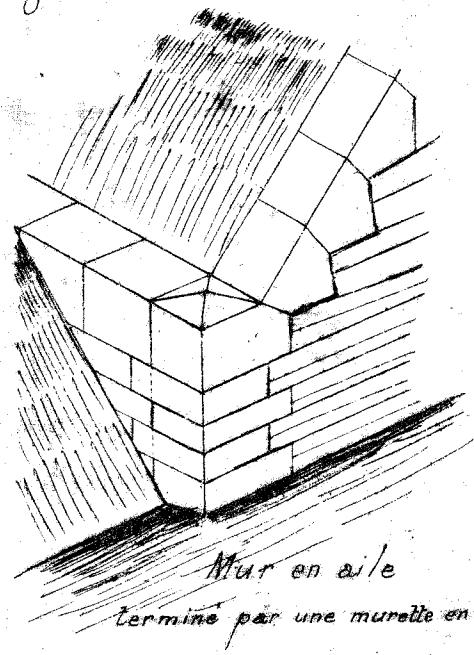


On donne actuellement, de préférence aux murs en aile, une forme évasée, obtenue en prolongeant la base de la culée par des arcs de cercle qui lui soient tangents. Cela permet de raccorder très facilement le mur en aile avec la culée.

Les murs en aile sont généralement terminés à



Mur en aile
terminé par un dé



Mur en aile
terminé par une murette en retour

leur extrémité par un dé en pierre de taille lorsqu'il s'agit de passages inférieurs pour chemins, ou par une petite murette en retour s'il s'agit d'un pont franchissant

un cours d'eau.

Ouvrages destinés à assurer l'écoulement des eaux.

Les ouvrages d'art construits pour assurer l'écoulement des eaux doivent être étudiés spécialement à divers points de vue : débouché à donner aux eaux en temps de crue, aménagement des abords pour diriger les courants en éviter les remous ; précautions à prendre pour supprimer les chances d'affouillement

Dans l'étude du débouché à donner à l'ouvrage, il faut se baser, non sur le volume habituel, mais sur le volume d'eau susceptible d'affluer dans des cas de crues extraordinaires. A cet effet, on doit s'entourer de renseignements dans le pays pour connaître l'étiage maximum des plus fortes crues. Dans les régions torrentielles, ces renseignements doivent être tout particulièrement précis, car une appréciation trop éloignée de la réalité des faits pourrait exposer la ligne à être submergée en coupée.

Il ne suffit pas de prévoir un débouché déterminé, il faut encore diriger le courant sous l'ouvrage, faute de quoi il pourrait se produire à l'amont des remous entravant l'écoulement en des surélévations anormales. En principe, les eaux qui affluent latéralement par rapport au courant principal tendent à diminuer le débit de celui-ci en à rompre momentanément le régime normal. En conséquence, il faut dévier, en temps utile, les fossés latéraux en les infléchir un peu avant l'ouvrage de manière à canaliser leurs eaux dans le courant

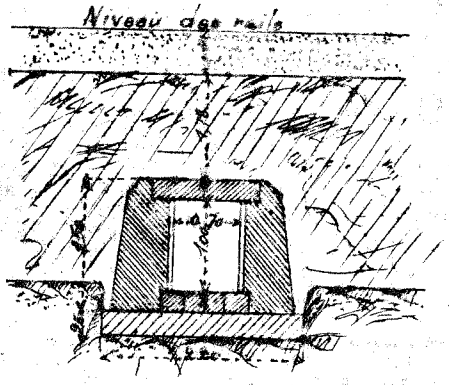
principal normalement à la ligne. A la sortie d'un aqueduc, il faut diriger les eaux de manière à les rendre inoffensives et, dans les cas où le remblai du chemin de fer vient barrer un thalweg, il faut prévoir pour les aqueducs des ruisseaux le débouché nécessaire pour l'écoulement de la masse d'eau qui peut s'y déverser en temps d'orage.

Ces considérations générales émises, passons rapidement en revue les différents types d'ouvrages pratiqués pour assurer l'écoulement des eaux.

S'il s'agit de très faibles quantités d'eau à écouler, on fait passer sous la voie des tuyaux en fonte de 40 centimètres de diamètre au minimum (limite reconnue nécessaire pour faciliter le nettoyage) ou encore des tuyaux en mortier de ciment qui ont toutefois l'inconvénient d'être fragiles et qu'il est prudent d'entourer de béton. Ces tuyaux de faible diamètre sont désignés sous le nom de **buses**.

Lorsque les buses ne peuvent plus suffire eu égard au débit à assurer, on construit des aqueducs ou des ponceaux en maçonnerie qui doivent pouvoir donner passage à un homme tant pour les travaux de réparation que pour le ouvrage. Les plus petits de ces ouvrages ne doivent donc pas avoir moins de 0m60 en hauteur et en largeur; on ne leur donne jamais moins de 1 mètre sous les grands remblais, car les visites pour réparation sont plus fréquentes en raison de la longueur de l'ouvrage.

Il faut conserver au dessus de la voute une épaisseur de terre d'au moins 20 à 30 centimètres pour former un matelas suffisant entre la chape de



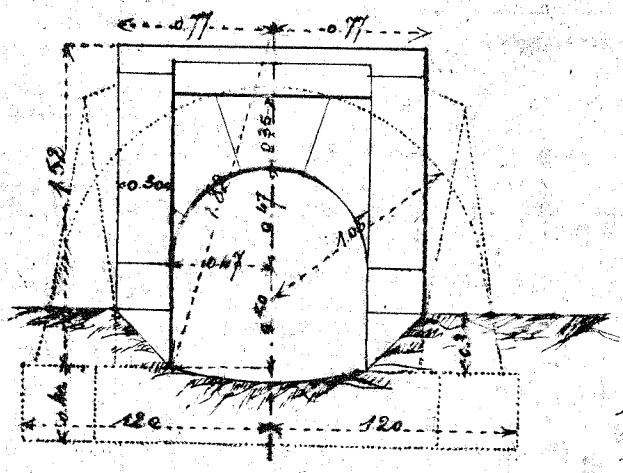
de la voûte en le dessous des traverses.

Dans les petites dimensions l'aqueduc dallé est fréquemment employé lorsqu'on dispose de pierres de taille. Les ouvrages de l'espèce ont une section intérieure rectangulaire et comportent deux piédroits présentant une forme d'égale résistance recouverts de dalles d'une seule pièce, et réunis généralement par un radier afin d'éviter des affouillements du plafond en cas d'écoulement abondant. Les aqueducs dallés atteignent au plus 80 centimètres de largeur, à moins qu'on ne puisse se procurer des dalles de dimensions exceptionnelles.

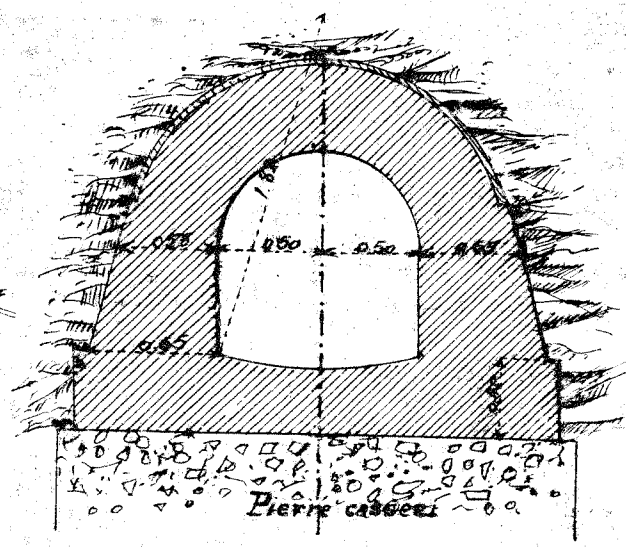
Pour les dimensions plus élevées on construit des ponceaux en maçonnerie ou des aqueducs voûtés, qu'on

AQUEDUC VOÛTÉ (de 1m. d'ouverture)

ELEVATION



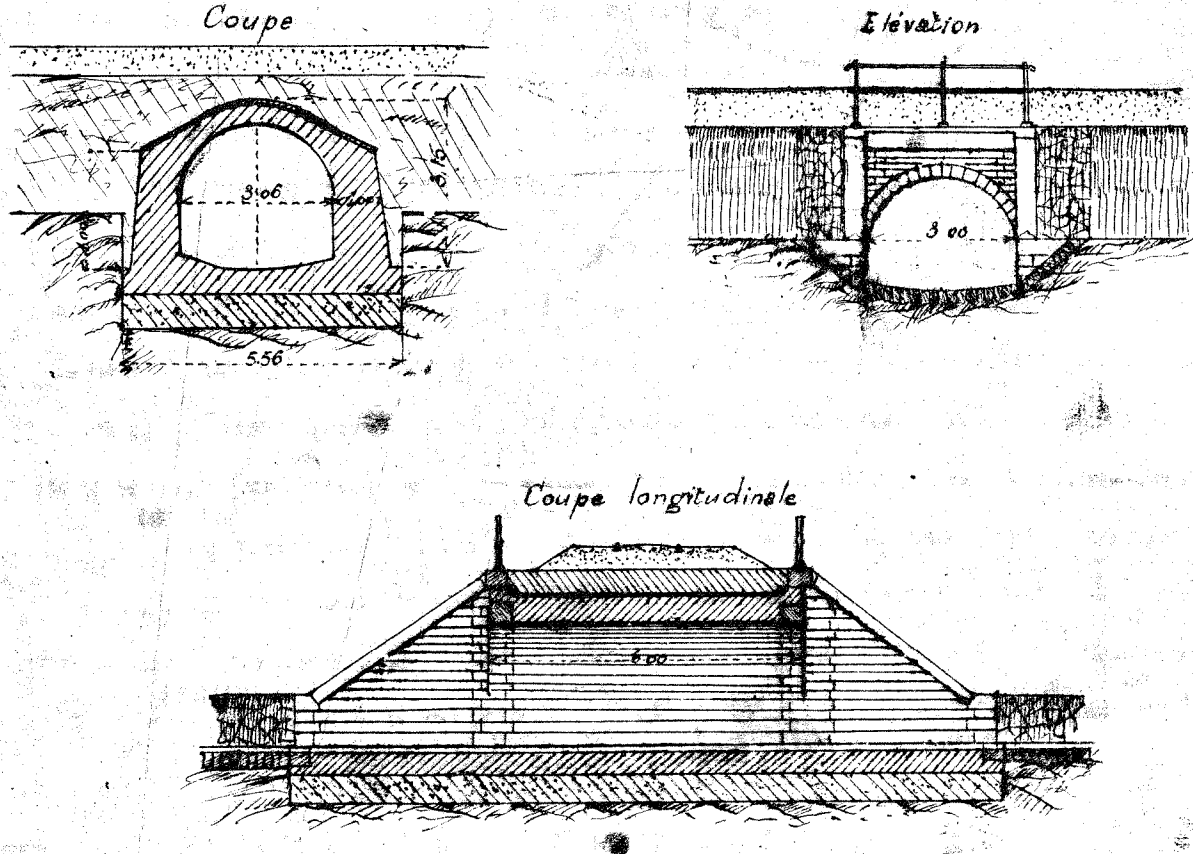
COUPE



bâtit en plein cintre, en anse de panier ou en arc de cercle en qu'on accompagne, en général, de murs en aile. L'arc de cercle est à adopter de préférence au plein cintre à cause des facilités de

construction qu'il procure : les moëllons d'appareil peuvent en effet dans bien des cas être taillés en

PONCEAU VOÛTÉ (*de 3 m. d'ouverture*)



forme de parallélipipèdes, quitte à regagner sur l'épaisseur des joints la différence de développement des courbes d'intrados et d'extrados.

Dans les remblais élevés, il y a intérêt au point de vue de la résistance à adopter des aqueducs en plein cintre ou même des aqueducs en forme d'œuf comme les égouts.

Les aqueducs ou ponceaux qui ne sont pas fondés directement sur un terrain non affouillable, sont généralement pourvus d'un mur de garde construit à l'amont, en avant du radier, et qu'on fait descendre au-dessous du plafond du radier, jusqu'au

point le plus bas que des affouillements soient susceptibles d'atteindre.

Lorsqu'un aqueduc supporte un remblai, on donne à la voûte en aux culées des épaisseurs croissant avec la hauteur de terre supportée : les maçonneries ont donc rationnellement plus d'épaisseur dans la partie médiane que dans les parties avoisinant les talus du remblai.

Les aqueducs à poutre métallique restent l'exception, attendu qu'on n'est généralement pas limité par la hauteur.

Pour les débouchés de 8 à 12 mètres, on emploie couramment le pont à culées perdues dont nous avons déjà parlé.

Ouvrages destinés au rétablissement des communications.

Ces ouvrages sont en général plus importants que ceux que nous venons d'envisager, car leur portée ainsi que la hauteur libre sous clef, ont des limites inférieures strictement définies par les cahiers des charges.

Il faut réserver, pour les passages inférieurs, une ouverture (ou, pour les passages supérieurs, une largeur entre parapets) de 8 mètres pour les routes nationales, 7 mètres pour les routes départementales, 5 m. pour les chemins de grande communication et 4 m. pour les chemins vicinaux.

D'autre part, la largeur entre parapets, ou l'ouverture minimum entre culées (suivant qu'il

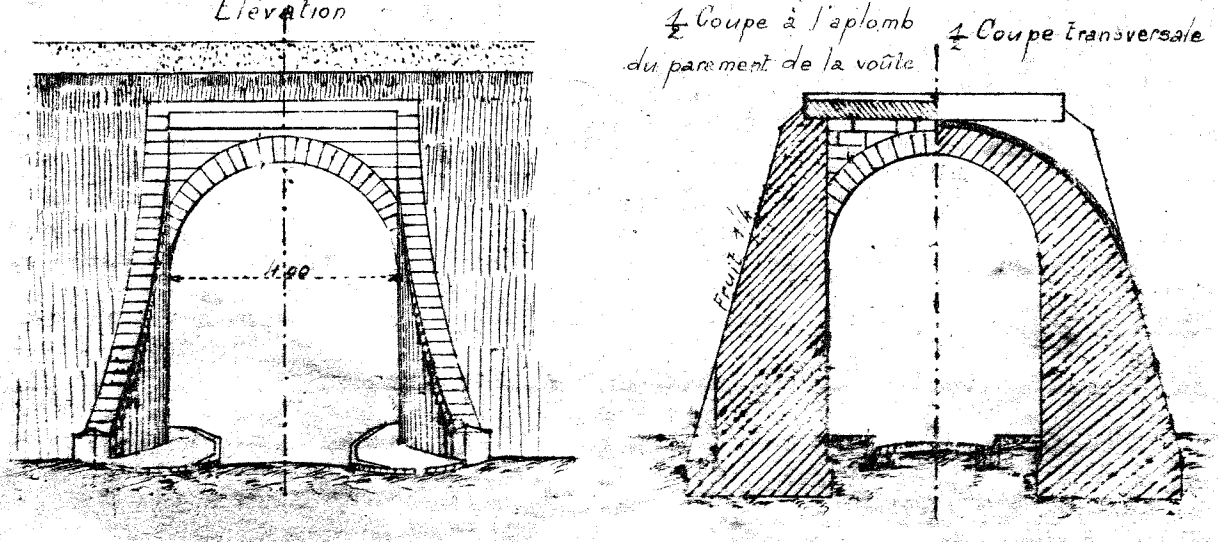
s'agir d'un passage inférieur ou d'un passage supérieur) doit être de 4 m 50 pour une ligne à voie normale ou de 8 mètres pour une ligne à double voie.

Passages inférieurs. — Au point de vue des facilités d'accès et de visibilité, la route passant sous le remblai du chemin de fer ne devrait pas être déviée. Cependant on doit le faire fréquemment afin d'éviter les complications et la dépense supplémentaire qu'entraîne généralement la construction d'un pont biais.

Au point de vue du profil en long de la route, il faut donner une pente continue sous l'ouvrage et à ses abords afin d'éviter la formation de cloaques sous le pont. On ménage alors soit de chaque côté sous le trottoir, soit de préférence au travers de chacune des culées un petit aqueduc maçonné faisant passer les eaux d'un fossé à l'autre de part et d'autre du chemin de fer.

Toutefois cette solution n'est pas applicable aux ponts avec murs en aile que l'on emploie le plus généralement de nos jours. On tourne la difficulté

PASSAGE INFERIEUR



en conduisant les eaux de la route jusqu'à l'aqueduc spécial établi pour l'écoulement des eaux du thalweg ce qui peut se faire en pratiquant des fossés au pied des talus du remblai. Les caniveaux établis le long des trottoirs sous le pont n'ont plus alors qu'à conduire les eaux de pluie tombées sur la route aux abords immédiats de l'ouvrage.

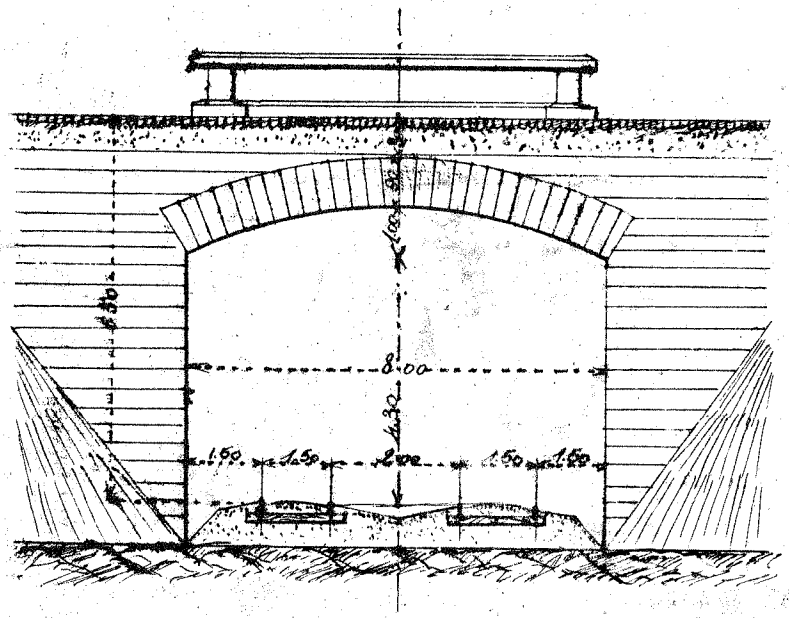
La hauteur libre de 5 mètres sous clef, imposée pour les ouvrages voûtés construits avec une épaisseur de maçonnerie de 50 centimètres à la clef et l'épaisseur de 10 centimètres de la chape de ciment, à une différence de niveau minimum de 6 m 10 entre le champignon du rail et le sol de la route sous le pont. Si le remblai a plus de 6m.10 de hauteur, on peut surélever les culées de manière à ne faire supporter par la clef de voûte que la couche du ballast, ou bien conserver la hauteur sous voûte de 5 mètres et interposer entre la chape de ciment et le ballast une certaine hauteur de remblai ; le calcul des piédroits et de la voûte est fait en conséquence.

Lorsqu'on ne dispose pas de 6 m. 10, il faut recourir à un pont métallique pour lequel les cahiers des charges n'exigent qu'une hauteur sous poutre de 4 m 30 par rapport au sol de la route.

Cela permet, comme nous l'avons dit, de réduire au minimum la différence de niveau entre le rail et le chemin en employant des poutres en caisson: on peut arriver ainsi à une différence de niveau de 4 m.75 seulement, qui est le *minimum minimorum* de la différence de cote qui caractérise les ouvrages

permettant de rétablir les communications sur routes au point de croisement d'une ligne ferrée. Nous verrons en effet que ce minimum ne peut être atteint, même avec les poutres métalliques, dans les passages supérieurs.

Passages supérieurs. — Pour les ponts qui permettent aux routes de franchir une tranchée par dessus le chemin de fer, les cahiers des charges imposent un minimum de hauteur libre de 4m80 au-dessus des rails extérieurs de chaque voie. Il en résulte que pour les ouvrages en maçonnerie, la différence de cote entre le niveau du rail et celui de la chaussée ne peut être inférieure à 6 m ou même 6m50 pour des lignes à double voie. (en comptant une épaisseur de chaussée de 80 centimètres seulement au dessus de l'ouvrage).



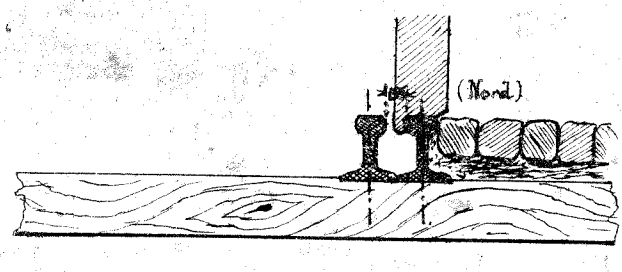
Avec une poutre métallique, on ne peut réduire dans les mêmes conditions la différence de cote à un chiffre inférieur à 5m.30 ou 5m50. Qu'il s'agisse d'ailleurs de passages supérieurs ou de passages inférieurs on n'a recours à l'emploi des poutres métalliques que lorsque la hauteur fait défaut pour construire une voûte en maçonnerie, ou lorsqu'on veut se réserver la possibilité d'un élar-

glissement ultérieur. Les ouvrages métalliques, outre qu'ils imposent des sujétions au point de vue de la pose de la voie, exigent des soins d'entretien et de surveillance qui sont au contraire presque nuls pour les maçonneries exécutées dans de bonnes conditions.

Les ponts en maçonnerie à culées perdues sont très fréquemment employés comme passages supérieurs, car à leurs qualités générales, ils joignent, dans cette application spéciale, le grand avantage d'entraîner le minimum de gêne pour la visibilité.

Passages à niveau. — Nous avons donné précédemment les conditions techniques d'établissement des passages à niveau qui ont une répercussion nécessaire sur la détermination du tracé et du profil général de la ligne; il nous reste à examiner l'agencement même des passages à niveau.

L'obligation de poser des rails sans saillie ni dépression a été interprétée habituellement comme entraînant la pose de contre-rails à la traversée à niveau des chemins de toute nature.



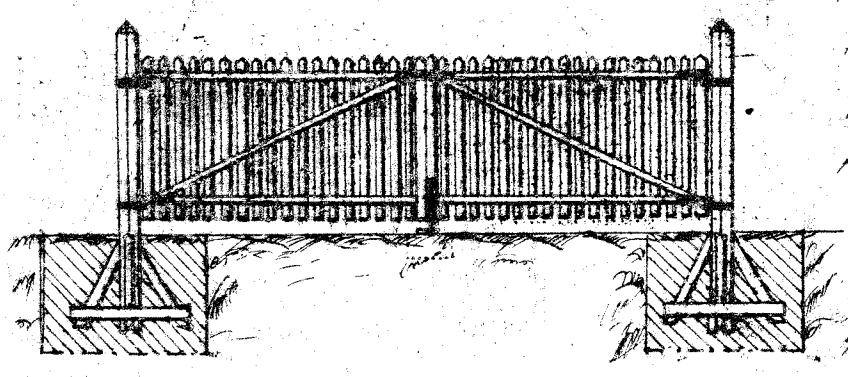
Le contre-rail est un second rail placé dans l'intérieur de la voie parallèlement au rail de roulement, de manière à former avec celui-ci une ornière de 5 à 7 centimètres dans laquelle passent les boudins des roues des wagons.

Sur le Nord français, l'ornière normale est de 55 m/m, ce qui laisse encore un jeu d'au moins 25 m/m dans l'ornière, puisque le boudin a, au maximum 30 m/m d'épaisseur. On dispose entre les files de rails un pavage ou un empierrement arasé au niveau des champignons des rails et qui recouvre en particulier les traverses ; l'empierrement est plus facile à maintenir en état que le pavage. Cet empierrement doit laisser passer, le cas échéant, des buses en poterie pour l'écoulement des eaux.

Les barrières mobiles destinées à fermer le passage à niveau lorsqu'il est engagé par un train ou une manœuvre sont éloignées de 1m 50 au moins du rail le plus voisin. Elles sont de trois types différents : barrières à pivot, barrières roulantes et barrières à bascule.

Les barrières à pivot sont les plus simples ; on les fait en bois ou en fer (poutre à treillis), à un seul vantail jusqu'à 5 mètres, ou à deux vantaux lorsque la largeur du passage est supérieure à 5 mètres.

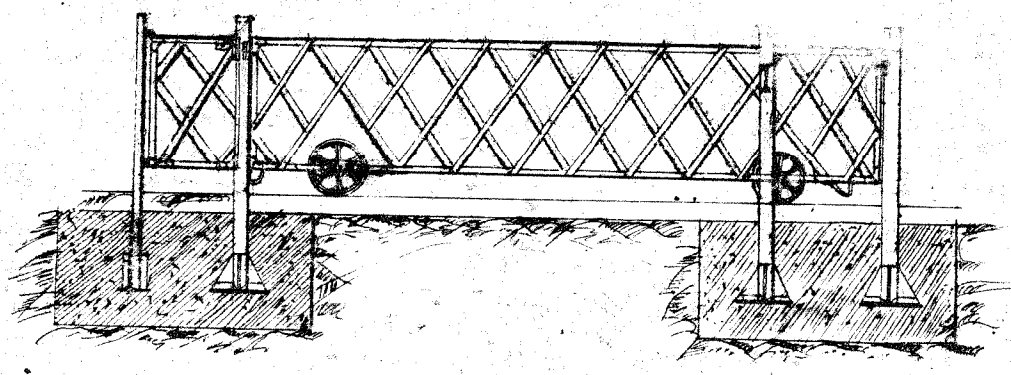
Les barrières pivotantes en bois qui sont les plus employées se composent généralement d'un cadre contreventé par une diagonale et supporté en porte à faux par un poteau au moyen de gonds. Les poteaux sont souvent constitués par deux



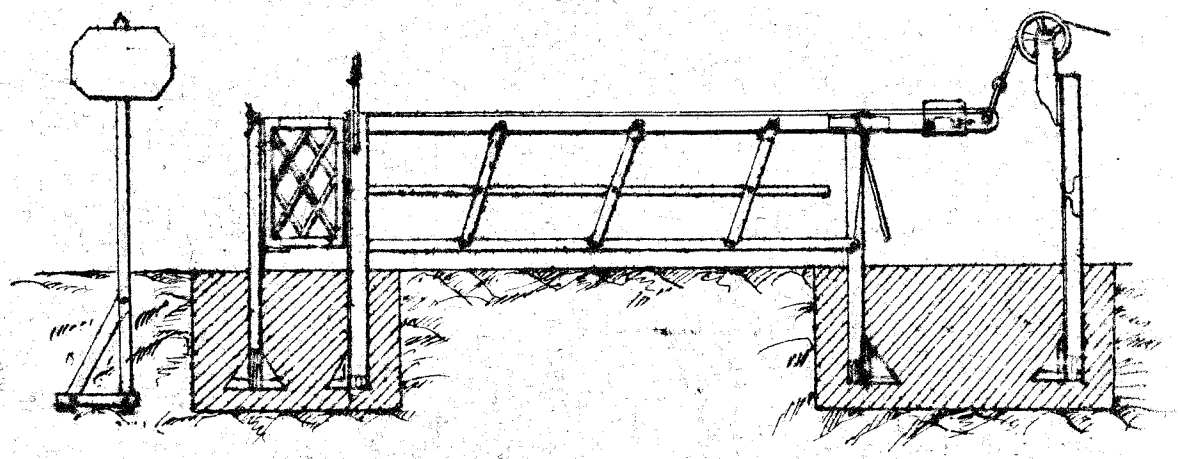
rails verticaux assemblés par des boulons et solidement ancrés dans un massif de maçonnerie. Ce type de barrière a l'inconvénient d'exiger beaucoup de place pour la rotation, que celle-ci se fasse à l'extérieur ou à l'intérieur.

Barrières roulantes. — Lorsque les passages excèdent une largeur de 7 mètres, les barrières roulantes sont préférables aux barrières pivotantes et ont l'avantage de donner le minimum d'encombrement.

Les barrières roulantes sont constituées généralement par des poutres à treillis portées par des galets de 0m40 environ de diamètre et qui se déplacent sur un chemin de roulement formé d'un rail à gorge. Le chemin de roulement est prolongé jusqu'à une distance suffisante, en dehors du passage et complété de ce côté par des poteaux munis de galets horizontaux disposés par paires, qui servent au guidage de la barrière dans sa position d'ouverture. Des arrêts sont disposés pour arrêter la barrière à fond de course ; le poteau arrêt qui limite la course dans sa position de fermeture, sert, en même temps, d'appui à la barrière fermée.



Barrières manœuvrées à distance. — Les barrières commandées à distance par les gardes des passages à niveau voisins sont des barrières à bascule. La barrière à bascule est généralement constituée

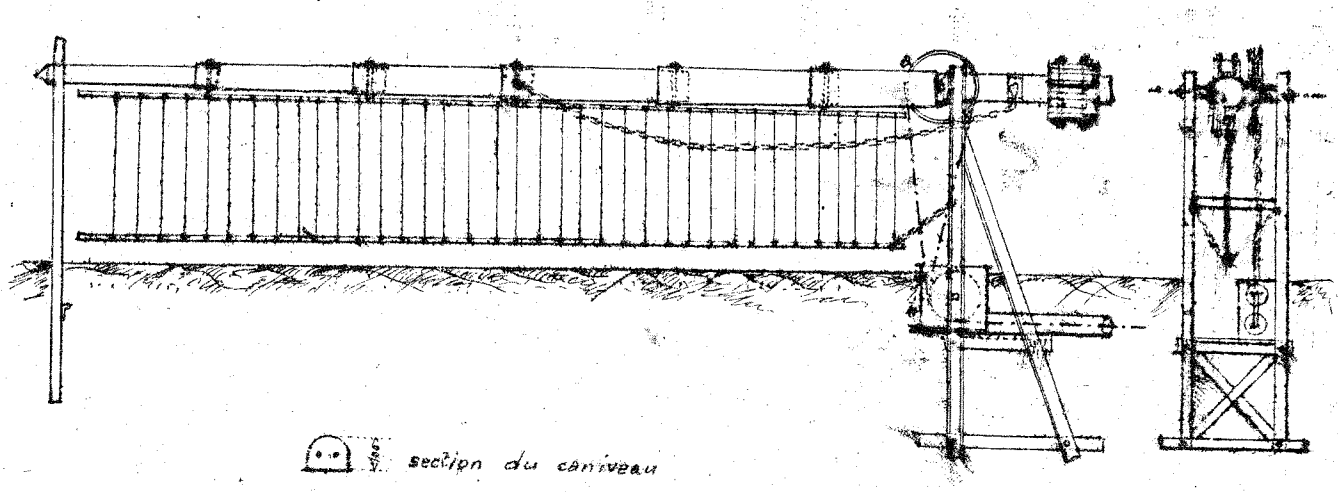


par une poutre solide, en bois ou en fer, à laquelle est suspendu un rideau sommaire en forme de parallélogramme articulé, qui reste déployé lorsque la barrière est fermée et qui se replie, au contraire le long de la poutre lorsque celle-ci est relevée verticalement. La poutre principale forme un fléau articulé autour d'un axe horizontal fixé à la partie supérieure d'un poteau fixe ; un contrepoids en fonte faisant corps avec le petit bras du fléau a une action prépondérante et agit pour relever verticalement tout le système dès qu'on donne du lâche à la transmission. Cette dernière est constituée par un fil d'acier de 4 m/m de diamètre, supporté par des poulies espacées de 20 à 30 mètres et qui est rattaché à un treuil à vis sans fin manœuvré du passage à niveau voisin. Lorsque le gar-

de barrières exerce, à l'aide du treuil une traction sur le fil, le contrepoids remonte et la barrière à bascule prend la position horizontale en travers du chemin.

L'installation d'une barrière à bascule est complétée par le jeu de 2 sonnettes : l'une actionnée par les voituriers tinte, au passage voisin, pour réclamer l'ouverture des barrières, l'autre placée près de la barrière à bascule est actionnée à distance par le garde-barrière, annonce par trois coups que la barrière va être fermée. Une plaque indicatrice sur poteau donne aux passants les indications utiles concernant le régime et la manœuvre.

Barrières oscillantes manœuvrées sur place. — On a créé récemment des barrières oscillantes manœuvrées à la main sur place par le garde-barrières. Elles sont constituées par une poutre creuse en tôle et à contrepoids au-dessous de laquelle des tiges métalliques verticales sont articulées à deux



section du caniveau

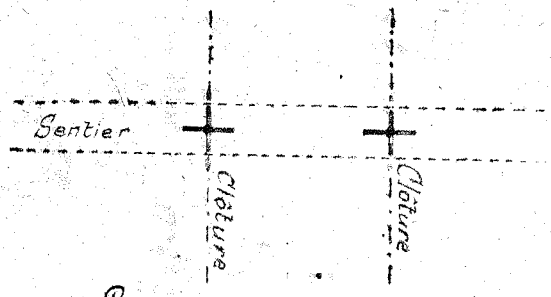
barres parallèles à la poutre pour former un filet métallique qui se replie de lui-même lorsque le fléau se relève. L'équilibrage est très sensible, de sorte que le garde-barrières, en agissant sur le contrepoids ou sur une chaîne lâche attachée au milieu du fléau manœuvre facilement non seulement cette barrière, mais en même temps celle qui ferme l'autre extrémité du passage à niveau. A cet effet, les deux barrières sont rendues solidaires par un câble sans fin a b qui passe sous les rails dans un caniveau en tôle de 3 m/m d'épaisseur et de 100 m/m de hauteur, et qui entraîne une poulie à gorge venue de fonte avec l'axe de la poutre crenoe de la barrière. La poutre crenoe est constituée par des éléments de 1m. de longueur s'emboîtant les uns dans les autres, ce qui rend le montage et le rangement très faciles.

Ce dispositif présente de grands avantages, au point de vue de la rapidité et de la facilité des manœuvres et évite au garde-barrières de traverser les voies. La Cie du Nord français l'a appliqué déjà sur un certain nombre de passages fréquentés.

Portillons.— Chacun des types de barrières de passage à niveau est complété par un portillon de 80 centimètres d'ouverture environ, que les piétons peuvent ouvrir à volonté, à leurs risques et périls pendant les périodes de fermeture des barrières. Les portillons sont dis-

posés de manière à s'ouvrir en dehors du chemin de fer et à se refermer d'eux-mêmes sous l'action de la pesanteur : à cet effet, le pivot du bas est excentré, la ligne des gonds se trouve donc placée obliquement par rapport à la verticale, et un arrêt placé en un point convenable empêche le portillon de dépasser la position au delà de laquelle son poids cesserait de le ramener automatiquement à la position de fermeture.

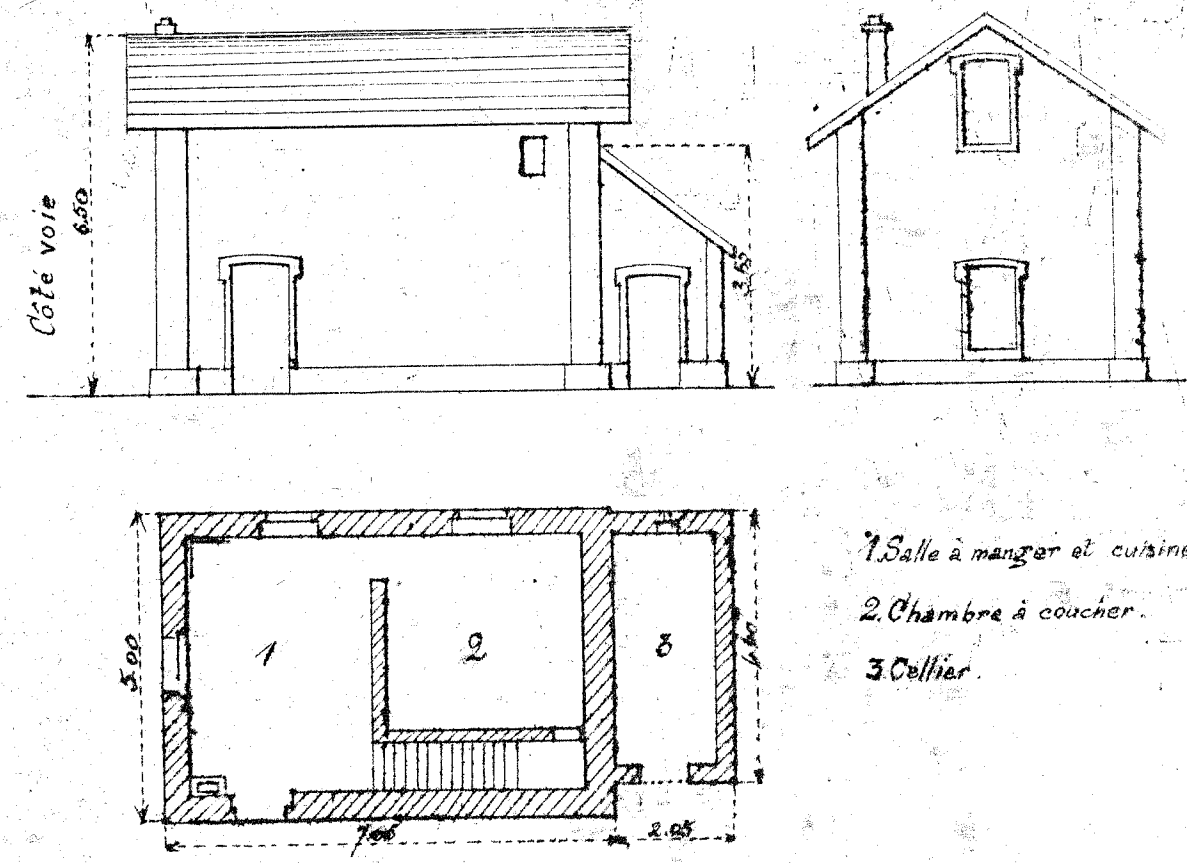
On installe, en certains points de la ligne, au droit de sentiers fréquentés, de petits passages à niveau pour piétons, comportant, dans chacune des clôtures, un simple portillon à chute libre, ou mieux, dans le but d'empêcher les bestiaux de passer, des tourniquets installés sommairement sur un petit poteau.



Les passages à niveau reviennent à 8.500 francs au plus, y compris la maison de garde ; mais il convient de tenir compte en outre des frais d'entretien des gardes-barrières représentés par un capital de 20.000 francs environ. Il y a donc économie à construire un pont dès que la dépense ne dépasse pas 25 à 30.000 francs ; mais nous avons vu précédemment que la question d'économie n'était pas la seule à envisager et qu'il fallait tenir compte, en outre,

de la gêne en des chances d'accidents que créent les passages à niveau sur les lignes à grande circulation.

Maisons de garde. — Le type de maison de garde généralement adopté en France, jusqu'à ces dernières années comportait une longueur de 8 mètres sur une largeur de 5 m 50 avec deux ou trois pièces, dont une salle commune au rez-de-chaussée en, à l'étage, une pièce mansardée en un grenier. On s'efforce aujourd'hui de rendre ces logements plus conformes aux principes de l'hygiène et de la morale, en les agrandissant pour donner trois chambres, en dehors de la salle commune, ce qui s'obtient en



1. Salle à manger et cuisine.
2. Chambre à coucher.
3. Cellier.

pratiquant une surélévation sur les batiments existants, ou un allongement du type classique primitif. La porte de la salle commune servant de pièce de service s'ouvre sur la face perpendiculaire à la voie donnant sur le chemin. Un huits et un petit cellier sont installés au voisinage immédiat.

Ouvrages d'art exceptionnels

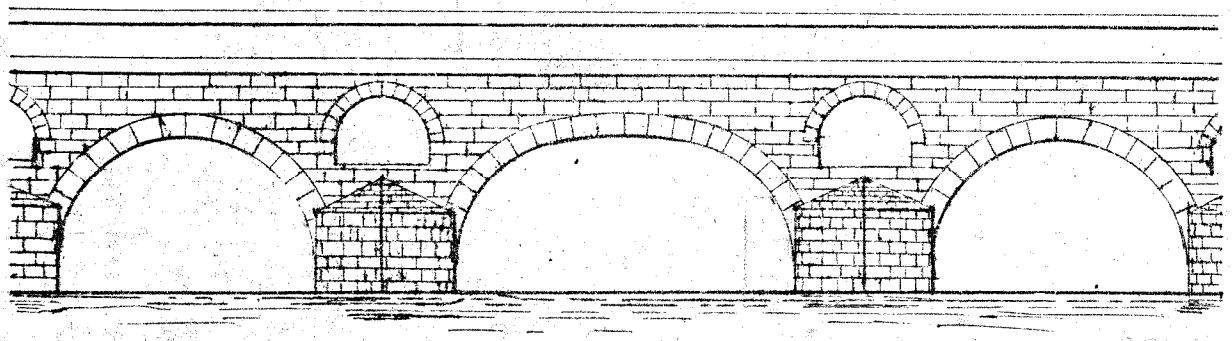
Dans la catégorie des ouvrages d'art exceptionnels, il faut comprendre: les ponts de très grande portée, les viaducs, les murs de soutènement de grande hauteur en arcades, et enfin les souterrains.

Sans vouloir entrer longuement dans la technique de ces ouvrages, ce qui nous conduirait à de trop longs développements, nous les envisagerons sommairement, au point de vue des types généralement usités et des relations que chacun d'eux peut avoir avec les condit générales du tracé.

Lorsqu'un pont de grande portée ou un viaduc est indispensable, il faut en faire l'objet d'une étude spéciale dont les grandes lignes doivent être arrêtées avant que soient achevées les études définitives du tracé: on peut, en effet, être amené à modifier ce dernier pour tenir compte des difficultés rencontrées dans l'implantation des fondations.

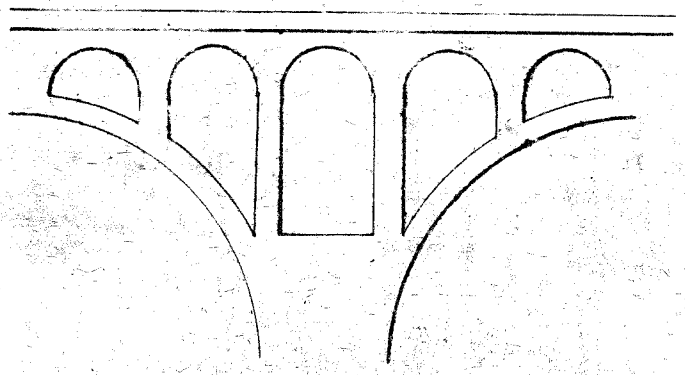
Les grands ponts, établis sur les rivières importantes, doivent répondre à certaines conditions, au point de vue de leur emplacement: il faut disposer d'un terrain solide pour la fondation des piles et culées; il faut chercher d'autre part à franchir le cours d'eau dans une partie droite, dans le but de recueillir des garanties certaines concernant la fixité des rives.

Les ponts en maçonnerie sont toujours constitués par des voûtes, cette forme étant la seule



qui fasse travailler exclusivement à la compression les matériaux utilisés en maçonnerie; mais l'intrados peut être en plein cintre, en arc de cercle surbaissé, en ellipse ou en anse de panier. Dans un pont à plusieurs arches, on établit quelquefois des arches plus grandes au milieu, pour faciliter la navigation.

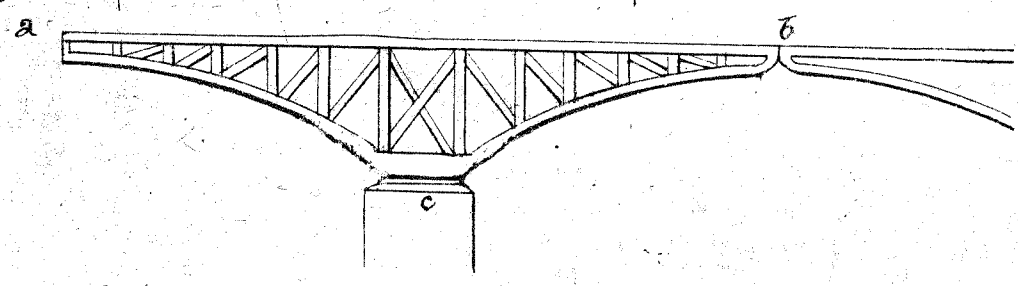
L'implantation des piles doit être conçue de manière que le débouché offert aux eaux soit en rapport avec le débit de la rivière; il faut éviter en particulier qu'un excès de



vitesse des eaux puisse provoquer un affouillement du fond. Les piles sont fréquemment pourvues d'avant-becs destinés à fendre le courant. Au-dessus des piles on construit parfois de petites voûtes qui peuvent servir d'arches de décharge dans les grandes crues en qui ont en outre l'avantage de réduire le cube des maçonneries. On allège quelquefois aussi en ajourant les tympans au moyen d'une série de voûtes.

Les ponts métalliques sont généralement constitués par un ou plusieurs arcs surbaissés avec poutres en treillis. La fonte qui ne travaille bien qu'à la compression ne doit pas être employée ; on recourt au fer ou à l'acier. Le tablier portant la voie ferrée peut être disposé à la partie supérieure ou à la partie inférieure de la poutre métallique.

Les ponts cantilever, ou ponts à console,



sont combinés de manière que les éléments constitutifs tels que a b c se fassent équilibre sur la pile c — qui n'a à supporter que des efforts

verticaux de compression.— On profite de cette particularité pour construire ces ponts symétriquement sans échafaudages compliqués.

Pour compléter le système, on fait usage de rotules aux points a b c, pour faciliter les mouvements de dilatation.

Les viaducs sont des ponts d'une grande hauteur qu'on établit, dans des cas exceptionnels, pour la traversée des vallées très encaissées, en remplacement de remblais qui devraient être trop élevés et seraient d'une construction trop onéreuse. Le remblai reste très pratique et économique tant que sa hauteur ne dépasse pas 15 mètres; on en établit cependant de 20 mètres de hauteur, mais lorsqu'on doit envisager ces dimensions exceptionnelles, il faut faire une étude comparative pour voir s'il n'y aurait pas économie à construire un viaduc.

La largeur d'empattement à donner aux grands remblais et le coût des achats de terrain exceptionnellement importants qui en résultent, la nécessité de ménager dans ces remblais très larges des ouvrages pour la traversée des chemins, l'écoulement des eaux, etc.... contribuent à rendre ces remblais exceptionnels très coûteux. L'étude comparative à faire doit, comme nous l'avons dit, précéder l'arrêt définitif du tracé, car le profil le plus économique avec un viaduc n'est généralement pas le profil le plus économique avec un remblai en inversement. Il faut d'ailleurs plutôt prolonger le viaduc plus loin que

la stricte économie l'exigerait en diminuer d'autant la longueur du remblai qui le précède, en tenant compte de ce que les dénivellations dues au tassement considérable des très hauts remblais qui succèdent aux viaducs peuvent avoir de gênant en même de dangereux dans les débuts de l'exploitation de la ligne.

Les viaducs se font en maçonnerie ou en fer, ou à la fois métalliques dans leur plus grande partie en en maçonnerie vers leurs extrémités.

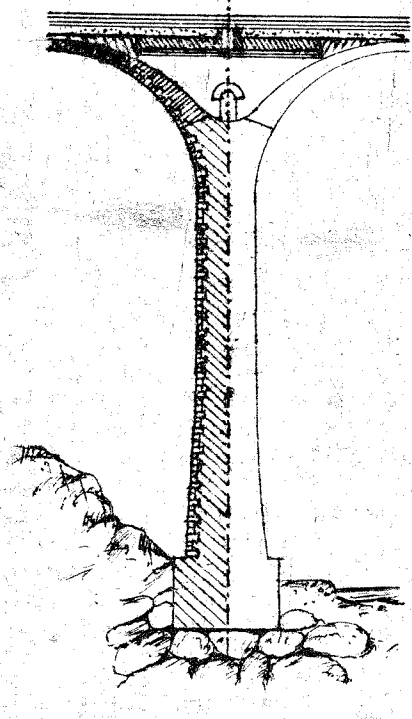
Dans les viaducs en maçonnerie, on observe le plus souvent le rapport architectural classique de 1/2 entre l'ouverture d'une arche en la hauteur sous clef ; mais il ne faut pas hésiter à sacrifier ce détail d'esthétique, s'il y a un réel avantage à régler autrement l'ouverture des arches soit pour faciliter les fondations, soit pour des raisons d'économie touchant en particulier la construction des cintres.

Les parements des viaducs peuvent se faire exclusivement en moëllons têtués, quitte à relever les angles saillants par des ciselures pour obtenir des lignes plus pures ; on obtient ainsi des résultats presque aussi satisfaisants qu'avec l'ancienne méthode qui consistait à employer la pierre de taille pour les angles en les bandeaux. L'usage exclusif des moëllons têtués a le double avantage d'être moins coûteux en d'offrir plus d'homogénéité dans

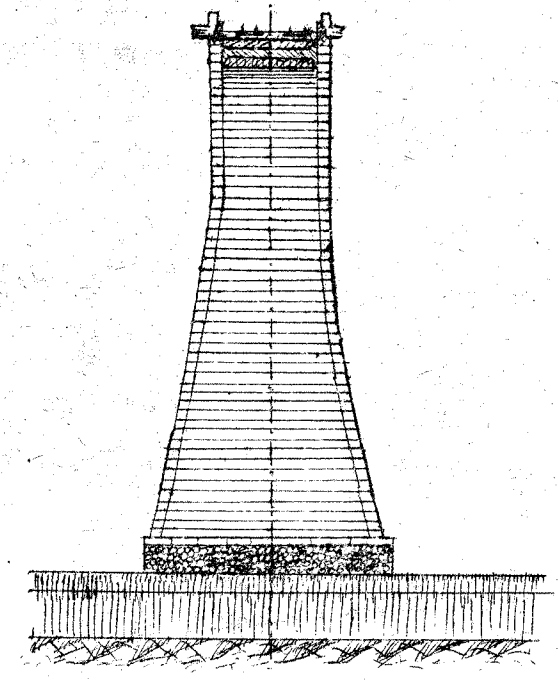
l'ouvrage en moins de chances de tassements différents en amplitude.

Pour les piles de grande hauteur il est bon d'adopter des fruits croissants depuis le haut jusqu'à la base, tant dans le sens longitudinal que dans le sens transversal. On constitue alors les

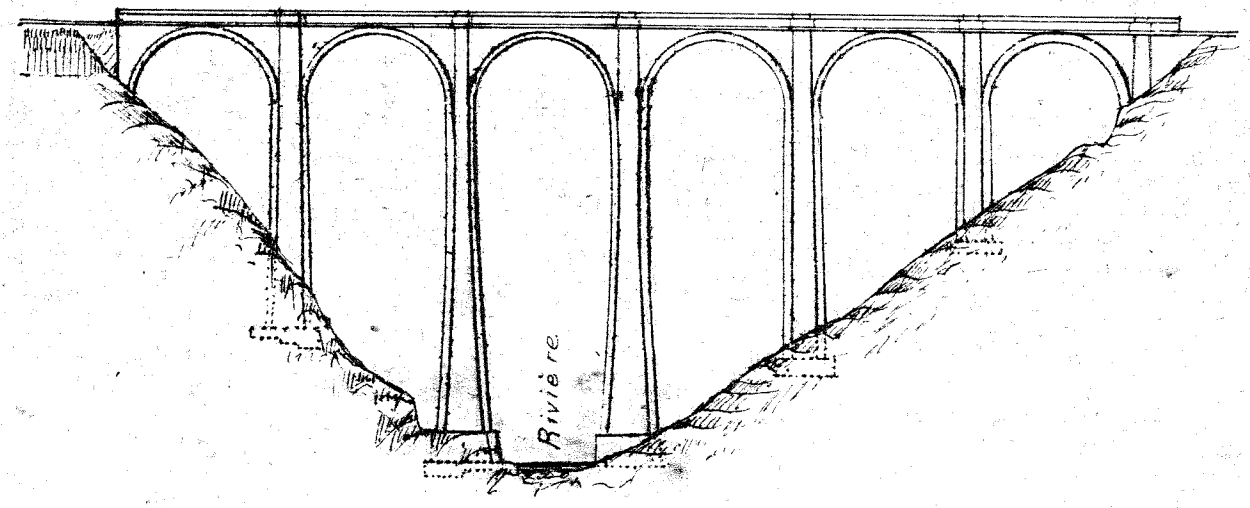
Coupe d'une pile de viaduc



Coupe sur l'axe de la voûte

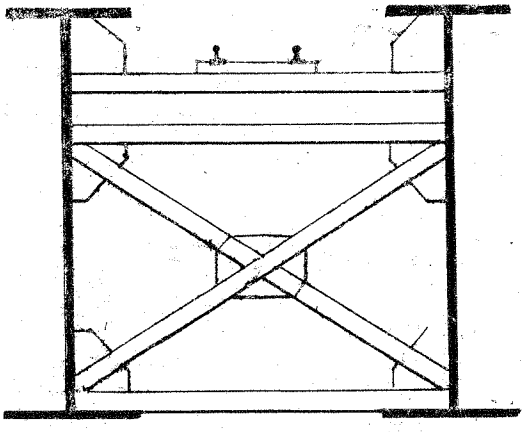


Elévation générale



parements par des plans de 4 à 5 mètres de hauteur à inclinaisons croissantes. Cette forme est plus rationnelle, au point de vue de la résistance que celle qui consiste à donner un fruit constant depuis le bas jusqu'en haut de la pile.

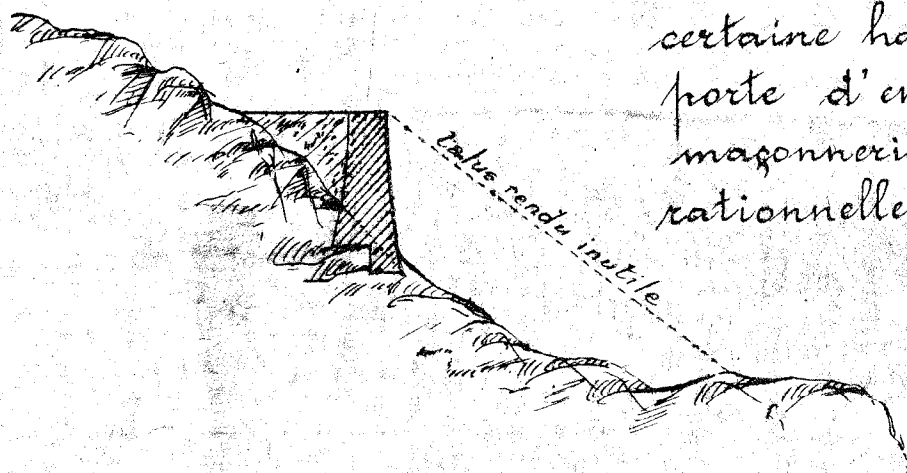
Les viaducs métalliques ne sont utilisés que pour franchir les grandes portées, la maçonnerie étant préférée au métal dans les cas où des appuis peuvent être fondés en nombre suffisant. Même lorsqu'on établit des viaducs métalliques, il y a intérêt à construire les piles en maçonnerie avec fruits croissants du sommet à la base. Quoi qu'il en soit, il faut disposer le tablier métallique de manière à atténuer les conséquences possibles de déraillements, et, à cet effet, poser la voie un peu en contrebas de la partie supérieure des poutres de rives. Ici, dans le but de diminuer la hauteur des piles, on pose, au contraire, la voie au niveau supérieur des poutres principales,



il faut ajouter de solides garde-corps pouvant au besoin former chasse-roues (solution adoptée notamment au viaduc du Viaur, où on a voulu assurer le contreventement transversal sur toute la hauteur des poutres.

Les murs de soutènement sont nécessaires pour soutenir les remblais dans 3 cas distincts :

1° lorsque les remblais sont de grande hauteur et que le prix du terrain est très élevé ; 2° quand le pied du talus normal est susceptible d'atteindre un obstacle qu'on ne peut déplacer (maisons, cours d'eau, etc...) ; 3° quand le terrain devant servir d'assiette au remblai a une inclinaison générale inférieure, égale ou très peu supérieure à l'inclinaison du talus du remblai.



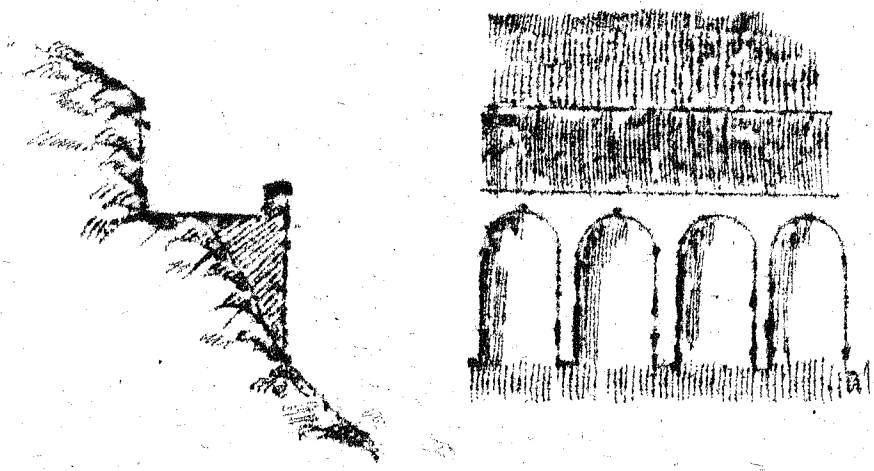
Pour les murs d'une certaine hauteur, il importe d'employer la maçonnerie d'une façon rationnelle et de lui donner en différents points de sa hauteur des épaisseurs proportionnelles aux pressions supportées : il faut pour cela déterminer la courbe des pressions. On se trouve en général conduit à augmenter le fruit extérieur et à le faire croître à mesure qu'on se rapproche de la base, tandis que le parement intérieur reste vertical. Lorsque les terres ne sont ni argileuses ni humides, on peut même établir le parement intérieur un peu en surplomb.

Dans le cas où on est obligé de laisser le parement extérieur vertical, c'est au parement intérieur qu'on donne du fruit.

Il est bon d'assurer l'assèchement des

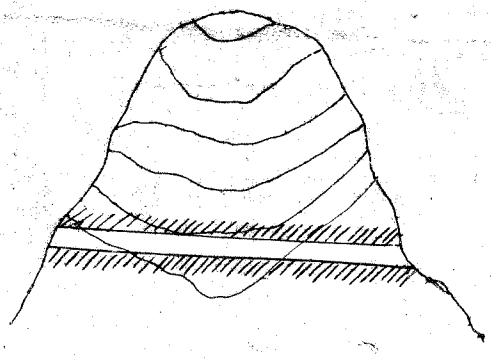
terres en disposant en arrière du mur une couche de pierrailles ou, dans tous les cas, en établissant, à intervalles réguliers de 1m.50 à 2 mètres, des ouvertures verticales appelées barbacanes.

Sur les flancs de coteaux abrupts, où le terrain est très dur et où un mur de soutènement complet serait trop coûteux, on supporte la moitié de la plateforme sur des voûtes ou arcades de 5 à 10 mètres d'ouverture, tandis qu'on entame le terrain pour supporter l'autre moitié en déblai. On construit ces arcades très simplement avec les parements en maçonnerie brute, ou en moëllons têtués. Les piles peuvent être très élancées, étant donné qu'elles sont soutenues par la paroi du rocher.



Pour en terminer avec les ouvrages d'art exceptionnels, il nous reste à dire quelques mots de la construction des tunnels.

Nous avons vu précédemment, au cours de l'étude du tracé, les conditions qui devaient déterminer le choix de l'axe en plan et du profil en long du tunnel, nous avons donné d'autre part les profils-types à adopter pour la section transversale des souterrains à une ou deux voies en signalé la nécessité d'une étude géologique préalable.



L'étude géologique a pour but de faire connaître la direction des couches de terrain d'après la forme de la stratification en d'étudier leur nature aux points où elles affleurent. D'après les renseignements recueillis, on se trouve fixé sur les difficultés que présentera le percement et sur les procédés à employer.

Les procédés courants dans les travaux à ciel ouvert, c'est-à-dire la pioche, le pic et la mine sont maintenant relégués comme trop peu expéditifs et employés seulement dans les petits souterrains. Pour les tunnels importants on a créé, depuis une cinquantaine d'années (pour le percement du Mont Cenis en premier lieu) des perforatrices mécaniques. Ces machines font mouvoir simultanément un certain nombre de barres à mines ou fleurets qui frappent la roche en tournant d'un petit angle sur leur axe entre deux



Profil — Vue en bout du fleuret — Travail produit

percussions successives. Dans la perforatrice Dommeiller, créée pour le percement du Mont-Cenis, la percussion était produite par le mouvement alternatif d'un cylindre à double effet, mû par l'air comprimé ; un mécanisme spécial produisait après chaque percussion la rotation saccadée en un jet d'eau sous pression

engagé au fond de chaque trou achevait la désagrégation en chassant les fragments de roche.

Dans la perforatrice Brandt mise en œuvre plus récemment au tunnel de l'Arlberg, on substitue à la percussion du fleuret, l'action d'un couteau d'acier très dur muni de dents qui perce les trous en grattant la roche dans un mouvement de rotation. On arrête de temps en temps le travail de ces machines pour bourrer les mines et les faire exploser.

L'exécution des maçonneries se fait en arrière en, dans les terrains susceptibles de s'ébouler, il faut dès lors faire un boisage provisoire.

On attaque toujours le percement du tunnel par les deux extrémités et même par des points intermédiaires où on accède à l'aide de puits verticaux. Il est donc très important de suivre une direction rigoureuse. Dans ce but, on opère au moyen du théodolithe pour les alignements extérieurs ; à l'intérieur des souterrains, on opère au moyen de fils à plomb dont on vérifie l'alignement rigoureux au moyen d'instruments de précision (à la faveur de l'éclairage produit en brûlant du magnésium). Dans les souterrains en courbe, on se guide à l'intérieur au moyen d'instruments angulaires de grande précision.

La ventilation dans le fond des galeries doit être très énergique ; on y emploie des ventilateurs mécaniques. Dans les grands tunnels qui utilisent des perforatrices mécaniques mues par l'air comprimé, on se sert de l'air comprimé pour

contribuer à l'aération. La ventilation combat, en même temps, l'élévation exagérée de la température, qui a atteint jusqu'à 30° au mont Cenis et au St Gothard.

Il faut éviter de traverser des terrains aquifères et on en fait une des conditions du choix du tracé ; lorsqu'on atteint une couche aquifère, il faut employer l'air comprimé dans une chambre de travail, ou le procédé de la congélation du terrain.

Avec les procédés mécaniques seuls, on peut obtenir un avancement de plus de un mètre par jour, en par attaque. Au St Gothard l'avancement a été de 2m25 pour la petite galerie préparatoire ; à l'Arlberg, on a atteint 4m50 en moyenne.

Voie en accessoires

Voie et accessoires

La voie ferrée à peu près exclusivement employée aujourd'hui est constituée par deux files de rails supportées en entretoisées par des traverses perpendiculaires aux rails. Les traverses reposent sur une couche de ballast en supportent les rails soit directement, soit par l'intermédiaire de coussinets.

Nous allons étudier tout d'abord dans un chapitre intitulé : Voie proprement dite, les efforts à supporter par ce système de voie ses éléments constitutifs, ainsi que les conditions remplies dans la pose de la voie. Nous décrirons ensuite dans un second chapitre les appareils de voie dont l'emploi est indispensable pour établir des communications d'une voie sur une autre et nous réserverons enfin pour un chapitre spécial l'étude des signaux et enclenchements.

Voie proprement dite

Efforts supportés par la voie. — Les efforts supportés par l'ensemble formé par les rails et traverses sont de trois sortes : verticaux, transversaux et longitudinaux.

Les efforts verticaux sont ceux qui résultent du passage des roues des véhicules, mais ils ne sont pas mesurés seulement par la charge statique

supportée par les diverses roues, en qui peut atteindre pour les roues les plus chargées (celles des machines) de 6 à 8 tonnes 500. En effet, la charge statique des roues motrices se trouve augmentée en marche:

1° par la composante des efforts obliques de la bielle;

2° par les efforts dus à l'inertie des pièces de mouvement liées à la roue;

3° par l'inégalité de répartition du poids qui peut être sensible: a. pour un même essieu, d'une roue sur l'autre dans les passages en courbe; b. pour des roues d'essieux successifs, au droit des dénivellations de la voie, en dépit du fonctionnement des balanciers qui solidarisent, à ce point de vue, les divers essieux d'une même machine.

Il résulte d'expériences faites de divers côtés que l'effort vertical, au lieu d'être égal à l'effort statique (6t à 8t500), peut dans certains cas défavorables atteindre et même dépasser 15 à 18 tonnes pour une même roue motrice. D'autre part, bien que les efforts verticaux, au passage des roues des véhicules remorqués, soient en général inférieurs à ceux produits par les roues motrices, l'action des freins, en supprimant le roulement et en paralysant plus ou moins l'effet des ressorts peut, dans les cas défavorables, faire atteindre à l'effort dynamique produit par ces roues le triple de l'effort statique correspondant à leur charge, c'est à dire jusqu'à 21 tonnes sur une même roue.

Les efforts transversaux sont des efforts sensiblement horizontaux qui peuvent s'exercer soit vers l'extérieur, soit

vers l'intérieur de la voie. En ligne droite ils dépendent surtout de la rigidité des machines, de leur attelage, du mouvement de lacet provoqué par le jeu alternatif des bielles et des inégalités de la voie. Les efforts les plus dangereux sont ceux qui résultent de la coïncidence fortuite des chocs produits par le mouvement de lacet et de ceux produits par le ballottement des machines trop flexibles : la rigidité des machines est donc à rechercher comme très avantageuse pour la sécurité.

Dans les passages en courbe, il se produit en outre des efforts spéciaux dus, soit à la force centrifuge si le dévers est trop faible pour la vitesse du train, soit à la force centripète si le dévers est trop fort, soit au glissement momentané de l'une des deux roues d'un même essieu (conséquence du calage des roues sur l'essieu). Il convient de remarquer d'ailleurs que, aux très grandes vitesses, la force centrifuge contribue à appliquer contre le rail extérieur le boudin de l'une des roues, ce qui atténue l'effet du ballottement dont nous avons parlé ci-dessus.

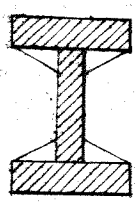
Quoi qu'il en soit, il résulte des expériences de M. Brière (alors Ingénieur en Chef de la Cie d'Orléans) que les efforts transversaux doivent atteindre et dépasser fréquemment 1.500 Kilogs pour une même roue.

Les efforts longitudinaux sont ceux qui résultent de l'adhérence ; ils sont donc égaux ;

en pleine marche, à l'effort que la machine exerce pour se mouvoir elle-même en entraîner son train, ou, lorsque les freins agissent, à l'effort retardateur qu'ils produisent. Dans le premier cas, la voie est sollicitée par un effort tendant à l'entraîner en sens inverse de la marche du train et, dans le deuxième cas, dans le sens même de la marche.

Sous l'influence des efforts verticaux considérés isolément, le rail tend à travailler à la flexion comme une poutre posée sur plusieurs appuis, qui sont les traverses. Il faut que non seulement le rail ne se casse pas, mais encore que la limite d'élasticité du métal qui le constitue ne soit pas dépassée, sinon il en résulterait une déformation permanente : le rail formerait un ventre entre deux traverses consécutives.

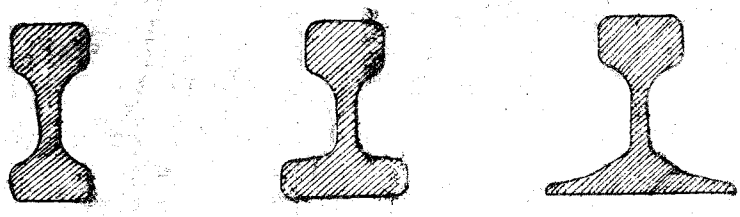
Sous l'action des efforts transversaux considérés isolément, le rail travaille également à la flexion dans le sens transversal, en même temps qu'à la torsion, puisque les efforts sont appliqués à la partie supérieure, tandis que la résistance des appuis s'exerce à la partie inférieure.



La section de rail en forme de double T est celle qui, au point de vue rationnel, doit résister le mieux à ces divers efforts, à condition de bien soutenir les tables par des épaulements.

Rails. — De-là sont dérivées, dès l'origine du chemin de fer, les deux formes principales utili-

sèe presqu'exclusivement aujourd'hui en qu'on

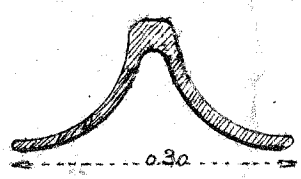


Rail à patin dit Rail Vignole

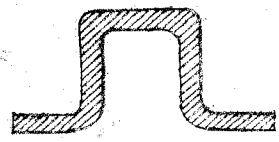
Rail à double champignon symetrique — Rail à double champignon dissymétrique

designe sous les appellations de rail à double champignon (symétrique ou dissymétrique) en de rail à patin. Ce dernier, venu quelques années après le rail à double champignon, fut adopté par l'Américain Stevens dès 1830, mais fut appelé rail Vignole, du nom de l'ingénieur anglais qui l'introduisit en Angleterre en 1836

On a au contraire abandonné les rails creux, à fort moment d'inertie transversal, comme le rail Barlow destiné à faire à la fois office de rail en de longrine en à reposer directement sur le ballast, ou comme le rail Brunel imaginé pour la pose sur longrines en en vue d'obtenir une grande surface d'appui. Ces rails qui périssaient très rapidement pour dessoudure du fer ont dû être abandonnés ; le rail Brunel n'a subsisté toutefois en certains points, dans la fabrication des plaques tournantes qu'à cause de son peu de hauteur en de la facilité qu'il procure au point de vue de son assemblage avec les pièces métalliques.



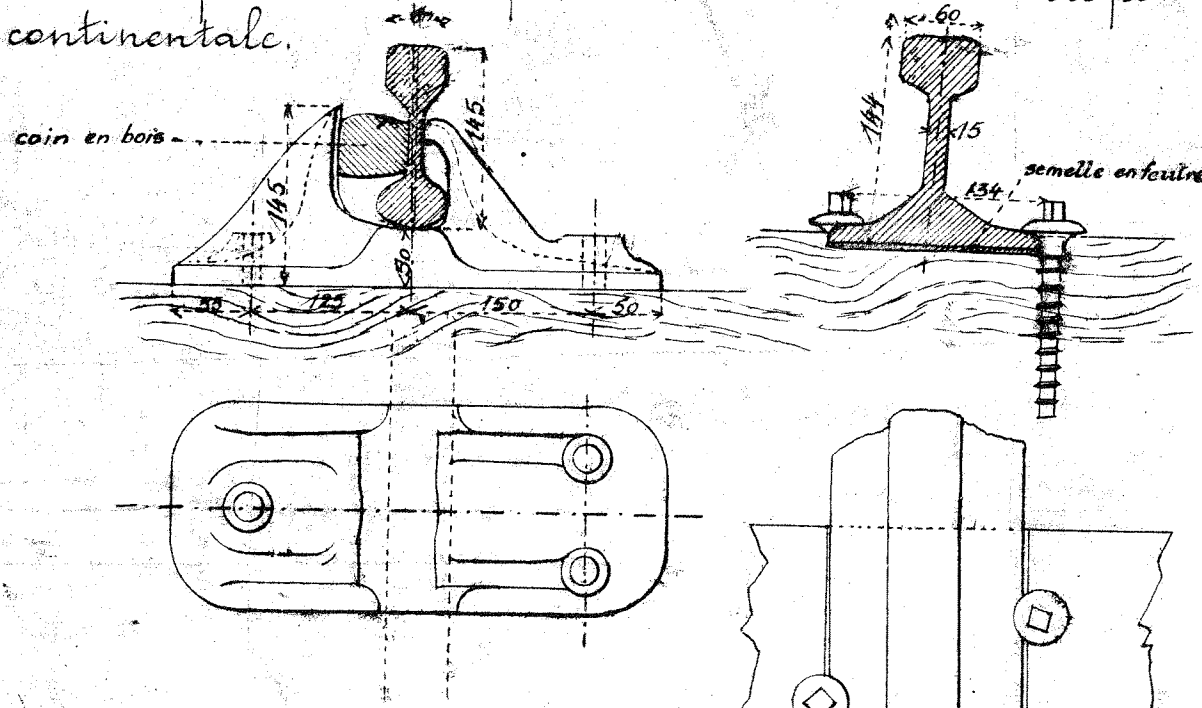
Rail Barlow



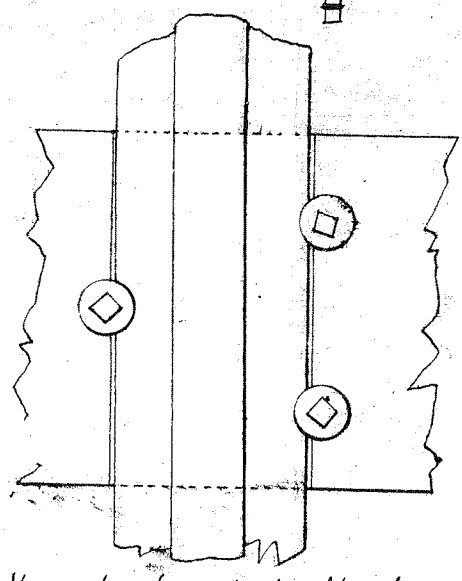
Rail Brunel

Comme nous l'avons dit plus haut, le rail

à double champignon et le rail à patin sont les seuls qui aient été consacrés par l'expérience: le premier est utilisé aujourd'hui exclusivement sur les réseaux anglais et, en France, sur les réseaux de l'Etat, Ouest, P.O, et Midi, tandis que le rail Vignole est en usage en France sur les réseaux du Nord, du P.L.M. et de l'Est; ainsi qu'en Amérique et dans toute l'Europe continentale.



Rail dissymétrique de 42 K5 du P.O. fixé dans son coussinet



Rail Vignole de 45 K. du Nord français

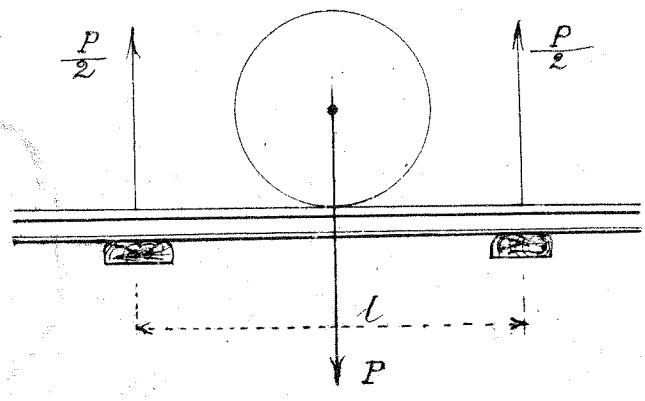
Le rail à double champignon est posé incliné au 1/20e dans des machoires ou coussinets, dont un large patin inférieur horizontal est fixé aux traverses par deux ou trois crampons ou tirefonds.

Le rail à patin repose presque toujours

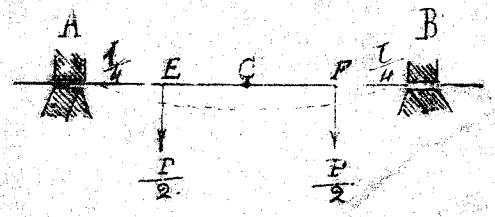
directement, ou par l'intermédiaire d'une simple pemelle de feutre ou de bois tendre sur la partie supérieure de la traverse, dans une entaille de faible profondeur à inclinaison de 1/20e.

Comme nous l'avons vu, cette inclinaison de 1/20e (vers l'intérieur de la voie) donnée au rail est une conséquence de la conicité des bandages des roues pour permettre le roulement sur une bande d'une certaine largeur et non sur une arête.

Calcul de la résistance du rail. — Chaque rail repose sur un certain nombre de traverses (espacées en moyenne de 0m.80 environ) ; le rôle du service de l'entretien consiste à maintenir toutes ces traverses à un niveau immuable, de manière que le rail répartisse bien la charge sur tous les appuis sans exception. Si cet entretien était parfait, la partie de rail comprise entre deux traverses consécutives pourrait être considérée comme une poutre encastrée à ses deux extrémités.



Soit l la distance maxima de 2 traverses voisines et P la demi-charge supportée par l'essieu le plus chargé (essieu moteur généralement). Le moment fléchissant maximum se produit lorsque l'essieu le plus chargé se trouve exactement au milieu de l'intervalle séparant les deux appuis. Les tangentes aux points A, C et B (fig. page 108) étant



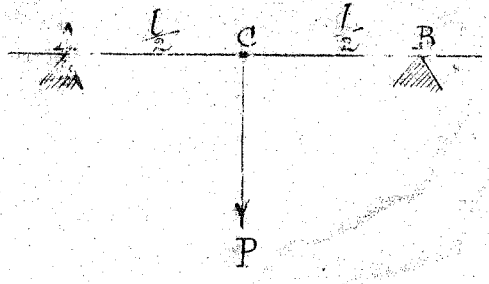
horizontales, il y a deux points d'inflexion symétriques par rapport à C et tout se passe comme si la charge P se décomposait en deux forces $\frac{P}{2}$ appliquées respectivement en E et F, à une distance de chacun des points d'appui égale au 1/4 de la longueur de la poutre. Pour la section d'encastrement, le moment fléchissant (abstraction faite du poids du rail) est alors égal à : $\frac{P}{2} \times \frac{l}{4} = 0.125\ Pl$.

Si nous appelons R le travail du métal par millimètre carré de section, I le moment d'inertie de la section droite du rail par rapport à un axe horizontal situé dans le plan de cette section en passant par son centre de gravité, et V la distance de la fibre la plus tendue à cet axe, le moment résistant est égal à : $\frac{RI}{V}$, et on peut écrire :

$$\frac{RI}{V} = 0.125\ Pl$$

Mais l'entretien parfait ne doit être considéré que comme un cas très favorable.

Pour nous placer dans une hypothèse défavorable, envisageons au contraire la portion de rail comme reposant simplement sur 2 appuis A et B, le moment fléchissant est maximum pour la section C et égal à :



$$\frac{P}{2} \times \frac{l}{2} = 0.250\ Pl = \frac{RI}{V}$$

Pour rester dans la réalité, il faut se tenir à une distance convenable de ces deux hypothèses en adoptant la formule ap-

prochée :

$$R \frac{I}{V} = 0.187\ Pl$$

Dans cette formule, P doit être exprimé en kilogrammes et les longueurs en millimètres.

La résistance R du métal étant fixée par la pratique et imposée comme condition dans les marchés, on peut calculer approximativement le module d'inertie $\frac{I}{V}$ et par suite la section et les dimensions du rail.

Le tableau ci dessous donne les dimensions, poids par mètre courant, moment d'inertie et module d'inertie des types de rails les plus récents parmi ceux qui sont maintenant en service courant sur les divers réseaux.

Désignation des Compagnies	Type des rails	Poids par mètre courant	Dimensions en millimètres * a	b	e	h	Longueur normale en mètres	Surface de la section normale	Moment d'inertie de la section par rapport à un axe horizontal passant par le centre de gravité : I	Module d'inertie $\frac{I}{V}$
Est	Vign.	44k2	60	130	13.5	141	12 et 18	0.005704	0.000 014 758	0.000 216
Etat	disy.	40k	60	70	16	145	11, 16 et 22	0.005 065	0.000 012.599	0.000 164
Ouest-Etat	d°.	44k	62	62	18	140	12	0.005 364	0.000 012 686	0.000 163
Midi	d.ch.	37k5	61	61	16	134	11 et 15	0.004 887	0.000 009 906	0.000 148
Nord	Vign.	45k125	60	136	16	144	12 et 18	0.005 697	0.000 015 861	0.000 205
P.L.M.	d°.	47k4	66	130	16	142	d°	0.006 028	0.000 015 355	0.000 223
P.O.	disy.	42k5	60	69	18	145	11	0.005 356	0.000 012 216	0.000 168
London and N.W.	diss.	42k65	69.9	70	21	140	9.15 à 12	»	»	»
Pensylvania	Vign.	50k6	71.4	134.7	15.9	140	12.20	»	»	»
Prusse (Etat)	d°.	45k450	72	110	15	138	12 et 15	»	»	»
Etat Belge (Goliath)	d°.	42k1	72	135	17	145	6 et 9	0.006 756	0.000 018 007	0.000 244

* a = largeur du champ supérieur ; b = largeur du champignon inférieur ou patin ; e = épaisseur de l'âme ; h = hauteur.

Ces types récents sont en acier ; ils ont, en général, été obtenus en faisant varier très peu la hauteur de l'âme des types de rails plus légers en acier qui sont encore en service respectivement sur les mêmes réseaux, mais en augmentant sensiblement la hauteur du champignon supérieur.

L'examen du tableau montre que, pour une même forme de rail, le moment et le module d'inertie sont à peu près proportionnels au poids du rail par mètre courant, mais que la forme Vignole présente un léger avantage à ce point de vue sur la forme double champignon.

Avant d'arriver à ces types renforcés destinés aux lignes à grand trafic parcourues par les trains lourds à grande vitesse, on avait — après un usage très court de rails en fonte dont la résistance était par trop insuffisante — employé des rails en fer laminé, dont l'âme était constituée par du fer nerveux et le champignon par du fer à grains. Ces deux textures de fer n'ayant pas exactement la même température de soudure, l'ensemble pêchait par manque de liaison et les rails périssaient presque toujours, avant usure complète : il se produisait, par écrasement du champignon à l'intérieur de la voie, une dessoudure de cette partie qui se détachait en lamelles. C'est alors qu'on imagina de faire des rails tout à fait symétriques, à double champignon, dans le but de les retourner dans leurs coussinets au bout d'un certain temps.

La durée des rails en fer était donc très

variable suivant leur qualité ; en moyenne ils pouvaient supporter le passage de 50.000 à 100.000 trains ce qui faisait varier leur durée de 15 à 30 ans pour les lignes moyennement chargées.

La longueur des rails en fer (de 30 à 35 Kilogs au mètre courant) ne pouvait guère dépasser 6 à 8 mètres ; car on ne pouvait souder dans de bonnes conditions que des paquets de 200 à 300 Kilogs.

Depuis l'apparition du procédé Bessemer, qui donnait la possibilité de fabriquer, au contraire, par grandes masses, de l'acier fondu, susceptible de donner ensuite, par laminage, un métal bien homogène, résistant soit au choc, soit à la compression, à des charges doubles de celles que le fer pouvait supporter, on abandonna le fer, et on lui substitua exclusivement l'acier laminé pour la fabrication des rails. Il reste actuellement peu de rails en fer encore en usage.

Qualités à exiger de l'acier des rails. — Nous allons donc, dans tout ce qui va suivre, parler exclusivement de l'emploi des rails en acier. Disons tout d'abord quelques mots des qualités que doit posséder un bon acier à rails.

L'acier à rails, obtenu par les procédés Bessemer, Martin Siemens ou Thomas, est un composé de fer mélangé à quelques parties de carbone, de manganèse, de phosphore, de soufre et de silicium. Il est plus homogène, beaucoup plus dur, et a un grain plus fin que le fer. Le soufre et le phosphore sont nuisibles ; il faut surtout réduire

la teneur en phosphore, ce dernier rendant le métal cassant lorsqu'il dépasse la proportion de 1/1000e ; on obtient les meilleurs résultats dans celles des usines où on pratique la déphosphoration par le procédé Thomas basique. L'excès de soufre n'est guère à redouter, car il rendrait l'acier rouverin et impropre au laminage ; les rails qui ont pu supporter le laminage sont donc par cela même nécessairement exempts de tout excès de soufre. Le carbone, dans une proportion de 4 à 12/1000e et le silicium dans la proportion de 8 à 15/1000e sont pour effet d'augmenter la dureté de l'acier. Le manganèse ne doit pas dépasser la proportion de 1/100e, faute de quoi il faciliterait la trempe et rendrait le métal fragile. Au dessous de 1/100e au contraire, il a le grand avantage d'augmenter l'allongement élastique pour une résistance donnée, ce qui est très avantageux pour les rails, qui ont à supporter des chocs fréquents.

En France, on a toujours employé l'acier aussi dur qu'il a été possible de l'obtenir en donnant la résistance à la rupture devait atteindre 70 à 85 kil. par millimètre carré. En Angleterre, tout en exigeant de l'acier dur, on n'impose qu'un minimum de résistance de 60 à 65 Kilogr. En Allemagne, où l'acier dur non cassant est produit en moins grande quantité, on emploie l'acier presque doux ne dépassant pas 50 à 55 kilogr de résistance.

Il est cependant démontré par l'expérience que l'acier dur de bonne qualité est préférable à l'acier doux, tant au point de vue de l'usure

qu'au point de vue des détériorations accidentelles et du danger de rupture.

Avec l'acier, on peut faire des lingots de toutes dimensions, en traiter en particulier au laminoir des lingots d'acier de 1000 kilogs qui permettent de produire des rails de 24 mètres de longueur.

Contrôle de la qualité des rails. — Les Compagnies, dans les marchés passés avec les usines, imposent pour la réception de tous les lots de rails une série d'épreuves qui sont les suivantes:

a.- Epreuves statiques à la déformation; dans laquelle le rail, placé de champ sur deux points d'appui espacés de un mètre doit supporter en son milieu pendant 5 minutes une charge qui varie de 25 à 40 tonnes, suivant le type de rail, sans conserver de flèche sensible, et une pression de 40 à 60 tonnes sans prendre une flèche supérieure à 20 millimètres.

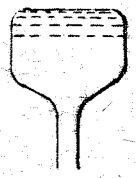
b.- Epreuves statiques à la rupture: on augmente la charge jusqu'à la rupture qui ne doit pas avoir lieu avant une charge minimum fixée.

c.- Epreuves au choc: Chacune des deux moitiés du rail cassé étant placée sur deux appuis espacés de 1m.10, ne doit pas se rompre ni prendre une flèche permanente supérieure à 12 millimètres sous la chute d'un mouton de 600 kilogs tombant d'une hauteur de 1m20 à 1m75, suivant le type du rail.

Ces séries d'épreuves sont pratiquées sur

1 pour cent des rails dans chacun des lots. On fait en outre une analyse chimique qui ne doit pas déceler plus de 0,12 % de phosphore, en on fait fabriquer avec des prélèvements sur chaque coulée des lames de ressorts ou des burins qui doivent remplir certaines conditions.

En Angleterre, l'épreuve au choc est la seule qui soit généralement exigée, mais elle est pratiquée avec un mouton de 800 à 1000 kilogs (au lieu de 600) tombant de 1 mètre seulement.



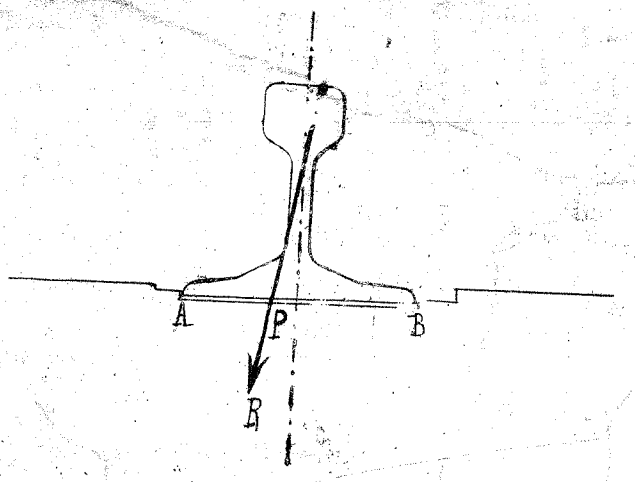
La durée des rails en acier est considérée comme devant être 5 à 10 fois plus grande que celle des rails en fer ils ne subissent qu'une usure régulière, sans exfoliation et il est à supposer que les rails renforcés en acier, les plus récemment installés n'auront pas avant une centaine d'années une usure suffisante pour que le remplacement devienne nécessaire. On a, en effet, évalué à une réduction de 1 m/m d'épaisseur seulement, l'usure produite sur le champignon des rails en acier par le passage de 150.000 à 200.000 trains.

Cette différence de modalité dans l'usure entre le fer et l'acier, a rendu illusoire le retournement des rails d'acier à double champignon et a conduit les Compagnies qui emploient ce dernier à établir un rail double champignon dissymétrique ayant un champignon supérieur beaucoup plus haut que le champignon inférieur.

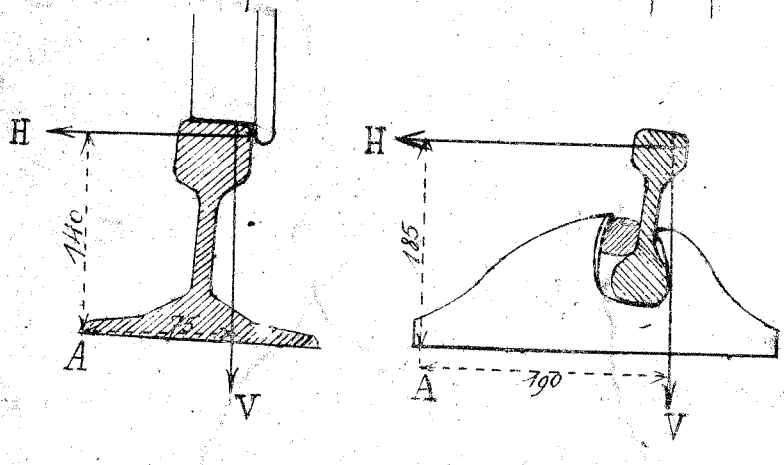
Comparaison entre le rail Vignole ~ ~ et le rail à double champignon ~

Avec l'emploi de l'acier, l'abandon du retournement du rail a fait disparaître l'un des plus sérieux avantages du rail à double champignon sur le rail Vignole. Encore est-il bon d'ajouter que le retournement n'avait pas pour résultat de doubler la durée : en effet, pour un certain nombre de rails, le champignon supérieur trop usé et déformé ne s'adaptait plus dans le coussinet, d'autres étaient à rejeter comme fissurés ou détériorés accidentellement ; les traces des patins des coussinets rendaient le roulement plus mauvais sur le second champignon et contribuaient à en rendre la durée moins prolongée. En résumé, on ne pouvait guère compter, après retournement, que sur une durée supplémentaire de 40 %, qui n'arrivait pas à compenser l'économie de prix de revient que l'absence de coussinets conférait au rail Vignole.

Au point de vue de la résistance, le rail Vignole a un léger avantage : pour la résistance aux efforts verticaux, il présente comme nous l'avons vu, un moment d'inertie plus grand à poids égal ; cet avantage est encore plus marqué au point de vue de la rigidité, c'est-à-dire de la résistance opposée à une flexion dans le sens transversal entre deux appuis : l'écartement des fibres extrêmes du patin contribue en effet à augmenter le moment d'inertie transversal.



Mais d'autre part, il semble y avoir théoriquement un avantage du côté du rail à coussinets : d'une part, au point de vue de l'effort R qui tend à écraser la traverse (cet effort étant la résultante des pressions verticales en des chocs transversaux, s'applique, par suite, plus près de l'arête extérieure A du rail que de l'arête B en ne se répartissant que sur une surface de traverse proportionnelle à AP), d'autre part, au point de vue du mode d'attache qui offre, dans le coussinet, une plus grande résistance au renversement ; en effet, l'effort transversal H, dû au mouvement de lacet, a tendance à provoquer un renversement du rail autour de l'arête A. S'il se produit un effort H très notable, le moment par rapport au point A peut l'emporter de beaucoup sur le moment de l'effort vertical V ; ce sont alors les tirefonds de l'intérieur qui doivent donner la résistance additionnelle. Pour que cette résistance des tirefonds n'ait pas à entrer en jeu d'une manière exagérée, il faut, dans le cas du rail Vignole que l'on ait :



$$V \times 75 \geqq H \times 140 ,$$

ou : $\frac{V}{H} \geqq 1{,}86$,

ou que $V \geqq 2.600^{k}$ si $H = 1400^{k}$.

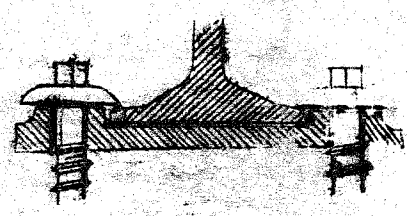
Dans le cas du rail à coussinets, il suffirait d'avoir :

$$V \times 190 \geqq H \times 185$$

ou $\frac{V}{H} \geqq 0.97$

ou que $V \geqq 1360^{k}$ si $H = 1400^{k}$

Théoriquement donc, en admettant un calage parfait du rail dans son coussinet, le rail à double champignon serait plus stable. Mais, pratiquement, l'effort de renversement, qui ne peut être sensible que si l'une des roues se trouve déchargée en partie au moment du coup de lacet, n'a pas d'effet nuisible, en raison de la résistance des deux tirefonds placés dans l'intérieur. D'ailleurs, sur certaines lignes où cet effort serait accentué par suite de la présence de courbes de trop faible rayon, on interpose entre le patin du rail et la semelle, une plaque d'acier appelée selle qui, tout en entraînant une dépense supplémentaire peu élevée, permet d'augmenter l'empattement sur la traverse et de rendre solidaires les 3 tirefonds.



Enfin, l'emploi du coin pour les rails à double champignon a l'inconvénient de nécessiter un entretien très sérieux, les coins ont, en effet, tendance à se desserrer par suite des vibrations et des variations de ~~température~~

Il faut, par suite, les visiter fréquemment et les enfoncer au marteau ; les coins en bois sont plus sujets à caution que les coins en acier, à cause de l'influence de l'état hygrométrique. Par contre, avec les coussinets, les traverses durent plus longtemps et ne sont pas affaiblies par des resabotages fréquents.

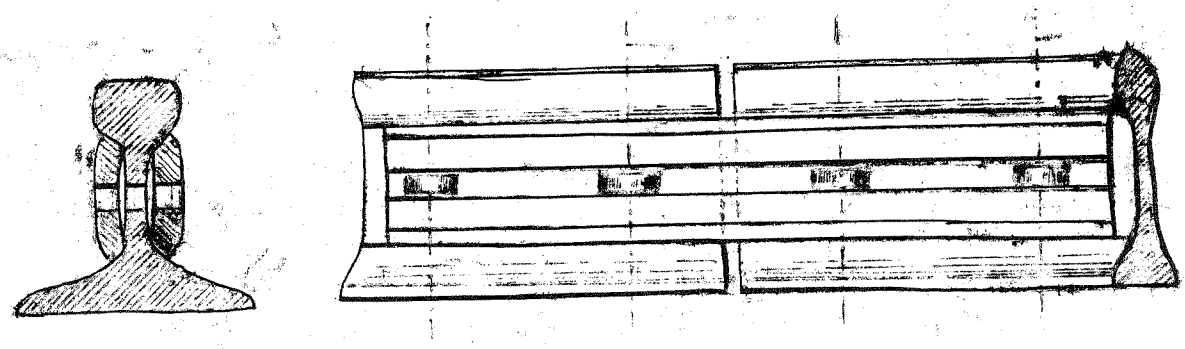
En résumé, au point de vue théorique, la supériorité de la voie à coussinets ne se révèle guère que dans la résistance au renversement opposée aux efforts transversaux. Or ceux-ci n'ont une influence prédominante sur les efforts verticaux que sur les points où les machines abordent à grande vitesse des courbes de petit rayon. On serait donc conduit à compléter sur ces parties de lignes, la voie Vignole par l'emploi de selles en acier. On peut d'ailleurs aussi, même sans l'emploi de selles, augmenter la résistance de la voie Vignole en multipliant les traverses sur les lignes parcourues par des trains lourds à grande vitesse.

Les conclusions du Congrès international des Chemins de fer, de 1889, avaient été les suivantes:
« L'Assemblée estime que les voies à coussinets et
« les voies Vignole fortement constituées offrent toute
« garantie au point de vue de la sécurité de
« l'exploitation. Toutefois, la voie lourde à cous-
« sinets, à large base, semble devoir être plus
« spécialement la voie des lignes parcourues par
« des trains nombreux et lourds, circulant à de
« très grandes vitesses. Elle serait avantageuse en-

« core pour les lignes à sinuosités accentuées.

Depuis cette époque, le rail à patin a été élargi à sa base, renforcé dans sa partie supérieure et amélioré dans son mode d'attache pour rester adapté aux conditions nouvelles d'exploitation et aux vitesses supérieures exigées par le progrès, et l'exemple des réseaux du Nord, de l'Est et du P.L.M., montre clairement que la voie Vignole avec rails en acier renforcés à large patin offre toute sécurité, même aux grandes vitesses.

Eclisses. — Pour assurer la continuité du chemin de roulement, les rails consécutifs sont reliés entre eux, bout à bout par des armatures en fer ou en acier, nommées éclisses, qui s'appliquent de part et d'autre de l'âme du rail et au dessous du champignon supérieur, de manière à ne pas être heurtées par les roues des véhicules des trains. Les surfaces d'appui n'interceptent pas l'âme du rail, mais seulement les parties, inclinées à 1/2 dites portées d'éclisse, situées, d'une part, au dessous du champignon



supérieur, d'autre part, à la naissance du patin ou du champignon inférieur. Elles sont en général

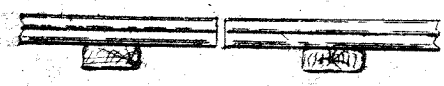
maintenues deux à deux par 4 boulons dont la tête à chapeau de gendarme est maintenue dans une rainure longitudinale qui leur interdit tout mouvement de rotation, une fois le serrage de l'écrou effectué. L'éclisse à rainure se pose généralement à l'extérieur de la voie; les écrous placés à l'intérieur de la voie sont ainsi plus faciles à surveiller, car le ballast affleure moins haut à l'intérieur qu'à l'extérieur.

Dans certains types d'éclisses, qui ne comportent pas de rainure longitudinale, on perce des trous ovalisés dans lesquels un ergot vient immobiliser le boulon, pendant et après le serrage de l'écrou.





joint appuyé



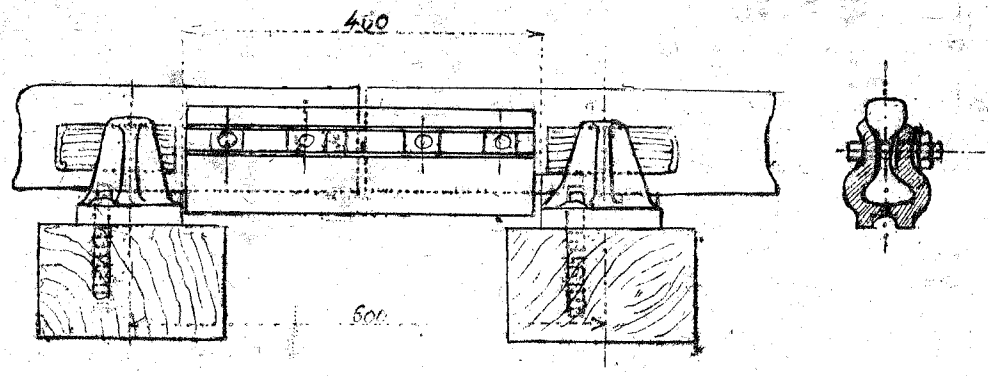
joint en porte-à-faux

L'emploi des éclisses a permis de substituer aux joints appuyés qu'on pratiquait autrefois exclusivement, le joint en porte-à-faux, placé en un point quelconque entre deux traverses et qui est plus élastique et beaucoup plus doux au roulement.

Les éclisses des voies à coussinets sont limitées en général à 45 centimètres par la présence des coussinets voisins. Sur les voies Vignole, leur longueur varie de 50 à 70 et même 80 centimètres.

Dans ces dernières années, en même temps qu'on adoptait un peu partout des rails renforcés en acier dans le but d'accroître la vitesse des trains et la puissance des machines, on se préoccupa de

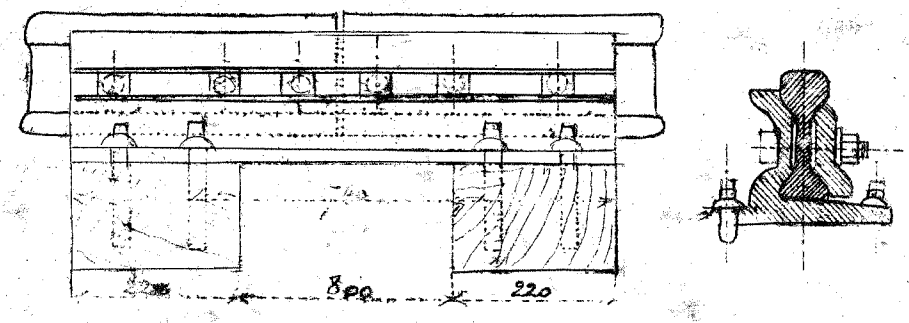
faire également des éclisses renforcées.



Pour les voies à coussinets, ces éclisses renforcées ont été obtenues en augmentant la hauteur des précédentes ; elles présentent en section droite la forme d'un S pour contourner le champignon inférieur.

L'accroissement de la hauteur procure une augmentation du moment d'inertie de l'éclisse, et par suite une diminution du travail par unité de section.

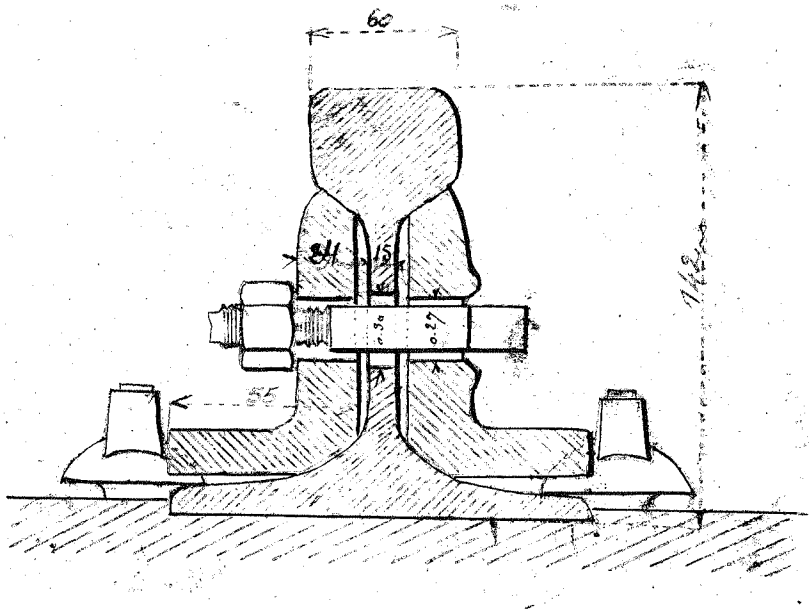
Sur certains réseaux, comme à l'Ouest-Etat, on a posé des éclisses renforcées de plus grande lon-



gueur formant patin sous le rail en remplaçant les deux coussinets des traverses de joint. Sur la ligne Courcelles-Champ de Mars on a même employé des éclisses de même forme ayant 1m.50 de

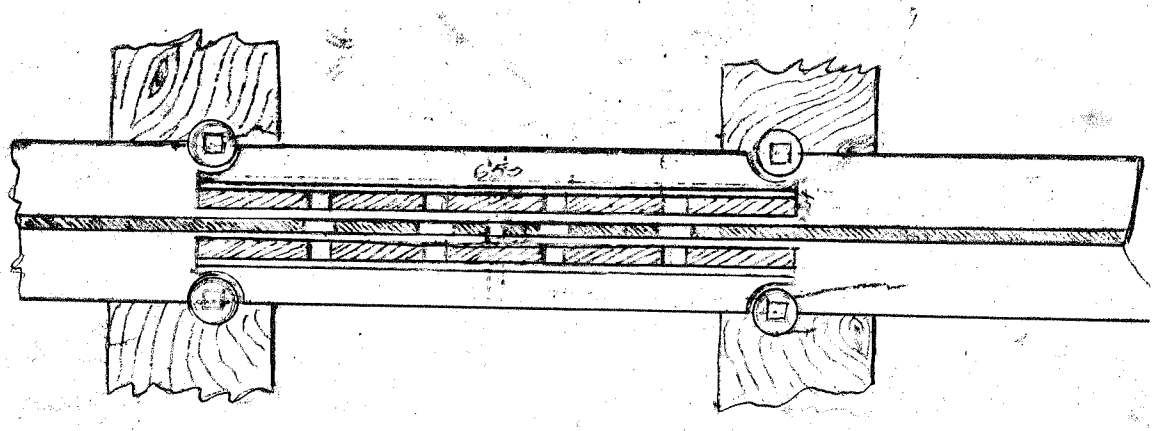
longueur en comportant jusqu'à 10 boulons d'éclisse

Pour les voies Vignole, les éclisses renforcées so des éclisses cornières en acier, qui s'étendent jusqu sur les traverses c joint.



Sur le Nord, l'éclisse cornière e à rainure en a 65 centimètres de longueur ; elle est fixée à l'aide d boulons de 25 m/m de diamètre.

Bien qu'elle n soit pas tirefond sur les traverses, elle s'oppose au glissement du



rail : ses extrémités portant en effet une échanc qui vient buter contre la tête du tirefond.

Dans l'éclisse cornière du P.L.M., au contrair l'aile horizontale de la cornière est tirefonnée sur la traverse, afin d'empêcher le cheminement du rail

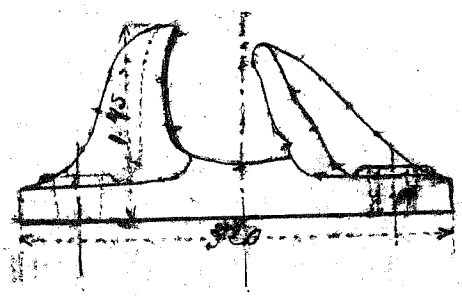
Le poids des éclisses est passé de 9 Kilogs environ à 20 et 25 Kilogs ; on exige, à l'heure actuelle, pour les éclisses renforcées, un acier susceptible de résister à 65 Kilogs par millimètre carré, avec un allongement de 10% mesuré sur une barrette d'épreuve de 100 m/m de longueur.

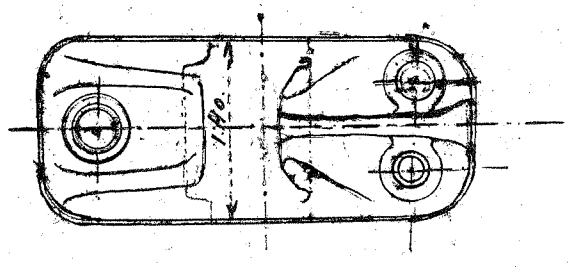
Les boulons d'éclisses sont en fer ou en acier ; ils sont fixés par un écrou à pas de 3 m/m avec une saillie de filet de 2 m/m. Dans le but de combattre le desserrage, on munit les écrous de rondelles en acier, fendues en en forme de spires (appelées rondelles "Grower" du nom de leur inventeur, et qui agissent à la façon d'un ressort. Les boulons d'éclisse traversent l'âme à jeu libre (30 m/m pour 25) pour permettre la dilatation des rails.





Coussinets.— Dans les voies constituées avec les rails à double champignon symétriques, ou dissymétriques, il est indispensable de placer, au droit de chaque traverse, un coussinet, c'est-à-dire une pièce intermédiaire qui comporte une semelle à sa partie inférieure et à sa partie supérieure 2 mâchoires entre lesquelles on





fixe le rail dans la position inclinée au 1/20e.
La semelle a, en général au moins 30 centimètres de

longueur sur 11 centimètres de largeur, ce qui donne une surface d'environ 330 centimètres carrés. Au passage d'un essieu de 13 tonnes, la traverse supporte ainsi une pression ne dépassant pas 20 Kilogs par centimètre carré $\left(\frac{6.500^{K}}{330}\right)$. Or les bois travaillant à la compression dans un sens perpendiculaire aux fibres peuvent pratiquement supporter par cm² :

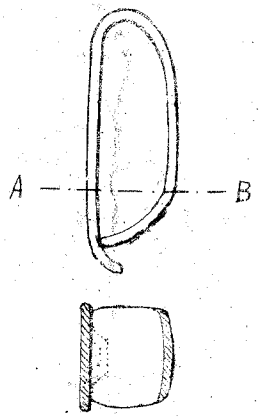
36 Kilogs pour le chêne ;
36 d° pour le hêtre ;
22 d° pour le pin ou le sapin.

Les coussinets se font en fonte. Leur poids qui était de 9K. a généralement doublé depuis qu'on a entrepris le renforcement des voies ; dans les types récents, la semelle a dû être allongée en élargie, de manière à augmenter la surface d'appui en à ne pas dépasser une pression de 20 Kil. par centimètre carré pour la traverse. On a, en même temps, porté de 2 à 3 par coussinet le nombre des tirefonds qui le fixent à la traverse.

La mâchoire du coussinet qui est à l'extérieur de la voie est évasée pour faciliter l'introduction d'un coin ; la seconde mâchoire est moins haute pour être hors d'atteinte au passage des essieux. Le rail ne porte directement que par trois points dans la cavité : aux extrémités supérieure et inférieure de la mâchoire intérieure et sur la semelle ; il prend appui d'autre part sur la mâchoire extérieure par l'intermédiaire d'un coin, qu'on enfonce jusqu'à refus pour le caler ; la semelle reposant bien à

plan sur la traverse, le rail doit alors tout naturellement prendre l'inclinaison du 1/20e.

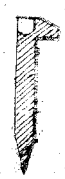
Les coins en bois, débités de préférence dans des morceaux de chêne ou d'acacia sans nœuds ni sans défaut, ont 3 de leurs faces parallèles à l'axe du coin, et la quatrième inclinée au 1/5. Le bois a l'avantage d'être élastique et d'amortir les vibrations, mais il est sujet au desserrage.



Coupe par AB

Des coins métalliques leur ont été substitués en France depuis quelques années et semblent donner de meilleurs résultats; ils coûtent beaucoup plus cher (0f30 à 0f40 pièce, au lieu de 7 à 10 centimes). Le coin Dasid, qui est presque le seul employé en France, est constitué par une lame de ressort en acier trempé repliée sur elle-même; il ne se desserre que rarement.

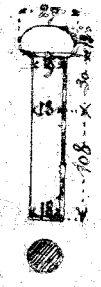
Attaches. — Pendant longtemps, les patins des rails Vignole ou les coussinets des rails à double champignon ont été fixés aux traverses en bois par des crampons ou par des chevillettes.



Les crampons, utilisés pour la voie Vignole, étaient de simples clous à tige carrée ou hexagonale dont la tête, en forme de crochet s'appuyait sur le bord du patin. Ils travaillaient normalement au cisaillement dans le sens transversal; mais lorsque les efforts tendant au renversement du rail étaient trop élevés, l'effort de bas en haut produit

par le patin contribuait à les arracher progressivement. On leur donnait généralement une section carrée de 15 millimètres de côté.

Les chevillettes, utilisées pour la fixation des coussinets, étaient des clous cylindriques de 18 m/m de diamètre, sans pointe ou à tête hémisphérique, qu'on enfonçait à coups de marteau dans la traverse après y avoir percé un trou de tarière de 3 à 4 m/m de diamètre seulement. Elles avaient aussi l'inconvénient de s'arracher sous l'effet du fléchissement des traverses mal bourrées.

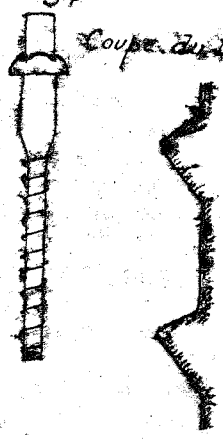


D'assez bonne heure, en France, on remplaça crampons et chevillettes par des tirefonds, qui substituaient à la résistance de frottement du fer sur bois la résistance beaucoup plus considérable opposée à l'arrachement par

Tirefonds

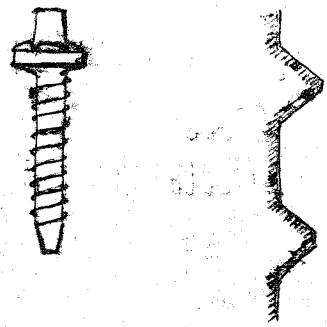
Type Etat

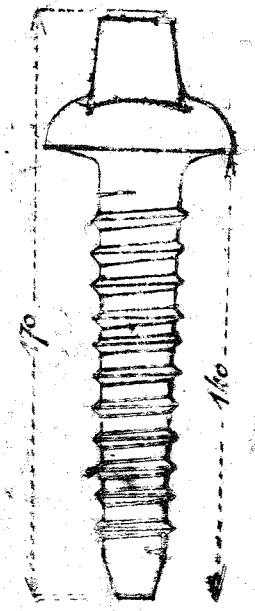
Coupe du filet



Type Nord

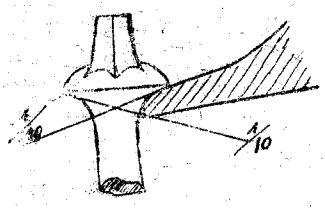
Butées d'écliisses Coupe du filet.





la position des filets de vis. Le tirefond est, en effet, une vis à bois à tête ronde qui porte à la partie supérieure un carré permettant de les visser avec une clé à douille.

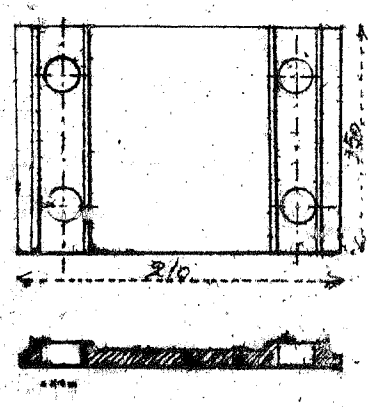
Ceux qui on emploie pour la voie Vignole sont d'un diamètre plus fort que ceux qui sont destinés à la fixation des coussinets. Pour les premiers, le dessous de la tête, au lieu d'être plan, est incliné de 1/5 à 1/10 dans le but de porter normalement sur le patin du rail Vignole. Le tirefond est conique à sa partie inférieure sur 15 à 20 m/m de hauteur ; cela permet de l'enfoncer à la main dans un petit trou de tarière, car il faut éviter de le frapper au marteau, ce on a à réagir à ce sujet contre la tendance de certains ouvriers ; on facilite la surveillance en disposant sur la tête du tirefond une lettre en relief qui ne doit pas être écrasée.



Les tirefonds se font maintenant en acier et ont une longueur de 170 à 180 millimètres. Le pas de 10 à 14 m/m est celui qui paraît résister le mieux à l'arrachement. Pour permettre au tirefond de ne pas se désagréger sous l'action des produits injectés dans les traverses (sulfate de cuivre et chlorure de zinc en particulier), on a préconisé l'emploi de tirefonds galvanisés. A la Compagnie du Midi, on se contente de verser dans le trou de la traverse injectée au sulfate de cuivre, une petite

garantie de goudron très chaud. La durée des tire-fonds est de 8 à 10 ans suivant qu'il s'agit de rails à coussinets ou de rails Vignole, non pourvus de selles.

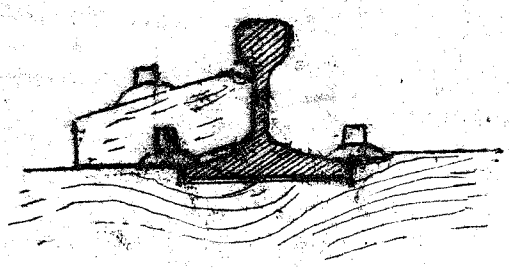
Selles. — Les selles, d'un usage assez répandu en Allemagne, ne sont guère employées en France que par la Compagnie du P.L.M. Ce sont des plaques en acier doux, de 12 à 13 m/m d'épaisseur, qu'on interpose entre le patin du rail Vignole et la traverse, dans le but : 1° d'augmenter la surface d'appui du rail sur la traverse en bois tendre ; 2° d'établir une certaine solidarité entre les tirefonds intérieurs et extérieurs pour augmenter la résistance qu'ils opposent au renversement.



Les selles du dernier type employées au P.L.M. pèsent 3 kilogs, ont une épaisseur de 12 m/m et sont pourvues de rebords. Les 4 trous ménagés pour les tirefonds ne sont pas tous utilisés à la fois ; la plupart du temps on ne les fixe que par 2 ou 3 tirefonds ; pour poser une selle, on pratique au préalable dans la traverse une entaille de 8 à 9 m/m de profondeur inclinée au 1/20e.

Sur le réseau du Nord, où les selles ne sont pas employées, on s'oppose au renversement dans les parties en courbe, par l'adjonction de coins en chêne, dits coins Barberon, qui

viennent épauler le rail d'une manière très efficace en absorbant la plus grande partie des efforts horizontaux qui tendraient à cisailler les tirefonds.



Traverses en bois. — Les traverses ont pour but d'entretoiser les rails, de maintenir leur inclinaison constante et de répartir sur le ballast la charge supportée par la voie.

Les traverses métalliques n'ont que des applications restreintes, mais se généraliseront peut-être lorsque le bois deviendra plus rare. Les traverses en bois sont au contraire d'un usage universel et présentent de grands avantages, au point de vue de l'élasticité.

Les traverses en bois se font généralement en chêne, hêtre, pin ou sapin; dans certains pays on emploie quelques autres essences, comme le mélèze.

Le chêne est le plus résistant et celui des bois qui convient le mieux; employé sans préparation il peut durer 15 ans, si le ballast est bien perméable. Le hêtre à l'état naturel se décomposerait au contraire trop rapidement et ne durerait guère que 2 à 3 ans. Le pin et le sapin ont une durée moyenne de 4 à 6 ans.

Les traverses sont placées dans de très mauvaises conditions de conservation: en dehors des

pressions considérables qui tendent à écraser le bois elles sont soumises à des alternatives de sécheresse et d'humidité et exposées à la pourriture. C'est surtout cette dernière qu'il faut combattre et on arrive, à ce point de vue, à augmenter beaucoup la durée des traverses de hêtre, de pin et de sapin en les injectant avec des substances convenables ; le chêne lui-même gagne un peu à être injecté, bien qu'il puisse à l'état naturel durer quinze ans, à la condition d'être assis sur un ballast perméable, et de ne pas renfermer d'aubier.

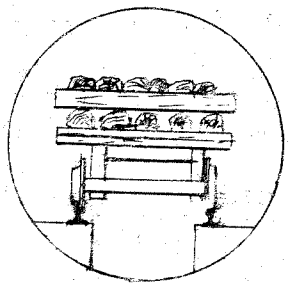
L'injection des bois consiste à remplacer dans leurs vaisseaux les substances putrescibles constituant la sève par des substances imputrescibles et antiseptiques : sulfate de cuivre, chlorure de zinc ou créosote. Le sulfate de cuivre et le chlorure de zinc étant solubles ont l'inconvénient de se délaver sous l'action de l'eau et de rendre les traverses gélives ; le premier — seul employé à cet usage pendant longtemps — a le défaut d'attaquer le métal des rails et tirefonds ; le second, employé plus récemment, n'a pas cet inconvénient et est beaucoup moins coûteux. La créosote (composé d'huiles lourdes de houille) doit ses propriétés antiseptiques à la naphtaline et à l'acide phénique ; en France, on exige qu'elle renferme au moins 15% de naphtaline et 5% d'acide phénique. La créosote offre le grand avantage de ne pas être soluble dans l'eau et, par suite, de ne pas se délaver, mais

elle coûte plus cher.

Le prix de l'injection de créosote pour une traverse de 2m50 x 0m30 x 0m15 (voie normale) peut varier de 0 f. 60 pour le chêne (5 à 6 kilogs de créosote par traverse) à 2 f. pour le hêtre et le pin (qui absorbent de 16 à 25 kilogs par traverse).

Le prix d'une traverse de voie normale en chêne ou hêtre, tout injectée, varie entre 5 frcs et 5 frcs 50. Mais la longévité des bois est très fortement augmentée du fait de l'injection : elle peut atteindre 16 à 25 ans pour le chêne et le hêtre et 12 à 16 ans pour le pin et le sapin.

On a pratiqué divers procédés pour l'injection : primitivement, on traitait l'arbre encore sur pied (procédé du docteur Boucherie) en on utilisait la force ascensionnelle de la sève pour aspirer le liquide antiseptique. On recourut de bonne heure à l'injection sous pression, après abatage de l'arbre, mais on opérait encore sur le terrain même, où on installait un réservoir surélevé d'où le liquide descendait sous une pression supérieure à la pression atmosphérique.



Actuellement on procède en vase clos [illegible] pressions atteignant 6 à 8 atmosphères et les opérations se font dans des usines spéciales. On charge les traverses, préalablement entaillées et percées, sur des chariots supportant chacun 40 à 50 traverses, qu'on introduit dans un grand cylindre en

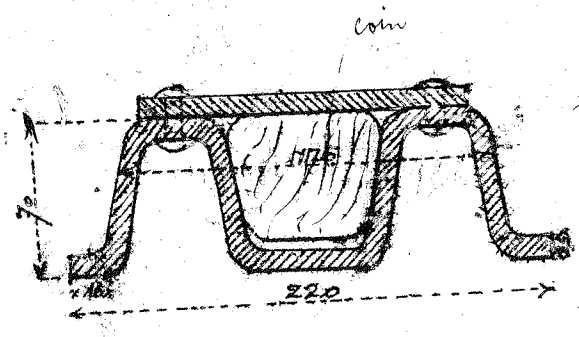
tôle ; on ferme ensuite hermétiquement, et on fait passer un courant de vapeur d'eau qui ramollit les fibres et dissout une partie de la sève ; après quoi on fait le vide pour extraire les gaz et les produits de condensation. Enfin on introduit le liquide antiseptique préalablement chauffé et on soumet le contenu du cylindre, pendant un temps variable de 1/2 heure à 1 heure, à une pression de 4 à 8 atmosphères suivant la nature des bois traités. Le liquide antiseptique pénètre alors dans les vaisseaux d'où la sève a été chassée préalablement sous l'action de l'étuve et du vide.

Les traverses sont équarries à la hache ou à la scie. Le sabotage à la main se fait à l'herminette en utilisant un gabarit de sabotage constitué par 2 bouts de rails réunis au moyen d'une entretoise rigide de longueur voulue.

Dans les grands chantiers où se localisent maintenant pour chaque réseau les opérations de fabrication des traverses, on opère mécaniquement avec des machines appropriées.

Traverses métalliques. — Les premiers essais de voies à supports entièrement métalliques datent de longtemps ; nous ne rappellerons que pour mémoire le rail Barlow qui faisait l'office de longrines et qui dut être abandonné. Ce n'est guère que depuis 1880 que les traverses métalliques ont reçu des applications sérieuses, sinon en France, du moins à l'étranger et surtout dans les colonies. Dans les pays tropicaux, en effet, les excès de la tempéra-

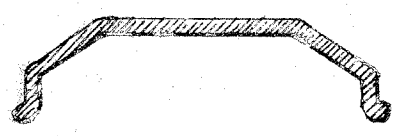
ture détérioreni très rapidemeni les traverses en bois; il esi donc logique d'y subsiituer des supporis mé-talliques appropriés.



On emploie dans quelques colonies françaises la traverse Boyenval et Ponsard à section en M, sur laquelle l'attache des rails se fait sur bois, pour donner plus d'élasticité. A l'extrémité de la traverse on serre un coin en bois sur lequel on tire fonne le rail. Ce type de traverse esi en usage dans l'Indo-Chine (ligne d'Hanoï à la frontière de Chine) au Sénégal (Dakar à St Louis). Pour la voie unique, les traverses de 1m80 de longueur pèsent 35 kilogs en pour la voie normale, leur poids atteini 58 kilogs.

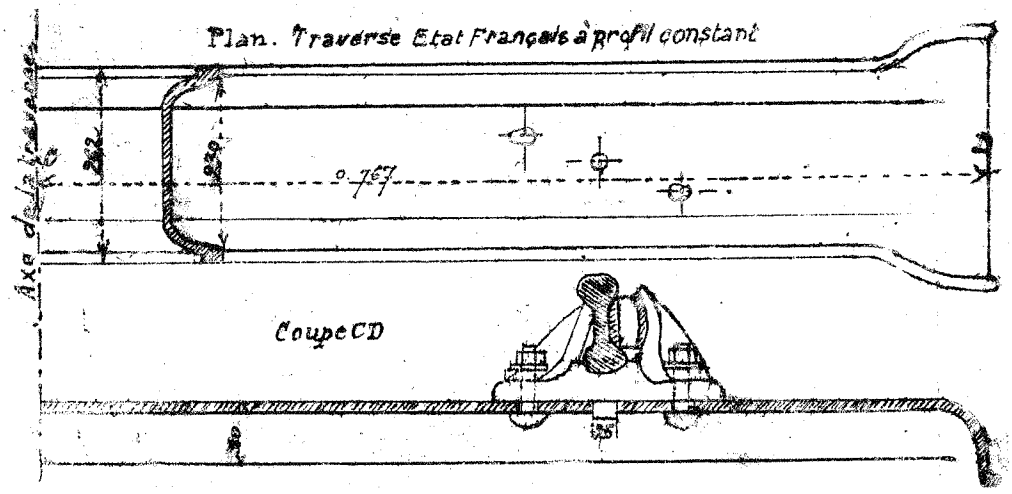
Dans les autres systèmes de traverses métalliques, l'attache du rail se fait directemeni sur la partie supérieure métallique de la traverse, qui esi percée de trous pour le passage de boulons avec écrous disposés vers le haui.

Le système le plus répandu en Europe dérive du type Vautherin à profil semi-hexagonal créé en 1860 par l'ingénieur Français de ce nom. Les facettes verticales inférieures sont terminées en bourrelet pour mieux résister au choc des outils lors du bourrage. Les traverses destinées aux voies normales pèsent 58 kilogs; elles sont



fermées aux deux bouts, soit par des plaques rivées, soit par un simple emboutissage. Elles sont percées de lumières rectangulaires ou de trous ovales suivant qu'il s'agit de voie Vignole ou de voie à coussinets.

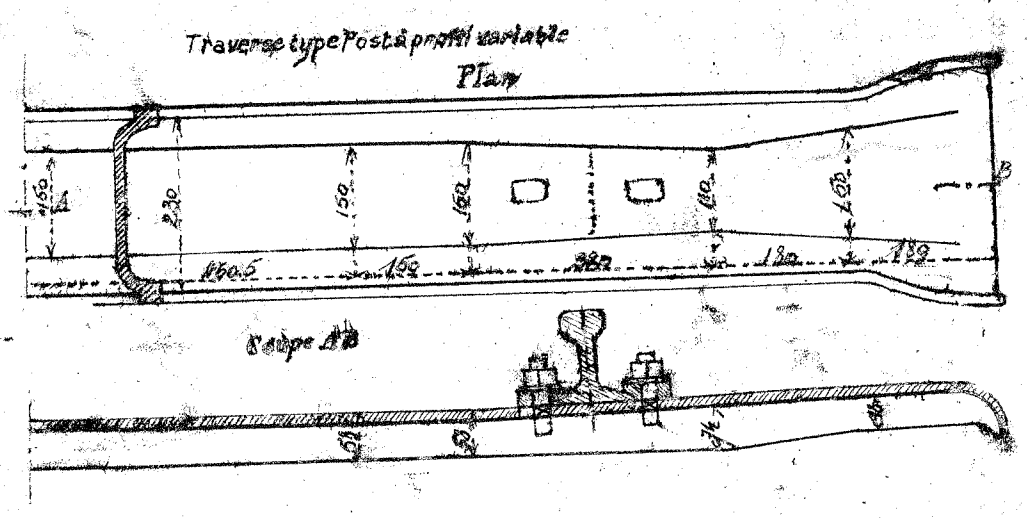
Dans l'application faite par le réseau de l'Etat



français, le coussinet est attaché par deux boulons à crochet qui se posent par dessous ; un talon venu de fonte avec le coussinet s'encastre dans un trou de la traverse, ce qui a pour effet de mieux répartir le travail des attaches et de résister en partie aux efforts transversaux.

Dans le cas de la voie Vignole, le rail à patin est attaché par deux crapauds de même forme, mais dont l'un au moins (généralement le crapaud extérieur) porte un talon. Qu'il y ait ou non interposition de selle, les crapauds s'engagent dans les lumières rectangulaires ménagées à cet effet dans l'épaisseur de la traverse et sont fixés par deux

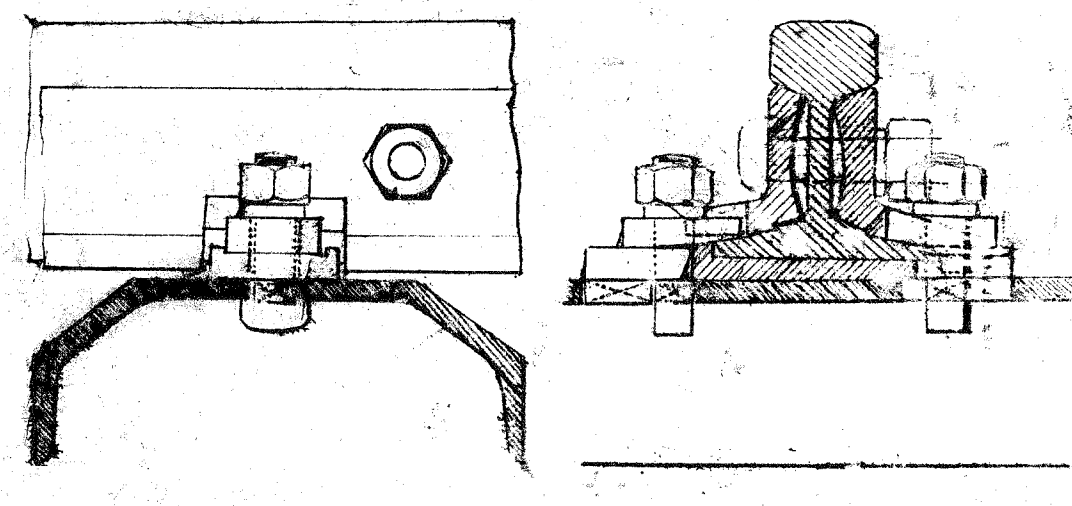
boulons à tête de chapeau de gendarme qu'on peut



passer par dessus la traverse. L'inclinaison au 1/20e peut être obtenue soit au moyen de selles à talon inclinées au 1/20e, soit au moyen d'une inclinaison donnée à la traverse elle-même, lors de sa fabrication (ce qui constitue une sujétion en augmente le prix de revient).

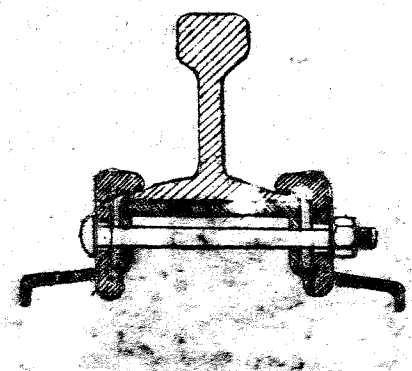
Ces divers types de traverses à forme d'auge renversée se comportent bien au point de vue de la stabilité. L'intérieur de la traverse se remplissant de ballast par le bourrage, la résistance qui s'oppose à son déplacement n'est pas celle du frottement du fer sur le ballast, mais surtout celle du frottement d'un amas de ballast sur le ballast. Les traverses de l'espèce utilisées sur les voies normales ont, en général, 2m50 de longueur et se rapprochent plus ou moins du poids de 58 kilogs, ce qui, à raison de 170 f. la tonne, porte leur prix de revient entre 9 et 10 f. pièce. C'est le double du prix de revient des traverses

en bois, mais la durée peut être évaluée au moins au double en l'emploi des traverses métalliques très stables peut ainsi lutter avec celui des traverses en bois. En Allemagne, en 1898, plus de 15.000 kilomètres de voies normales à traverses métalliques système Heindl étaient en service. Dans ce système, qui dérive du type Vautherin, le rail Vignole est fixé par des crapauds, mais avec interposition de selles en acier qui donnent l'inclinaison du 1/20e.



Supports métalliques. — Avant d'arriver aux types de traverses métalliques réellement pratiques qui précèdent du type Vautherin, on avait utilisé des supports métalliques ayant leur grande longueur disposée dans le même sens que le rail : longrines ou cloches.

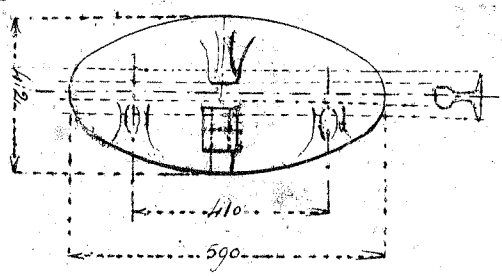
Longrine Haarmann

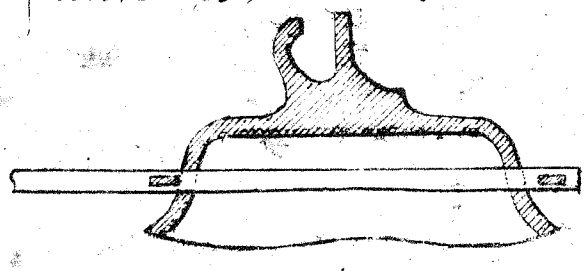


C'est ainsi que les longrines Haarmann, pesant 23k500 par mètre courant, furent utilisées

en Allemagne et en Autriche dans un but d'économie (car la longueur des longrines est inférieure à la longueur cumulée des traverses pour une longueur de voie normale déterminée) mais elles furent abandonnées parce que la voie manquait de rigidité transversale.

Les cloches métalliques ont été utilisées en Egypte, au Cap, dans les Indes Anglaises. De forme ovoïde, les cloches Levesey ayant 60 centimètres de grand axe et de petit axe comportant 3 mâchoires en quinconce pour encastrer le rail double champignon. Ce sont en somme des coussinets creux à large base, posés directement sur ballast. On peut leur reprocher, comme aux longrines métalliques, de ne pas donner à la voie assez de rigidité transversale, mais en outre elles manquent d'assiette.





Pour remédier au premier de ces inconvénients, les cloches système Greave sont réunies deux à deux par un tirant qui maintient l'écartement de la voie.

Ballast. — Le ballast a pour but de répartir les pressions sur la plateforme et de donner à la voie une assiette uniforme. Il doit être homogène, exempt d'argile et perméable

pour faciliter l'écoulement des eaux et ne pas provoquer une pourriture rapide des traverses.

La pierre cassée, le sable siliceux, le gravier rugueux, le mélange de sable et de gravier peuvent être employés dans de bonnes conditions. La pierre cassée constitue le meilleur ballast, à condition de n'être pas gélive. Les laitiers de hauts-fourneaux donnent aussi de très bons résultats.

Il faut soigner le ballast après emploi pour éviter qu'il devienne insuffisant, car le ballast s'altère, la glaise de la plateforme remonte, le vent y apporte des matières terreuses ; il faut chasser ces matières qui détruisent la perméabilité et entretiennent au contraire une humidité dangereuse pour la conservation des traverses en bois. Si le ballast ne coûte pas très cher, il faut le remplacer ; dans le cas contraire, on se contente de purger le ballast (pierre ou gros gravier) en le passant à la claie. Sur une plateforme bien assainie, le ballast de bonne qualité peut durer de quinze à trente ans. Le prix de revient du ballast est très variable suivant les origines et la distance d'emploi : la pierre cassée revient en moyenne à 2f50 le mètre cube au minimum, chargée sur wagon à la ballastière. En comprenant le prix du transport, on peut donc compter ce ballast à 5 ou 6 francs le mètre cube. Le sable est beaucoup moins coûteux.

Pose de la voie

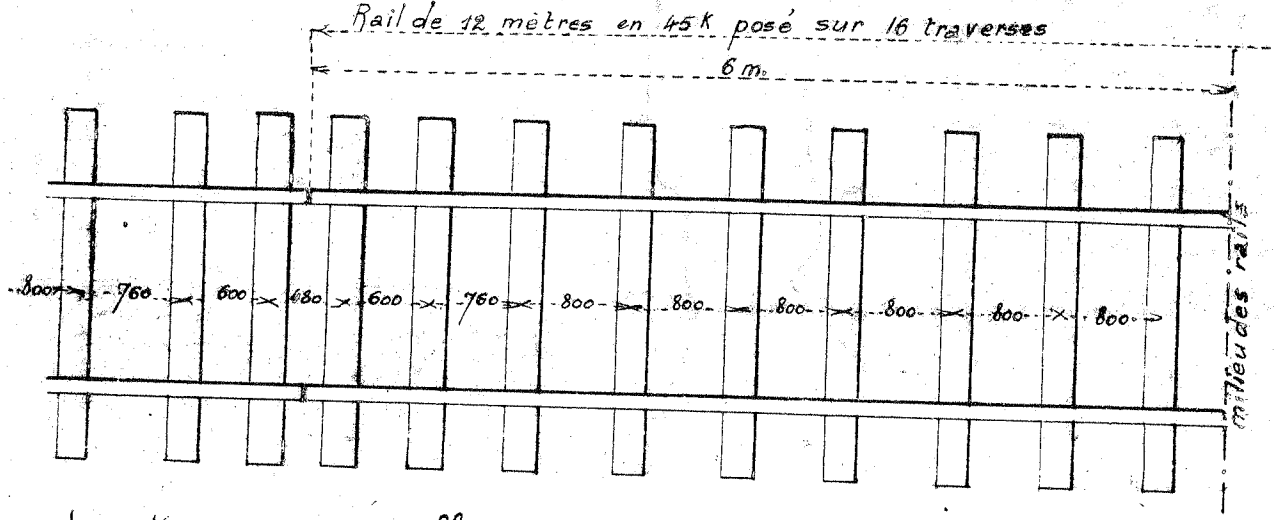
Répartition des traverses. — Les traverses et les rails sont amenés sur la plateforme et déposés à pied d'œuvre, conformément à ce qu'on appelle le plan de pose. Ce plan de répartition des matériaux est dressé en tenant compte de règles déterminées pour chaque réseau et chaque type de rail en ce qui concerne l'espacement des traverses, espacement qui varie pour les voies normales de 0m75 à 1 mètre suivant l'intensité de la circulation et la vitesse des trains.

Au moyen d'une grande règle en bois de longueur égale à celle du rail et portant des repères pour chacune des traverses, on marque d'un coup de pioche sur la plateforme l'emplacement des traverses successives. Des équipes de cantonniers disposent les traverses sur les traits ainsi tracés, ce qui constitue le traçelage. Les rails sont amenés et fixés eux-mêmes sur les traverses non ballastées, en prenant soin d'interposer de petites cales en fer pour régler le jeu aux joints et l'on utilise la voie ainsi posée pour continuer l'amenée des matériaux sur lorrys ou sur wagons.

Les traverses ne sont pas distribuées uniformément sur toute la longueur d'un rail : pour celles du joint — qui sont les plus rapprochées — on réduit, en général, la distance de 0 m. 60 seulement.

Depuis l'emploi des rails renforcés des essais ont été pratiqués pour les rapprocher à 0m45, en

comme on éprouve des difficultés pour le bourrage, on est alors conduit à tailler un chanfrein sur les deux traverses voisines du côté du joint ; on a même été conduit à rapprocher beaucoup les deux traverses les plus voisines de celles de joint en qu'on appelle traverses de contrejoint. Le schéma ci-contre indique, à titre d'exemple, l'espacement



des traverses actuellement adopté sur le réseau du Nord pour la pose des rails de 12 mètres (45 kilogs) sur 16 traverses. En partant du joint, les espacements d'axe en axe des traverses sont successivement de 480, 600, 760 et enfin 800 pour les onze intervalles de la partie médiane du rail.

Les joints sont dits parallèles, concordants ou d'équerre lorsqu'ils sont situés sur une même perpendiculaire à l'axe de la voie (c'est le cas du schéma ci-dessus). Dans le cas contraire, ils sont dits *alternés* ou *chevauchants*. On adopte maintenant presque partout les joints d'équerre.

En utilisant, comme nous l'avons dit, la voie posée sur terre, on amène les wagons de

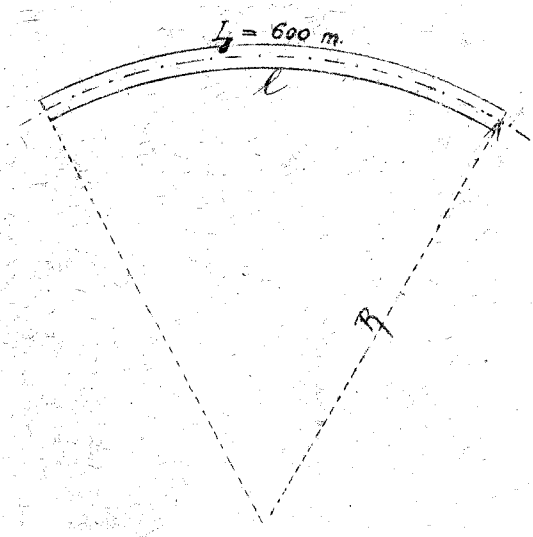
ballast en on les décharge de manière à former une première couche d'environ 10 centimètres.

On bourre sous les traverses en soulevant la voie avec des anspects, des verrins ou des crics. Lorsque la voie s'est un peu tassée, on répand à nouveau une couche de ballast de 10 centimètres environ, en on refait le bourrage, en ainsi de suite 3, 4, 5 fois jusqu'à ce qu'on ait atteint l'épaisseur normale de 50 centimètres. Le bourrage doit être plus fort aux abouts des traverses qu'en leur milieu.

En posant les voies à coussinets, on chasse les coins dans le sens de la marche des trains. Si la voie est parcourue dans les deux sens, on chasse les coins dans le sens de la pente, en, pour les parties en palier, dans le sens de la pente qui précède le palier. Les boulons d'éclisses, les tire-fonds en les coins ne sont serrés à fond que lorsque la voie a été redressée à son niveau normal.

Pose de la voie en courbe. — Dans les courbes, tout se passe de la même manière, mais les développements des deux files de rails n'étant pas égaux, on est obligé de faire entrer dans la file intérieure des rails plus courts que ceux de la file extérieure auxquels on donne la longueur normale. Pour simplifier, on n'emploie généralement qu'un seul type de rail court par nature de rail. On forme entre les rails courts et les rails normaux juxtaposés des combinaisons périodiques

telles que, à la fin de chaque période, les joints correspondants de deux files de rails se retrouvent dans les mêmes positions relatives qu'ils devraient occuper en alignement droit.



Supposons une courbe de 300 m. de rayon en dont le développement extérieur soit L = 600 mètres.

Les rayons respectifs des deux files de rails étant 300 m. 75 et 299 m 25, on doit avoir :

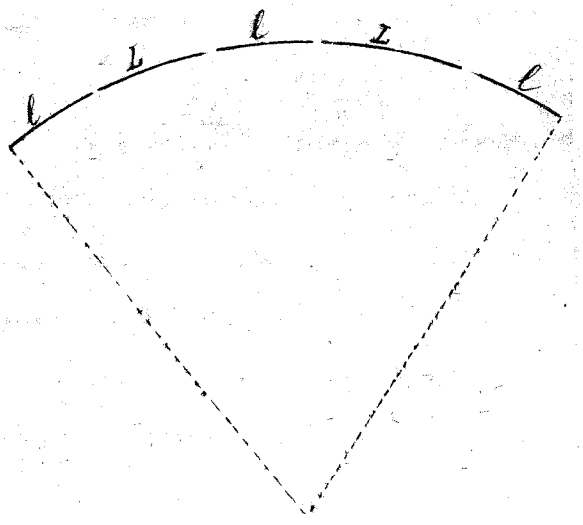
$$l = 600^{m} \times \frac{299,25}{300,75} = 597 \text{ mètres}$$

L'emploi des rails courts devra donc permettre de racheter une différence de développement de 3 mètres. Or, sur le Nord par exemple, avec les rails de 12 mètres, le type de rail court usité est de 11 m 90. L'emploi d'un rail court permet donc de regagner une différence de développement de 0 m 10. Il en résulte que dans la courbe envisagée on devra employer :

$\frac{3m}{0^{m}10}$ ou 30 rails courts de 11 m 90 } 357 240 597 m

et par suite, 20 rails de 12 mètres.

Les périodes dont nous avons parlé se composeront donc chacune de 2 rails de 12 mètres et de 3 rails de 11 m 90 et on répartira les deux espèces de rails comme l'indique le schéma (page 143) afin de réduire le plus possible le hors d'équerre des joints.



Dans les courbes, les traverses sont disposées suivant des rayons.

Lorsque le rayon est très faible, on cintre les rails avant de les poser.

Largeur de la voie.— On entend par largeur de la voie, la distance comptée entre les bords intérieurs des champignons des rails. Une conférence réunie à Berne, en 1907, pour arrêter les bases de l'unité technique des voies et du matériel, de manière à permettre les échanges de machines et de wagons, a arrêté comme suit les limites admissibles de l'écartement entre les bords intérieurs des rails : minimum 1m435, maximum 1m470. Dans l'Europe continentale, la largeur de 1m.45 prise pour base par cette conférence est partout adoptée, sauf en Espagne où la largeur de la voie est de 1m75, et en Russie, où elle est de 1m521.

En France, certaines Compagnies ont réduit récemment de 1m45 à 1m445 et même 1m44, la largeur-type afin de diminuer le jeu entre les boudins des roues et les rails.

Surécartement.— Pour que, en temps normal, il n'y ait pas frottement du boudin sur le rail, l'écartement entre les faces extérieures des boudins est moindre que la largeur entre les

faces intérieures des champignons des rails. La différence de largeur ou jeu de la voie est de 2 à 5 centimètres au maximum suivant l'usure des bandages. Sur certains réseaux français et en Allemagne, on donne dans les courbes de faible rayon quelques millimètres d'excédent de largeur ; dans tous les cas, y compris ce surécartement, la largeur de la voie ne doit pas dépasser le maximum de 1m 470 fixé par la Conférence de Berne. Le surécartement porte en général la largeur de voie à 1m 450 pour les courbes de rayon supérieur à 45o

à 1m 460 d° compris entre 25o et 45o

et à 1m 465 d° inférieur à 25o m.



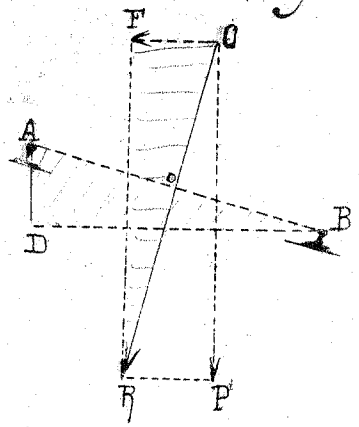
Gabarit de sabotage

On tient compte de ce fait dans le sabotage des traverses, et on utilise un gabarit formé de deux règles coulissant l'une dans l'autre.

Surhaussement du rail dans les courbes. — Dans les courbes, si la voie restait complètement horizontale, l'effet de la force centrifuge serait trop considérable sur le rail de plus grand rayon. On contrebalance cet effet en donnant à la voie dans le sens transversal une inclinaison variable en rapport avec le rayon de la courbe ; ce correctif est obtenu en surélevant le rail extérieur. La différence de niveau créée ainsi s'appelle surhaussement ou dévers. On ne dépasse que tout à fait exceptionnellement le surhaussement de 15 centimètres.

Le dévers théorique peut se calculer de

la manière suivante, en exprimant que la résultante de la gravité et de la force centrifuge est normale au plan de la voie avec son surhaussement.



En raison de la similitude des deux triangles rectangles ADB et OFR on peut écrire :

$$(1)\quad \frac{AD}{DB} = \frac{OF}{FR}$$

AD = d est le surhaussement et DB peut se confondre avec AB = e (largeur de la voie) ; FR = P, charge de l'essieu et la force centrifuge OF est donnée par la formule :

$$OF = \frac{P}{g}\,\frac{v^2}{R}$$

dans laquelle g = 9m.81 est l'accélération due à la pesanteur, v la vitesse en mètres par seconde et R le rayon de la courbe exprimé en mètres. La formule (1) devient donc :

$$\frac{d}{e} = \frac{v^2}{gR}$$

ou, en remplaçant v par sa valeur en fonction de V vitesse en kilomètres à l'heure :

$$(2)\quad d = \frac{e\,V^2}{(3,6)^2\,gR} = \frac{0,0118\,V^2}{R}$$

Dans la pratique, une difficulté se présente du fait que les trains circulant sur une même ligne ne marchent pas tous à la même vitesse. Si on calculait le dévers, en prenant pour V la vitesse maximum que les trains peuvent atteindre, le passage des trains de marchandises à

30 kilomètres à l'heure sur une voie à dévers beaucoup trop fort provoquerait un effort exagéré en sens inverse sur le rail de petit rayon, car OF' étant plus petit que OF, le point d'application de la résultante OR serait reporté dans la deuxième moitié oB de la largeur en, en vertu de la conicité des bandages, les essieux glisseraient vers le rail intérieur.

En Angleterre, quelques Compagnies seulement emploient telle quelle la formule théorique; d'autres en diminuent les résultats dans une très forte proportion. Enfin, certains réseaux anglais comme le Great Western, le Nord British, etc... laissent aux agents chargés de la pose en de l'entretien des voies le soin de donner le dévers qui convient.

Il est préférable d'établir des règles, comme on le fait sur les réseaux français, en classant les lignes en trois ou quatre catégories, suivant les vitesses maxima en minima des trains qui y circulent, en en adoptant pour chaque catégorie une valeur de V convenablement choisie. Mais, là encore, deux formules sont en usage. Seules, les Compagnies du Midi, de l'Orléans en de l'Est appliquent la formule parabolique: $d = \frac{0,0118\,V^2}{R}$.

L'Etat-Ouest, le Nord en le P.L.M. préfèrent lui substituer la formule linéaire: $d = \frac{V}{R}$; mais en donnant à V la valeur de la vitesse moyenne du train le plus rapide, s'il s'agit d'une courbe située dans le parcours ou au pied d'une longue pente de plus de 4 millimètres, ou une

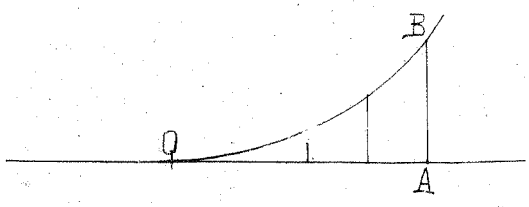
valeur un peu inférieure dans le cas contraire.

A la Compagnie du Nord, par exemple, on emploie pour la formule $d = \frac{V}{R}$ les 6 caractéristiques : V = 40, 50, 60, 75, 90 ou 100 en des tables permettent de trouver immédiatement le dévers qui convient à une courbe de rayon déterminé.

Il est à remarquer que cette formule linéaire donne le même résultat que la formule parabolique pour la valeur V = 84 kilomètres, en que la différence des valeurs qu'on déduit des deux formules est maximum pour V = 42 kilomètres et n'atteint pas 3 centimètres pour la vitesse de 25 à 30 kilomètres qui est celle des trains de marchandises.

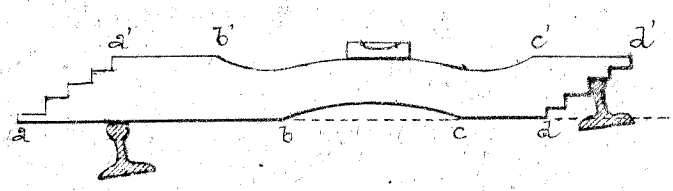
Le P.L.M. a adopté les groupes 40, 50, 60 et 70 kilomètres ; l'Est 40, 50 et 60. Pour les lignes à faible trafic, le Ministre des Travaux Publics a autorisé la Compagnie d'Orléans à adopter les dévers suivants :

d = 0 m 18 pour les courbes de 150 m. de rayon
d = 0 m 16 — d° — 200 m — d° —
d = 0 m 15 — d° — 250 m — d° —
et $d = \frac{45}{R}$ — d° — rayon supérieur à 250 m.



Pratiquement, pour établir une voie en courbe dans sa situation définitive, on utilise des tables donnant la valeur des ordonnées AB par rapport aux abscisses OA comptées depuis l'origine de l'arc

de cercle qui constitue la courbe. C'est ainsi que se fait le piquetage de l'axe de la voie. On utilise d'autre part les tables dont nous venons de parler pour déterminer le dévers constant afférent à la courbe suivant son rayon. Et, après avoir réglé l'une des files de rails en hauteur et en plan,

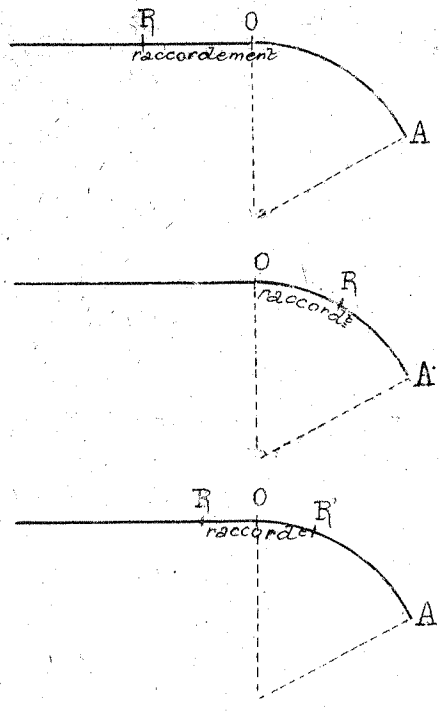


d'après le piquetage, on donne pratiquement le dévers en se servant d'une règle à échelons sur laquelle est fixé un niveau à bulle d'air ; après avoir posé la règle sur les deux rails et à l'échelon voulu, on fait relever les traverses du côté du grand rayon de manière à ramener la bulle d'air du niveau entre ses repères, les parties planes a b, c d, a' b', c' d' revenant à l'horizontalité.

Raccordement du dévers. — Le dévers nécessaire étant donné dans une courbe, on ne peut le raccorder brusquement avec l'alignement droit dont le dévers est nul.

Il faut établir un plan incliné pour regagner le niveau plus élevé qui est celui du grand rayon ; ce plan incliné ne dépasse pas en France la pente de 2 millimètres par mètre, mais cela exige une longueur de plan incliné de 75 mètres pour un surhaussement de 15 centimètres, et sur toute la longueur de ce plan incliné, la voie a un dévers variable allant en croissant de 0 à 15 centimètres.

En Allemagne et en Autriche, où on établit le plan incliné de raccordement RO tout entier sur l'alignement droit, le dévers provoque un choc vers le petit rayon.



Sur d'autres réseaux, on établit le plan incliné OR tout entier sur l'origine de la courbe, et il y a choc vers le grand rayon parce que le dévers est insuffisant à l'entrée de la courbe.

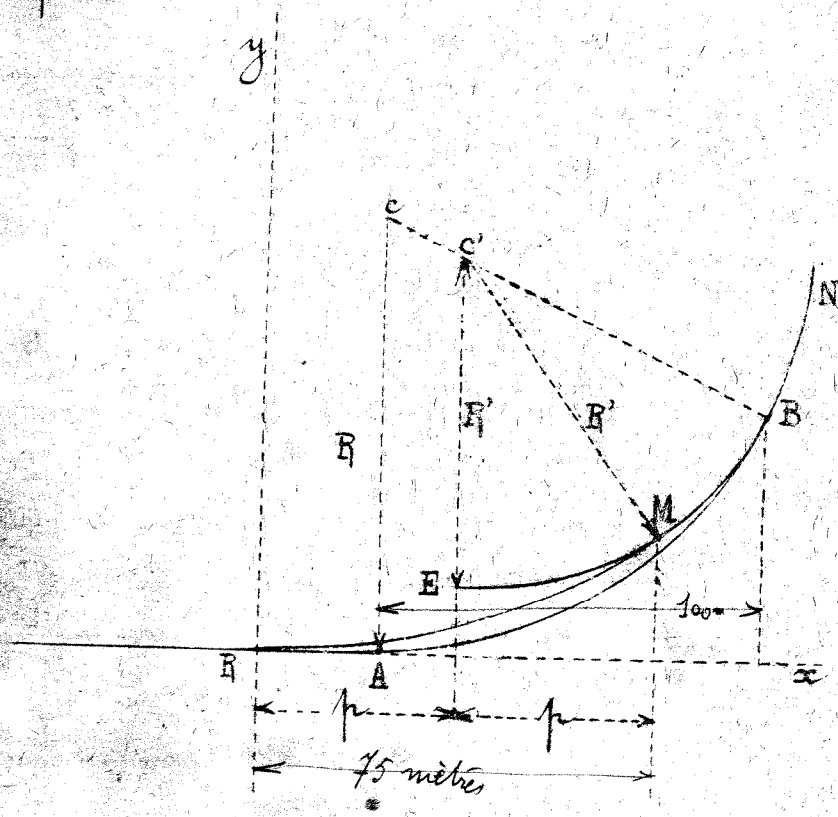
Sur d'autres réseaux enfin, on répartit le plan incliné RR' partie sur l'alignement, partie sur la courbe, ce qui est moins défavorable.

Raccordement parabolique. — Mais la véritable solution, pratiquée sur la plupart des réseaux français actuellement, consisterait à substituer en projection horizontale à la partie ROR' du tracé, une courbe tangente en R à l'alignement droit, tangente en R' à l'arc de cercle et telle que le rayon de courbure en chaque point correspondrait au dévers proportionnel à la longueur de la courbe de raccord qu'on se propose de donner. Cette courbe est approximativement une parabole du 3ème degré dont la formule est :

$$y = \frac{x^3}{12\,pR'}$$

en négligeant les termes à partir de x^4, du dévelop-

pement en série provenant de l'intégration, en qui son osculatrice en M à un arc de cercle MB extérieur à l'alignement droit en de rayon un peu inférieur à celui de la courbe ABN du tracé primitif.



On la construit pratiquement de la manière suivante : Soit Rx l'alignement droit en ABN l'arc de cercle du tracé primitif à raccorder.

Si on adopte, pour fixer les paramètres pour R, une distance

$$RM = 2p = 75 \text{ mètres}$$

pour la parabole de raccord en entre le point de tangence du tracé primitif A en l'origine B de l'arc de raccord une distance AB = 100 mètres, les rayons R de l'arc primitif en R' de l'arc de raccord MB, satisfont à la relation :

$$R' = 0,9505\, R$$

Ces deux rayons sont donc très peu différents, en par suite, l'intercalation de l'arc de cercle MB sur lequel existera le dévers complet de l'arc BN (dévers un peu trop fort pour cet arc MB) n'aura pas d'inconvénient en ne pourra occasionner de choc.

Des tables spéciales, établies séparément pour

les rayons R des courbes les plus voitées donnent :

1°.— les ordonnées de la parabole de raccord RM en fonction des abscisses comptées à partir de l'extrémité de l'alignement droit.

2°.— le surhaussement correspondant à chaque ordonnée.

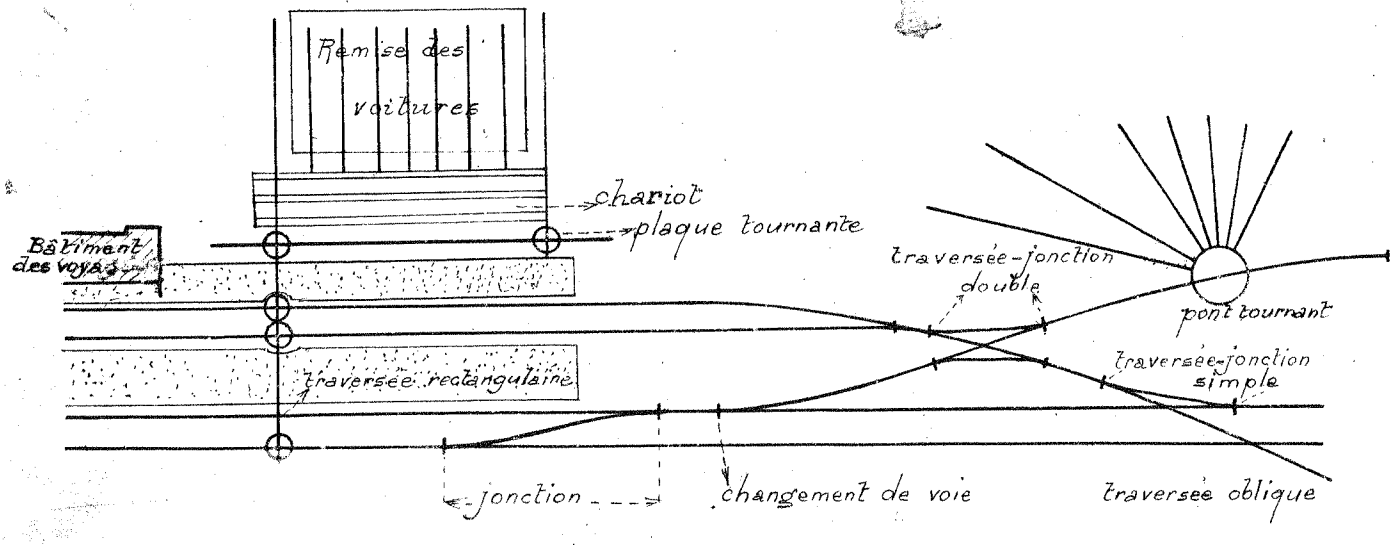
3°.— les mêmes éléments pour la partie MB de l'arc de rac d faisant suite à la parabole cubique.

En définitive, au lieu de raccorder par une courbe unique, on raccorde par une parabole cubique suivie d'un arc de rayon un peu inférieur au rayon de la courbe du tracé primitif.

Appareils de voie

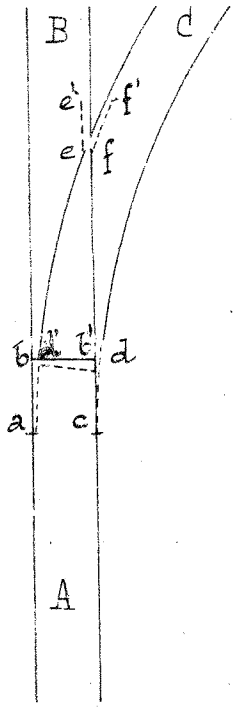
Pour permettre aux trains de passer d'une ligne de chemin de fer sur une autre, ou pour permettre aux trains, manœuvres, machines ou véhicules isolés de passer d'une voie sur une autre, dans l'intérieur d'une gare, il est nécessaire d'installer, en des points convenables des appareils de voie de divers types dont les principaux peuvent rentrer dans les dénominations suivantes : changements de voie ou bifurcation de voie, traversées de voies (obliques ou rectangulaires), jonctions, traversées-jonctions, plaques tournantes, ponts tournants pour machines, chariots roulants.

Le schéma ci-dessous réunit des exemples de ces différents types d'appareils.



Changements de voie. — Dans le changement à deux voies ou aiguillage simple, les deux voies se rap-

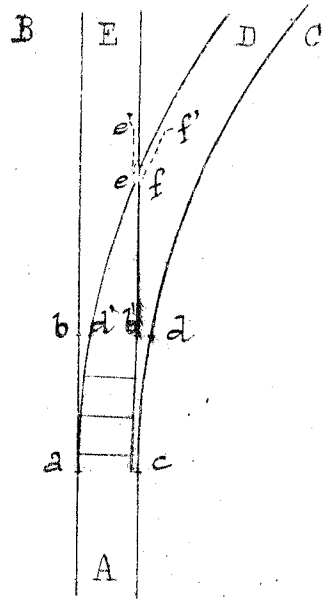
prochant très obliquement sont reunies par une partie mobile appelée aiguille qui vient donner la continuité de l'une ou l'autre des deux voies, ce qui permet aux trains ou manœuvres de passer, sans difficulté, du tronc commun sur celle des deux voies qui convient.



Dans l'appareil le plus simple, appelé sauterelle et qui sert encore quelquefois dans les voies de travaux ou dans les installations de fortune, les deux bouts de rail mobiles constituant l'aiguille sont articulés en a en c à l'extrémité du tronc commun A et réunis par une entretoise à l'autre extrémité. On donne à ces éléments de voie un déplacement de 10 à 12 centimètres pour l'amener soit en b b' comme l'indique le croquis pour donner la continuité de la voie B, soit en d d' pour donner la continuité de la voie C. L'une des deux voies se trouve toujours coupée, et cet appareil sommaire offre de grandes chances de déraillements.

Dans le système adopté universellement aujourd'hui, un train se présentant dans l'une quelconque des 3 directions trouve au contraire une voie continue ouverte devant lui, ou qu'il peut ouvrir lui-même en abordant l'aiguille par le talon.

A cet effet les files des rails extérieurs a b B, c d C étant continues (fig. page 154), les deux rails mobiles appelés lames d'aiguille sont terminés en



pointe en a en c articulés en d en b', en rendus solidaires par des entretoises. Lorsque l'une des lames applique contre l'un des deux rails extérieurs dits contre-aiguilles, — contre le rail ab par exemple — l'autre lame est écartée du contre-aiguille cd, de manière à ménager de ce côté une ornière pour le passage du boudin des roues. C'est alors la direction AD ou DA qui est ouverte. Mais, sauf dans les cas d'immobilisation spéciale dont nous expliquerons plus loin l'utilité, il est également possible à un train allant de E vers A de passer, les boudins des roues faisant écarter la lame d'aiguille d'a, tandis que la lame conjuguée b'c s'applique sur le contre-aiguille opposé.

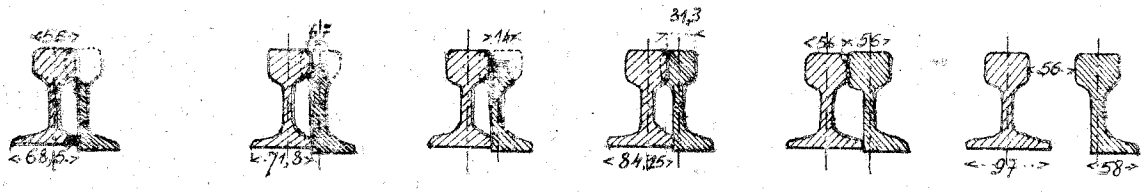
En dehors de l'aiguille, il existe dans le changement de voie une autre partie spéciale qui est le croisement. Il faut en effet qu'au point d'intersection des files intérieures des rails d'e, b'f, il y ait dans chacune d'elles une coupure formant ornière pour le passage du boudin des roues. On prolonge en général les extrémités e en f des rails coupés par des parties coudées ee', ff' parallèles aux autres rails ; ces prolongements destinés à guider les roues s'appellent des pattes de lièvre, tandis que l'angle aigu commun aux deux rails opposés prend le nom de pointe de cœur.

Examinons d'une manière plus détaillée d'une

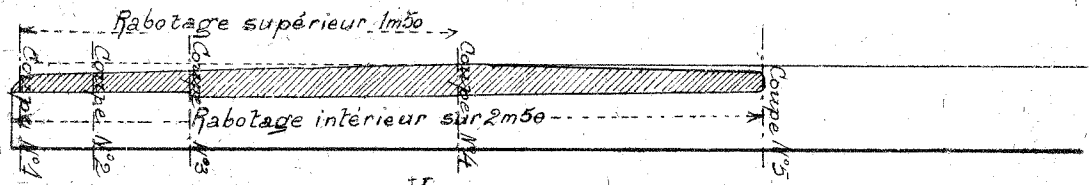
par l'aiguille en son dispositif de manœuvre, d'autre part le croisement.

Aiguille.— Les lames d'aiguille qui ont en général 5 à 6 mètres de longueur, sont des rails à patin ou à double champignon qui sont amincis vers l'extrémité pour permettre à la pointe de se loger sous le champignon du rail contre-aiguille, et à la lame d'appliquer contre ce rail sur une certaine longueur, de manière que, lorsqu'un train les aborde en venant du tronc commun, il n'existe aucune saillie appréciable pouvant produire un choc. Cette forme spéciale des rails obtenue parfois par forgeage, mais plus généralement par rabotage du rail; le rabotage prend naissance vers le milieu de la longueur, et, en partant de ce point jusqu'à la pointe, la section de la lame, d'abord identique à celle des rails courants, s'affaiblit progressivement en affecte les formes successives 5, 4, 3, 2, 1

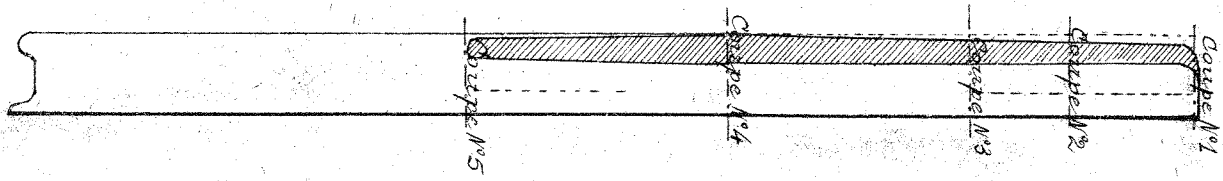
Coupe N° 1 Coupe N° 2 Coupe N° 3 Coupe N° 4 Coupe N° 5 Coupe par le talon



Lame d'aiguille de 5m.00 (vue intérieure)

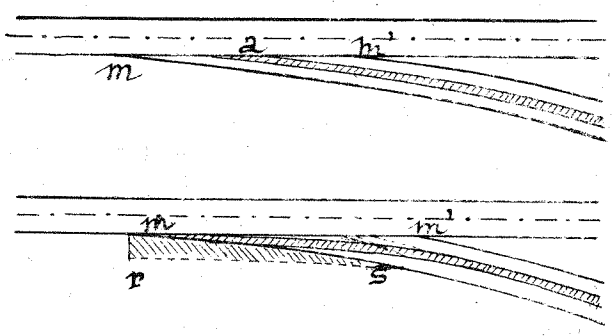


Vue extérieure

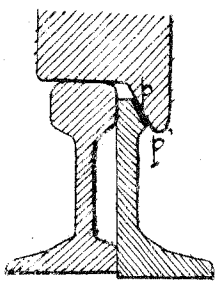


représentées sur le croquis ci-dessous.

La lame d'aiguille est purement directrice dans le voisinage de sa pointe ; elle ne devient porteuse qu'au-delà de l'amincissement extrême. A l'extrême pointe, comme la partie de champignon ma serait en porte-à-faux, on n'interrompt pas l'âme au point a, mais, avant le rabotage, on dévie légèrement l'âme du rail suivant sm ; ensuite on fait tomber l'angle smr.



Il y a d'ailleurs 3 surfaces de rabotage : 1° le rabotage intérieur mm' pratiqué de manière à faire épouser en chaque point à la lame le contour du contre-aiguille dont le champignon conserve sa largeur normale ; ce rabotage porte, en même temps, sur le patin du rail. 2° le rabotage extérieur ms pratiqué suivant un plan pp' faisant une légère inclinaison avec la verticale, afin de livrer passage au boudin des roues, qui se trouve ainsi dirigé ; 3° le rabotage supérieur qui est pratiqué sur une longueur de 1m50 environ pour éviter que dans cette partie très affaiblie la lame soit porteuse.

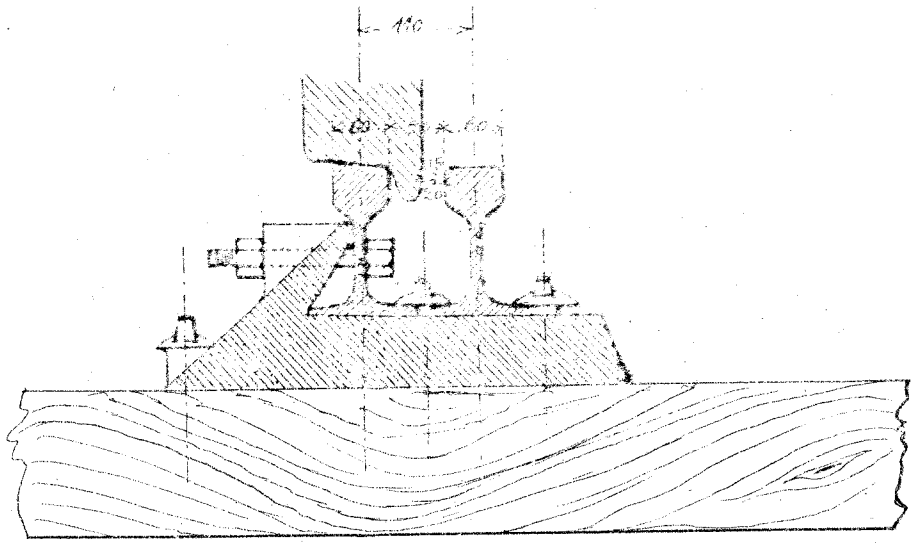


Les rabotages latéraux (extérieur et intérieur) sont pratiqués sur une longueur de 2m50 environ.

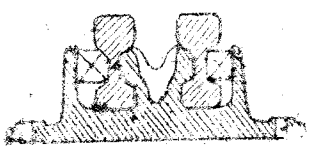
Les rails contre-aiguilles dont le patin est entaillé sur une certaine longueur pour maintenus

dans une position invariable par des coussinets spéciaux qui servent en même temps de supports et de guides pour le glissement des lames d'aiguille.

Dans les coussinets de talon qui servent à assurer la liaison entre les rails de la voie courante



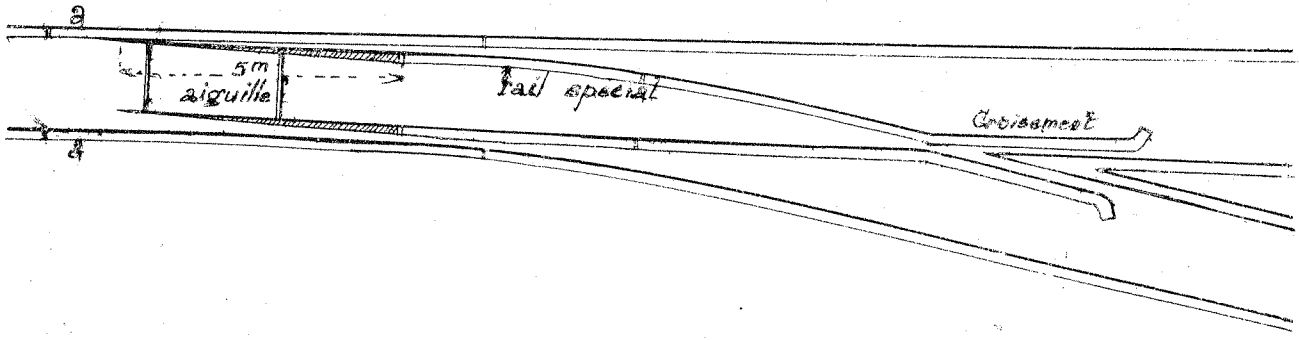
et ceux de l'aiguillage, le talon de l'aiguille est maintenu à une distance suffisante du contrerail (110 m/m d'axe en axe) pour laisser un jeu de 15 à 20 m/m au passage du boudin des roues. Dans la voie Vignole, des entretoises en fonte allant de l'âme du rail à l'âme de la lame d'aiguille maintiennent cet écartement. La lame d'aiguille est reliée au rail qui fait suite par une éclisse dont les boulons ne sont pas serrés à fond dans le but de donner un jeu suffisant pour la manœuvre. A la pointe, la course de l'aiguille est comprise entre 10 et 12 centimètres; les coussinets de pointe sont donc plus allongés que ceux du talon de l'aiguille.



Dans la voie à double champignon, on utilise des coussinets doubles

symétriques qui maintiennent par des machoires séparées les deux files de rails.

Le rail contre-aiguille, dont les joints sont



respectivement en deçà en au-delà de la pointe d'aiguille et du talon, est légèrement coudé en 2, au droit de la pointe d'aiguille qui lui correspond, de manière à être parallèle à la lame d'aiguille opposée lorsqu'elle est fermée.

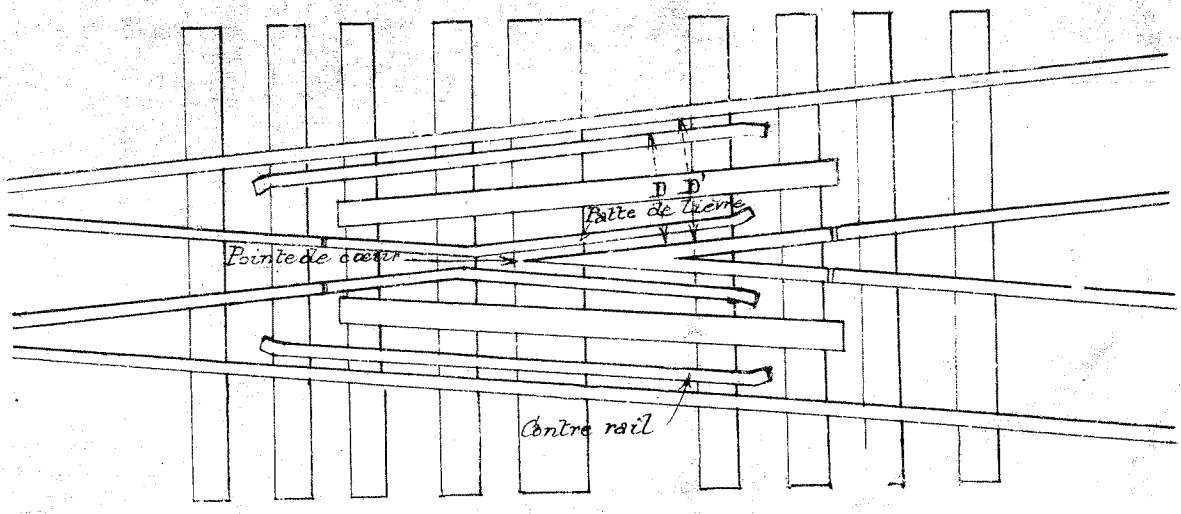
Dans les appareils à pose très raccourcie, c'est-à-dire dans lesquels la longueur entre la pointe de l'aiguille et la pointe de cœur du croisement est relativement courte, on est conduit à utiliser des lames d'aiguille courbes pour éviter une déviation trop brusque. Mais, généralement on préfère établir l'aiguille en ligne droite de même que le croisement, en faire une courbe de raccord entre ces deux parties. Cette disposition comporte un coude un peu brusque au droit de l'aiguille, mais on en réduit l'inconvénient dans la pratique en donnant aux aiguilles un angle qui est toujours très petit.

$$tg\,\alpha = \frac{0\,m.\,110}{5\,m} = 0,022$$

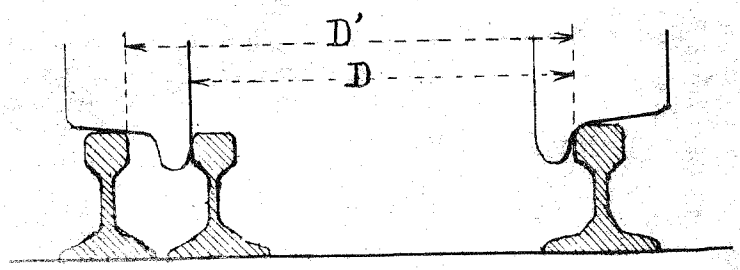
ce qui correspond pour les aiguilles de 5 mètres à un

angle un peu supérieur à 1°.

Croisement. — Nous avons vu qu'au croisement,



les deux files de rails intérieures du changement de voie doivent présenter une coupure pour livrer passage aux boudins des roues. Mais cette solution de continuité constituerait une dénivellation dangereuse si la roue n'était pas guidée en contenue d'une autre façon. Pour éviter ces inconvénients, on place en face sur chaque voie un contre-rail qui guide directement la roue extérieure et, du même coup, en raison de la solidarité complète que réalise le calage des roues sur l'essieu, retient la roue intérieure au passage de la solution de continuité en l'empêche de heurter la pointe de cœur.



L'écartement intérieur des bandages étant de 1m.36 et l'épaisseur des boudins de 0m.030

il faut que la distance D entre l'intérieur du contre-rail et la pointe de cœur satisfasse à la relation :

$$D \geqq 1^m36 + 0^m03$$

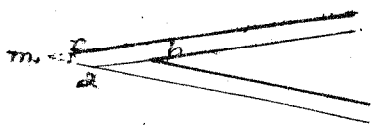
Il faut, d'autre part, que le bandage qui a 125 m/m de large porte constamment sur le rail extérieur, ce qui donne :

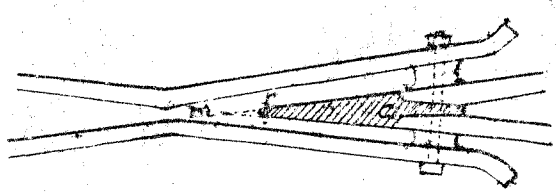
$$D' \leqq 1^m36 + (2 \times 0^m03) + \text{un jeu de } 0^m020$$

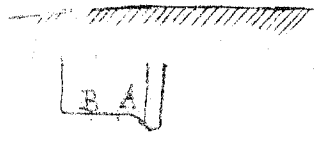
Pratiquement, on prend $D = 1^m39$ et $D' = 1^m44$, ce qui donne une ornière de 50 m/m entre le rail extérieur et le contre-rail.

De même que les pattes de lièvre, les contre-rails sont légèrement courbés à leur extrémité pour faciliter la pénétration dans l'ornière.

La pointe de cœur se fait soit en assemblant les deux rails qui se rejoignent après les avoir rabotés à cet effet suivant une surface ab, soit en employant une pièce en acier forgé sur laquelle on assemble les deux rails. La première solution est surtout pratiquée en Angleterre. Le cœur n'est jamais complètement terminé en pointe ; mais, à la pointe mathématique m, on substitue la pointe réelle r qui n'est qu'une pointe émoussée distante de 7 à 8 centimètres de la pointe mathématique. La partie extrême de la pointe est en biseau plongeant, en raison des sujétions créées par l'existence des contre-rails, ce n'est d'ailleurs pas le

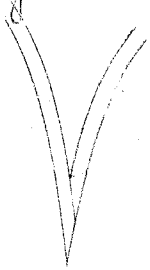




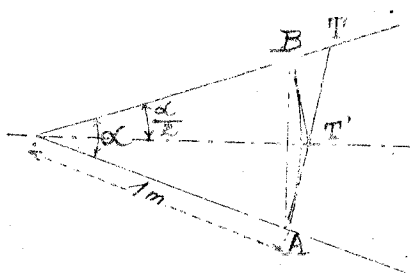


la surface moyenne de roulement B du bandage qui prend appui sur la pointe, mais un cercle A plus rapproché du boudin et plus grand que le cercle B de roulement moyen.

On rend encore solidaires l'ensemble de la pointe de cœur, des rails et des pattes de lièvre à l'aide de boulons traversant le tout ; pour ménager les ornières on interpose des entretoises en fonte qui vont d'une âme à l'autre au-dessous des champignons des rails assemblés.



La appareils de croisement doivent être composés d'éléments rectilignes ; si, en effet, le cœur se trouvait à l'intersection de deux lignes courbes, l'effet de la force centrifuge provoquerait des chocs dangereux sur la pointe.



Angle du croisement. — Sur le réseau du P.L.M. on mesure l'angle α du croisement par la longueur de la corde AB d'un arc de cercle de 1 m. de rayon. A l'Etat français, on prend pour mesure de l'angle, le double de la tangente BT' de l'angle $\frac{\alpha}{2}$.

Au Nord, à l'Est, au Midi et à l'Ouest on mesure au contraire la tangente AT de l'arc AB tracé avec un rayon de 1 mètre.

Le réseau du Nord a 8 types de croisements, variant du croisement de 0 m. 07 au croisement de 0 m 22, ce qui correspond à des angles de croisement variant de 5° 9' à 12° 32'.

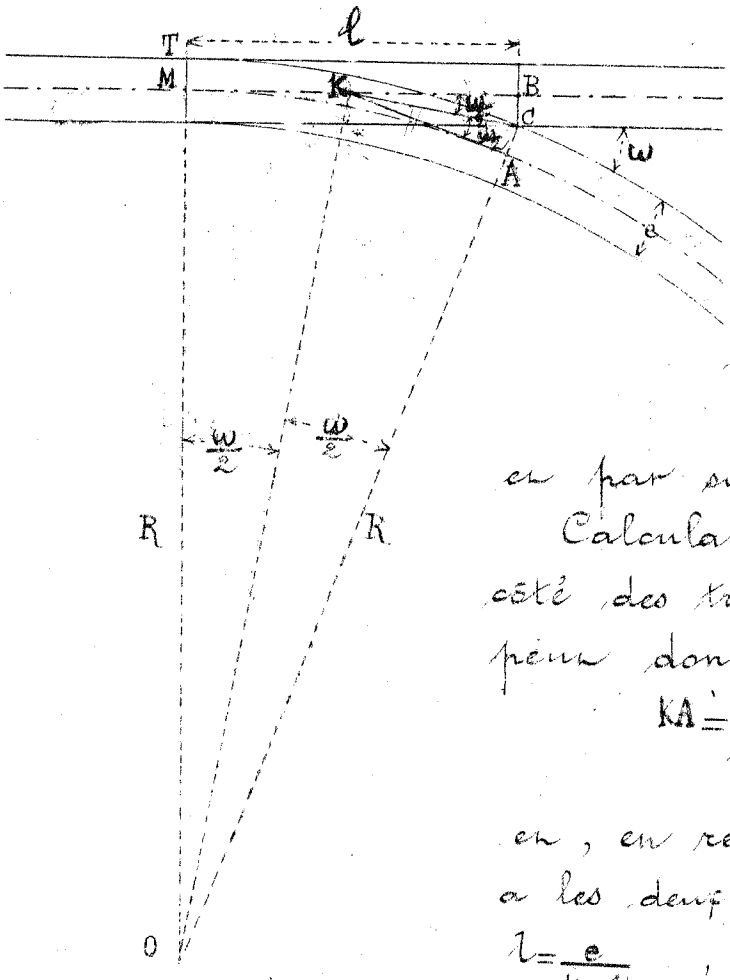
Rayon de raccordement. — Voyons maintenant de quelle manière on doit raccorder l'alignement droit de l'aiguille, qui fait un angle de 1° à 2° avec la ligne principale, avec l'alignement droit du croisement qui fait avec cette même ligne principale un angle qui varie de 5° à 13°. Théoriquement, la meilleure solution consiste à raccorder ces deux parties par un arc de cercle tangent au talon de l'aiguille en à la pointe de cœur. Mais, dans ce cas, l'angle de l'aiguille en l'angle du croisement une fois adoptés, on ne serait plus maître ni de la longueur de l'appareil ni du rayon du cercle de raccordement. Pratiquement, on préfère généralement prolonger un peu la direction de l'aiguille en celle du cœur du croisement avant de les réunir par une courbe, pour laquelle on choisit un rayon en nombre rond : les rayons de raccordement les plus usités sont 300 m. 250 m. 180 m. en 150 m..

Dans chacune des Compagnies, on a établi une fois pour toutes, sur ces bases, un certain nombre de types de changements de voie, à peu près plus ou moins raccourcis pour répondre aux divers besoins.

Il existe entre la longueur l du changement de voie, l'angle ω du croisement, la largeur e de la voie en le rayon R de la courbe de raccordement des relations qui peuvent s'établir comme suit:

Soit TC la courbe de raccordement de rayon R. Les deux triangles rectangles KCB en KCA sont égaux, car ils ont l'hypoténuse commune en les petits côtés égaux :

$$CB = CA = \frac{e}{2}$$



On en déduit que :

$$KA = KB$$

et que $\widehat{CKB} = \widehat{CKA} = \frac{\omega}{2}$

D'autre part les deux tangentes KM et KA sont égales, on a donc :

$$KM = KA = KB$$

et par suite $KA = \frac{l}{2}$.

Calculons séparément KA comme côté des triangles CKA et OKA, on peut donc écrire :

$$KA = \frac{CA}{tg\frac{\omega}{2}} = R\ tg\ \frac{\omega}{2}$$

et, en remplaçant CA par $\frac{e}{2}$, on a les deux formules :

$$l = \frac{e}{tg\frac{\omega}{2}} \quad , \text{ et } \quad R = \frac{\frac{e}{2}}{tg^2\frac{\omega}{2}} .$$

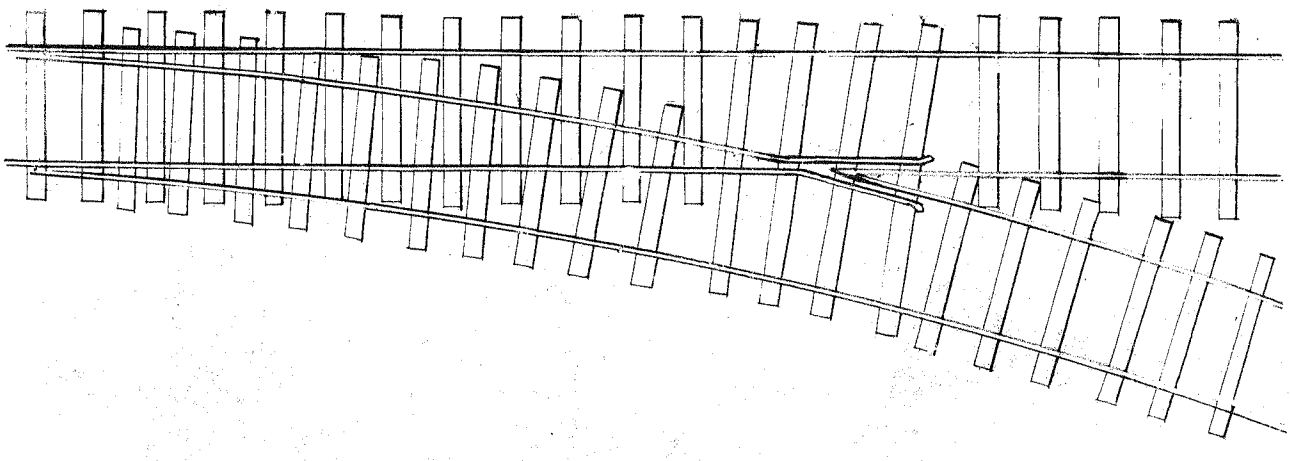
On voit que plus l'angle du croisement est petit, plus la longueur totale du changement de voie et le rayon R de la courbe de raccordement sont considérables. C'est ce qui conduit à faire adopter des croisements de 0,06 et de 0.07 lorsque les déviations doivent être empruntées par des trains à grande vitesse.

On voit par les chiffres du tableau ci-dessus (page 164) que la pose symétrique, dans laquelle les deux branches du changement de voie sont en courbe, conduit — à angle de croisement égal — à des rayons de raccordement beaucoup plus grands que la pose en voie droite.

Exemples de changements de voie pratiqués sur le Réseau du Nord

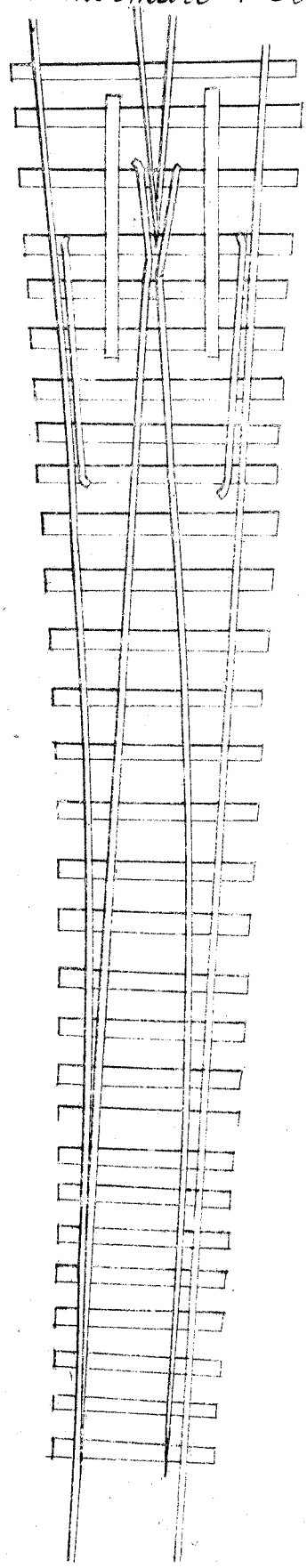
Angles des Croisements	Pose en voie droite		Pose symétrique		Observations
	Longueur de l'appareil	Rayon de courbure	Longueur de l'appareil	Rayon de courbure	
0,13	22 m. 13	145 m.	22 m 31	288 m.	aiguilles droites
0,11	24 m 80	205 m.	»	»	– d° –
0,09	28 m 50	316 m.	28 m 51	633 m.	– d° –
0,07	38 m 43	502 m.	42 m 29	950 m.	aiguilles courbes
0,06	41 m 50	736 m.	46 m 31	1329 m.	flexibles de 12 m.

Pose des changements de voie. — On est obligé d'adopter des traverses spéciales dépassant de beaucoup la longueur de 2 m 50 employée en voie courante ; mais



quelquefois on se contente d'employer ces traverses spéciales exclusivement dans la partie qui supporte le croisement en conservant d'autre part pour chacune des voies les traverses ordinaires espacées d'une ma-

nière normale. Il est préférable toutefois d'établir tout l'appareil de changement de voie, depuis la pointe jusqu'au cœur, sur des traverses de longueur croissante occupant toute la largeur des deux voies. Cela a l'avantage de diminuer le cube des bois employés et d'obtenir une solidarité plus complète entre tous les éléments du changement de voie.



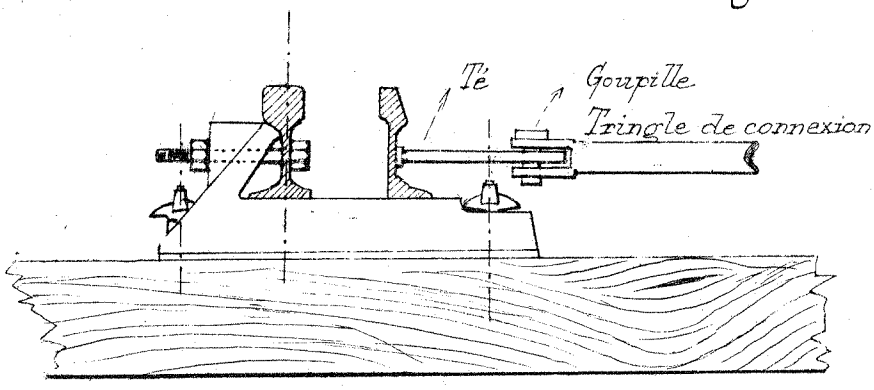
Quelle que soit la solution adoptée, on solidarise par deux longrines posées dans l'axe des voies, l'ensemble des traverses spéciales qui supportent le croisement.

Manœuvre des aiguilles.

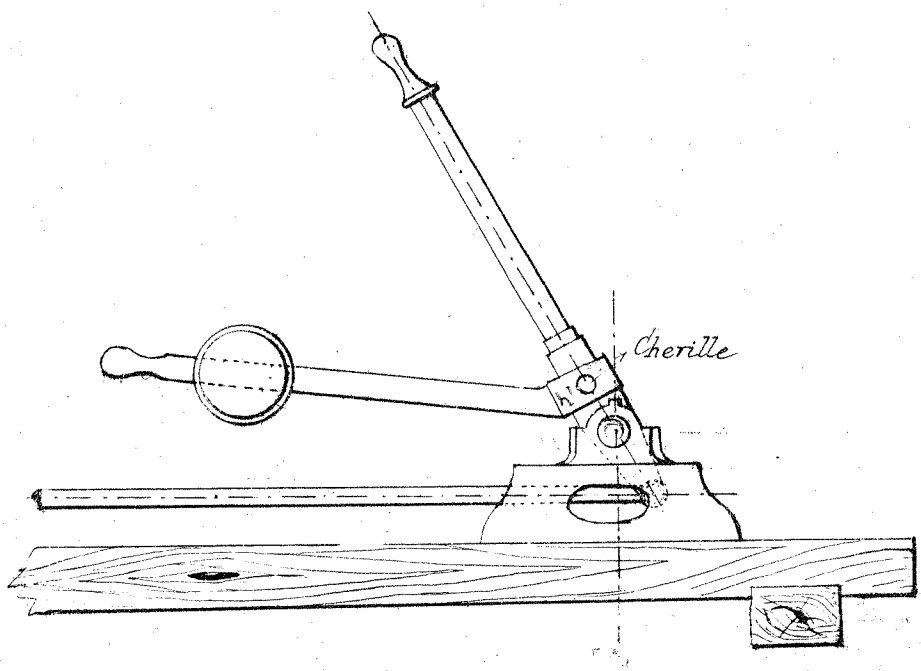
Nous avons dit que les deux lames d'une même aiguille sont reliées par des entretoises ; ces entretoises, appelées tringles de connexion, sont au nombre de deux ou de trois. Elles sont articulées à chacune de leurs extrémités sur un T boulonné à lame par sa grande branche et dont l'axe se termine par un

œil qui reçoit la goupille d'articulation. L'ensemble des deux lames forme ainsi un parallélogramme articulé.

Une tringle de transmission, dont l'extrémité recourbée en col de cygne passe sous la pointe de l'aiguille et le rail contre-aiguille, vient s'atteler



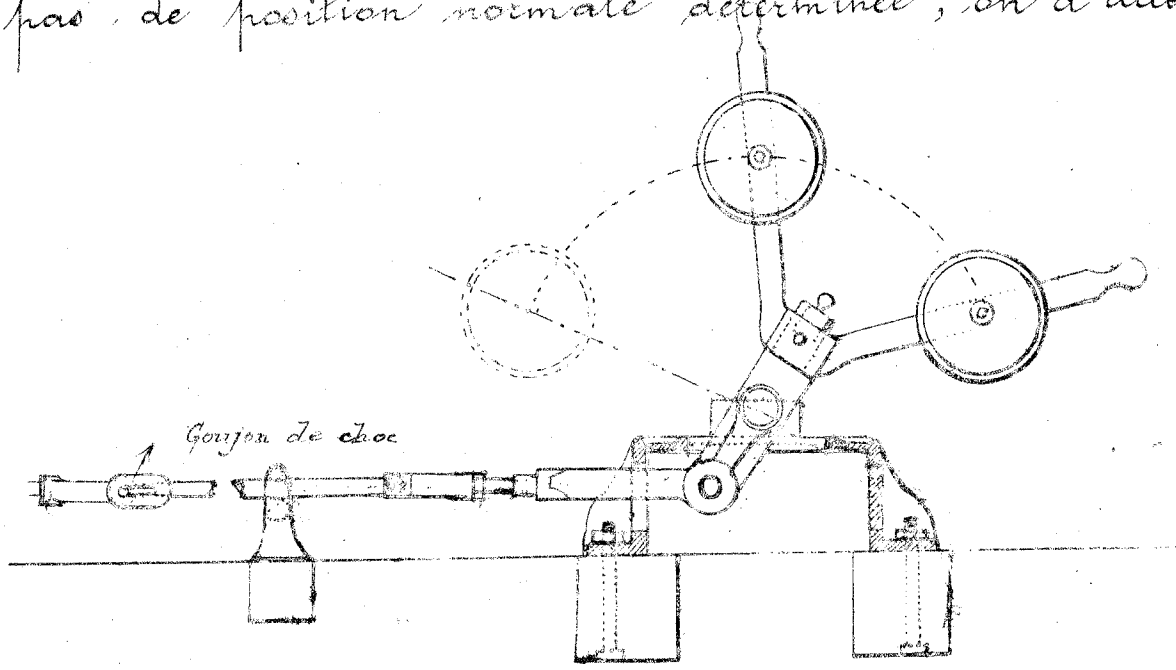
à l'entretoise de pointe. Si l'aiguille est manœuvrée à pied d'œuvre, la tringle de transmission est rattachée à un levier à contre-poids disposé sur une cloche en fonte à proximité de l'aiguille. Un peu au-dessous de l'axe du levier proprement dit, une douille em-



boitant cet axe supporte un bras transversal sur lequel on fixe à distance convenable une lentille formant contrepoids et qui a pour but de faire appliquer la lame sur le contre-aiguille. La douille n'étant fixée que par une cheville, on peut faire

tourner le contrepoids pour appliquer l'aiguille sur le contre-aiguille opposé. Lorsque l'aiguille a une position normale déterminée on peut fixer la cheville dans la position qui convient à l'aide d'un cadenas.

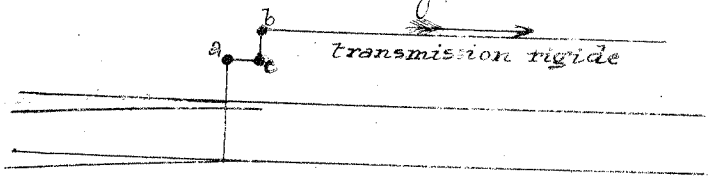
Pour les aiguilles des voies de garage qui n'ont pas de position normale déterminée, on a adopté



récemment un type de levier, dit à double contrepoids, dans les deux contrepoids sont disposés symétriquement par rapport à l'axe théorique du levier. La tringle de manœuvre est réglée de telle sorte que, dans l'une ou l'autre des positions de l'aiguille à fond de course, l'un des contrepoids est sur la verticale de l'axe de rotation et n'a pas d'action, tandis que l'autre contrepoids agit pour appliquer l'aiguille. Si l'aiguille est abordée par le talon en venant d'une direction opposée à celle qui est préparée, les essieux en écartant l'aiguille provoquent une rupture d'équilibre et le double contrepoids prend la position indiquée en

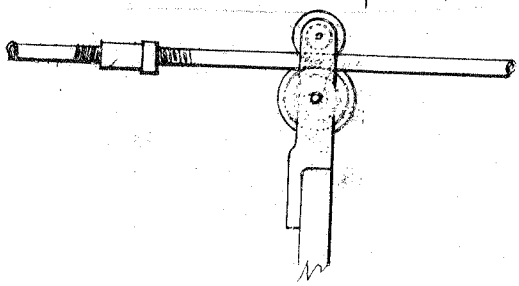
pointillé, de sorte que le levier en l'aiguille ne bougent plus pendant le passage de tous les véhicules suivants.

Lorsque l'aiguille n'est pas manœuvrée à pied d'œuvre au moyen d'un levier, mais rattachée à

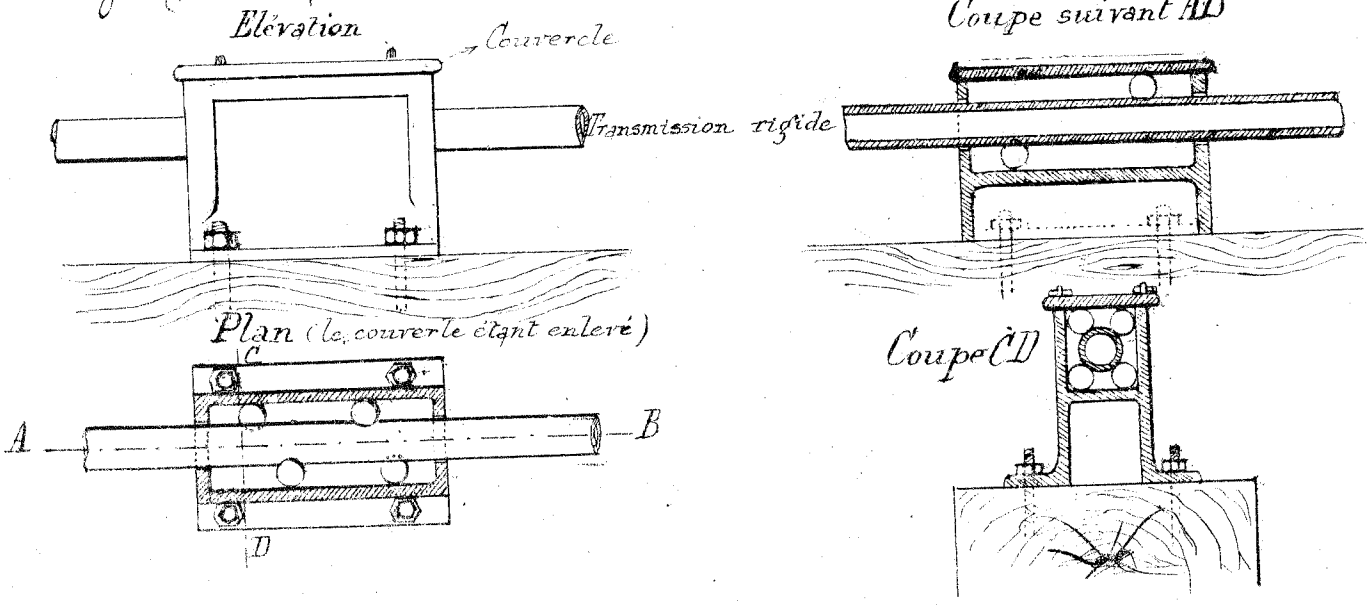


un poste de concentration plus ou moins éloigné, la tringle de transmission est reliée à ce poste par une transmission rigide constituée par des tringles métalliques crenées guidées par des poulies à gorge en s'assemblant à l'aide de manchons filetés. Après un retour d'équerre abc, la file de tringles rigides se poursuit, en général, parallèlement aux voies pour gagner le poste de concentration ; la longueur des transmissions rigides peut atteindre et dépasser 250 mètres, mais pour de grandes longueurs, il faut prendre des mesures spéciales pour remédier aux effets du frottement sur les poulies, de la flexion et de la dilatation.

Pour diminuer l'action du frottement et de la flexion, il faut apporter le plus grand soin dans la pose des guides : il est bon de ne pas les espacer de plus de 1m50 à 1m75, il importe de les établir parfaitement en ligne droite pour réduire les résistances au minimum. Les guides sont, soit des galets à gorge roulant sur un plan, soit, plus généralement, des poulies à

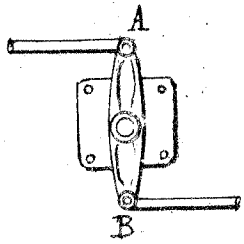


gorge disposées par paires sur des supports verticaux.

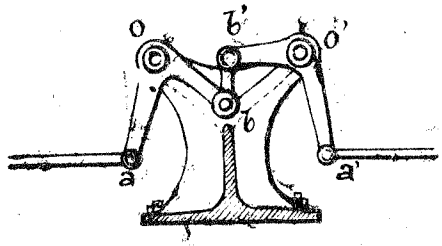


On a utilisé récemment aussi des supports-guides à billes représentés dans les croquis ci-dessous.

Pour compenser les effets de la dilatation, on utilise divers appareils : Dans le compensateur horizontal, les deux parties de la transmission sont articulées aux extrémités d'un balancier symétrique qui pivote autour de son centre de figure.

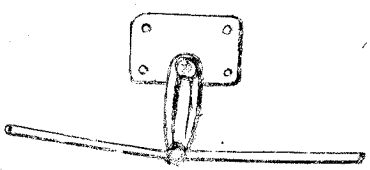


Dans le compensateur vertical, les deux parties de la transmission sont articulées aux extrémités des grands bras de deux équerres verticales aob, a'o'b' mobiles autour des axes fixes o et o'. Les deux petits bras ob et o'b' des équerres sont reliés par une petite bielle bb'. Lorsque, sous l'effet de la dilatation, les deux parties de transmission s'allongent, les équerres tournent d'un angle égal en



sens contraire, ou bien le balancier horizontal est sollicité à ses deux extrémités A et B par des actions concordantes, étant entendu que les longueurs de barres entrant en jeu de part et d'autre doivent être sensiblement égales, afin que l'égalité des allongements de sens inverse produise la compensation recherchée. Il y a lieu de remarquer que dans l'un et l'autre système le sens du mouvement des tringles est renversé à chaque compensateur.

Dans les transmissions en courbe, lorsque les changements de direction se font sous de petits angles, on articule les deux tringles à leur jonction et on relie l'articulation à un point fixe au moyen d'une manivelle.



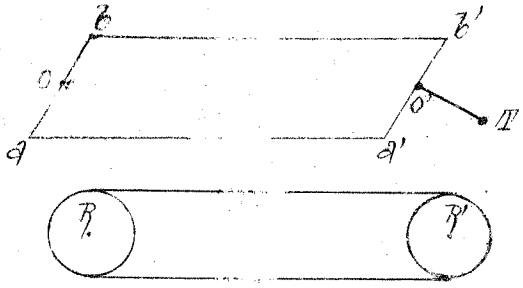
Lorsque la direction varie brusquement, on réunit les deux tringles par une équerre à angle obtus.

Les transmissions rigides reviennent à 8 ou 10 francs le mètre.

Transmissions par fils. — Pour l'emploi des transmissions rigides, on est limité par la longueur et par la grande résistance due aux frottements.

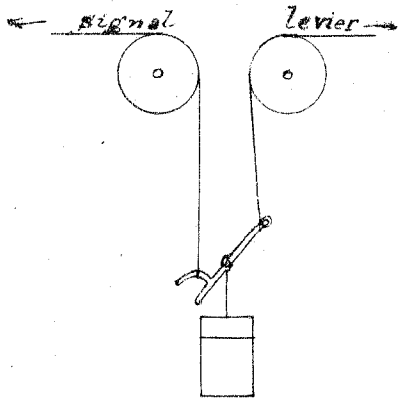
La transmission par fils entre le levier du poste de concentration et l'appareil de voie à manœuvrer a été presque exclusivement employée en Allemagne et a reçu en France de nombreuses applications. Elle a permis de manœuvrer des changements de voies à 500 et même jusqu'à 700 mètres de distance.

Les fils ne permettent d'exercer qu'un effort de traction; la transmission funiculaire compacte donc

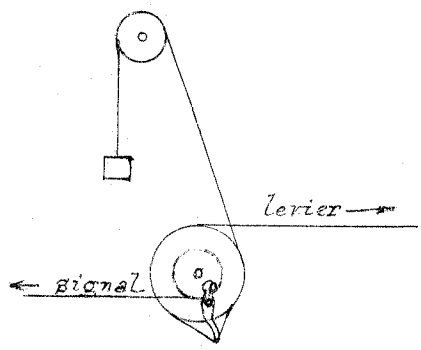


deux fils fixés soit à un balancier aob soit à la circonférence d'une roue ; par l'intermédiaire du balancier aob ou de la roue R, on exerce sur l'un ou l'autre des deux fils une traction qui propage un mouvement conjugué du balancier a'o'b' ou de la roue R' et par suite de la tringle T de manœuvre de l'aiguillage.

Compensateur Robert



Compensateur Dujour



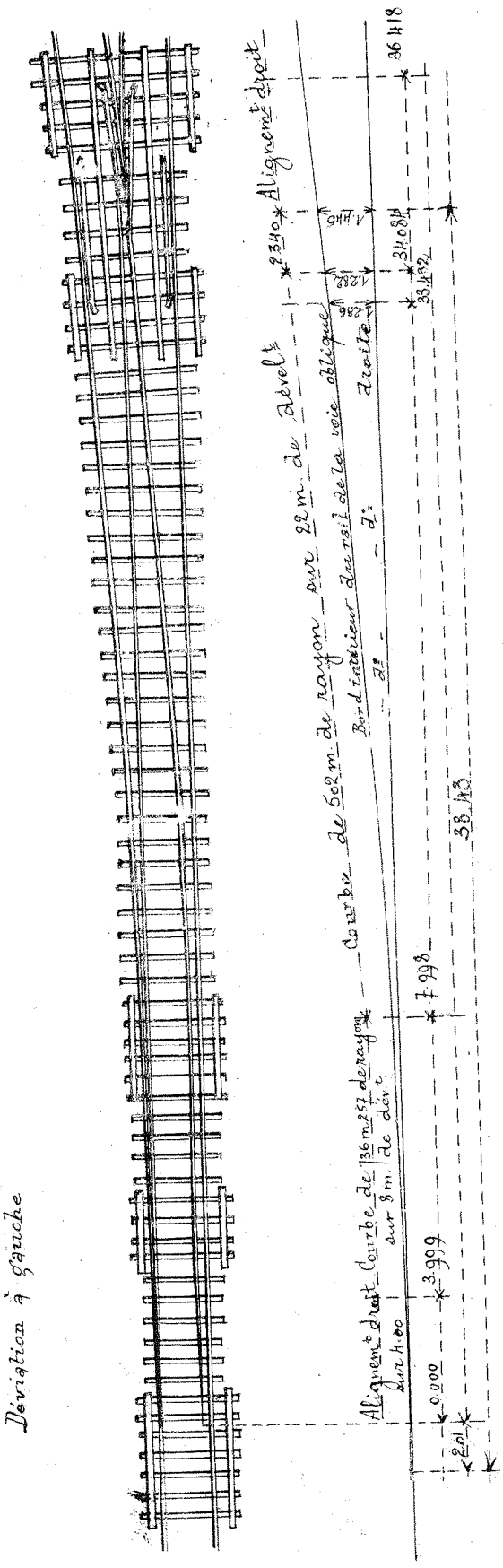
Pour compenser la dilatation, on peut exercer sur la transmission, en des points convenables, une tension constante au moyen d'un poids mobile, qui s'élève ou s'abaisse suivant les cas, en opérant des tractions égales en de sens opposé sur chacun des brins de la transmission.

Mais on recourt aussi à un autre procédé qui consiste à compenser les effets de la dilatation par la tension du fil. On tend assez fortement le double fil de la transmission pour que à la température maximum prévue, sa tension reste encore suffisante, malgré la diminution de tension inhérente à l'élévation de température en que, d'autre part, à la température minimum prévue, la tension maximum pendant la manœuvre ne dépasse

pas la limite d'élasticité du fil. Il faut compter sur un écart de température d'au moins 60° correspondant à un effort supplémentaire de 7 k5 sous l'effet de la dilatation. Il n'est pas possible d'employer à cet usage le fil ordinaire de 4 m/m de diamètre ; mais on emploie un fil à limite d'élasticité élevée dépassant 50 k en susceptible de donner un allongement élastique d'au moins 25 centimètres par 100 mètres.

Transmissions fluides — Les transmissions rigides et les transmissions par fil, ont l'inconvénient d'exiger toujours de grands efforts de la part des aiguilleurs lorsqu'elles atteignent des longueurs notables. On a donc recherché, dans ces dernières années, le moyen de manœuvrer des appareils, même à grande distance, sans imposer de gros efforts aux agents d'exécution, et on a créé les appareils à transmission hydrauliques, électriques ou pneumatiques dont nous reparlerons plus loin à l'occasion des cabines d'enclenchements et qui comportent, en principe, pour chaque appareil ou groupe d'appareils, un moteur installé généralement à pied d'œuvre et attaquant directement la tringle de transmission des aiguilles.

Aiguilles se déplaçant par flexion — On a installé, dans ces dernières années, des aiguilles qui ne sont pas mobiles au talon, mais, au contraire, encastrées en ce point et pour lesquelles le déplacement de la pointe est obtenu par simple flexion de la lame sous l'action des tringles de transmission.

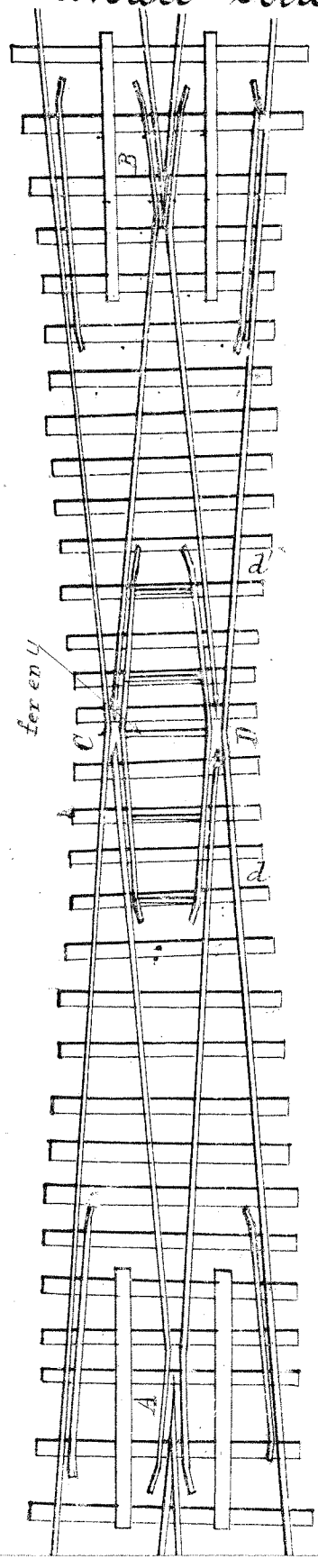


La flexion qui s'opère dans toute la partie comprise entre le rabotage en le talon permet de réaliser une courbe de raccordement de grand rayon entre l'aiguille en le croisement.

C'est ainsi qu'au réseau du Nord français, le changement à aiguille courbe flexible de 12 mètres avec croisement de 0,07 (pose en voie droite avec déviation à gauche) a 38 m 43 de longueur et comporte successivement en partant de la pointe, un alignement droit sur 4 mètres correspondant au rabotage de la lame d'aiguille, puis une courbe de 736 mètres de rayon sur 8 mètres de développement obtenue par flexion entre le rabotage en le talon de l'aiguille, puis une courbe de raccordement de 502 m. de rayon sur 22 de développement.

L'action du levier de manœuvre s'exerce en deux points voisins, l'un de l'extrémité de la pointe, l'autre de l'extrémité du rabotage.

Traversée oblique. —

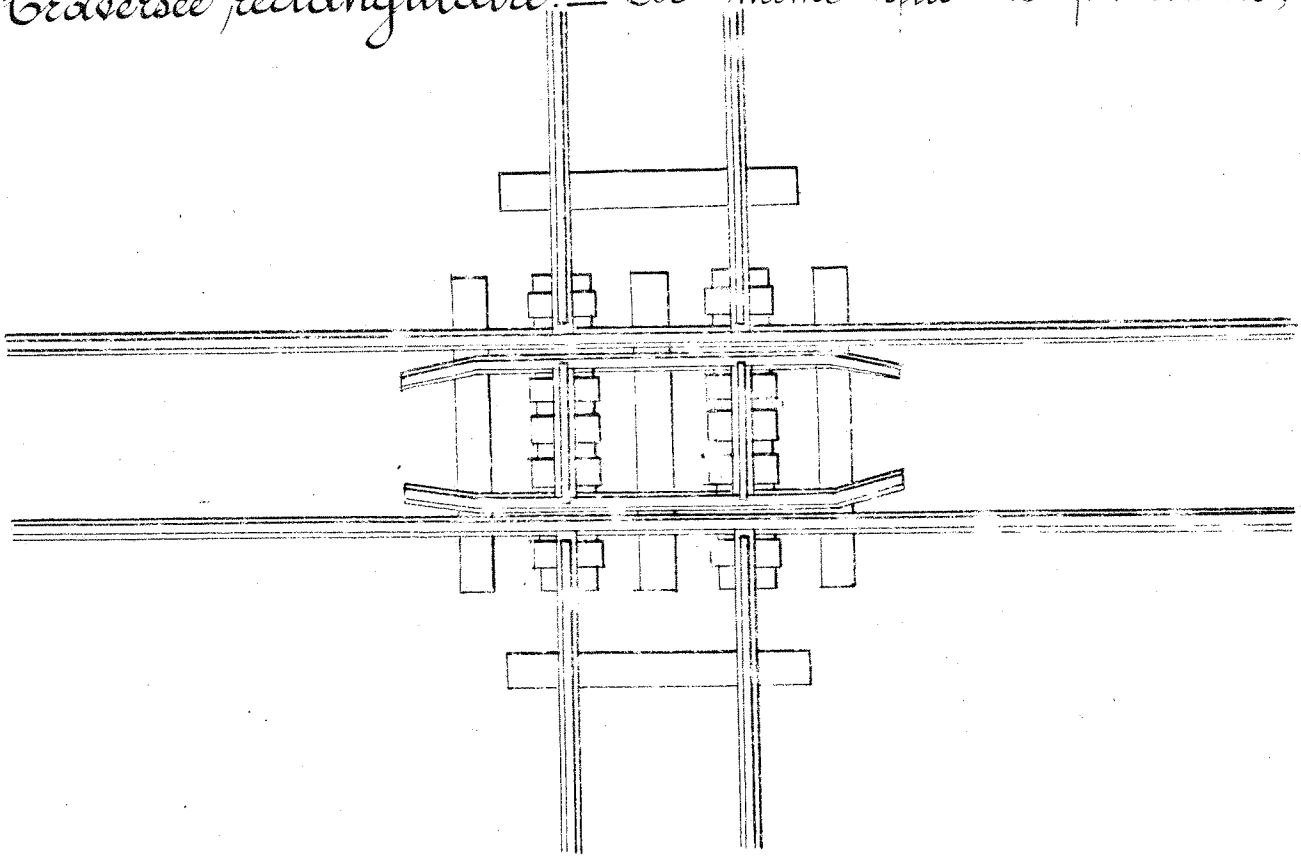


Croisements et traversée

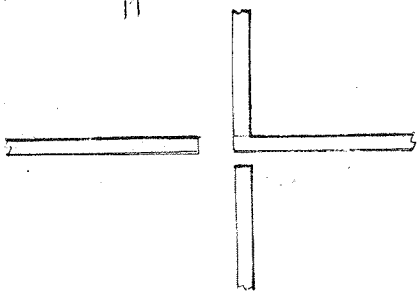
La traversée oblique de 2 voies doit comporter nécessairement 4 coupures des rails pour les croisements. Deux de ces croisements, A et B, sont constitués en principe avec des pointes de cœur à angle aigu comme les croisements des changements de voie. Quant aux 2 autres C et D, dans lesquels les rails extérieurs se soudent à angle obtus, ils sont constitués d'une manière différente. Les rails intérieurs sont interrompus et terminés en biseau, laissant entre eux une solution de continuité de un mètre au minimum; pour guider les essieux dans cette partie, on installe à l'intérieur deux contre-rails coudés laissant une ornière de 50 m/m en qu'on surélève un peu dans le but de guider suffisamment celles des roues qui

auraient tendance à monter sur les pointes. Ces contre-rails coudés, qui doivent pouvoir résister à des efforts importants, sont constitués soit par des poutres en bois bordées de fers cornières, soit par des fers en U qui donnent plus de rigidité à l'appareil. Le contre-rail extérieur dD d' est en général constitué par un rail coudé de 4 mètres de longueur environ.

Traversée rectangulaire. — De même que la précédente,



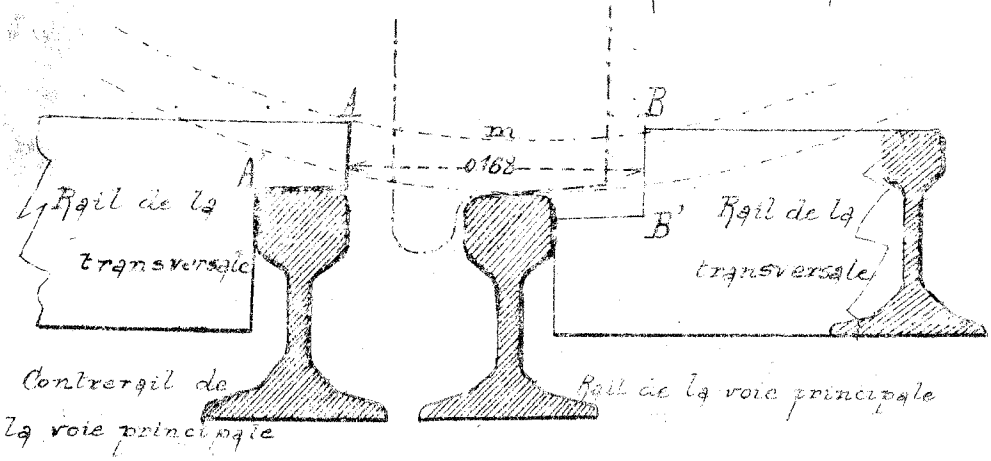
cette traversée comporte 4 coupures de rail qu'on réalise pratiquement de deux manières différentes, suivant qu'on a affaire ou non à deux voies de même importance.



Dans le premier cas, on interrompt tous simplement 4 rails en on a 4 assemblages à angle droit en 4 bouts de rails, tous arrasés au même niveau ; on

mer généralement pas de contre-rails.

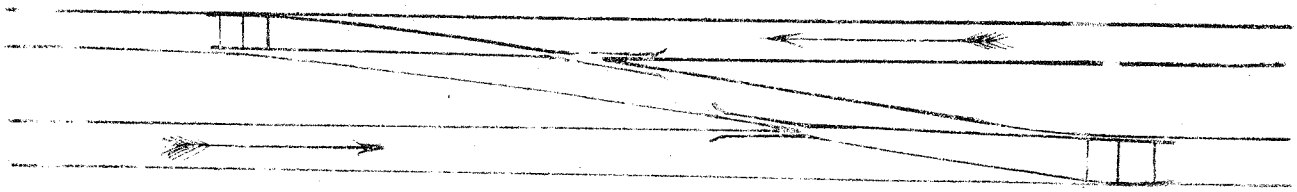
Lorsqu'au contraire une voie de manœuvre coupe à angle droit une voie principale de grande ligne, on ne fait pas de coupure dans les rails de cette dernière en on prélève de 50 m/m environ les rails de la transversale qui comportent chacun deux coupures. Les boudins des roues [illegible] dans la voie accidentée rencontrent [illegible] alors [illegible] lieu [illegible]



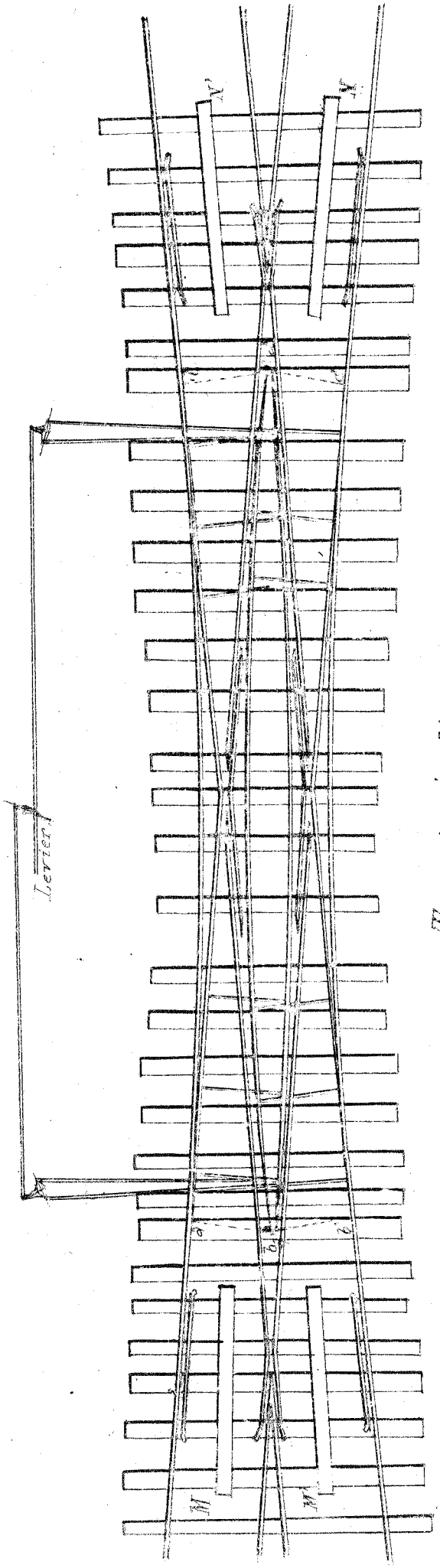
solution de continuité AB qui est assez prononcée (0,168) un point d'appui intermédiaire C, qui est la partie supérieure du champignon du rail de la voie principale.

Le rail de la voie transversale rectangulaire est échancré, du côté B' pour ménager le passage du bandage des roues circulant sur la voie principale, en du côté A' pour reposer sur le champignon du contre-rail.

Jonction. — La jonction sert à faire communiquer



[illegible] par aiguilles deux voies parallèles en est constituée [illegible] deux aiguilles simples placés l'un à la suite



de l'autre en en sens inverse. On dispose habituellement la jonction de manière que les trains parcourent les voies principales dans le sens normal de la circulation abordent les aiguilles par le talon en non par la pointe.

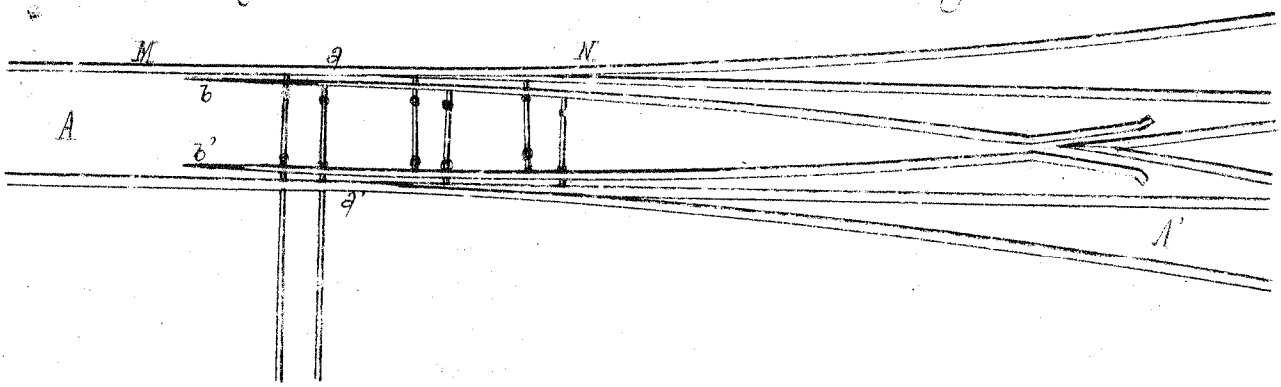
Traversée-jonction. — Comme son nom l'indique, cet appareil sert à la fois de traversée oblique pour deux voies MN et M'N', mais permet en outre aux trains de passer de l'une à l'autre de ces voies par une jonction spéciale inscrite entre les pointes de cœur extrêmes de la traversée.

Avec 8 lames d'aiguilles a, b, a', b', c, d, c', d', on peut passer de l'une quelconque des 4 directions sur les 3 autres: c'est l'appareil qu'on désigne sous le nom de traversée-jonction double.

Si on supprime au contraire les lames d'aiguilles a', b', c', d', et les files de rails qui réunissent ces aiguilles par leurs talons

on obtient la traversée-jonction simple, qui ne donne plus, outre la traversée oblique ordinaire, que la jonction entre 2 des branches seulement M et N'. On combine en général les transmissions de manière à permettre de manœuvrer les 2 ou les 4 aiguilles du même coup de levier.

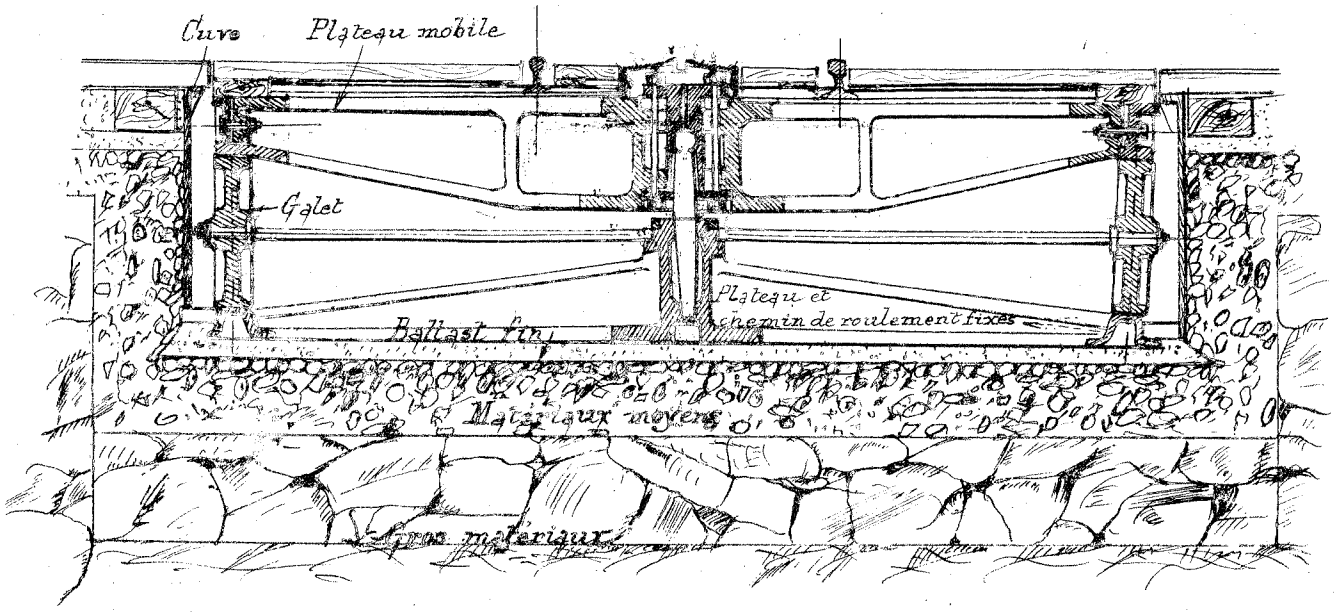
Changements à trois voies. — Les changements à trois voies, appelés encore aiguillages triples, sont en général symétriques et résultent de la juxtaposition de deux changements simples, à pose en voie droite, ayant l'un une déviation à gauche, l'autre



une déviation à droite en la partie médique commune. Les 4 lames d'aiguilles sont manœuvrées 2 à 2 par des leviers distincts qui actionnent, l'un les lames a et b', l'autre les lames b et a'.

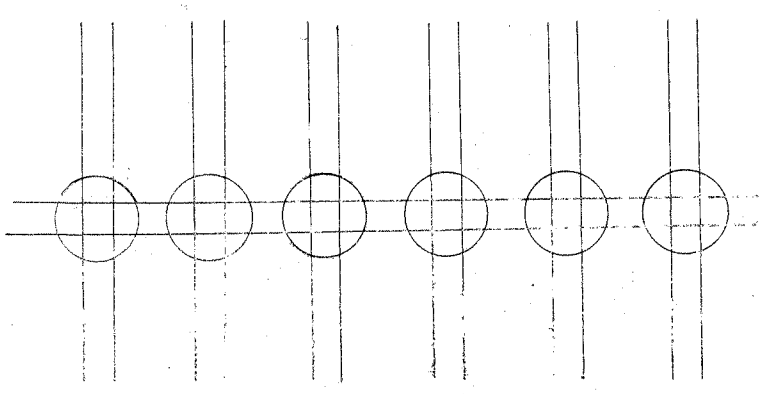
Les deux lames proches du même contre-rail sont de longueur inégales pour que leurs pointes rabotées puissent venir toutes deux s'appliquer contre le champignon du rail. Les rails intérieurs des deux voies déviées se coupent au milieu de la voie directe et on retombe en ce point, comme aux deux points de rencontre des voies déviées avec la voie directe, sur le croisement type que nous avons étudié en détail dans le changement simple.

Plaque tournante. — Installées en général au croisement de deux voies, rectangulaires ou non, les pla-

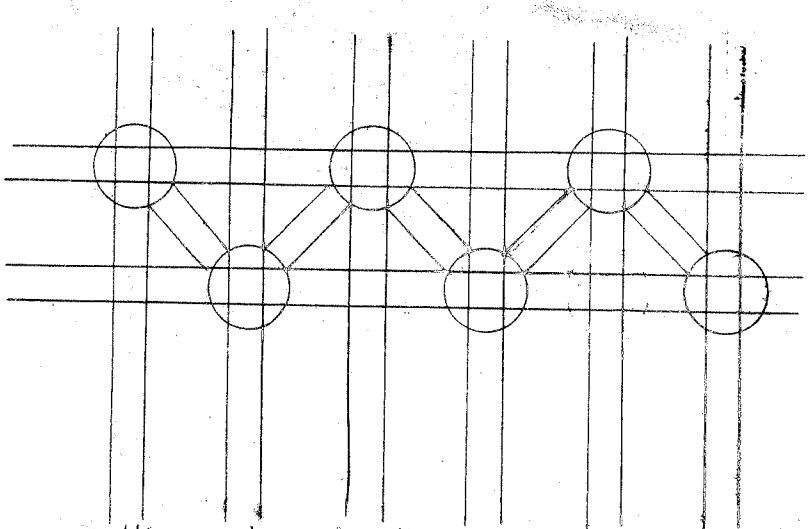


ques tournantes sont destinées à faire pivoter un véhicule (voiture, wagon ou locomotive de faible empattement) autour de son centre, soit pour le faire tourner de bout en bout, soit pour le faire passer sur la voie transversale après une rotation d'environ 1/4 de tour.

Une fois sur la voie transversale le wagon peut d'ailleurs, soit y stationner (si la voie est aménagée pour le chargement ou le déchargement des marchandises), soit passer sur une voie parallèle à la première après un second tournage d'un quart de tour sur une plaque voisine.



Dans les gares importantes, les voies parallèles sont reliées par des batteries de plaques tournantes



qu'on dispose soit sur une traversée rectangulaire unique, soit en quinconce sur deux traversées rectangulaires si les voies parallèles sont trop rapprochées pour permettre de juxtaposer les plaques tournantes de deux voies contiguës ; les plaques de deux voies voisines sont alors réunies par des bouts de voie inclinés à 45°.

Les plaques tournantes se composent de quatre éléments distincts :

1° le cuvelage cylindrique destiné à entourer tout le système et à maintenir les terres et le ballast environnants.

2° le plateau inférieur fixe portant à sa périphérie un chemin de roulement circulaire et en son centre la crapaudine du pivot de la plaque;

3° des galets de roulement tronconiques qui supportent le plateau mobile et se déplacent sur le chemin de roulement du plateau inférieur. Ces galets sont reliés par des tiges en fer à un anneau concentrique au pivot ;

4° le plateau supérieur mobile supporté en son centre par un pivot et reposant par un cercle sur les galets de roulement. En agissant sur le serrage de boulons, on peut faire varier plus ou moins la fraction de la charge qui se reporte sur le pivot en réduisant en sens inverse celle qui est supportée par les galets.

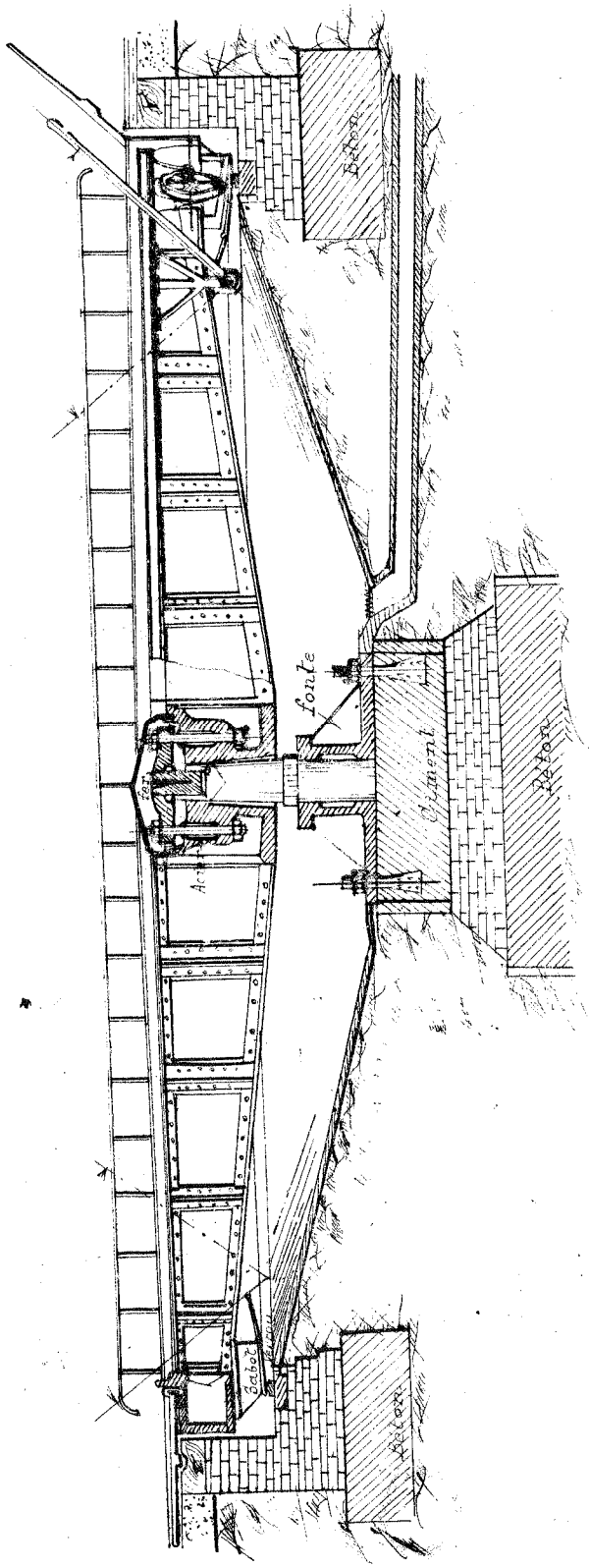
Le plateau supérieur comporte une charpente résistante présentant une poutre dans l'alignement de chacune des files de rails qui se coupent à angle droit sur la plaque. Les rails sont interrompus aux points d'intersection des deux voies comme dans une traversée rectangulaire ordinaire. Pour l'immobiliser dans l'une de ses positions donnant la continuité des portions de voies situées de part et d'autre, il suffit de laisser retomber, dans l'une des encoches pratiquées en des points convenables du pourtour du cuvelage, l'un des crabauds que porte, à cet effet, la périphérie du plateau mobile.

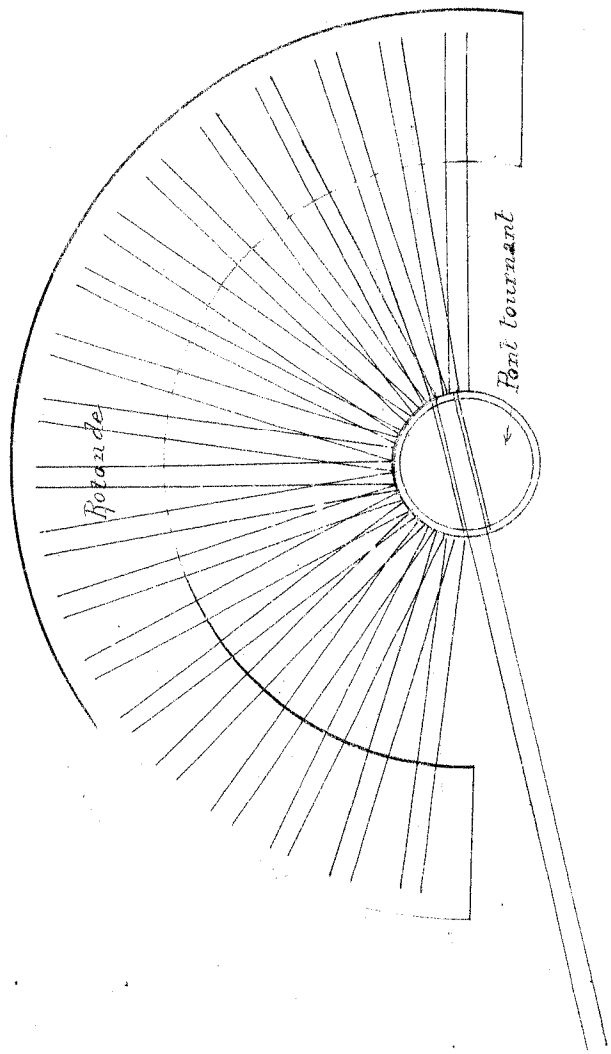
Le tournage des wagons sur plaque tournante peut se faire à bras d'hommes, ou en attelant à l'une des extrémités du châssis du wagon un cheval, ou une machine de manutention, ou mieux un cabestan hydraulique ou électrique.

Le diamètre des plaques varie de 4m.20 à 5 mètres pour les wagons en voitures; mais on en établit spécialement sur 6m30 et 6m70 de diamètre pour le tournage de petites machines-tenders ou de wagons à très grand écartement et, dans ce cas, les plaques tournantes sont pourvues de cabestan. Le prix de revient des plaques tournantes ordinaires est de 2500 à 3000 francs.

Pont tournant pour machines. — Les machines puissantes, dont l'empattement et le poids sont considérables, exigent d'autres engins de tournage que les plaques tournantes que nous venons d'envisager. Les ponts tournants qu'on établit pour ce service

en qui atteignent jusqu'à 17 mètres de longueur utile se déplacent bien dans un cuvelage cylin-





drique mais ne couvrent pas toute la surface de la cuve ; ils sont réduits à la largeur d'une

seule voie, et se composent de deux poutres longitudinales en tôle en cornières distantes de 1m50 et entretoisées convenablement.

Le pont est équilibré sur un pivot central qui repose sur une crapaudine et porte à ses extrémités des galets prenant appui sur un chemin de roulement circulaire en fonte.

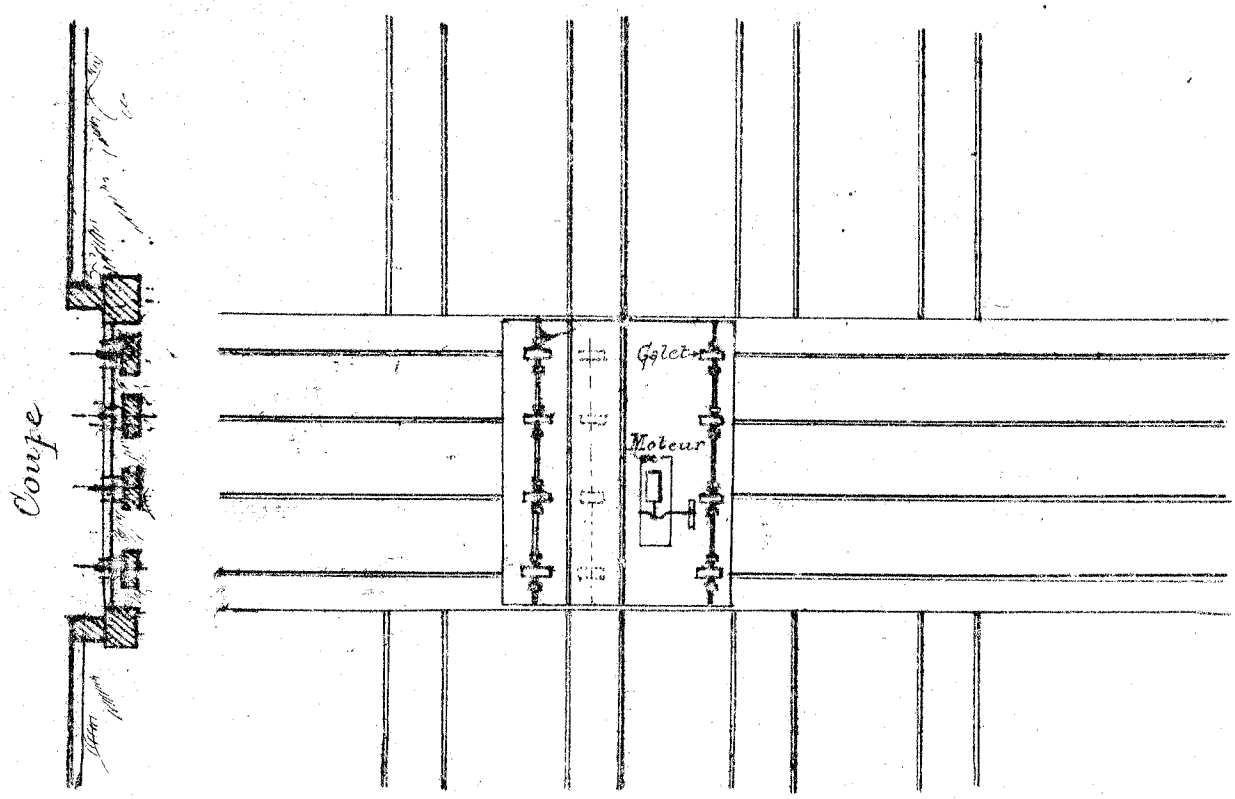
Pour que, malgré la charge considérable, la manœuvre puisse se faire à bras d'homme, on fait le réglage des boulons de manière à reporter presque toute la charge sur le pivot, en réduisant le plus possible le frottement de roulement des galets. Le pont est immobilisé par un verrou manœuvré à l'aide d'un levier dans l'axe de l'une des voies disposées en éventail autour de la cuve.

Les rails sont fixés sur des longrines reposant elles-mêmes sur la semelle supérieure des poutres longitudinales. La cuve est pourvue d'une conduite pour l'évacuation des eaux. La crapaudine est supportée par un plateau de fonte scellé dans un plateau de ciment reposant lui-même sur une large assiette de béton. Tout l'appareillage exige un nivellement parfait afin de rendre la manœuvre du pont aussi facile que possible.

Chariot roulant. — Le chariot roulant est un engin qui se déplace perpendiculairement à tout un faisceau de voies parallèles et qui permet de transporter d'une voie à l'autre — en sens tournant — les voitures ou wagons.

Le chariot transbordeur remplace un gran

nombre de plaques tournantes en coûte moins cher ; son rendement est en outre meilleur que celui des batteries



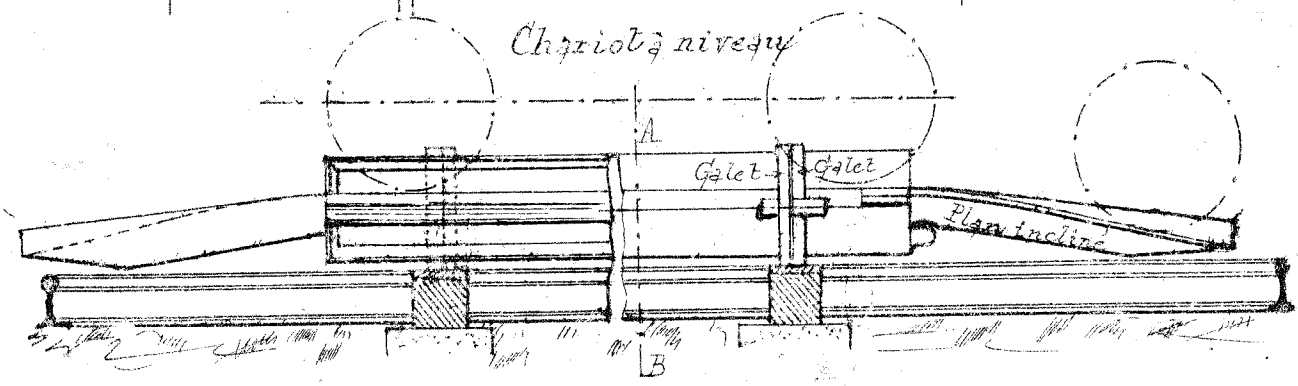
de plaques, car il évite le double tournage en permettant de mettre en œuvre des moyens mécaniques qui rendent la translation plus rapide.

Lorsque les voies parallèles à desservir sont accessibles par aiguilles, comme dans les gares de triage, de marchandises, etc.., il faut éviter que les voies soient coupées autrement que pour ménager de simples ornières pour les boudins des roues du chariot et on est conduit à utiliser des chariots sans feu ou chariots de niveau.

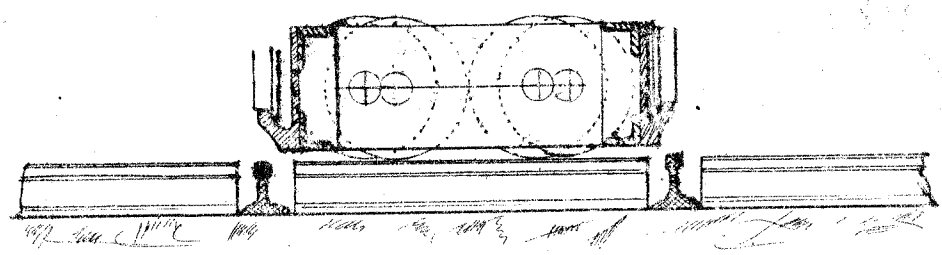
Au contraire, dans les ateliers ou remises de voitures et wagons, il est possible de disposer au fond d'une fosse de 30 à 40 centimètres, les 3 ou 4 files de rails servant de chemin de roulement au chariot. Cela permet de donner au chariot, avec fosse des roues

de diamètre suffisant, d'en simplifier la construction et d'en rendre l'emploi plus facile. Les chariots de l'espèce peuvent sans difficulté avoir leur plateau porteur exactement au niveau de la voie à desservir, résultat qu'il n'est pas facile d'obtenir dans les chariots à niveau à moins de réduire exagérément le diamètre des galets du transbordeur et d'augmenter la résistance au roulement.

Le chariot à niveau se déplace sur un chemin de roulement constitué par 3 ou 4 files de rails dont la table supérieure affleure au même niveau que celles des voies



Coupe AB



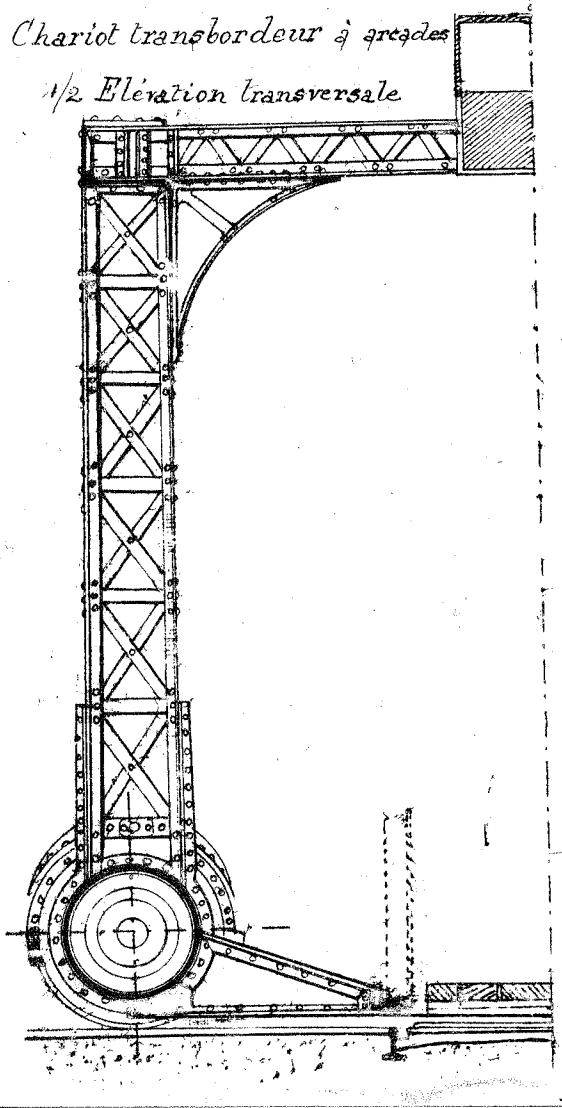
parallèles à desservir. Les galets sont généralement disposés par paires en quinconce pour permettre de franchir les coupures du chemin de roulement. Les rails du plateau mobile sur lesquels sont amenés les véhicules à transborder sont très légèrement surélevés et raccordés aux rails des voies du faisceau par de petits plans inclinés mobiles que les véhicules abaissent

eux-mêmes au moment où ils abordent ou quittent le chariot.

Comme il faut réduire le plus possible la différence de niveau entre les rails du plateau transbordeur et ceux des voies parallèles, on éprouve une difficulté assez sérieuse pour constituer le plateau en aménager ses galets de roulement ; il y a lieu de tenir compte en effet de ce que l'espace compris au-dessous du châssis des wagons, entre les roues, est occupé par des pièces encombrantes (timonerie des freins, réservoirs à gaz, etc..).

Au G.S.M où les réservoirs à gaz sont placés au-dessous des voitures, on a pu loger les groupes de galets dans un encoffrement disposé entre les rails du plateau transbordeur.

Chariot transbordeur à arcades
1/2 Elévation transversale



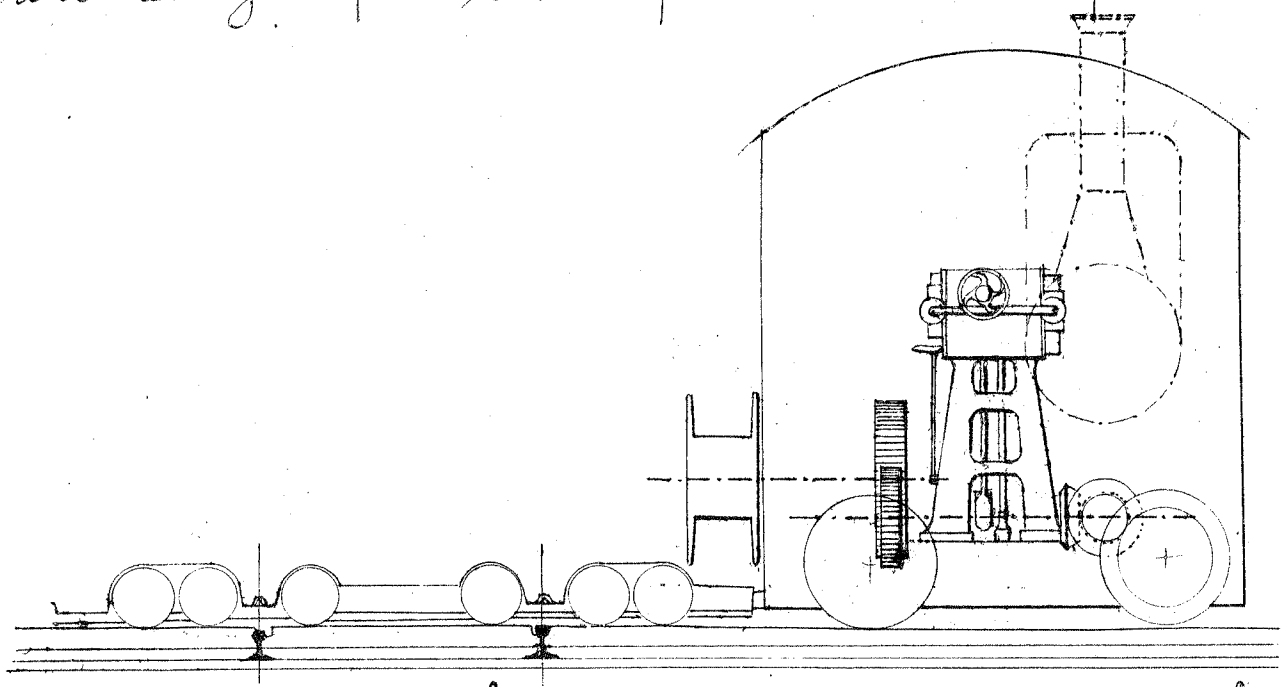
Sur le Réseau du Nord, on a créé le chariot à arcades dans lequel les galets de roulement sont extérieurs aux rails du plateau transbordeur. Ils se trouvent montés sur deux lignes dans l'axe d'un gros cylindre en tôle, qui offre une grande résistance en duquel se détachent des gousets triangulaires en tôles en cornières supportant les files de rail en le léger plancher qui les relie. Les arcades en treillis complètent l'appareil

en contribuant à la rigidité de l'ensemble sous forme de contreventement.

La Cie de l'Est a établi aussi des chariots transbordeurs à arcades pour la translation des locomotives.

La manœuvre à bras des chariots exigeait un effort trop considérable. Sur quelques points on s'est contenté de leur adjoindre un treuil à bras qui permet de les faire mouvoir par un seul homme à vitesse très réduite.

Sur les points où les transbordeurs travaillent d'une manière continue, on a créé des chariots qui portent leurs moteurs (électriques ou à vapeur). La gare de Lille St Sauveur dispose en particulier d'un transbordeur à vapeur dans le plateau porteur en juxtaposé à un plateau tracteur portant



une chaudière type locomotive et un moteur vertical. Ce dernier peut embrayer, soit avec un train d'engrenage produisant la translation de l'ensemble, soit avec un second train d'engrenage

commandant un petit cabestan à axe vertical qu'on utilise pour donner aux wagons l'effort de traction nécessaire pour les faire monter sur le transbordeur ou pour en descendre. Le mécanicien a deux leviers correspondant à ces deux embrayages et un 3e levier avec lequel il lance un verrou immobilisant le chariot, en prolongement d'une des voies parallèles à desservir. L'appareil permet de transporter les wagons à une vitesse de 2 mètres par seconde.

Une solution mixte en très intéressante pratiquée sur le réseau du Nord, consiste à atteler au chariot à arcades, une petite machine de manutention à cabestan qui tourne facilement sur les plaques tournantes ordinaires et qui peut se transporter d'un chariot à arcades à un autre suivant les besoins, en même effectuer des manœuvres par aiguilles dans certaines périodes de la journée.

Signaux en enclenchements

Signaux et enclenchements

Les signaux ont pour but d'assurer la sécurité des trains et des manœuvres en mettant en communication, par un langage conventionnel, les agents des trains avec les agents des gares ou de la voie. On les distingue en signaux acoustiques et signaux optiques. Ces derniers se subdivisent eux-mêmes en signaux fixes et en signaux mobiles ou signaux à main.

Les avertissements à donner aux agents qui conduisent les trains peuvent se ramener à trois : arrêt, ralentissement, voie libre, et sont, en principe, respectivement donnés par les couleurs suivantes : rouge, vert, blanc.

Les signaux fixes, ainsi nommés parce qu'ils sont disposés en des points fixes, sur le côté gauche de la voie par rapport au mécanicien du train auquel ils s'adressent, sont constitués par un voyant en tôle qui peut tourner de 90° autour d'un mât vertical et se présenter ou bien parallèlement à la voie (signal effacé) ou bien perpendiculairement à la voie (signal fermé). Dans ce dernier cas, la couleur rouge du voyant donne le signal d'arrêt, immédiat ou différé, tandis que la couleur verte du voyant donne le signal de ralentissement ; la nuit une lanterne fixée au revers du voyant donne des feux rouges ou verts si le voyant est fermé, ou un feu blanc lorsque

le voyant est effacé.

Les signaux mobiles ou signaux à main s'exécutent, le jour, avec un drapeau vert ou rouge, la nuit, avec une lanterne à plusieurs faces donnant à volonté un feu rouge, vert ou blanc. Ils sont réglementairement doublés de signaux acoustiques. Les signaux peuvent d'ailleurs s'exécuter simplement avec les bras, tel le signal d'arrêt qui peut être donné avec un objet quelconque vivement agité ou en élevant les deux bras de toute leur hauteur.

Signaux des trains. — Les signaux portés par les trains sont, à l'avant, un feu blanc puissant éclairant la voie et des feux blancs secondaires dont la disposition relative indique aux aiguilleurs la nature, la provenance ou la destination des trains ; à l'arrière du dernier véhicule est suspendue une plaque de queue et, la nuit, un feu rouge puissant accroché à la partie inférieure de la caisse, tandis que deux lanternes d'angle de faible puissance placées, de part et d'autre, à la partie projettent des feux rouges vers l'arrière et un feu blanc vers l'avant. Ce dernier permet au mécanicien de s'assurer en cours de route que son train est toujours entier; la plaque de queue ou les feux rouges de l'arrière donnent la même certitude aux agents sédentaires postés le long de la voie. Un feu d'angle vert ou un drapeau vert fixé au dernier véhicule du côté de l'entrevoie indique aux agents de la voie ou des gares que le train est doublé par

un autre à faible intervalle.

Signaux acoustiques. — Comme signaux acoustiques, les agents de la voie ou des gares emploient des trompes, cornes ou sifflets. Par un coup, 2 coups ou 3 coups de corne ou de sifflet, on donne au mécanicien le signal "tirez", "refoulez" ou "ralentissez". Pour l'arrêt on donne des coups de corne ou de sifflet brefs et précipités.

Le signal de départ se donne aux trains par un coup de sifflet allongé que le conducteur répète au mécanicien par un coup de cornet. — Pour les signaux acoustiques, on peut encore citer le sifflet de la locomotive, les cloches électriques et la détonation des pétards.

Le sifflet de la locomotive sert à annoncer l'approche du train, à demander la direction, à demander aux agents du train le serrage ou le desserrage des freins, et enfin à accuser réception des signaux acoustiques faits par les agents des gares au cours des manœuvres.

Les cloches électriques installées dans certaines gares ou à certains points intéressants de la ligne servent à annoncer qu'un train quitte une gare déterminée et va se présenter à brève échéance. Les cloches font retentir une ou deux séries de coups, suivant le sens de la marche du train annoncé. Elles permettent aussi de lancer sur la ligne certains signaux d'alarme.

Les pétards sont placés sur les rails par les agents des trains pour protéger à distance (à 1000 mètres) un train exceptionnellement arrêté en pleine voie ; une détonation prescrit impérativement au mécanicien d'arrêter avant le 1er obstacle. On les emploie encore pour doubler normalement certains signaux ou accidentellement en cas de troubles atmosphériques gênant la visibilité : brou-

intense, grande neige, etc... En dans ce cas la détonation d'un ou plusieurs pétards prescrit impérativement l'arrêt au mécanicien.

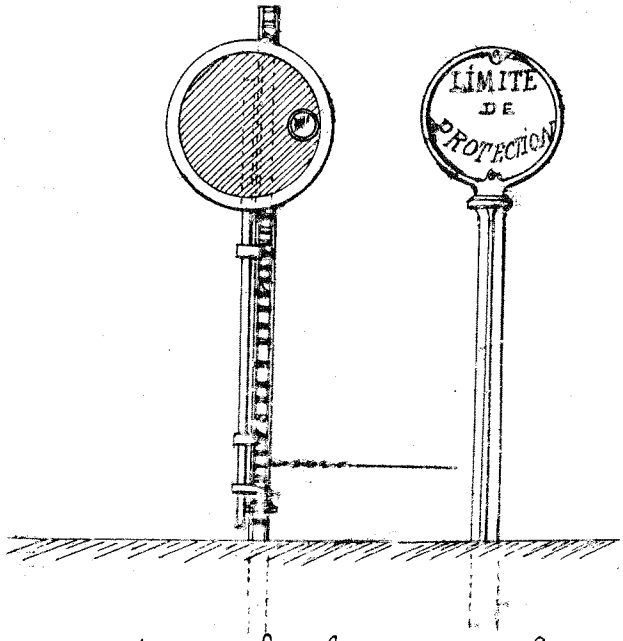
Signaux fixes. — Le Code des signaux, arrêté par le Ministre en 1885, a défini un certain nombre de signaux dans le but d'uniformiser le plus possible la signalisation sur l'ensemble des réseaux français. Les règlements spéciaux à chaque Compagnie ne peuvent renfermer aucune disposition contraire, mais les Compagnies peuvent être autorisées par le Ministre des Travaux Publics à titre d'essai, à employer des signaux autres que ceux qui sont prévus par le Code des signaux.

Etudions succinctement les signaux réglementaires: disque à distance, signal carré d'arrêt absolu, disque de ralentissement, damier vert en blanc, signaux indicateurs de position en de direction d'aiguilles, sémaphores.

Disque à distance. — Le disque à distance présente, à une hauteur variant de 4 à 6 mètres, un voyant de forme ronde, dont une des faces est peinte en rouge avec une bordure blanche et percée d'une ouverture circulaire garnie d'un verre rouge.

Le disque fermé, c'est-à-dire présentant aux trains perpendiculairement à la voie, le jour la face rouge, la nuit un feu rouge, commande l'arrêt au mécanicien, qui doit immédiatement se rendre maître de sa vitesse, afin de pouvoir s'arrêter en avant de l'obstacle et, en tout cas, avant d'atteindre la première aiguille ou traversée de

voie, ou, le cas échéant, en avant du sémaphore.

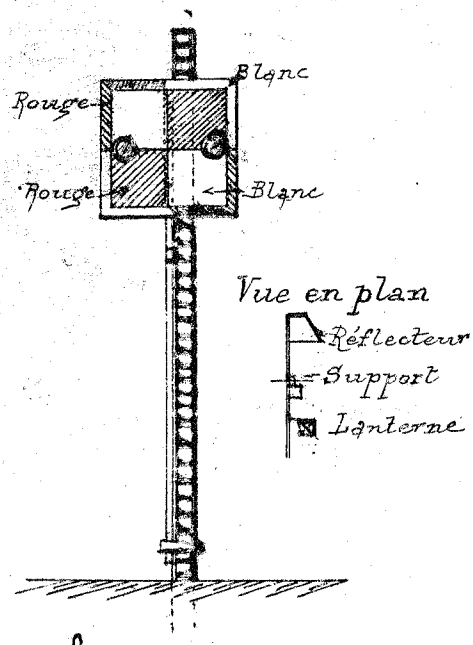


Le disque effacé, c'est-à-dire disposé parallèlement à la voie, en présentant la nuit un feu blanc indique que la voie est libre.

Lorsqu'il protège une station, le disque à distance est suivi à 800 ou 900 mètres d'un poteau portant l'inscription "Limite de protection" qui marque le point à partir duquel le signal assure une protection efficace.

Le disque à distance se trouve en général à 1200 mètres du point à protéger; il est muni d'une transmission par fil de 4 à 5 m/m de diamètre. La transmission est pourvue de compensateurs tels que le compensateur Kobert ou le compensateur Dujour déjà encouragés. La commande est telle qu'en cas de rupture du fil le voyant du disque se place automatiquement dans la position "disque fermé" sous l'action d'un contrepoids actionnant l'axe du voyant.

Signal carré d'arrêt absolu. — Actionné par une transmission par fil dans les mêmes conditions que le disque à distance, le signal carré d'arrêt absolu porte un voyant de forme carrée dont une face est peinte en damier rouge et blanc avec une bordure rouge aux carrés blancs et une bordure blanche aux carrés rouges et qui est percé de



deux ouvertures circulaires fermées par des verres rouges.

Le signal fermé, c'est-à-dire présentant au train perpendiculairement à la voie, le jour sa face en damier rouge et blanc, la nuit deux feux rouges, commande l'arrêt immédiat et absolu, en avant du point où se trouve le signal.

Le signal effacé, c'est-à-dire tourné parallèlement à la voie, en présentant la nuit un feu blanc indique que la voie est libre.

L'éclairage des deux verres rouges est réalisé à l'aide d'une seule lanterne et d'un réflecteur à 45 degrés. La lanterne est d'ailleurs disposée de manière à montrer en arrière (du côté de l'aiguilleur) un feu bleu lorsque le signal est effacé et un feu blanc lorsqu'il est à l'arrêt.

Signal jaune, carré ou rond. — Sur les voies autres que les voies de circulation des trains, le signal d'arrêt absolu, défini ci-dessus peut être remplacé, avec l'autorisation du Ministre, par un signal (carré ou rond) à face jaune présentant la nuit un simple feu jaune.

Disque de ralentissement. — Le disque de ralentissement présente un voyant de forme ronde dont une face est peinte en vert avec une bordure blanche et qui est percé d'une ouverture circulaire

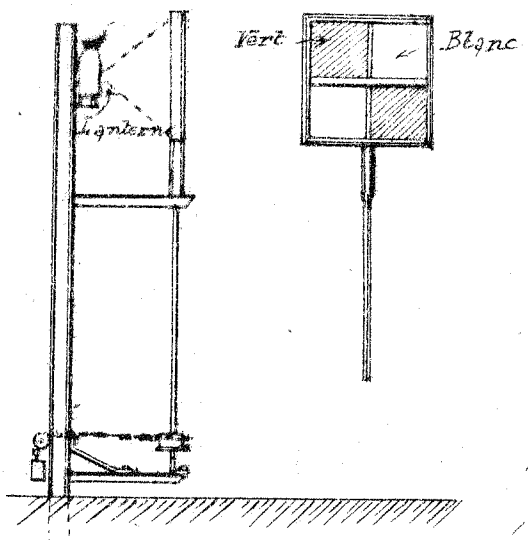
fermée par un verre vert.

Le signal fermé (voyant perpendiculaire à la voie) présentant aux trains, le jour sa face verte, la nuit un feu vert, commande le ralentissement à 30 kilomètres pour les trains de voyageurs, à 15 kilomètres pour les trains de marchandises.



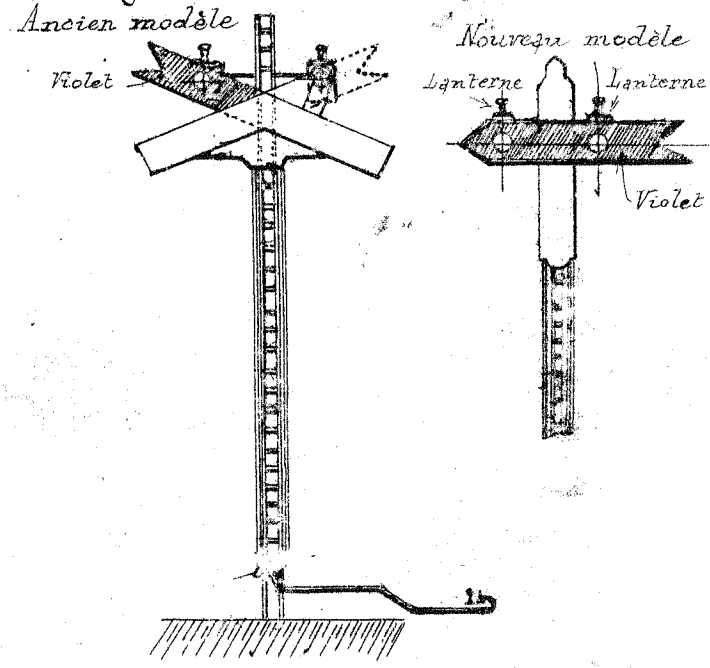
Indicateur de bifurcation ou de point tournant. — Cet indicateur porte une plaque carrée, éclairée la nuit par transparence, et sur laquelle on inscrit le mot "Bifur" ou "Point Tournant" en lettre noires sur fond dépoli.

Indicateur carré à damier vert et blanc. — L'indicateur carré à damier vert et blanc est placé à 800 ou 900 mètres en avant du signal carré d'arrêt absolu. C'est un voyant éclairé la nuit par transparence et qui est fixe (c'est-à-dire fixé d'une manière immuable perpendiculairement à la voie) ou tournant. Dans ce dernier cas, lorsque le voyant est effacé, le signal indique aux mécaniciens que le signal carré d'arrêt absolu n'est pas à l'arrêt. Dans le cas contraire, lorsqu'il présente perpendiculairement à la voie sa face en damier vert et blanc, il prévient les mécaniciens qu'ils peuvent rencontrer à l'arrêt le signal carré d'arrêt absolu. C'est donc un annonciateur



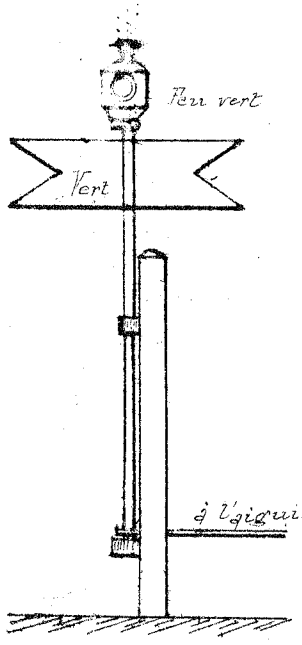
du signal carré à damier rouge en blanc, ce qui est utile puisqu'on ne doit à aucun prix dépasser ce signal lorsqu'il est à l'arrêt.

Indicateur de direction d'aiguille.— L'indicateur de direction est un signal placé exclusivement à la gauche des aiguilles en pointe pour lesquelles le mécanicien doit demander sa direction à l'aide du sifflet de la machine (aux bifurcations par exemple). Le signal est rendu solidaire de l'aiguille par une tringle en peut prendre deux positions suivant que l'aiguille est disposée pour la direction de gauche ou la direction de droite. Deux flammes peintes en violet et percées chacune d'une ouverture circulaire garnie d'un verre violet peuvent, suivant le cas, se développer à droite ou à gauche du mât, l'une d'elles étant masquée derrière une partie fixe.



La direction qui est donnée par l'aiguille est celle du côté de laquelle le bras violet est effacé ou le feu blanc visible.

Indicateur de position d'aiguille.— Cet indicateur constitué par une flamme verte mobile autour d'un axe vertical peu élevé, solidaire de l'aiguille

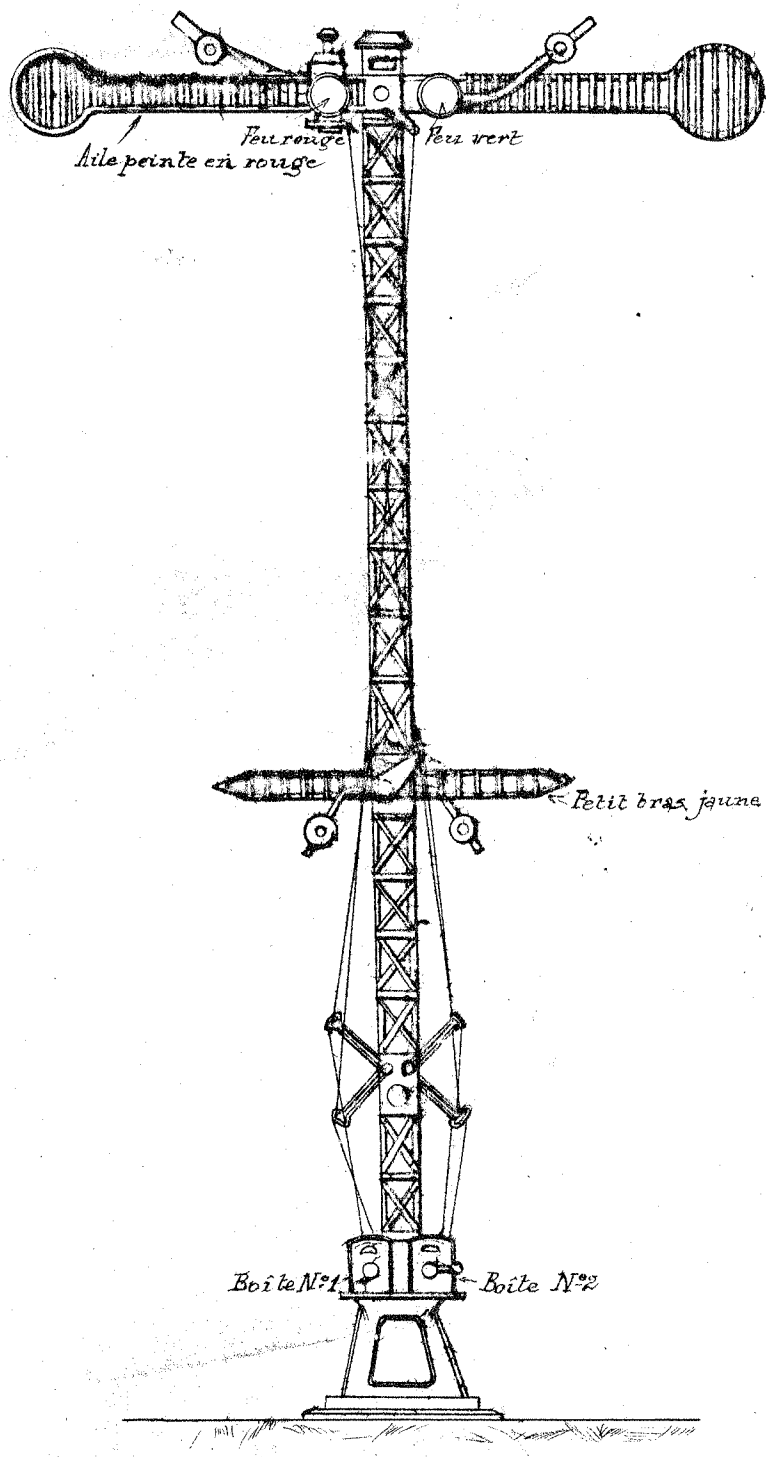


considérée, ne s'adresse qu'aux agents des gares et est surmonté d'une lanterne à 4 feux.

Lorsque l'aiguille est dans sa position normale, la flamme verte se présente parallèlement à la voie et la lanterne donne un feu blanc du côté de la pointe et du côté du talon de l'aiguille. Lorsqu'au contraire on aperçoit de loin la flamme perpendiculaire à la voie ou un feu vert dans la direction de la pointe et du talon de l'aiguille, on est averti que l'aiguille n'est pas dans sa position normale.

Electro-sémaphore. — Les électro-sémaphores sont des signaux destinés à maintenir entre les trains circulant sur une même voie un certain intervalle de distance ; ils sont espacés convenablement (de 1 Km 5 en moyenne à 3 kilomètres) suivant la densité de la circulation sur les lignes, de manière à constituer des sections de block dans lesquelles un seul train doit circuler à la fois.

L'électro-sémaphore est généralement constitué en France par un mât en treillis, de 8 à 12 mètres de hauteur, sur lequel peut se déployer, vers la gauche du mât par rapport au mécanicien, une grande aile peinte en rouge. Le mât porte donc une grande aile pour chacune des deux directions. Cette grande aile déployée horizontalement en présentant au mécanicien, le jour



sa face rouge, la nuit, un feu vert et un feu rouge commande l'arrêt en indiqué qu'un train précédent n'a pas encore dégagé la section de block située au-delà. Rabattue le long du mât en présentant la nuit un feu blanc, la grande aile indique au contraire que la voie est libre dans la section protégée par l'électro-sémaphore. D'autre part, un petit bras jaune se développe horizontalement au milieu du mât et à gauche pour annoncer un train qui vient de pénétrer dans la section en-deçà et qui s'avance vers le poste de block considéré. Un coup de timbre prévient, en outre, le garde-sémaphore chaque fois qu'il se produit à son poste une action de déclenchement provoqué à distance

par le garde d'un des postes voisins.

Block-système. — L'emploi des sémaphores ou postes de block a eu pour but d'augmenter le rendement de certaines lignes sans danger pour la sécurité, en substituant à l'intervalle de temps qu'on observait au début du chemin de fer, un intervalle de distance à réserver entre deux trains successifs. C'est en Angleterre que cette pratique prit naissance sous le nom de *block-system*.

D'une manière générale en Angleterre, le block est absolu, c'est-à-dire qu'un train est retenu devant un poste sémaphorique jusqu'à ce que la section soit devenue libre dans toute son étendue; cela n'a pas grand inconvénient parce que les sections sémaphoriques sont généralement très courtes.

Lorsque, au contraire, les sections ont une certaine longueur, on peut être amené à pratiquer une règle différente et à prévoir que passé un délai convenu, 5 ou 10 minutes suivant les Compagnies, le train arrêté au sémaphore pourra être remis en marche avec recommandation d'aller avec prudence jusqu'à ce qu'un signal ultérieur indique que la voie est redevenue libre. C'est le cas du *block permissif* qui est généralement pratiqué aux États-Unis et sur le Continent, et en particulier sur le Nord français.

A un autre point de vue, les signaux de block peuvent être ou bien normalement à l'arrêt comme cela se pratique sur les réseaux anglais, ou normalement à voie libre comme sur le Continent.

Enfin, une grande distinction est à faire suivant

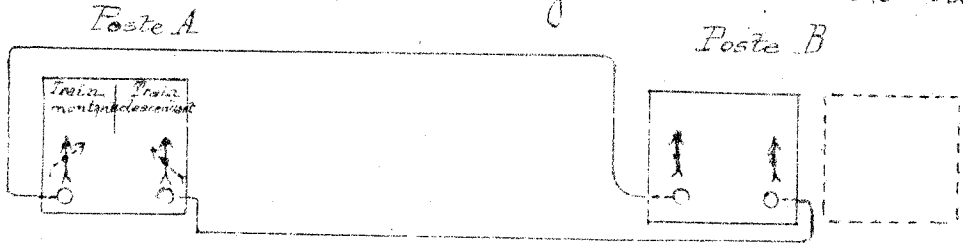
le mode de liaison établi entre les postes de block successifs en on peut avoir :

1° le block à sections indépendantes ou télégraph block system ;

2° le block-system enclenché ;

3° le block-system automatique.

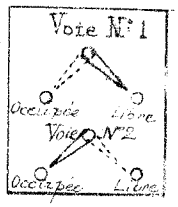
Dans le block à sections indépendantes pratiqué presque exclusivement en Angleterre en quelque peu aussi sur le Continent, les signaleurs de deux postes de block successifs correspondent entre eux par téléphone, par télégraphe Morse, ou par un télégraphe à aiguille avant de mettre à voie libre le signal à distance en le signal de block de leur



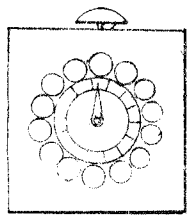
Indicateur à aiguille système Regnault

poste.

Les appareils électriques à aiguille, qu'ils soient du type Regnault, du type Tyer ou du type Jousselin, ont l'avantage sur l'emploi exclusif du télégraphe Morse de laisser une indication visible sous les yeux du signaleur.



Appareil Tyer

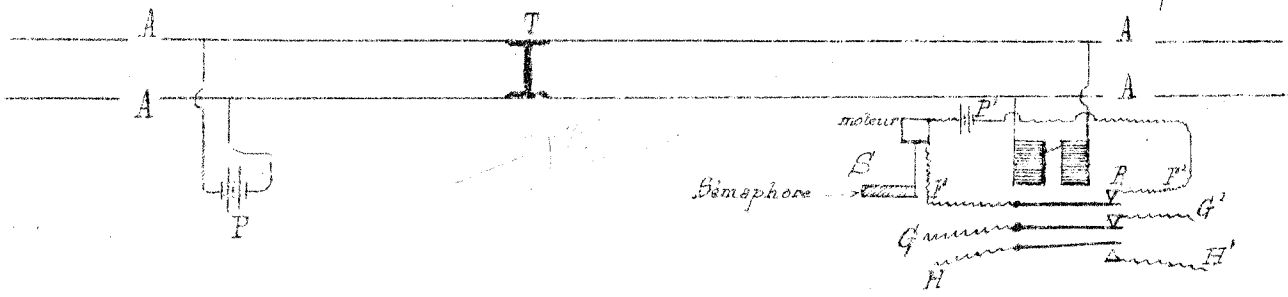


Appareil Jousselin

L'appareil à sonnerie Jousselin permet de donner non seulement les indications "Voie libre" et "Voie occupée", mais une douzaine d'indications de service et même jusqu'à 25 indications différentes dans les

appareils en usage sur le P.S.M.

Dans le block système automatique tel que le block système Hall mis à l'essai sur le P.S.M., on établit dans l'étendue d'une section un circuit de voie électrique en reliant les rails contigus par des fils métalliques et en employant au contraire des éclisses spéciales isolantes AA à la limite entre deux sections de block voisines. A l'une des extrémités de la section, les rails sont reliés aux deux pôles



d'une pile P, tandis qu'à l'autre extrémité les deux fils de rails sont reliés à un relais R. Lorsque la section est complètement libre, le courant très faible de la pile (1 volt 1/2) suit le rail en attirant la palette du relais ferme certains circuits tels que FF', GG', etc., et en ouvre d'autres tels que HH'. Si un train circule, ou même si un seul essieu T se trouve sur la voie dans la section, il établit un court circuit où le courant de la pile P n'atteignant plus le relais, la palette retombe sous l'action de son poids en referme les circuits tels que HH' en ouvrant au contraire les circuits GG', FF', etc... Si le circuit FF' est celui de la pile P' du moteur du sémaphore, le courant étant interrompu dans ce circuit auxiliaire, le sémaphore S retombera à l'arrêt par

son propre poids. La présence d'un véhicule en dérive, ou d'un rail cassé, ou d'une aiguille ne donnant pas la continuité entraîne donc automatiquement la mise ou le maintien à l'arrêt du signal de block.

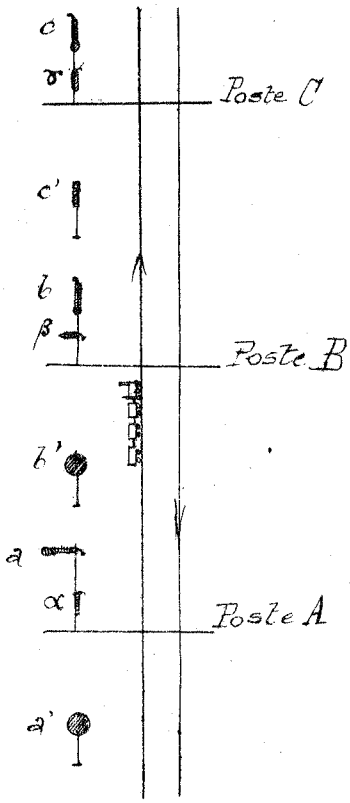
Le block automatique est très répandu aux États-Unis.

Dans le *block-système enclenché*, employé sur le Continent sous la forme des appareils Siemens en Italie, Régnault ou Tesse en Sartigue, on a établi une solidarité entre les appareils électriques de communication de poste à poste et les appareils de manœuvre des signaux eux-mêmes.

Le système Tesse en Sartigue appliqué en particulier sur le réseau du Nord présente le grand avantage de relier électriquement de 3 en 3 les appareils des postes voisins.

Dans le block-système de double voie un poste de block comporte un mât sémaphorique portant pour chacune des voies, une grande aile peinte en rouge, actionnée par la manivelle d'une boîte de manœuvre dite appareil N° 1, et un petit bras jaune actionné par la manivelle d'une boîte de manœuvre dite appareil N° 2 ; le sémaphore est précédé pour chaque voie d'un disque à distance actionné par un levier placé au pied du poste.

Lorsqu'un train pénètre dans la section AB, le signaleur du poste A doit, après la mise à l'arrêt du disque à distance, manœuvrer la manivelle de



de l'appareil N° 1 en lui faisant subir une rotation d'un peu plus d'un 1/2 tour, de façon à amener dans la position horizontale la grande aile a de l'électro-sémaphore. Le disque à distance a' se trouve alors enclenché électriquement à l'arrêt. D'autre part, en même temps qu'elle a produit mécaniquement la mise à l'arrêt de la grande aile a, la manœuvre de l'appareil N° 1 du poste A a fait apparaître électriquement le petit bras d'annonce β du poste B en déclenchant la manivelle de l'appareil N° 2 de ce poste.

Lorsque le train approche du poste B, le signaleur de ce poste, averti par l'apparition du petit bras d'annonce, met à l'arrêt le disque à distance b' dès que le train l'a franchi, puis, au moment où la locomotive franchit son poste, bloque la section en avant en manœuvrant la manivelle de l'appareil N° 1 ce qui relève mécaniquement dans la position horizontale la grande aile b et enfin, lorsqu'il a vu le train passer complet ramène le petit bras d'annonce dans la position verticale, au moyen d'une rotation de 120° imprimée à la manivelle de l'appareil N° 2, ce qui a pour effet de débloquer la section en

arrière en faisant passer dans le fil de ligne un courant qui libère en fait retomber la grande aile du poste A. La grande aile B du sémaphore ne retombe elle-même que lorsque le signaleur du poste C a fait de même après le passage du train à son poste.

La mise à l'arrêt du signal à distance, puis celle de l'électro-sémaphore doivent se suivre dans cet ordre, en vertu d'un enclenchement électrique spécial qui maintient ensuite le disque à distance à l'arrêt pendant tout le temps que le sémaphore n'a pas été remis à voie libre. D'autre part, le garde-sémaphore du poste B, par exemple, est obligé de bloquer vers le poste C, en manœuvrant la manivelle de l'appareil N° 1, avant de débloquer vers A en agissant sur la manivelle de l'appareil N° 2, attendu qu'un enclenchement est établi à cet effet entre les manivelles des appareils N° 1 et N° 2 du même poste.

Les signaleurs ou garde-sémaphores sont donc liés de 3 en 3 et tenus par cela même d'exécuter les manœuvres dans l'ordre prescrit, car les fautes sont nécessairement décelées ; mais le block Tesse et Lartigue a sur le block automatique l'avantage d'échelonner sur la ligne des êtres intelligents susceptibles de prendre les mesures prévues par les Règlements en vigueur, soit en cas

d'avarie des appareils sémaphoriques, soit en cas d'incident, et de substituer le cas échéant l'espacement de temps à l'espacement de distance.

Il y a lieu de remarquer qu'un train engagé dans une section sémaphorique est toujours couvert au minimum par un sémaphore et par le disque à distance qui le précède à 1200 mètres. Au moment où il franchit un poste, et avant que le déblocage ait été effectué, il y a deux grandes ailes sémaphoriques à l'arrêt et deux disques à distance, ce qui donne une protection s'étendant sur 2 ou 3 kilomètres.

Sur les voies uniques du réseau du Nord, le même système fonctionne, mais à signal normalement fermé et avec des enclenchements supplémentaires qui interdisent de faire tomber les grandes ailes d'une direction BA, lorsqu'au préalable on a lancé ou simplement annoncé un train dans le sens contraire AB sur le même trajet.

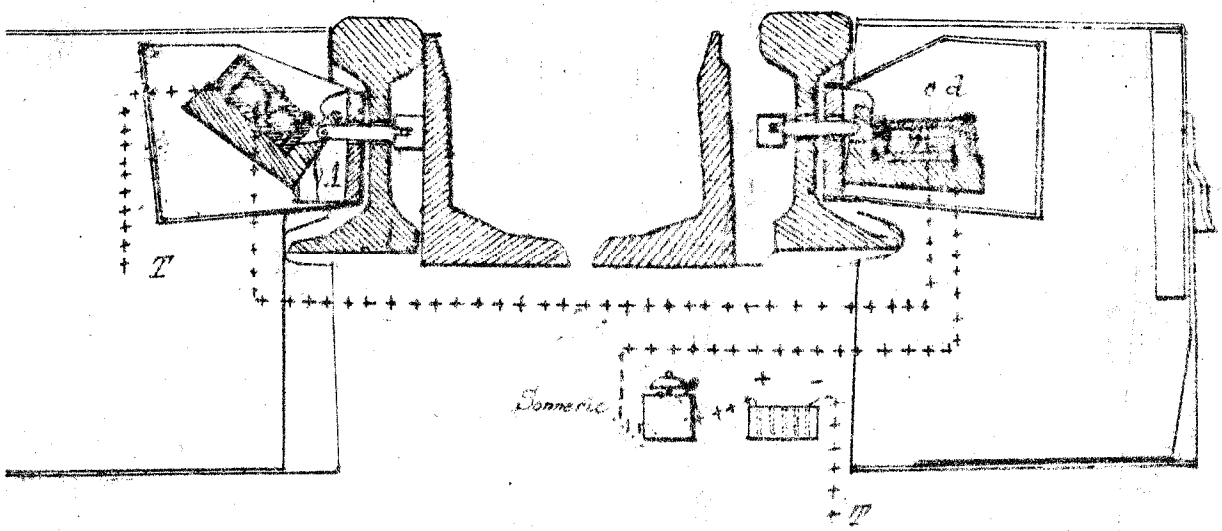
Appareils de verrouillage, de calage et de contrôle des appareils de voie.

Lorsqu'on manœuvre les aiguilles à pied d'œuvre, à l'aide d'un levier à contrepoids, on s'assure de visu que les lames d'aiguilles sont exactement en contact avec le rail contre-aiguille.

Dans le cas d'une manœuvre d'aiguille à distance on ne peut pratiquement faire la même vérification sur place. Il faut donc y suppléer en donnant à

l'aiguilleur le moyen de s'assurer que l'aiguille a accompli sa course complète, qu'elle s'applique bien contre le rail, et qu'elle sera maintenue en contact pendant tout le passage des trains qui abordent l'aiguille par la pointe. Ces garanties sont données respectivement : par les appareils électriques de contrôle des aiguilles et par les appareils de calage et de verrouillage.

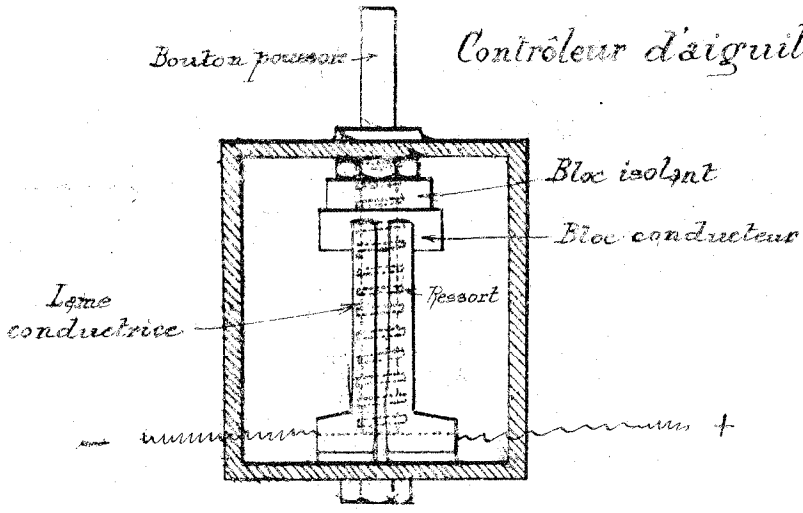
Dans le contrôleur **Sartigue** un bouton traversant



l'âme du contre-rail est enfoncé par la lame d'aiguille lorsqu'elle est en contact parfait et produit dans le contrôleur l'inclinaison d'une boîte en partie remplie de mercure, ce qui découvre l'une des tiges de platine c, d, établissant la continuité du circuit d'une pile actionnant une sonnerie et une boussole dans la cabine de l'aiguilleur. Deux contrôleurs analogues faisant partie du même circuit étant fixés au droit de la pointe de cha-

une des deux lames de l'aiguille, on voit que le circuit est coupé tant que l'une des lames est en contact. Dès qu'une lame donne un entrebaillement de 3 à 4 m/m, la boîte à mercure se rapproche de l'horizontale et la sonnerie tinte dans la cabine.

Dans le contrôleur électrique en usage actuellement sur le réseau du Nord, le bouton poussoir

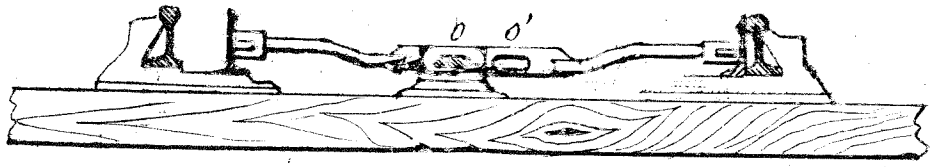


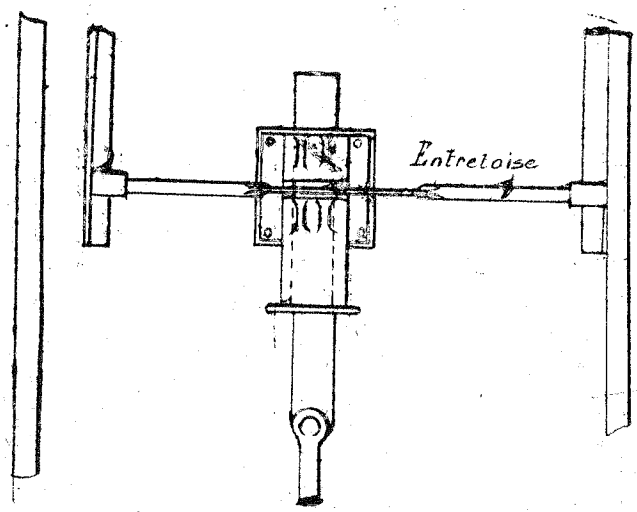
Contrôleur d'aiguille du Nord

actionné par la lame d'aiguille vient contrarier l'effet d'un ressort en établir un contact entre deux lames métalliques pour fermer le circuit. L'appareil est d'un réglage et d'un entretien plus facile que le contrôleur Sartigue.

Avec l'un et l'autre dispositif, dès que l'aiguilleur actionne une aiguille, la sonnerie doit se mettre à tinter et le tintement continuant pendant toute la durée de la manœuvre du levier ne doit cesser que lorsqu'on abandonne le levier à fond de course.

Verrouillage.— L'appareil de verrouillage le plus simple est le verrou à levier indépendant qui, dans son mouvement de translation longitudinale, vient pénétrer dans l'une ou l'autre des ouvertures o, o' pratiquées sur l'entretoise de pointe de l'aiguille.





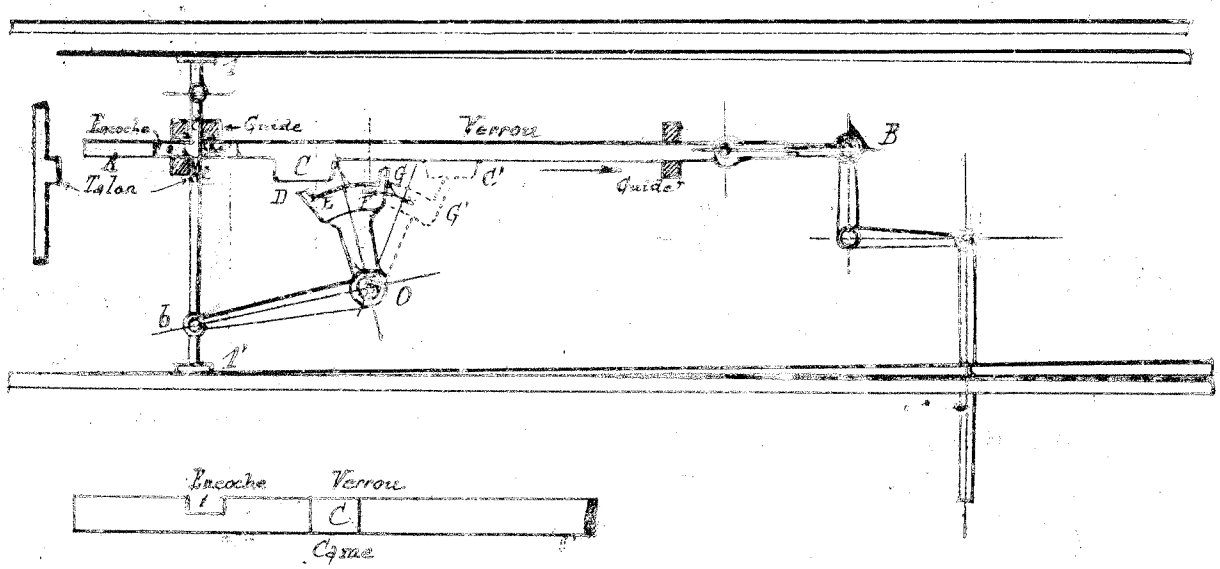
Mais la transmission rigide spéciale est coûteuse et d'autre part, en cours de remaniement des postes d'enclenchements on manque parfois de place pour installer un levier supplémentaire.

Pour tenir compte de ces inconvénients, on a imaginé divers dispositifs de verrouillage dénommés verrous-aiguilles réalisant du même coup de levier la manœuvre de l'aiguille et le verrouillage. Nous étudierons successivement les verrous-aiguilles Saxby et Farmer, Dujour et Roulet.

Dans le verrou aiguille Saxby et Farmer, une tige longitudinale guidée AB solidaire de la transmission du levier, comporte une came latérale c et une encoche e.

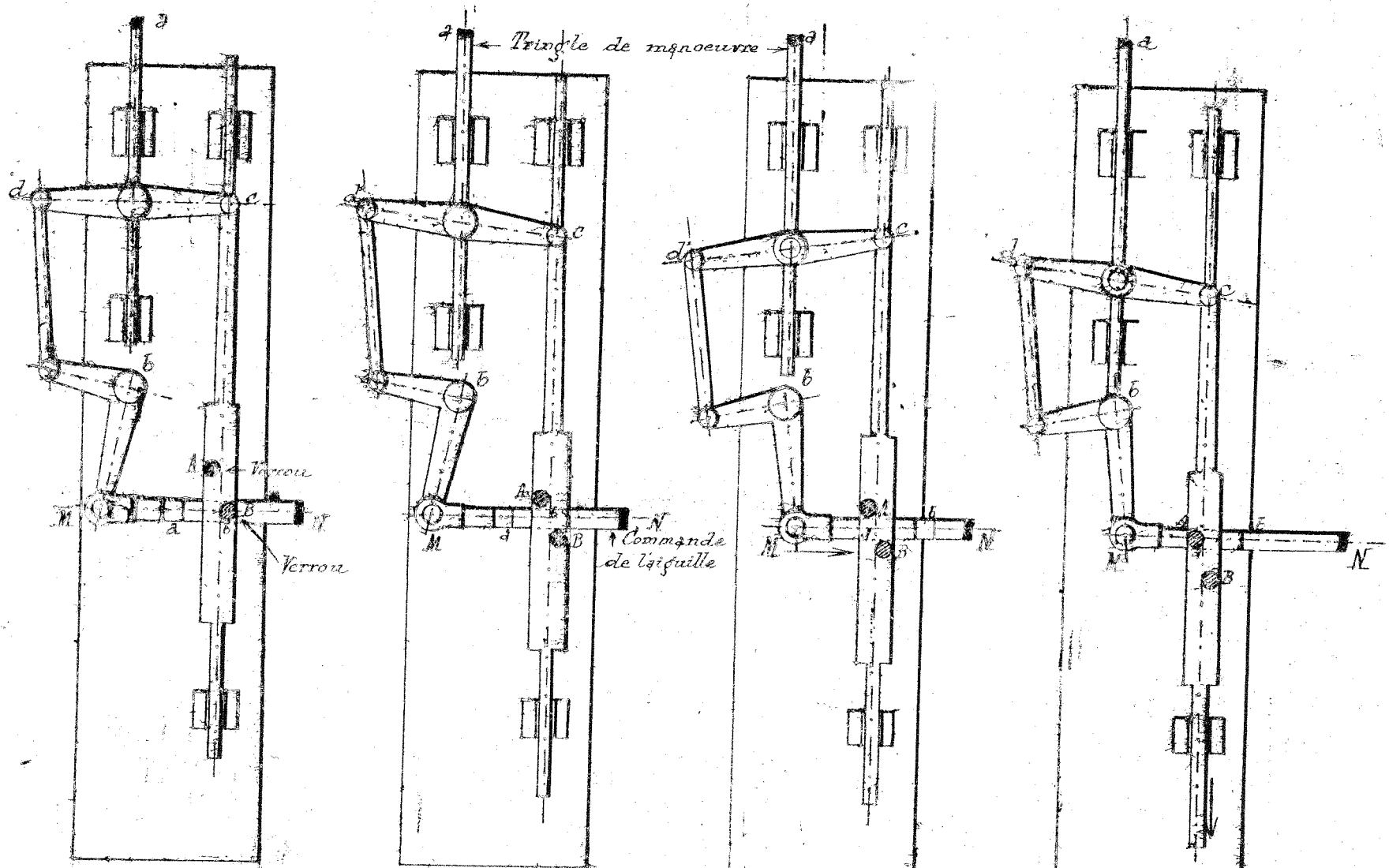
L'entretoise de pointe de l'aiguille 1. 1' porte

à sa partie inférieure un talon t qui, à fin de course,



ne se trouve pas vis à vis de l'encoche e. Une équerre DGOb mobile autour de l'axe fixe O, est telle que, à fond de course du levier de manœuvre, le talon D ou le talon G s'arcboute contre la came C produisant un calage énergique de la pointe 1' ou 1, suivant le cas. Lorsqu'on manœuvre l'aiguille, le déplacement initial de la tige AB dans le sens de la flèche provoque d'abord un glissement de C contre le talon D pendant lequel l'équerre DGOb et l'entretoise de l'aiguille ne peuvent encore bouger. C'est la période de déverrouillage pendant laquelle l'encoche e arrive vis à vis du talon t de l'entretoise. Le mouvement se continuant, la came C attaque le talon G, fait tourner l'équerre et manœuvrer l'entretoise 1-1' et l'aiguille. Dans la dernière période l'encoche vient en e', le talon de l'entretoise étant passé en t', et la came C vient arcbouter en C' le talon G venu lui-même en G'; c'est la période de

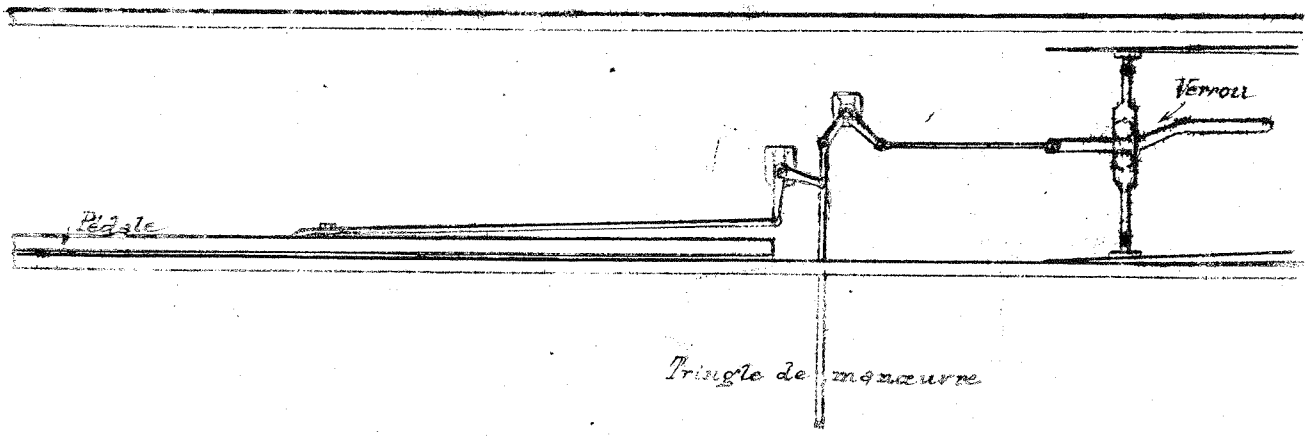
Verrou-aiguille système Dujour



verrouillage.

Dans le verrou-aiguille Dujour utilisé sur le P.S.M., la tringle de manœuvre ab, guidée, déplace l'axe d'un balancier cd qui produit sur le verrou AB, d'une part, sur la tringle MN de transmission d'aiguille qui le coupe à angle droit, d'autre part, des mouvements relatifs analogues à ceux décrits dans le verrou Saxby et qui sont suffisamment définis par les diverses phases du croquis. Dans l'une ou l'autre des positions de l'aiguille à fin de course, le calage est obtenu par la pénétration du tenon A du verrou dans l'encoche a de la tringle, ou du tenon B dans l'encoche b de la même tringle MN.

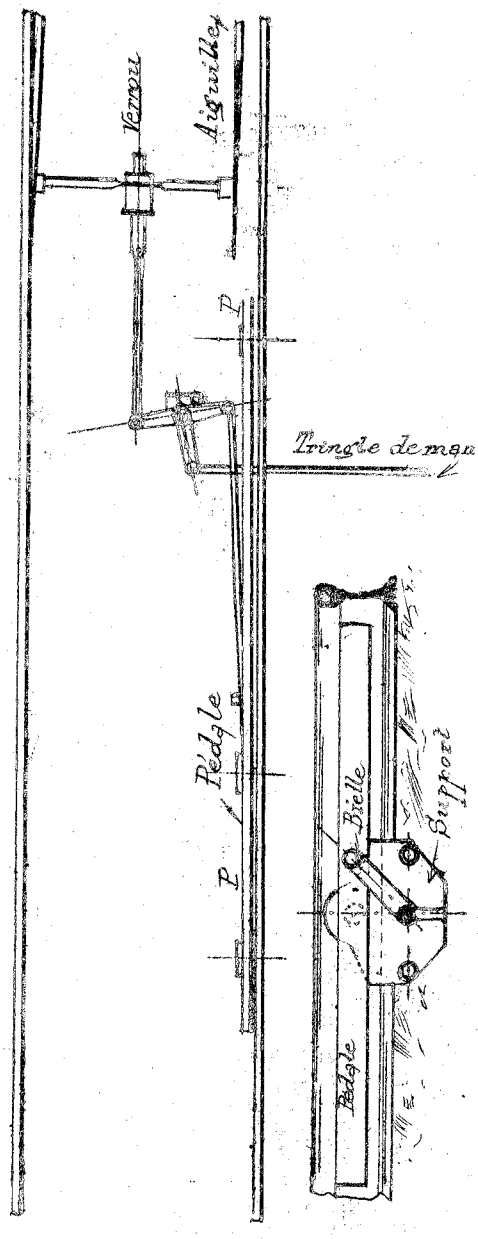
Dans le verrou-aiguille Poulet, utilisé sur le ré. seau du Nord, concurremment avec le verrou-aiguille



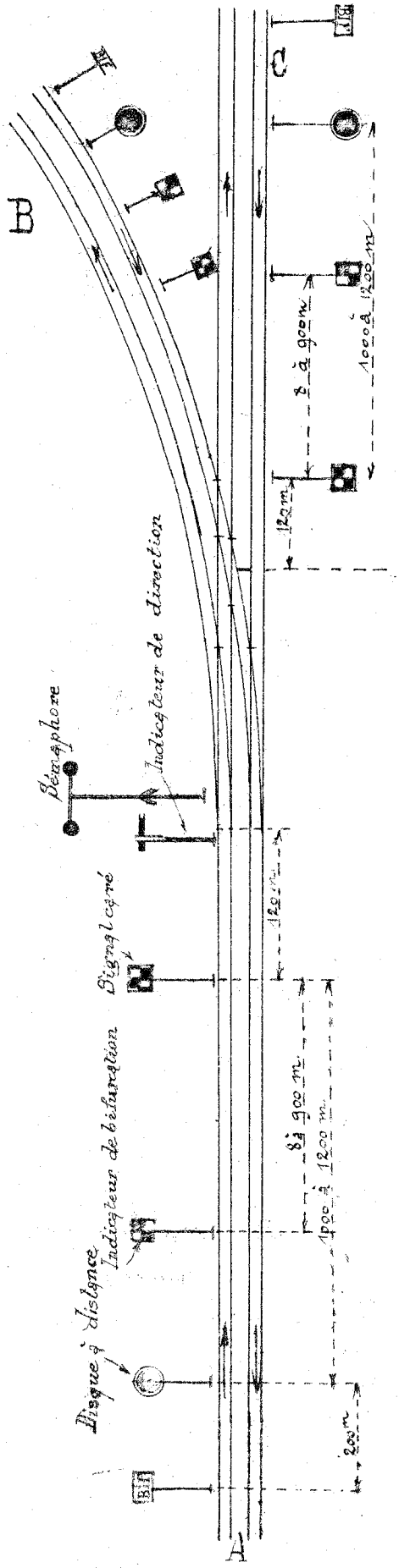
Saxby & Farmer, un verrou en forme de 2 pênètre en fin de course en d'une certaine longueur dans un œil de l'entretoise de pointe de l'aiguille ; dans la partie médiane de la course un plan incliné forme came en provoque la manœuvre de l'aiguille entre les périodes

de déverrouillage en de verrouillage.

Pédales. — Pour empêcher que l'aiguilleur ne manœuvre trop hâtivement une aiguille alors que le dernier essieu d'un train ne l'a pas complètement dégagé, on dispose en bordure de l'un des rails, dans l'intérieur de la voie, une pédale de 5 en quelquefois 12 mètres qui est normalement abaissée de manière à ne pas être atteinte par le boudin des roues. Constituée en fers cornières, cette pédale, supportée par des bielles est reliée par transmission rigide à la manœuvre même de l'aiguille, à laquelle elle fait immédiatement suite, ou à la manœuvre du verrou indépendant s'il y a lieu, doit se relever pendant la manœuvre du verrou ou de l'aiguille.



Si donc l'aiguilleur veut faire cette manœuvre prématurément, la pression des boudins des roues sur la pédale provoque un excès de résistance qui avertit l'aiguilleur.



Ordre de succession des signaux.

Aux approches d'une <u>station</u>, le mécanicien rencontre le disque à distance, puis, à 800 ou 900 mètres au delà, le poteau limite de protection. Le mécanicien qui trouve le disque à l'arrêt doit se rendre immédiatement maître de sa vitesse et, s'il n'aperçoit pas d'obstacle sur la voie, ne doit, en aucun cas, franchir la première aiguille ou le premier croisement, sans avoir reçu des agents de la gare le signal d'avancer fait au moyen du bras ou de la lanterne.

Aussitôt le train arrêté au croisement, les agents du train doivent s'assurer que le dernier véhicule a complètement dépassé le poteau limite de protection et que le disque à distance a été mis à l'arrêt pour le couvrir ; dans le cas contraire, ils doivent se porter vers l'arrière pour protéger le train comme s'il n'y avait pas de disque à distance.

Aux approches d'un <u>poste sémaphorique</u>, le mécanicien observe le disque à distance et, s'il le

voie à l'arrêt, doit prendre ses mesures pour arrêter au sémaphore en attendre que celui-ci donne "voie libre" ou attendre le délai réglementaire pour pénétrer en section bloquée, dans le cas de block permissif.

Aux approches d'une <u>bifurcation</u>, le mécanicien rencontre sur l'une quelconque des branches toute une série de signaux fixes que nous avons définis en quinze : le poteau bifur (à 1400 ou 1500 mètres de la bifurcation), puis le disque à distance (à 1200 mètres environ), puis l'indicateur carré à damier vert en blanc, fixe ou tournant, précédant à la distance de 8 à 900 mètres le signal carré d'arrêt absolu, placé lui-même à environ 120 mètres du point à protéger (pointe d'aiguille ou croisement), et enfin, l'indicateur de direction d'aiguille et le sémaphore.

En approchant du poteau "Bifur" le mécanicien annonce son arrivée en donnant des coups de sifflet dont le nombre varie avec la direction qu'il doit prendre. Puis il observe le disque à distance qui n'est à l'arrêt que pour protéger un train arrêté devant le signal carré de la bifurcation. Si le disque à distance est à voie libre, le mécanicien observe l'indicateur à damier vert en blanc. Si ce dernier est fermé, le mécanicien se rend maître de sa vitesse car il trouvera probablement fermé le signal carré d'arrêt absolu. Si le damier vert en blanc est au contraire effacé, le mécanicien n'a pas à ralentir, car, à ce moment, le signal carré d'arrêt

absolu est certainement ouvert ; il faut néanmoins observer jusqu'au bout ce signal carré qui pourrait être refermé dans un cas urgent.

Le signal carré lorsqu'il est à l'arrêt, commande comme nous l'avons dit, l'arrêt absolu et le mécanicien doit alors s'en rapprocher le plus possible sans le franchir ; le signal est d'ailleurs pourvu d'une tige porte pétard. Si le signal carré est effacé, le mécanicien doit s'assurer seulement que la direction donnée est la bonne et que le sémaphore est à voie libre.

Si, après avoir trouvé un indicateur à damier vert en blanc fermé, le mécanicien trouve effacé le signal carré d'arrêt absolu, il ne doit pas franchir la bifurcation à une vitesse supérieure à 40 kilomètres ou à 20 kilomètres suivant qu'il s'agit d'un train de voyageurs ou d'un train de marchandises.
S'il rencontre effacés à la fois l'indicateur à damier vert en blanc et le signal carré d'arrêt absolu, le mécanicien peut franchir la bifurcation à la vitesse prévue par l'horaire, mais sans profiter de la latitude qui lui est laissée en pleine voie pour dépasser la vitesse normale jusqu'à concurrence de la moitié en cas de retard.

Utilité des postes de concentration — et des enclenchements.

Nous venons de voir que, dans une bifurcation de double voie, l'aiguilleur avait à manœuvrer, indépendamment des deux leviers d'aiguilles et du levier

de verrou d'aiguille, trois leviers de signaux pour chacune des branches, cela leur faire une douzaine de leviers distincts pour une bifurcation. S'idée est venue, de bonne heure, de disposer ces leviers aussi près que possible les uns des autres en en un point rapproché des aiguilles de la bifurcation : c'était le moyen de faciliter le travail de l'aiguilleur, de diminuer les trajets qu'il avait à parcourir dans la zône de son poste en de lui assurer une liberté d'esprit suffisante. Cela permit, par surcroît, de réaliser entre les manœuvres des leviers de signaux en des leviers d'aiguilles des combinaisons mécaniques spéciales, dénommées *enclenchements* ayant pour but d'interdire par exemple l'effacement des signaux de la branche *B* de la bifurcation lorsque les aiguilles en signaux de la branche *A* sont disposés pour le passage d'un train allant de *A* vers *C*, ou encore d'obliger à effacer le damier vers en blanc seulement après avoir effacé le signal carré.

C'est aux bifurcations que furent créés tout d'abord les *postes de concentration* avec enclenchements; mais on établit ensuite des postes analogues pour commander les aiguilles en signaux de certaines zônes des gares, afin de matérialiser les consignes primitives par des enclenchements mécaniques que nous allons étudier.

<u>Enclenchements</u>

Enclenchements

Les enclenchements ont pour but de solidariser les leviers de manœuvre des aiguilles et des signaux d'un même poste, de manière à prévenir toute erreur des aiguilleurs dans la préparation des mouvements, et à interdire toute fausse manœuvre pendant qu'un mouvement déterminé s'effectue dans la zône commandée par le poste d'enclenchements.

Enclenchements de route et enclenchements de protection. — Les garanties à obtenir sont de deux sortes :

1° il faut qu'avant de pouvoir ouvrir le signal commandant l'un des mouvements, toutes les aiguilles qui sont sur le trajet aient bien été manœuvrées s'il y a lieu et amenées dans la position convenable (le levier du signal lorsqu'on le manœuvre lui-même en dernier lieu doit donc immobiliser mécaniquement, autrement dit "enclencher" dans des positions déterminées chacun des leviers des aiguilles du trajet.

2° il faut que, pendant tout le temps que le levier de signal reste dans la position renversée (correspondant à la voie libre), tous les leviers des aiguilles et signaux commandant des mouvements incompatibles avec celui qui s'exécute soient immobilisés mécaniquement.

Les enclenchements de la 1ère catégorie sont dits enclenchements de route, ceux de la 2e enclenchements de protection.

Cette distinction n'a de valeur qu'au point de vue de la recherche des enclenchements à assurer dans un cas déterminé : au point de vue de la réalisation, rien ne distingue les enclenchements de route des enclenchements de protection.

Les enclenchements entre deux leviers déterminés peuvent être réalisés directement par une liaison visible d'un levier à l'autre (ce sont les enclenchements simples ou binaires), ou n'être que la résultante de deux ou plusieurs de ces enclenchements simples agissant en cascade. Certains d'entre eux mettant en jeu 3 : 4 leviers en plus constituent des combinaisons plus complexes qu'on appelle enclenchements conditionnels.

Notation des enclenchements. — Considérons 2 leviers A et B qui peuvent occuper la position normale N (position droite devant l'aiguilleur) ou renversée R (position inclinée), et voyons quelles sont les diverses combinaisons d'enclenchements qui peuvent être envisagées directement entre ces 2 leviers A et B.

Il y en a quatre, savoir :

(1) A normal enclenche B normal, ou AN enclenche BN
A normal enclenche B renversé, ou AN enclenche BR

(2) A renversé enclenche B normal, ou AR enclenche BN

(3) A renversé enclenche B renversé, ou AR enclenche BR

La seconde combinaison est à écarter à priori. La transmission des leviers doit être combinée de telle

sorte que tous puissent être, au repos, ramenés à la fois dans la position droite, ou position normale. Les enclenchements simples ne peuvent donc porter que sur les 3 autres combinaisons.

Pour traduire les enclenchements, diverses notations ont été adoptées. Bricka s'est servi d'expressions telles que (AR-BR) définissant une *incompatibilité*, en indiquant que la simultanéité des positions A renversé et B renversé était rendue impossible par les enclenchements.

Pour réaliser cette incompatibilité, il faut que AR enclenche B normal, et c'est ce qui apparaît dès qu'on essaie de manœuvrer les leviers du poste. Mr Cossmann a substitué à la notation de Bricka une notation plus positive qui consiste à mettre sous forme de fraction les deux leviers liés par un enclenchement binaire, le levier enclencheur étant au numérateur, le levier enclenché au dénominateur.

Les combinaisons (1) (2) (3) envisagées précédemment se mettent alors sous la forme :

(1) $\frac{AN}{BN}$ au lieu de prendre la forme de l'incompatibilité : (AN-BR).

(2) $\frac{AR}{BN}$ — d° — — d° — (AR-BR)

(3) $\frac{AR}{BR}$ — d° — — d° — AR-BN

Cette forme fractionnaire, qui permet à l'esprit de discerner immédiatement que le levier indiqué en

dénominateur est pour la dépendance du levier enclencheur indiqué en numérateur, a encore l'avantage de se prêter à des éliminations de facteurs communs:

Considérons, en effet, les deux enclenchements binaires:

$$\frac{BR}{AN} \quad \text{et} \quad \frac{CR}{BR}$$

en multipliant membre en membre et en éliminant le facteur commun BR, comme s'il s'agissait de fractions, on obtient l'expression résultante $\frac{CR}{AN}$.

Or, l'enclenchement que représente cette notation est bien effectivement un enclenchement résultant, réalisé en cascade, entre les leviers C et A, par l'intermédiaire du levier B.

Chaque enclenchement a sa réciproque: si on a réalisé la combinaison: $\frac{AR}{BN}$ (A renversé enclenche B normal), il faut nécessairement que B soit normal pour que A puisse être renversé. Dès lors, lorsque B est renversé, A ne peut être déplacé de sa position normale, ce qui se traduit par: $\frac{BR}{AN}$.

On voit par un raisonnement analogue, que l'enclenchement $\frac{AR}{BR}$ a pour réciproque $\frac{BN}{AN}$.

Sur les 3 combinaisons envisagées entre 2 leviers A et B, il n'y a en réalité que deux cas distincts au point de vue de la réalisation des enclenchements binaires ceux de la forme $\frac{BN}{AN}$ et ceux de la forme $\frac{BR}{AN}$. C'est

à ces deux dispositifs de montage (réalisés différemment suivant les systèmes d'enclenchements employés : Bignier, Saxby, Stevens) que se ramèneront les enclenchements plus ou moins complexes qui peuvent être réalisés entre deux leviers déterminés, avec ou sans l'intermédiaire d'autres leviers intéressés par les mêmes mouvements.

Il se présente parfois qu'un levier A doive enclencher un autre levier B, à la fois dans sa position normale et dans sa position renversée. C'est le cas d'un levier indépendant de verrou d'aiguille destiné à verrouiller l'aiguille dans l'une ou l'autre de ses positions. On réalise alors l'enclenchement : $\frac{AR}{BN \text{ et } BR}$ qui a pour réciproque $\frac{B \text{ (pendant sa course)}}{AN}$

Dans une 3e notation assez utilisée dans la pratique des enclenchements au Chemin de fer du Nord en particulier, on adopte les abréviations suivantes :

$\underline{A}$ signifie A normal
$\overline{A}$ — d° — A renversé
$\underline{\overline{A}}$ — d° — A pendant sa course
$\frac{(A)}{(A)}$ — d° — A normal et renversé

$>$ signifie enclenché

Les combinaisons (1) (2) (3) envisagées précédemment se traduisent donc par :

(1) $\underline{A} > \underline{B}$ (2) $\overline{\underline{A}} > \underline{B}$ (3) $\overline{A} > \overline{B}$

dont les réciproques sont respectivement :

(4) $\overline{B} > \overline{A}$ (5) $\overline{B} > \underline{A}$ (6) $\underline{B} > \underline{A}$

Si on rapproche l'expression (5) de la suivante : $\overline{C} > \overline{B}$ (7) ou si on multiplie les expressions (5) et (7) membre à membre, on obtient en supprimant le facteur commun $\overline{B}$: $\overline{C} > \underline{A}$

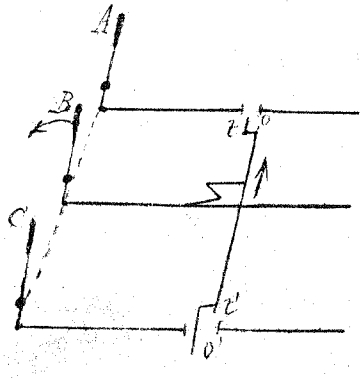
qui est en effet un enclenchement indirect résultant de l'ensemble de deux précédents.

Cette notation se prête donc aussi à des déductions faciles et est très pratique pour la discussion des projets.

Examinons maintenant les systèmes d'enclenchements les plus usuels, qui sont le système Vignier, le système Saxby, & le système Stevens.

Système Vignier. — Le système Vignier, dans sa forme primitive, ne s'appliquait qu'à des postes à fleur de sol, formés par le rapprochement des leviers de manœuvre de deux ou trois aiguillages et de deux signaux à distance, et se réduisait à des combinaisons de barres déplacées par les leviers enclencheurs en qui occupaient ou dégageaient, suivant le cas, des encoches pratiquées sur les leviers enclenchés.

Les schémas ci-contre montrent le jeu du levier enclencheur B qui actionne, par un retour d'équerre approprié, une barre transversale ii' portant les taquets d'enclenchements.



On voit que dans la position normale des 3 leviers, qui est celle représentée sur le schéma, le levier C est enclenché dans sa position normale par B normal, puisque le taquet t' est engagé dans l'encoche o'.

(1) $\underline{B} > \underline{C}$

Si on renverse le levier B, la base transversale EE' se déplacera dans le sens de la flèche, le taquet t' dégagera l'encoche o', tandis que le taquet t pénétrera dans l'encoche o. On aura donc :

(2) $\overline{B} > \underline{1}$

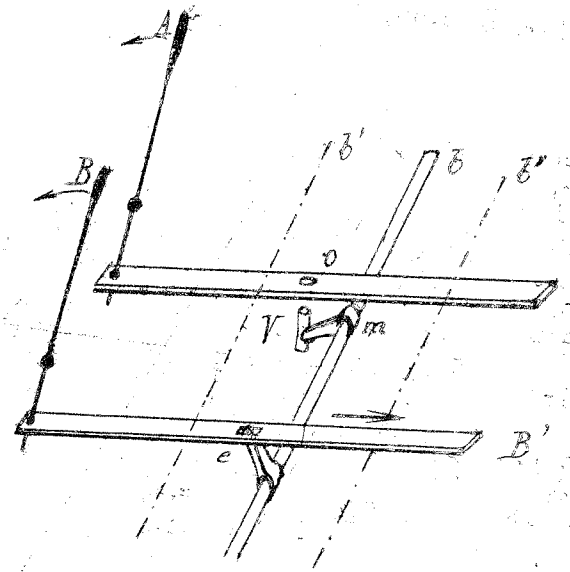
Au contraire, si au lieu de renverser B, on renverse A, l'encoche o se déplace, ou le taquet t ne pouvant plus passer, le levier B est immobilisé dans sa position normale, c'est-à-dire qu'on a :

(3) $\overline{A} > \underline{B}$ (réciproque de (2)).

Si, après avoir renversé B, on renverse à son tour le levier C, l'encoche o' qui s'est déplacée ne permet plus au taquet t' de revenir, et B se trouve enclenché dans sa position renversée :

(4) $\overline{C} > \overline{B}$ (réciproque de (3))

Postes d'enclenchements Vignier type Nord. — Dans l'adaptation qu'il a faite du système Vignier à ses petits postes à fleur de sol, le Chemin de fer du Nord a remplacé la barre transversale EE' des leviers enclencheurs par un arbre horizontal qui tourne de 70 degrés sur son axe longitudinal pendant la course du levier enclencheur (sous l'action d'une petite manivelle d'entraînement e dans le maneton passe librement dans un œil de la tringle horizontale du levier enclencheur). Sur cet arbre enclencheur sont calées, vis-à-vis des tringles horizontales des leviers A à enclencher, de petites manivelles telles que m dont le maneton soulève ou abaisse de petits verrous cylindriques V, qui sont guidés pour



se mouvoir verticalement. Le verrou V, en pénétrant dans un logement cylindrique o de la barre horizontale du levier A vient immobiliser cette barre en réalisant l'enclenchement :

$$B > A .$$

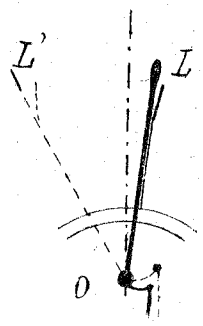
Si, inversement, dans le cas de la figure ci-dessus, on renversait le levier A, le logement cylindrique se déplaçant dans le mouvement de la barre A', le verrou V buterait contre une partie pleine de cette barre, ce qui, par l'intermédiaire de l'arbre 6, empêcherait de manœuvrer la barre B' et le levier B.
On a donc bien réciproquement : $A > B$

En combinant convenablement les verrous et les trous, on peut réaliser tous les enclenchements binaires utiles entre 2 quelconques des leviers de l'appareil d'enclenchements. Ce dernier exige peu de place en hauteur, mais prendrait une assez grande surface en plan horizontal, si le poste comportait un grand nombre de leviers et par suite un grand nombre d'arbres enclencheurs, tels que 6, 6', 6''.

Pratiquement, on en restreint l'usage à des groupes de 5 à 10 leviers, les postes les plus importants étant en général établis suivant le système Saxby & Farmer.

Système Saxby et Farmer. — Le système Saxby et Farmer, qui se prête facilement à des combinaisons d'enclenchements très complexes, sans exiger une place exagérée en largeur, en arrière de la batterie des leviers, s'est imposé de bonne heure par une précision rigoureuse des organes, subsistant même après un long usage.

En régime normal, c'est-à-dire quand tous les appareils sont au repos, tous les leviers de manœuvre se trouvent dans un même plan, presque vertical, mais cependant un



peu incliné du côté opposé à l'aiguilleur. Lorsqu'il doit le actionner, ce dernier les attire vers lui (de L en L') en leur faisant décrire un angle autour d'un axe o situé au-dessous du plancher de la cabine.

Tandis que, dans les postes à fleur de sol système Vignier, la manette ne sert qu'à actionner le verrou à ressort retombant dans un cran de secteur enfin de course du levier, dans certaines cabines Saxby, la manette elle même est enclenchée dans les périodes où le jeu des enclenchements doit rendre impossible la manœuvre du levier. Il en résulte que, lorsqu'un levier est enclenché, soit en position normale, soit en position renversée, l'aiguilleur s'il a oublié momentanément cette particularité en est averti par la seule pression des doigts sur la manette: il lui est impossible d'appliquer la manette contre le levier pour dégager le verrou. Rappelé instinctivement à la notion de l'enclenchement qu'il oubliait, il n'est pas porté à exercer en pure perte sur le levier lui-même un gros effort. Dans les postes Vignier, au contraire, ces efforts intempestifs exercés par des aiguilleurs inattentifs ou inexpérimentés, se traduisent par une fatigue anormale des organes d'enclenchements.

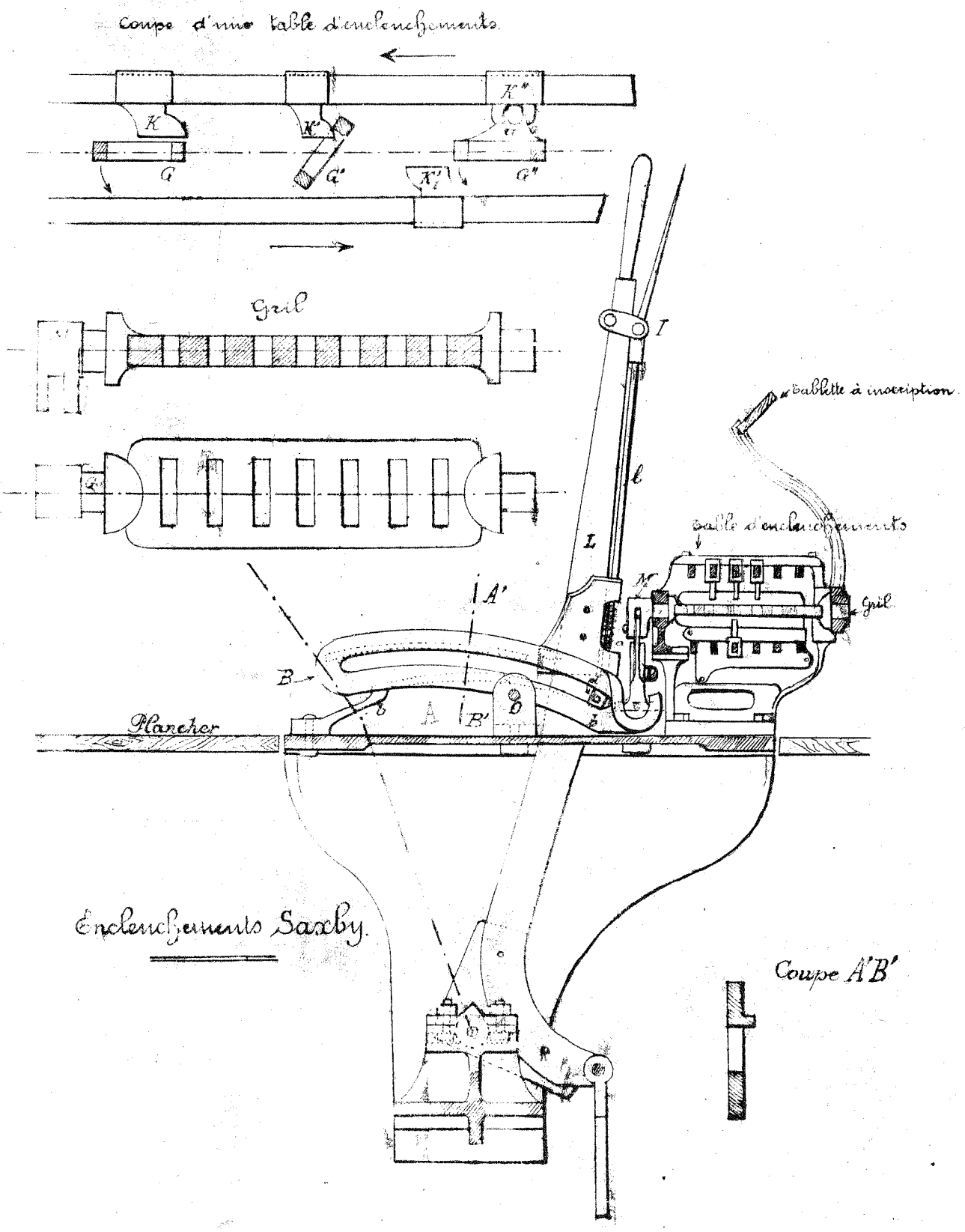
Les leviers Saxby, disposés sur le bâti, à une distance invariable (de 127 m/m) les uns des autres portent au dessous de leur axe de rotation un prolongement relié directement à la transmission funiculaire ou à la transmission rigide de l'appareil de voie ou du signal qu'ils commandent. Ils sont, d'autre part, rendus solidaires de la table d'enclenchements disposée horizontalement en avant d'eux, en cette solidarité est réalisée pour

chacun des leviers par un ensemble d'organes que nous allons décrire maintenant.

En avant et à la partie supérieure de chaque levier I se trouve une poignée ou manette à ressort articulée en I en actionnant une tige l qui peut glisser le long du levier lui-même dit L ; un ressort placé à la partie inférieure tend à ramener cette tige vers le bas, de sorte que, lorsqu'on cesse d'actionner la manette en fin de course du levier, l'extrémité de la tige vient se loger dans l'un des deux crans d'arrêt b ménagés aux deux extrémités d'un secteur fixe A qui sert à guider le levier.

Lorsqu'on applique au contraire la manette contre le levier, la tige l, en même temps qu'elle se dégage du cran d'arrêt, fait remonter un coulisseau d. Sous l'action de ce coulisseau, un balancier B en forme de coulisse, oscille d'un petit angle autour d'un axe a situé en avant de la verticale de l'axe du levier lui-même, en prend une position telle que la coulisse du balancier devient concentrique au secteur fixe du levier. Le levier peut alors effectuer sa course, pendant laquelle le coulisseau maintient le balancier (étroitement solidaire comme on le verra, des organes d'enclenchement) dans cette position provisoire concentrique au secteur fixe. En fin de course du levier, la tige de la manette sollicitée par le ressort, retombe d'elle même dans le cran d'arrêt opposé du secteur en fait basculer en sens inverse le balancier B, qui libère alors seulement les organes d'enclenchement.

L'extrémité avant du balancier actionne, par l'intermédiaire d'une bielle D et d'une manivelle M, une pièce tournant autour d'un axe horizontal et qu'on appelle le gril



Enclenchements Saxby.

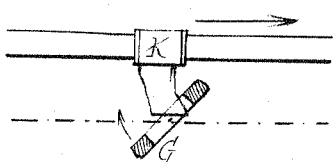
Coupe A'B'

à cause de son aspect caractéristique aux parties pleines avec des fenêtres régulièrement espacées. C'est la pièce fondamentale au point de vue de l'enclenchement ; elle occupe, au repos, c'est à dire lorsque le levier et son balancier sont à fond de course dans la position normale, un plan horizontal, au-dessus ou au-dessous duquel peuvent se déplacer sans difficulté des taquets K K' K'1 actionnés par des barres d'enclenchement horizontales solidaires de certains leviers dits enclencheurs.

Si un ou plusieurs taquets, tels que K, se trouvent vis à vis de parties pleines d'un gril G, ce dernier ne peut prendre aucun mouvement appréciable autour de son axe et dès lors, par l'intermédiaire du balancier, la manette — et a fortiori le levier lui-même — sont enclenchés.

Rien n'empêche au contraire, dans l'exemple de la figure, de manœuvrer les leviers solidaires des grils G' et G", car les taquets K' et K'1 sont découpés de manière à laisser tourner le gril, en restant l'un dans l'intérieur d'une des fenêtres, l'autre à l'extérieur du gril.

Lorsqu'on renverse un levier enclencheur, tel que G", un petit bouton a faisant saillie sur le gril entraine un taquet échancré K" fixé à demeure sur la barre d'enclenchement. Celle-ci se déplace alors de 4 cm. 8 dans un plan perpendiculaire aux grils et provoque le déplacement des taquets enclenchés tels que K en K' : on voit, par exemple que après ce mouvement du levier G", le taquet K vient se placer dans la fenêtre du gril G. Le levier G peut alors être manœuvré. G" > G.



Mais inversement, dès que G a été renversé, le gril G retient le taquet K et empêche la barre d'enclenchement de G" de revenir en

arrière dans le sens de la flèche. On a donc :

$$\overline{G} > \overline{G''}$$

Le mouvement des grilo en des barres d'enclenchement est ainsi amorcé — si la chose est possible — dès qu'on déplace la manette en le balancier, arrêté pendant la course du levier lui-même en terminé seulement après complet achèvement de la course du levier. On en déduit les points suivants :

1° dès que l'aiguilleur en portant la main sur l'une des manettes marque son intention de manœuvrer un levier déterminé, tous les enclenchements qu'il doit provoquer interviennent à l'avance,

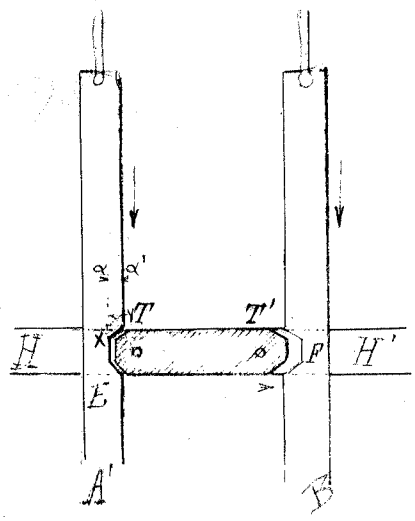
2° au contraire, les enclenchements qui doivent disparaître ne cessent d'agir qu'après achèvement complet de la course du levier.

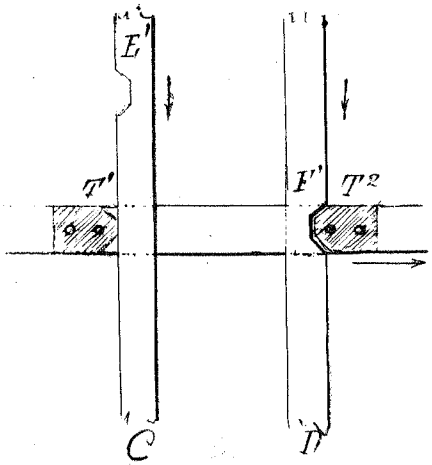
Ces résultats qui sont obtenus par le jeu du balancier et d'organes d'enclenchements ajustés avec une grande précision, sont un intérêt de tout premier ordre au point de vue de la sécurité en expliquent que le système Saxby & Farmer ait été généralement appliqué, dans en Angleterre que sur le Continent, à tous les postes d'enclenchements importants.

Système d'enclenchement Stevens. — Dans le système Stevens, la table d'enclenchement, installée dans un plan vertical tient relativement peu de place. C'est exclusivement un système d'enclenchement qui peut s'adapter à un type quelconque de leviers de manœuvre en cabine, pourvu que ceux-ci soient groupés sur une même ligne. On l'a adapté, en particulier, aux cabines à transmissions fluides ; en Angleterre, aux cabines à transmissions pneumatiques à basse

traction, de même qu'à Ermont (réseau du Nord), en France aux cabines hydrodynamiques. Chez le réseau du Nord, une adaptation en a été faite, dans les cabines d'Axby, pour réaliser des enclenchements conditionnels entre 3 leviers en plus.

Chacun des leviers de la cabine actionne une barre verticale qui glisse sur elle-même, guidée par des supports en fonte qui ne lui permettent que des déplacements verticaux. Levier A Levier B Ces barres verticales sont pourvues d'échancrures hémi-hexagonales dans lesquelles peuvent pénétrer, suivant les cas, des taquets plats TT' découpés en demi-hexagone à leur extrémité. Ces taquets sont fixés en bonne place, au moyen de vis, sur des barres horizontales HH', assujetties par des guidages à prendre exclusivement des déplacements horizontaux d'amplitude très petite aa' en glissant dans un plan vertical postérieur à celui des barres verticales.





Ceci posé, si on examine la figure ci-contre, on conçoit que si la barre A', solidaire du levier A, effectue sa course de haut en bas, la traction exercée sur l'arête XY de l'échancrure suffira pour chasser vers la droite le taquet dans l'échancrure du levier B, en assurant l'enclenchement : $A > B$

Au contraire, si on avait pris l'initiative de renverser B, au lieu de A, l'échancrure F ne se trouvant plus vis à vis du

taquen T' le taquen T aurait rendu impossible tout mouvemenn du levier A en on aurait eu :

$$\overline{B} > \underline{A}$$

La seconde figure montre commenn, dans ce syotème, on peun réaliser l'enclenchemenn :

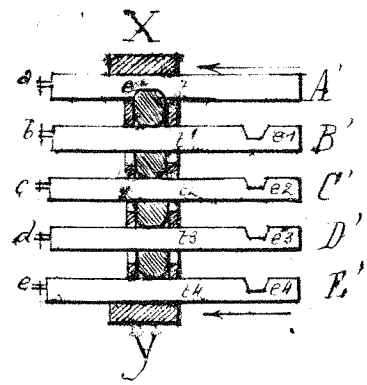
$$\underline{C} > \underline{D} \text{ en sa réciproque } \overline{D} > \overline{C}$$

On voin qu'avec des combinaisons simples de taquets en d'encoches on peun réaliser tous les enclenchements binaires.

Le dispositif ci-contre montre commenn une variante a pu être utilisée (même dans les grandes cabines d'axby du Chemin de fer du Nord) pour réaliser certains enclenchements conditionnels de la forme :

$$(AR, BN, CN, DN, EN) \text{ ou } (\overline{A}, \underline{B}, \underline{C}, \underline{D}, \underline{E}).$$

incompatibilité qui signifie que le levier A ne peun être renversé que si un des leviers B, C, D ou E a été renversé au préalable.



Des prolongements articulés aA', bB' etc., des barres d'enclenchements A, B, etc., de la cabine d'axby peuvenn coulisser dans une boîte horizontale Xy.

On voin que dans la position normale des leviers B, C, D, E, le taquen t ne peun sortir de l'encoche en maintienn la barre d'enclenchemenn du levier A dans sa position normale.

Si on renverse l'un des leviers B, C, D, E, le levier D' par exemple, l'encoche e_3 vienn se placer vis-à-vis du taquen t_3, qui peun pénétrer dans cette encoche en donnan à l'ensemble des petites barres articulées bB', cC' en des taquets $t_1 t_2$, un jeu suffisann pour que le taquen t puisse dégager l'encoche e sous

l'action du levier solidaire de la barre de A'

On a alors, après renversement du levier A :

$$(\overline{A}.\underline{B}.\underline{C}.\underline{E}) > \overline{D}$$

Tableaux synoptiques. — L'ensemble des enclenchements réalisés dans un même poste peut se résumer dans un tableau synoptique qui donne sur une même ligne horizontale, pour chacun des leviers (A) du poste :

1° dans une 3e colonne, ceux des leviers qui sont enclenchés dans

N° des leviers	Désignation des leviers	Leviers enclenchés normalement et qui sont dégagés par ceux de la 1ère colonne renversés	Leviers libres normalement et qui sont enclenchés par ceux de la 1ère colonne renversés	Leviers renversés au préalable et enclenchés par ceux de la 1ère colonne renversés
1	Aiguille	5	4. 6.	
2	Aiguille	7.	6.	
3	Indicateur 1ère vers Mouscron			6.
4	D. d'arrêt vers Calais p. Mouscron		1.	
5	— D° — D° pour Lille			1.
6	— D° vers Mouscron p. Calais	3.	1 2.	
7	— D° vers Lille p. Calais	10.		2.
8	Ind. tournant vers Calais	enclenché conditionnellement non enclenché		
9	Disque à dist. vers Mouscron			7
10	Ind. tournant vers Lille		non enclenché	
11	D. à Sortance vers Lille		non enclenché	
12	— D° — vers Calais			

Enclenchements conditionnels
(Positions rendues incompatibles)

$(8R - 4N.5N.)$

leur position normale, tandis que le levier (A) indiqué dans la colonne 1 n'est pas renversé (enclenchements de la forme $\underline{A} > \underline{B}$) ;

2° dans une 4e colonne, ceux des leviers qui sont enclenchés dans leur position normale lorsque A est renversé (enclenchements

de la forme $\overline{A} > \underline{C}$).

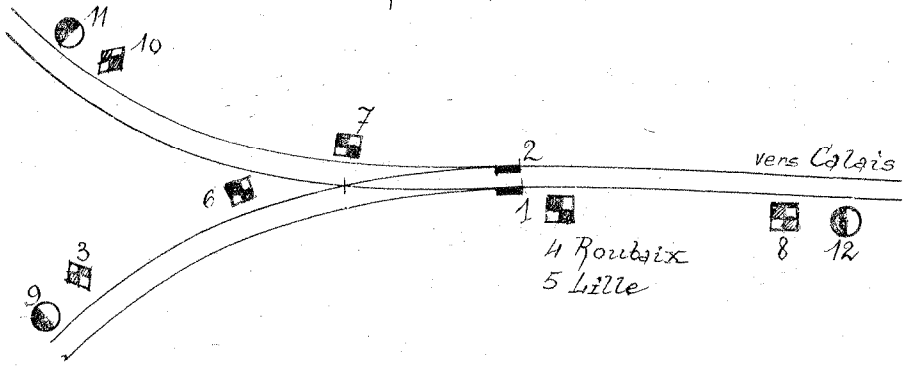
3° dans une 5e colonne, ceux des leviers qui doivent être renversés au préalable pour que A puisse lui-même être renversé (enclenchements de la forme $\overline{A} > \overline{D}$).

On complète, s'il y a lieu, ce tableau synoptique des enclenchements binaires par l'indication, sous forme d'incompatibilités, des enclenchements conditionnels, existant entre groupes de 3 leviers en plus. Exemple d'enclenchement conditionnel :

$$(AR, BN, CN, DN, EN) \text{ ou } (\overline{A}.\underline{B}\,\underline{C}\,\underline{D}.\underline{E}.)$$

dont nous avons indiqué un mode de réalisation, il y a un instant.

Détermination des enclenchements. — Examinons sur un exemple simple comment on détermine les enclenchements à réaliser dans un poste de concentration.



Le schéma ci-contre représente une bifurcation de double voie, dont tous les leviers de manœuvre sont concentrés dans un poste d'enclenchements. C'est à ce cas particulier que s'applique précisément le tableau synoptique reproduit précédemment :

La bifurcation est défendue sur chacune des 3 branches par une succession de signaux que nous avons envisagée en, en particulier, par un signal carré à damier rouge et blanc précédé d'un damier vert et blanc.

Tandis que les signaux carrés d'arrêt absolu 6 et 7 des branches convergentes n'ont qu'un levier unique chacun, le signal carré d'arrêt absolu 4-5 du tronc commun, qui doit s'ouvrir pour autoriser le passage sur l'une ou l'autre des branches est manœuvré, suivant la position donnée au préa-

table à l'aiguille 1, par l'un ou l'autre des leviers 4 ou 5.

Chacun des leviers de signaux carrés 4, 5, 6 ou 7 enclenche, lorsqu'il est renversé, une combinaison distincte des aiguilles 1 ou 2. Il faut, en effet, que l'ouverture du signal carré fige les appareils de voie dans une position déterminée ; c'est ce que nous avons appelé les enclenchements de route. A ce point de vue, le levier 6 renversé doit nécessairement enclencher l'aiguille 2 dans sa position normale. Il faut toutefois obtenir par surcroît la garantie qu'un mouvement écarté ne viendra pas du tronc commun ; c'est pourquoi on impose en outre l'enclenchement :

$$\overline{6} > \underline{1}$$

qui constitue ce que nous avons appelé un enclenchement de protection.

Le tableau indique, en outre, les enclenchements binaires :

$$\overline{3} > \overline{6} \quad \text{et} \quad \overline{5} > \overline{7}$$

qui obligent l'aiguilleur à maintenir fermé l'indicateur tournant à damier vert et blanc de l'une des deux branches tant que le signal carré d'arrêt absolu correspondant n'a pas été ouvert.

En ce qui concerne l'indicateur tournant à damier vert et blanc, installé du côté du tronc commun, un enclenchement conditionnel : $(\overline{6}\,\underline{F}, \overline{4}\,\underline{N}, \overline{5}\,\underline{N})$ empêche de l'ouvrir tant que l'un des leviers multiples du signal carré 4-5 n'a pas été renversé.

Leviers multiples. — Quand un signal carré précède un nombre n d'aiguilles en pointe susceptibles d'être empruntées dans l'une ou l'autre de leurs positions, l'effacement du signal doit pouvoir se produire pour $n+1$ mouvements distincts, avec des enclenchements différents dans chaque cas.

Que le signal soit à $n+1$ palettes superposées ou qu'il ait un voyant unique comme c'est le cas le plus général, on peut le munir de leviers multiples correspondant chacun

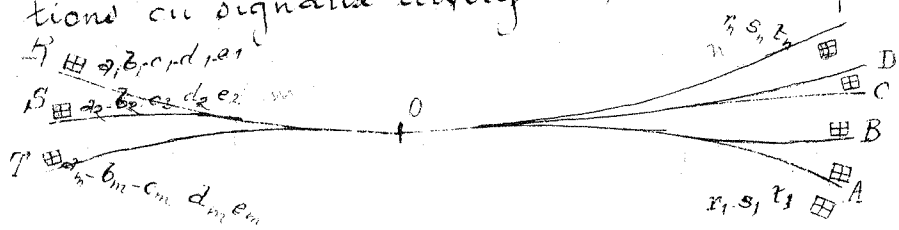
à une direction déterminée.

Dans les postes de concentration que commandent de très nombreux appareils de voie, la multiplicité des trajets possibles vient alors compliquer les enclenchements en augmenter le nombre des leviers en service.

La solution qui consiste à munir de *leviers multiples*, caractérisés chacun par des enclenchements de route différents, ceux des signaux carrés qui peuvent être l'origine de trajets distincts fut employée tout d'abord. Elle permettait de résoudre le problème au moyen d'enclenchements binaires en évitant donc la complication d'enclenchements conditionnels.

En revanche, elle avait l'inconvénient de multiplier dans une grande proportion le nombre des leviers de signaux en, par suite, d'augmenter la longueur des batteries de leviers en leur prix de revient en d'allonger le chemin journalier très notable parcouru dans la cabine par un aiguilleur pour se rendre d'un levier à l'autre.

Si dans la zône d'une cabine commandant, à l'amont, m directions convergentes en à l'aval n directions ou signaux divergents, on veut permettre tous les mouvements possibles d'une provenance quelconque sur l'une quelconque des directions opposées



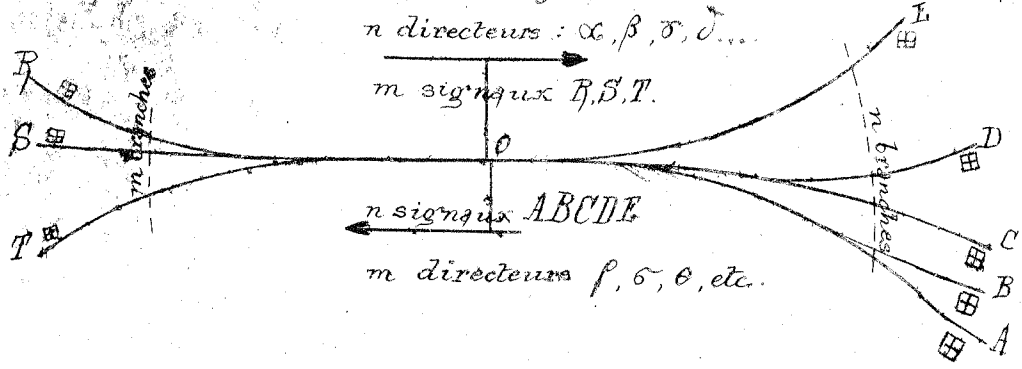
chacun des m signaux d'amont doit avoir n leviers multiples actionnant un même voyant de signal en chacun des n signaux d'aval doit avoir m leviers multiples, ce qui donne en tout :

$$(m\,n + n\,m) \text{ ou } 2\,m\,n$$

leviers de signaux auxquels

s'ajoutent de nombreux leviers d'aiguilles, verrous, etc..

Leviers directeurs. — Pour éviter cette multiplication rapide des leviers de signaux dans les grandes cabines, la maison Saxby en Farmer a recouru d'assez bonne heure à l'emploi de leviers spéciaux dits leviers directeurs qui n'ont aucune action sur les voyants des signaux, mais synthétisent les enclenchements de certaines parties de trajet communes à plusieurs mouvements, les leviers de signaux n'intervenant plus pour assurer



les enclenchements des parties de trajet affluant à ces troncs communs. Pour chacune des n branches divergentes, OD par exemple, 1 levier directeur (δ) sera pourvu de tous les enclenchements afférents au trajet OD. Le point fictif O du tronc commun est dit point d'application des leviers directeurs.

Chacun des m signaux de départ des branches R, S, T, au lieu d'être actionné par n leviers, comme dans le cas du système des leviers multiples, n'aura plus qu'un seul levier, ce levier R, par exemple, assurant les enclenchements de convergence du trajet RO.

Ces enclenchements suffiront, s'ils sont complétés par des enclenchements conditionnels, obligeant à renverser l'un quelconque des leviers directeurs α, β, γ, etc. — avant de renverser l'un quelconque des leviers R, S, T — ouvrant l'un des signaux.

Avec cette combinaison de leviers directeurs, on aura pour le sens ⟶ : m leviers de signaux + n leviers directeurs.

pour le sens inverse, il suffirait de même de :

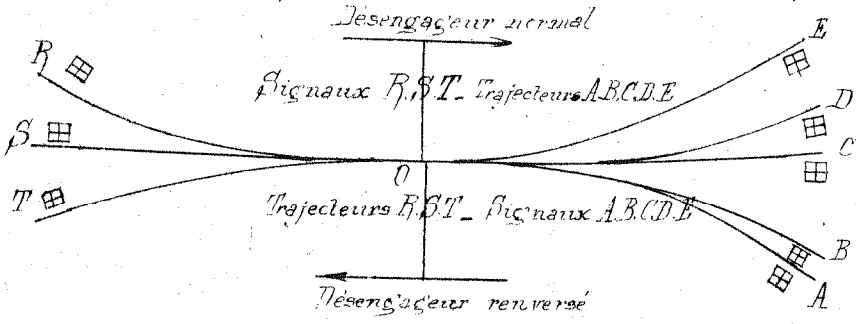
n leviers de signaux $+ m$ leviers directeurs.

soit en tout $2(m+n)$ leviers, suffisant pour remplacer les $2mn$ leviers de signaux du système des leviers multiples.

Pour une cabine commandant seulement, d'un côté 3 directions, de l'autre 5 faisceaux ou voies à quai, l'application du principe des leviers directeurs, permet de gagner :

$2 \times 3 \times 5 - 2(3+5) = 14$ leviers de signaux, le nombre des leviers commandant les appareils de voie restant identique.

Leviers trajecteurs. — Dans l'exemple précédent, on peut remarquer que le levier directeur δ, afférent à la branche OD,



qui n'est, on se le rappelle, qu'un organe d'enclenchement n'actionnant aucun appareil de voie ou signal, comporte tous les enclenchements des aiguilles du trajet OD, c'est-à-dire les mêmes enclenchements de route que le levier du signal D qui s'adresse au mouvement de sens inverse sur le même trajet DO.

On a eu l'idée, au Chemin de fer du Nord, de faire jouer à volonté à chacun des n leviers de signaux A, B, C, D, E qui caractérisent le trajet sur chacune des n branches $OA, OB \ldots OE$, le rôle de leviers directeurs de destination pour les mouvements de sens inverse. Les n leviers directeurs $\alpha\ \beta\ \gamma\ \delta$ de sens ⟶ sont alors supprimés ou remplacés par les leviers A, B, C, D, E, (ce qui permettrait d'économiser n leviers) ; mais pour que, dans ce cas, le levier A, B, C, D ou E devenu levier trajecteur ne puisse ouvrir le organe du signal, alors que l'un des signaux de sens inverse $R.S.T.$ pourrait être ouvert, un enclen-

chemin supplémentaire oblige à renverser un levier unique du levier désengageur qui coupe la transmission des voyants des signaux A,B,C,D,E.

Pour exécuter un mouvement de S vers D, il faudra par exemple, ayant de renverser le levier S qui ouvre le signal, avoir renversé le levier désengageur des signaux du sens opposé ou le levier D jouant alors le rôle de trajecteur, c'est-à-dire de simple organe d'enclenchement.

Si, dans le cas théorique qui nous occupe, on fait jouer également aux m leviers des signaux R,S,T, le rôle des leviers trajecteurs (ce qui permet de gagner encore m leviers directeurs) il suffira d'un levier désengageur unique, dûment enclenché avec des leviers de signaux en qui désengagera soit le groupe des signaux d'amont A,B,C,D,E soit le groupe des signaux d'aval R,S,T, suivant qu'il sera en position renversé ou en position normale.

En comptant le désengageur supplémentaire l'application du principe des trajecteurs au cas théorique considéré permettrait de réduire à : $m+n+1$ le nombre des leviers de signaux qui était de $2mn$ dans le système des leviers multiples ou de $2(m+n)$ dans le système des leviers directeurs.

Dans une cabine à leviers trajecteurs, un même mouvement fait donc intervenir un trajecteur de provenance (S.O. par exemple), un trajecteur de destination (OD) et un désengageur jouant le rôle d'inverseur.

Suivant les mouvements à effectuer, les mêmes leviers sont suivant le cas trajecteurs de provenance ou de destination; leur but est de préparer et fixer les enclenchements du trajet tandis que le désengageur ou inverseur détermine le sens

du mouvement sur le trajet ainsi défini.

Par le système des trajecteurs, appliqué pour la première fois en 1898 à l'occasion de la réfection de la gare de Paris-Nord, en complétant par un classement rationnel des leviers en cabine suivant leur fréquence d'emploi, on avait obtenu pour les grandes cabines Saxby le summum des simplifications possibles dans le travail des aiguilleurs.

Cabines à transmissions fluides. — Pour alléger davantage le travail physique des aiguilleurs, on poursuivit sur plusieurs réseaux de France et de l'étranger la création de manœuvres automatiques des appareils de voie à l'aide de moteurs individuels installés à pied d'œuvre et dont le mouvement était provoqué, au gré de l'aiguilleur, par une transmission fluide (conduite d'air comprimé, électricité ou eau sous pression). Quel que soit le fluide moteur adopté chaque appareil de voie doit comporter un dispositif de contrôle *impératif* en retour qui donne l'assurance que l'appareil a effectué sa course *complète* en conformité avec l'impulsion donnée par le levier actionné.

Sur le réseau du Nord, on a donné la préférence à l'eau sous pression, en ayant aussi à l'air comprimé à basse pression.

Dans les cabines à trajecteurs fluides d'Ermont (air comprimé à basse pression), comme dans celles d'Armentières et de Valenciennes (eau sous pression), on est allé plus loin dans la voie des simplifications pour le travail des aiguilleurs, en supprimant les manettes individuelles des aiguilles. L'aiguilleur n'actionne donc plus en cabine que des manettes ou leviers trajecteurs en des nombres réduits. La manette "trajecteur", au lieu de constituer seulement un organe d'enclenchement pour les

leviers d'aiguille (comme dans les cabines Saxby à trajecteurs en même dans les premières cabines hydrodynamiques installées à Amiens et à Figeac), provoque la manœuvre de toutes les aiguilles intéressées en leur contrôle impératif en retour. La manette "trajecteur" ne peut être amenée à fond de course — ce qui est indispensable pour que "l'inverseur" soit désenclenché et puisse ouvrir le signal — qu'autant que les contrôles impératifs de tous les appareils de voie ont agi.

Cabines hydrodynamiques. — Une cabine hydrodynamique (comme celle de Figeac par exemple) comporte essentiellement :

1° des *accumulateurs hydrauliques* dans lesquels l'eau est refoulée et emmagasinée sous une pression de 50 atmosphères par des pompes actionnées par des dynamos.

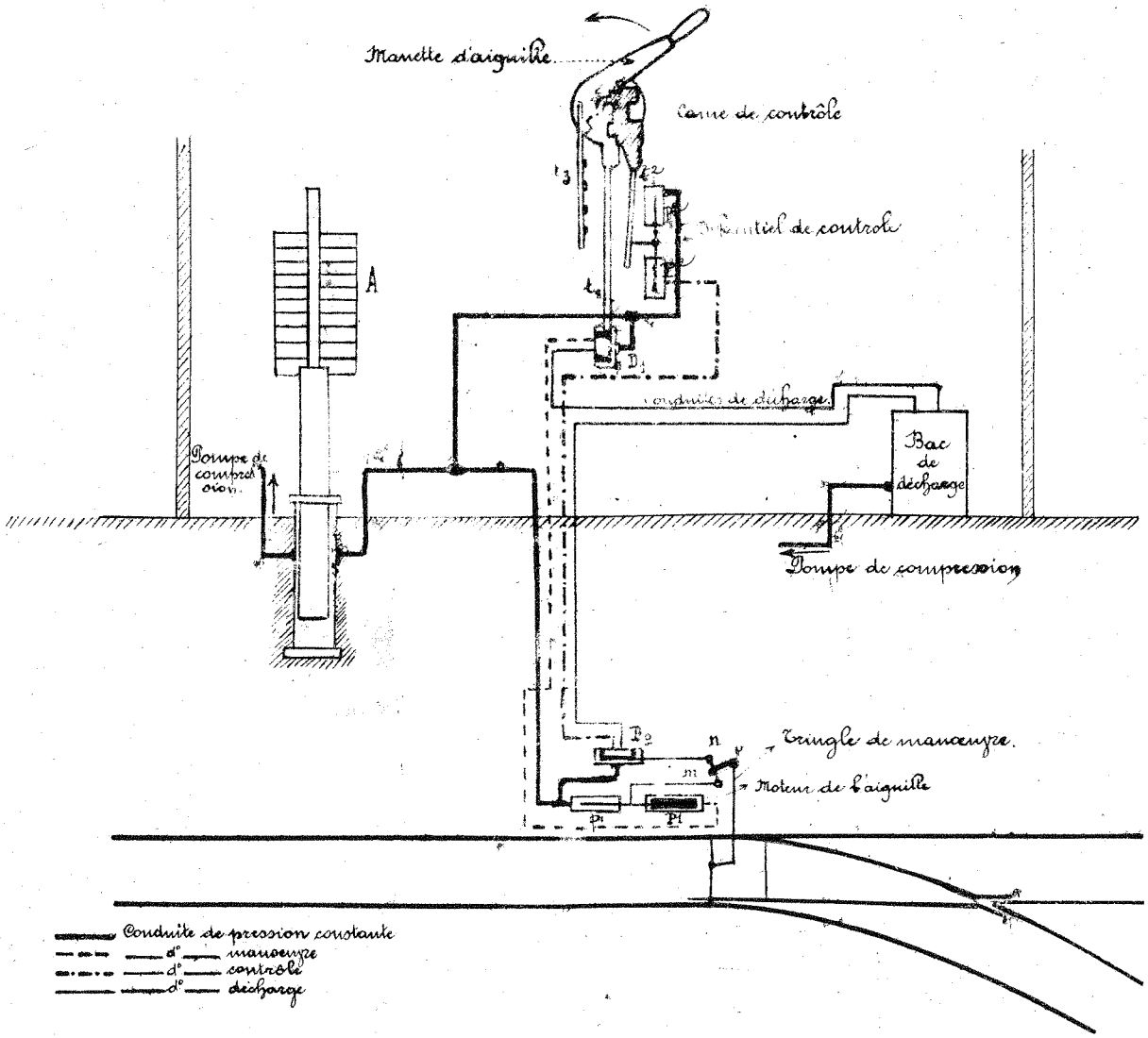
2° de petits leviers ou *manettes* qui commandent par des tiges verticales des *distributeurs de manœuvre* (tiroirs de distribution de l'eau sous pression jouant le rôle de relais pour la manœuvre des appareils de voie ou des signaux) ; les manettes sont enclenchées entre elles dans un plan vertical par application du système Stevens, que nous avons envisagé précédemment.

3° des *moteurs* actionnent individuellement par tringles rigides ou par fil les appareils de voie ou les signaux — ces moteurs sont mis alternativement en pression ou en décharge par le jeu des distributeurs de manœuvre ;

4° des *dispositifs* de contrôle en retour avec, comme organe de commande automatique un distributeur de contrôle (tiroir analogue à celui des distributeurs de manœuvre) qui fonctionne lorsque l'appareil de voie déterminé

arrive effectivement à fond de course.

Les dynamos qui commandent les pompes sont mises en marche et arrêtées automatiquement par l'intermédiaire de rhéostats manœuvrés en fin de course par les accumulateurs eux-mêmes. L'eau est refoulée par les pompes dans le bac de décharge,

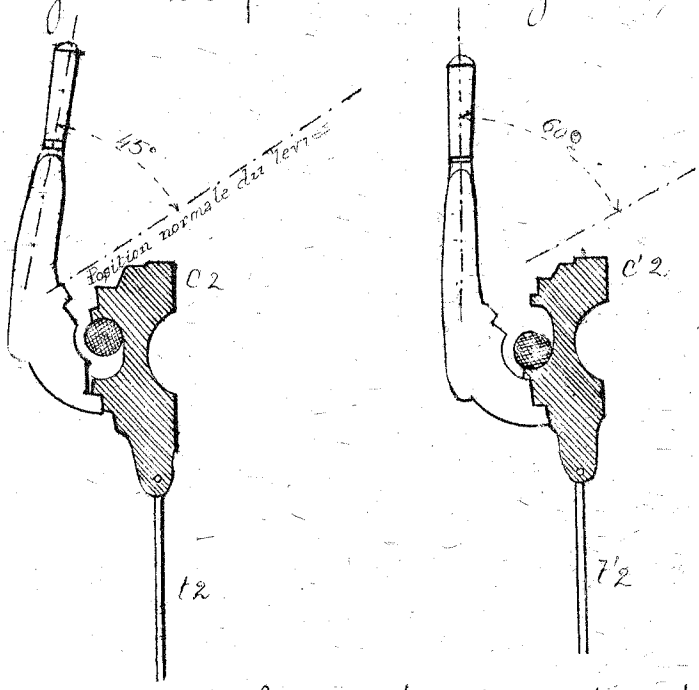


où elle se rend directement par petites fractions lorsque les distributeurs mettent hors pression en sont communiquer avec la décharge, soit les conduites de manœuvre, soit les conduites de contrôle. Pour éviter les effets de la gelée, l'eau est additionnée d'une certaine quantité de glycérine.

Les moteurs des aiguilles sont à double effet et placés immédiatement auprès de voie qu'ils doivent actionner. Ils

consistent en un couple de pistons différentiels : la pression de l'accumulateur agit constamment sur le petit piston p_1 ce qui tend constamment à maintenir l'aiguille dans sa position normale. Dans la situation normale, au contraire, la conduite $D_1 P_1$ qui aboutit au grand cylindre est mise en décharge par le tiroir du distributeur de manœuvre D_1.

Lorsque l'aiguilleur manœuvre la manette, la tige t_1 fait descendre le tiroir du distributeur D_1 et, la lumière de la conduite de manœuvre $D_1 P_1$ étant alors démasquée par le tiroir, la pression constante de l'accumulateur qui était arrêtée en D_1 peut atteindre le moteur derrière le grand piston P_1. Les deux pistons p_1 et P_1 étant à ce moment sous l'influence d'une même pression, c'est le piston P_1 qui l'emporte à cause de sa plus grande surface et qui actionne la tringle m et par suite l'aiguille elle-même.



Cependant la manette, après avoir décrit un angle de 45° ne peut achever sa course, car sa partie inférieure se heurte contre un cran d'une came de contrôle (représentée en hachuré). Pour que la manette achève sa course complète (60°) et puisse prendre la position verticale, il faut que la came de contrôle ait pu remonter de la position C_2 à la position C'_2, mouvement qui s'opère sous l'action du différentiel de contrôle que constituent le couple de pistons différentiels $p_2 P_2$.

A cet effet, une tige $n D_2$ qui participe au mouvement de

l'aiguille produit, pendant les 10 derniers millimètres de la course de l'aiguille, le déplacement d'un tiroir de distribution D_2, dit *distributeur de contrôle*. Dans ce mouvement, qui atteste d'une manière précise la fin de la course de l'aiguille, l'eau sous pression peut agir dans la conduite $D_2 P_2$, et l'action du piston P_2 de plus grande surface l'emporte alors sur celle du piston p_2 pour faire remonter la came de contrôle, en permettre à l'aiguilleur d'achever en un deuxième temps la course de la manette.

Lorsque l'aiguilleur ramène la manette en sens inverse, on observe les phases suivantes : la manette peut parcourir un angle de 45° après quoi elle est arrêtée par la partie supérieure de la came de contrôle ; pendant qu'elle parcourt l'intervalle de 30° à 45°, le tiroir du distributeur de manœuvre D_1 étant venu, d'abord obturer la lumière de la conduite de manœuvre $D_1 P_1$, puis mettre celle-ci en communication avec la conduite de décharge, la pression de l'accumulateur n'agit plus derrière le grand piston P_1 ; le petit piston p_1 sur lequel s'exerce constamment la pression de l'accumulateur l'emporte donc et ramène l'aiguille dans sa position normale. En fin de course de l'aiguille, le distributeur de contrôle D_2, se déplaçant lui-même en sens inverse, met la conduite de contrôle $D_2 P_2$ en communication avec la conduite de décharge et le petit piston p_2, soumis d'une façon constante à la pression de l'accumulateur, fait descendre l'ensemble des pistons du différentiel de contrôle et par suite la came de contrôle. L'aiguilleur peut alors achever la course de la manette.

C'est dans les deux positions de la manette à fond de course que la barre verticale z_3, solidaire de cette manette, libère les enclenchements convenables. D'autre part, c'est dès le début

de la course de la manette que la barre verticale t3 produit tous les enclenchements utiles.

Les moteurs des signaux sont à simple effet, en logés dans le sous-sol de la cabine. L'eau sous pression admise par le tiroir de distribution lorsque la manette atteint la moitié de sa course (30°) arrive à la partie inférieure du cylindre sous un piston qui se trouve alors soulevé en exerce une traction sur le fil du signal. Lorsque le distributeur de manœuvre effectue son mouvement inverse, il met en communication la conduite de manœuvre avec la décharge, et l'action du contrepoids s'ajoute au poids du piston lui-même pour faire retomber celui, en même temps que le signal se referme.

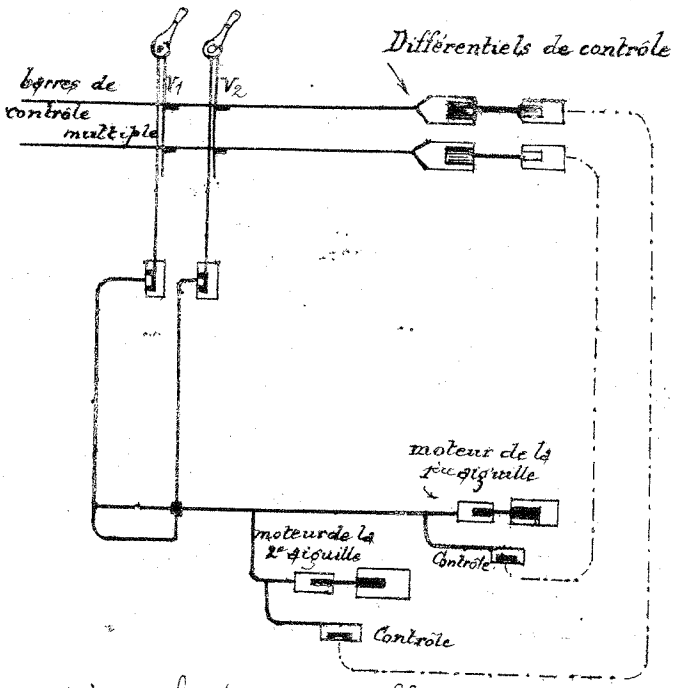
Au moteur de chaque aiguille aboutissent en résumé 4 conduites distinctes : 1° une conduite de pression constante qui se ramifie en deux pour agir sur le petit piston p_1 du moteur, d'une part, sur le distributeur de contrôle d'autre part ; 2° une conduite de manœuvre $D_1 P_1$ qui est mise alternativement en charge ou en décharge par le distributeur de manœuvre ; 3° une conduite de contrôle $D_2 P_2$ qui est alternativement mise en charge ou en décharge à la fin de la course de l'aiguille ; 4° une conduite de décharge qui va du distributeur de contrôle au bac de décharge.

Cabines hydrodynamiques à trajecteurs et à contrôles multiples. Dans ce système, appliqué comme nous l'a vons dit à Armentières et à Valenciennes, il n'y a plus de manettes individuelles intéressant exclusivement les appareils de voie, mais seulement des manettes "trajecteur" dont l'action provoque la manœuvre de toute une série d'aiguilles et des manettes "inverseur" qui provoquent l'ouverture du signal dans un sens ou dans l'autre.

Les enclenchements doivent se réduire alors à empêcher

les convergences dangereuses entre les trajecteurs, à obliger à manœuvrer certains trajecteurs avant d'actionner les inverseurs et enfin à enclencher entre eux les inverseurs d'un même faisceau.

Quant au contrôle multiple, il est réalisé comme suit : le différentiel de contrôle de chacune des aiguilles, au lieu d'agir directement sur une came de contrôle, est disposé de manière à déplacer longitudinalement une barre horizontale d'une table d'enclenchement supplémentaire ; cette barre horizontale est munie de taquets qui enclenchent ou non, les barres verticales V_1 V_2 des cames de contrôle des manettes "trajecteur". Il existe donc, en réalité, une deuxième série d'enclenchements subordonnant la mise à fond de course d'une manette "trajecteur" quelconque à l'obéissance et au contrôle impératif des aiguilles du trajet considéré.

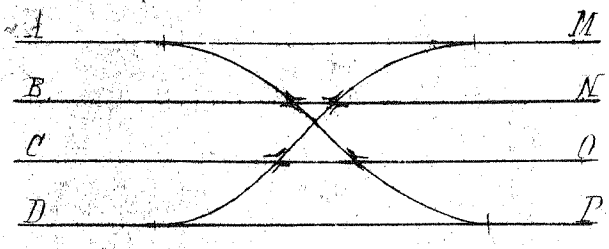


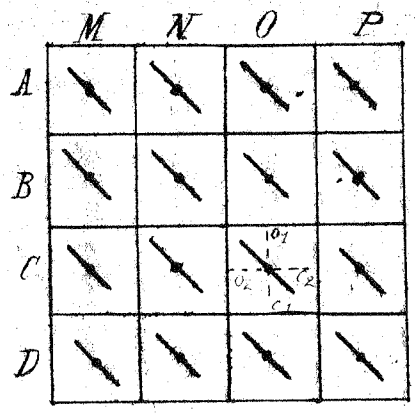
Dans ce système de trajecteurs hydrodynamiques à contrôles multiples, l'aiguilleur a à manœuvrer en général pour chaque mouvement 2 trajecteurs et un inverseur.

Autocombinateur MDM. — Le groupement en cabine dit "autocombinateur MDM", de création toute récente, a pour but de simplifier davantage encore et de réduire au minimum l'effort d'esprit exigé de l'aiguilleur pour déterminer quelle est la manette unique qu'il devra actionner pour préparer et autoriser le passage sur un trajet considéré.

L'appareil de manœuvre en cabine, de très petites dimensions

se compose d'une série d'éléments parallélipipédiques dont la face avant est un carré de 12 centimètres de côté seulement. Autour du centre de chacun carré se trouve mobile une poignée disposée normalement suivant la diagonale du carré. Lorsqu'on amène l'une de ces poignées, soit dans la position verticale $o_1 c_1$, soit dans la position horizontale $o_2 c_2$, on détermine, d'une part, dans un plan situé immédiatement en arrière de celui des poignées, le jeu d'organes d'enclenchement appropriés agissant sur les poignées d'autres mouvements incompatibles, d'autre part, sur la face arrière de l'appareil, le mouvement d'une came ou d'une valve, qui commande la manœuvre de toutes les aiguilles d'un trajet complet CO ou OC et, en dernier lieu, l'ouverture d'un signal C ou O au choix, lorsque tous les appareils de contrôle impératif ont agi.





Une ligne horizontale du damier étant affirente à tous les mouvements qui ont comme origine ou comme point d'aboutissement l'une des voies d'amont A, B, C, etc.. Une colonne verticale étant au contraire affirente à tous les mouvements qui aboutissent à une des voies d'aval M, N, O, etc. l'aiguilleur trouve sans difficulté au point de croisement de la ligne horizontale C et de la colonne O, par exemple, la poignée à actionner en à tourner verticale $o_1 c_1$ pour aller de C vers O, ou horizontale $o_2 c_2$ pour aller de O vers C.

Grâce à cette disposition en table de Pythagore, un agent

quelconque est à même de remplacer sans apprentissage, l'aiguilleur habituel

L'action d'une poignée provoque simultanément la manœuvre à pied d'œuvre de tous les moteurs d'aiguilles intéressés. Le contrôle multiple qui se fait par totalisation est tel que le signal ne s'ouvre qu'après contrôle en retour de toutes les aiguilles ; de plus, si une des aiguilles vient à se déplacer accidentellement après ouverture du signal, celui-ci se referme instantanément.

Les moteurs des appareils de voie et des signaux peuvent être soit électriques, soit hydrauliques, soit pneumatiques. Dans une application faite au Landy, à proximité de la gare de Paris-Nord, les moteurs fonctionnent par l'air comprimé à basse pression.

Enclenchements par serrures Bouré. — Nous venons de voir comment sont réalisés, dans les gares de grande et de moyenne importance, les enclenchements des appareils dont la manœuvre est groupée dans des postes de concentration, où un ou plusieurs aiguilleurs opèrent en permanence.

Dans les petites stations, où le peu de fréquence des manœuvres ne justifiait pas l'installation de postes d'enclenchements coûteux et où les leviers de manœuvre devaient nécessairement rester à pied-d'œuvre pour être actionnés par les agents eux-mêmes, souvent peu nombreux, participant aux manœuvres, la sécurité a reposé uniquement pendant longtemps sur l'observation de consignes. Ces consignes prescrivaient au personnel des manœuvres de subordonner à la mise à l'arrêt des signaux de protection, toute occupation temporaire des voies principales ou toute modification du régime normal des appareils intéressant la circulation sur ces voies (aiguilles, plaques tournantes, taquets d'arrêt).

A partir de 1896, le système d'enclenchements par serrures Bouré permit de matérialiser ces consignes dans les plus petites stations avec une dépense relativement modique.

En principe, l'enclenchement par serrures Bouré subordonne la manœuvre d'un appareil (aiguille par exemple) à celle d'un second (disque à distance par exemple), en les immobilisant chacun par une serrure avec une clé mobile unique qui reste prisonnière dans celle des deux serrures qui est ouverte.

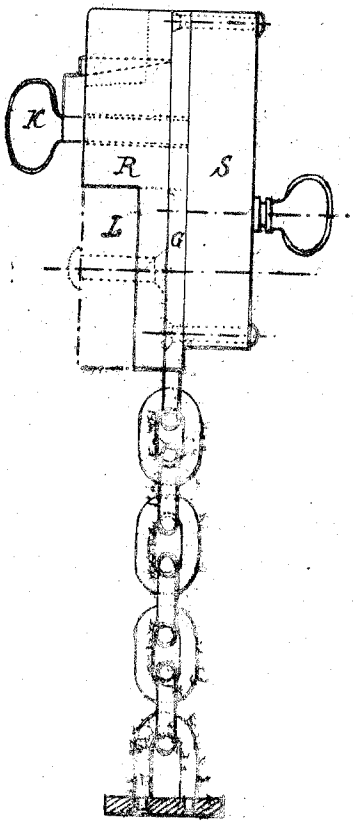
Sur chacun des appareils à enclencher (levier d'aiguille ou de signal, taquet d'arrêt plaque tournante, etc..) est rivée une armature percée d'une alvéole dans laquelle une clé dite clé fixe peut coulisser, mais reste à demeure. D'autre part, une serrure-agrafe est reliée par une chaîne de longueur déterminée au bâti de l'appareil à immobiliser. Si on rapproche la serrure-agrafe de l'armature de manière à les agrafer en si on les rend solidaires en tournant la clé fixe, une manœuvre de pênes libère une clé mobile, qu'on peut alors seulement tourner elle-même pour la dégager de la serrure. L'ensemble de l'agrafe et de l'armature constitue ce qu'on appelle une serrure agencée.

La serrure étant fermée, l'appareil de voie se trouve immobilisé par la chaîne. Le dégagement de la clé mobile matérialise donc l'immobilisation de l'appareil de voie dans une position déterminée.

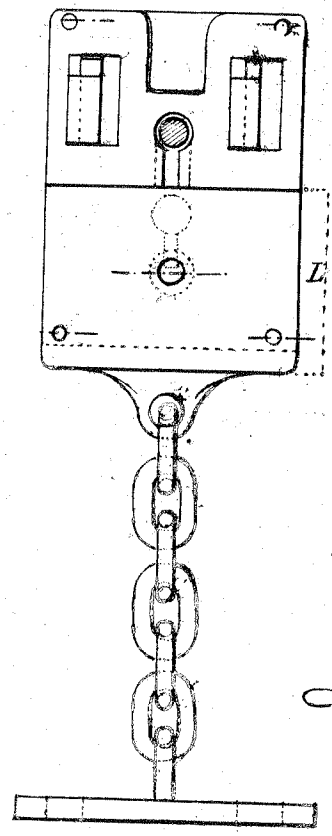
On peut donc faire état de la présence de cette clé mobile sur un autre point, soit pour ouvrir une 2e serrure agencée en libérer directement un 2e appareil qui se trouve ainsi enclenché directement avec le premier, soit pour la faire agir en même temps que plusieurs autres clés sur une serrure centrale pour matérialiser toute une direction avant de libérer un si-

Serrure Bouré.

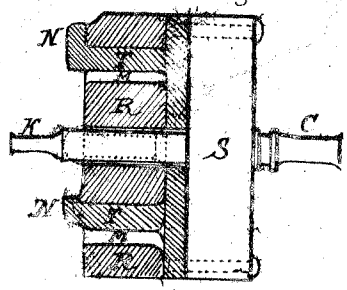
Serrure agencée
Vue de côté



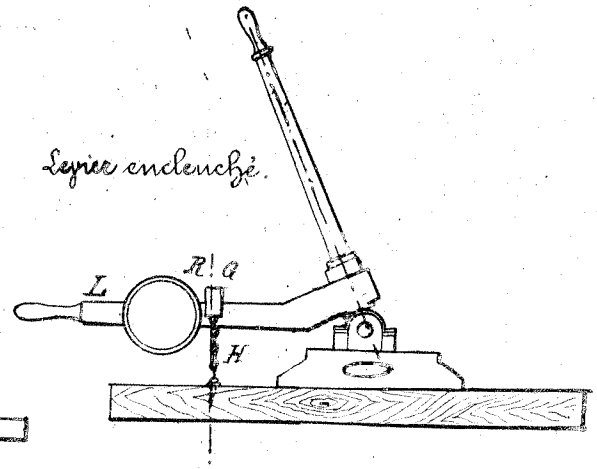
Serrure agencée
Vue de face côté armature



Coupe transversale
de la serrure agencée

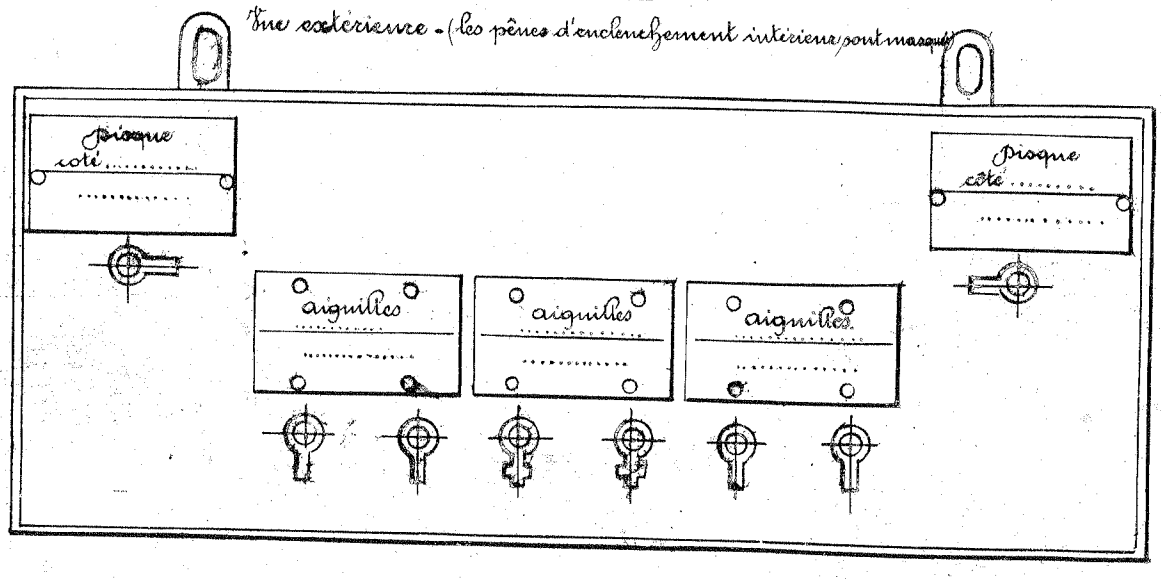


Levier enclenché.



Serrure centrale.

Vue extérieure - (les pênes d'enclenchement intérieurs sont masqués)



gnal (dont la clé mobile est extraite de la serrure centrale).

Dans une serrure agencée, deux pênes disposés à angle droit sont tels que lorsque la clé fixe a tourné d'un angle convenable, la clé mobile peut tourner à son tour en se dégageant du pêne qui la retenait jusque-là prisonnière, inversement, la clé fixe se trouve alors maintenue par le second pêne.

Dans une serrure centrale, la rotation des clés provoque un mouvement de translation de barres à angle droit, qui viennent ou non contrarier le jeu des pênes enclenchant d'autres clés.

L'emploi des serrures centrales rend possibles des combinaisons diverses d'enclenchements composés. De plus, par l'inspection des clés qui se trouvent à un instant déterminé, immobilisées dans la serrure centrale, le chef de station est renseigné sur la situation exacte des appareils de voie disséminés dans le périmètre de la station.

Les clés mobiles d'une même station ont leurs panneton découpés sur des profils différents en constituent des clés de sûreté ; elles sont en bronze. Les serrures elles-mêmes sont en fonte. L'installation des serrures Bouré dans une station est peu coûteuse et d'une réalisation rapide.

Exploitation technique

L'exploitation technique est la branche de l'Exploitation qui concerne le service proprement dit, abstraction faite de la rémunération à en retirer. Elle comprend la circulation des trains désignés par abréviation sous le nom de mouvements, le service des voyageurs et le service des marchandises.

Mouvements

Nature des trains. — Au point de vue de leur composition, les trains sont classés en trains de voyageurs, trains de marchandises et trains mixtes.

Les trains de voyageurs sont spécialement destinés au transport des voyageurs et des marchandises en grande vitesse. Ils ne peuvent comporter plus de 24 voitures (sauf en cas de transports de troupes) et ne doivent, en principe, être remorqués que par une seule machine. En dehors des "trains légers" ils doivent avoir entre le tender et la première voiture à voyageurs au moins un véhicule ne contenant pas de voyageurs, et qu'on utilise pour le transport des bagages et marchandises en grande vitesse. Les véhicules des trains de voyageurs doivent être pourvus du frein continu.

Les trains de marchandises sont spécialement affectés au transport des marchandises. Ils circulent à plus faible vitesse que les précédents et stationnent dans les gares de passage pour prendre ou abandonner des wagons et, le cas échéant permettre le chargement ou le déchargement des colis de détail, c'est-à-dire des expéditions qui n'exigent pas à elles seules l'emploi d'un wagon.

Les trains mixtes sont ceux qui font à la fois le service des voyageurs et celui des marchandises et qui ne sont pas astreints à l'emploi exclusif de véhicules à frein continu. Ces trains sont employés seulement sur les lignes à faible circulation, où le tonnage des marchandises ne justifie pas la circulation de trains spécialisés pour les marchandises en petite vitesse.

Parmi les trains de voyageurs, on distingue: les trains omnibus, qui desservent toutes les stations, les trains directs qui, tout en ne marchant qu'à vitesse modérée, ne desservent pas toutes les stations et font au contraire d'assez longs parcours sans arrêts, les trains express, qui marchent à grande vitesse et ne desservent qu'un petit nombre de stations, et enfin les trains rapides qui sont des express à marche exceptionnelle effectuant de très longs parcours sur les grandes lignes.

Vitesse des trains. — On évalue habituellement la vitesse des trains en kilomètres à l'heure, qu'il s'agisse de la vitesse réelle à un instant donné, de la vitesse moyenne entre deux stations consécutives ou de la vitesse commerciale.

On appelle vitesse commerciale d'un train la vitesse uniforme qui lui permettrait d'accomplir son parcours total dans le temps même qui s'écoule entre le départ et l'arrivée, arrêts intermédiaires compris. C'est ainsi que le train qui part de Lille à 4 h. 27 pour arriver à Paris à 7 h. 21 a une vitesse commerciale de 87 kilomètres à l'heure sur ce parcours de 251 kilomètres.

On appelle vitesse moyenne de marche entre deux stations consécutives la vitesse uniforme qui permettrait de faire effectivement le trajet, en défalquant le temps nécessaire pour le démarrage, l'arrêt et les ralentissements, temps estimé d'après certaines règles.

C'est ainsi que le train envisagé précédemment qui parcourt la distance Arras-Longueau (66 km. 1) en 42 minutes, dont il faut

défalquer 1 minute 1/2 pour démarrage en ralentissement, a entre Arras & Longueau une vitesse moyenne de marche de 98 kilomètres $\left(\frac{60,1 \times 60}{40,5}\right)$.

Comme, en réalité, la vitesse du train n'est pas uniforme sur ce trajet, il est évident que la vitesse réelle de marche est à certains moments inférieure, et à d'autres moments, au contraire, supérieure à 98 kilomètres.

Pour des trains de même type remorqués par des machines identiques, on adopte des vitesses moyennes de marche identiques pour une même portion du parcours.

Sur le réseau du Nord, la vitesse moyenne de marche adoptée dans chaque cas pour le tracé des horaires ne dépasse guère 60 kilomètres pour les trains omnibus, 70 km. pour les trains directs, 80 km. pour les express et 100 km. pour les trains rapides. En ce qui concerne les trains de marchandises, la vitesse moyenne de marche ne dépasse pas 30 km. pour les trains du type 1 (les plus nombreux) et respectivement 40 et 50 km. pour les trains des types 2 et 3 dits "marchandises rapides".

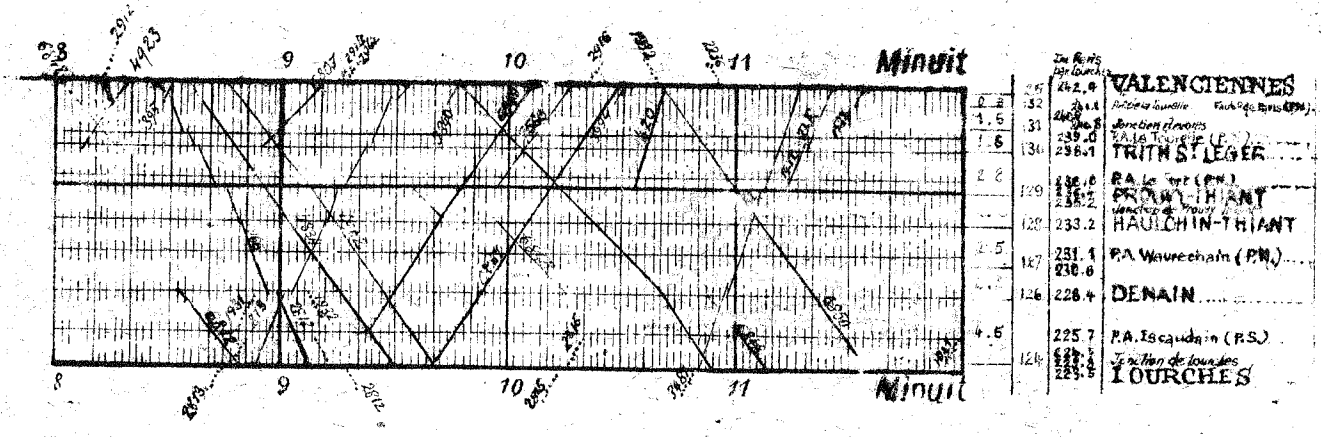
Graphiques de la marche des trains. — Les horaires des trains sont définis à l'avance dans des livrets de marche qui sont soumis, à chaque changement de service, à l'homologation du Ministre.

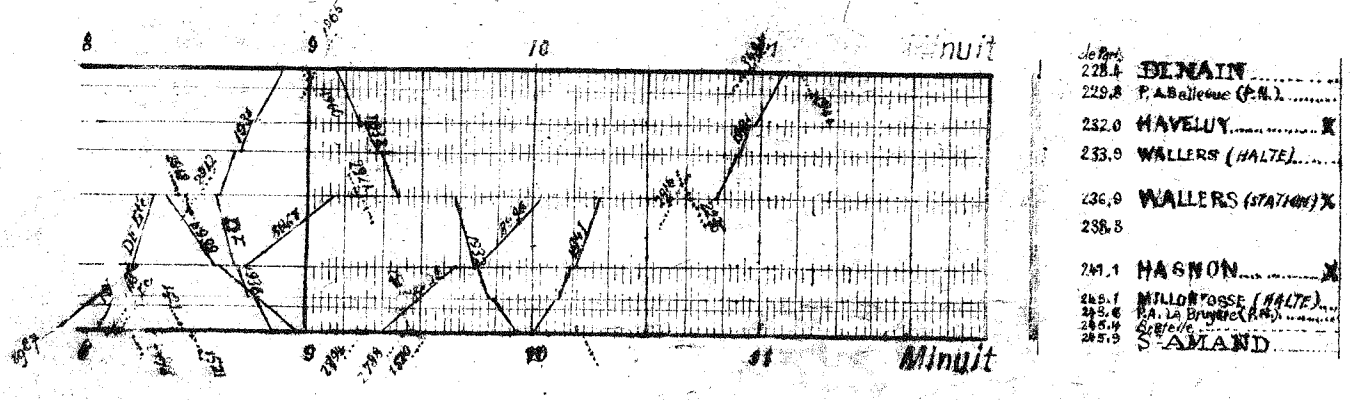
L'étude des horaires est très délicate, car il faut tenir compte de considérations de diverses sortes : assurer l'arrivée aux différents points à des heures convenables, mettre en correspondance dans les gares de bifurcation les trains*/les plus lents pour les faire dépasser par les plus rapides, enfin sur les lignes à voie unique, prévoir les croisements des trains de sens inverse dans les stations aménagées à cet effet.

Cette étude est facilitée par l'emploi de tableaux graphiques

* des diverses directions, désigner les points de garage des trains

ou "graphiques" sur lesquels on représente par des traits différents la marche des trains suivant leur nature. Ces graphiques sont des tableaux à double entrée qui se rapportent chacun à une ligne déterminée : des lignes horizontales correspondent aux différentes stations échelonnées sur le parcours, les intervalles qui séparent ces lignes sont proportionnels aux distances de gare en gare ; les lignes verticales correspondent aux différentes heures ou fractions d'heures de minuit à minuit.





Pour un train déterminé, on relie par des lignes droites les points du graphique qui correspondent aux heures de départ et d'arrivée de ce train à ses points d'arrêt consécutifs. Les stationnements sont représentés, pour chaque arrêt, par la distance horizontale (mesurée à l'échelle des temps) qui sépare les points

correspondant à l'arrivée en au départ. On obtient ainsi pour la marche de chacun des trains, une ligne brisée dont les parties horizontales correspondent aux stationnements et les parties obliques aux parcours entre deux arrêts consécutifs : c'est ainsi que, sur l'extrait de graphique donné en exemple, le train de voyageurs 1966 qui part de Valenciennes à 8h.25 soir pour arriver à Lourches à 9 h.07 et qui fait arrêt en particulier à Prouvy de 8h.41 à 8 h.44, à Thaulchin de 8h.47 à 8h.48 et à Denain de 8h.55 à 8 h.59 est représenté par une ligne brisée descendante. Le train 1965 de sens inverse qui part de Lourches à 8 h.53 pour aboutir à Valenciennes à 9h.33 soir est au contraire représenté sur le même graphique par une ligne brisée ascendante.

Le point de croisement de ces deux lignes marque l'endroit où les deux trains se croiseront réellement à 9 h.00 soir ; on voit que ce croisement se fait en pleine voie, entre Denain & Lourches, parce qu'il s'agit d'une ligne à double voie.

On remarquera, au contraire, sur le graphique d'une ligne à voie unique (Denain à St Amand par exemple) que les trains ne se croisent que dans des stations déterminées marquées sur le graphique par le signe X. Lorsque, par exception, deux lignes se coupent entre deux stations, une mention spéciale portée au livret de marche, indique que l'un des deux trains ne peut être mis en marche lorsque le premier a lieu. Sur l'exemple qui nous occupe, c'est le cas du train de marchandises 8999 qui n'est pas mis en marche les dimanches et fêtes (DF) jours où le train de voyageurs 1936 est mis en circulation exceptionnellement.

Suivant que les trains ont une vitesse moyenne de marche plus ou moins grande, les traits qui les représentent

sont plus ou moins rapprochés de la verticale. Les trains de marchandises indiqués en bleu ont les traits les plus obliques par rapport à la verticale.

Circulation des trains. — La marche régulière des trains est une des principales garanties de la sécurité. Les gares doivent donc s'attacher à expédier les trains à l'heure prescrite et il est interdit de les faire partir en avance ; d'autre part, le mécanicien doit éviter de prendre de l'avance en route, mais il a le devoir de regagner sur les retards, dans la mesure du possible, sans dépasser certaines limites de vitesse, imposées par l'existence de bifurcations, de déclivités et de courbes, limites variables par conséquent suivant les parties de lignes. La vitesse ne doit en tout cas jamais dépasser 120 kilomètres.

Il est nécessaire de prendre des précautions pour que deux trains de même sens ne puissent se rejoindre. A cet effet, on maintient entre les trains soit un espacement de temps, soit un espacement de distance.

Dans le premier cas, les stations sont chargées de maintenir l'espacement de temps, non seulement des trains qu'elles expédient, mais aussi de ceux qui y passent sans s'arrêter. Pendant les 5 minutes qui suivent le passage sans arrêt d'un train, on présente un signal d'arrêt au train qui pourrait suivre, on remplace ce signal d'arrêt par un signal de ralentissement si le train précédent est passé depuis plus de 5 et moins de 10 minutes. Les trains successifs ont donc toujours entre eux un espace de temps de 5 minutes au minimum.

Cet espace de temps est réduit dans certains cas, par exemple lorsque les deux trains doivent, à peu de distance de la station, aborder une bifurcation et y prendre des directions différentes, et à la condition que le second train ne marche pas

plus vite que le premier.

Sur certaines lignes à circulation importante on a substitué à l'espacement de temps, un espacement de distance, en créant, comme nous l'avons vu, à intervalle moyen de 2 à 3 kilomètres, des postes sémaphoriques solidaires les uns des autres en constituant le Block-système. Les signaux sémaphoriques prescrivent aux mécaniciens l'arrêt absolu. Un signal sémaphorique quelconque ne peut indiquer "voie libre" que si aucun train ne circule dans la section comprise entre ce signal et le signal sémaphorique du poste suivant. Sur les lignes à double voie, lorsque le train précédant en entré dans la section depuis plus de 5 minutes, on autorise le train suivant à pénétrer dans la section bloquée, mais après remise au mécanicien d'un ordre écrit lui prescrivant de marcher avec prudence de manière à pouvoir complètement s'arrêter dans la limite de la voie qu'il aperçoit libre devant lui. Le train pénètre donc en section bloquée comme s'il allait au secours d'un train resté en détresse en un point non déterminé de la section sémaphorique.

Lorsque pour une cause quelconque la vitesse d'un train devient assez ralentie pour permettre à un homme marchant au pas de le suivre, le garde-frein d'arrière pose des pétards sur la voie derrière le train, au moins dans les kilomètres tant que la vitesse du train lui permet de le faire.

Si le train vient à s'arrêter sur voie principale le garde-frein d'arrière, sans s'informer de la cause de l'arrêt, doit immédiatement se porter en arrière, au pas de course, pour faire à mille mètres les signaux d'arrêt qui doivent protéger le train.

Lignes à Double voie. — Sur les lignes à double voie, les trains ou machines circulent, en règle générale, sur la voie

située à gauche en regardant le point vers lequel ils se dirigent. Ils n'ont donc pas à se préoccuper de la circulation des trains de sens inverse, et il suffit d'assurer entre trains de même sens l'espacement de temps ou de distance dont il a été parlé précédemment.

En dehors des trains désignés comme réguliers, on peut, sur les lignes à double voie, mettre en marche sans avis préalable, des trains dits facultatifs, dont les horaires sont prévus aux livrets de marche.

En cas de retard dans la marche d'un train, un chef de station de ligne à double voie peut modifier l'ordre de succession des trains entre sa gare et la suivante en expédiant jusqu'à la gare voisine un train que le train en retard devrait normalement précéder ou bien retenir en gare un train en retard avant qu'il ait atteint son point de garage réglementaire si le retard peut faire craindre une gêne pour un train suivant qui doit avoir la préférence sur le premier.

Sur les lignes à voie unique, au contraire, ces circulations de trains facultatifs ou de trains hors tour doivent être entourées de précautions spéciales et nécessitent en particulier une entente entre les stations de croisement consécutives.

Pilotage. — Sur les lignes à double voie, lorsque l'une des deux voies principales est interceptée par suite d'accident ou de toute autre cause, on établit provisoirement la circulation des trains des deux sens sur la voie restée libre.

Pour avoir l'assurance qu'un train ne sera pas exposé à rencontrer un autre train de sens inverse sur cette portion de voie unique provisoire, celle des gares qui a le premier train à faire passer nomme un employé-*pilote*, par un ordre qui est porté à la connaissance de la station au-delà.

Aucun train ne peut s'engager sur la voie unique temporaire sans l'ordre verbal donné au mécanicien par le pilote.

si plusieurs trains de même sens doivent se succéder à faible intervalle, le pilote fait passer les premiers en monte sur le dernier pour gagner l'autre extrémité de la voie unique. Arrivé en ce point, il peut faire passer ou accompagner les trains de sens inverse.

Le pilote fait donc la navette sur la voie unique provisoire, tant que la circulation sur deux voies ne peut être rétablie. On donne à ce service provisoire le nom de *pilotage*.

Lignes à voie unique. — Sur les lignes à voie unique, les trains circulent dans les deux sens sur la même voie. Ils ne peuvent se croiser que dans des stations pourvues d'une **voie spéciale**, dite voie d'évitement reliée par aiguilles à la voie de circulation à ses deux extrémités.

Sur la voie unique, le régime de la voie fermée est obligatoire, car il faut qu'un train ne puisse s'engager entre deux stations qu'autant qu'on a l'assurance qu'un train de sens inverse ne s'y trouve pas déjà.

Dans des cas très particuliers, sur des lignes très courtes à service peu chargé, on peut établir une circulation en navette avec un seul train qui parcourt la ligne alternativement dans les deux sens.

On obtient un service plus souple en utilisant, pour chaque section de voie unique un *bâton pilote*, dont la présence est nécessaire à l'une ou l'autre des extrémités de la section pour qu'un mécanicien puisse pénétrer. Un chef de gare ne peut laisser partir un ou plusieurs trains dans cette section que s'il a entre les mains le bâton-pilote. Celui-ci est remis au mécanicien du dernier des trains de même sens, pour être laissé entre les mains du Chef de gare de l'autre extrémité de la section de voie unique. Ce dernier peut donc à son tour expédier des

trains en sens inverse.

Le système du bâton-pilote, très usité en Angleterre, a le défaut de ne permettre les mouvements alternatifs que dans un ordre prévu à l'avance. Il peut cependant arriver qu'on ait à modifier cet ordre de succession. Par exemple, si un train qui doit emporter le bâton est en retard, il est impossible de changer son croisement et les trains de sens inverse sont retardés et la répercussion des retards peut être fort gênante.

Le système le plus usité en France et dans la plupart des pays d'Europe sur les lignes à voie unique, où les trains ne circulent pas en navette est le système de la demande de voie par télégraphe : Les trains réguliers marchant dans les conditions prévues au livret de marche circulent sans demande de voie. Mais la demande de voie est obligatoire non seulement pour les trains facultatifs et les trains supplémentaires, mais aussi lorsque, pour un motif quelconque, un train régulier est exposé à croiser un autre train – régulier ou non – dans une gare autre que celle où ce croisement est prévu par le livret de marche. Dans ce cas, celui des deux trains qui est arrivé le premier dans la gare où le croisement devait s'effectuer normalement, ne peut dépasser ce point que si les dépêches relatives à la demande de voie ont été échangées avec la gare de croisement suivante du côté du train en retard et si le chef de train en a reçu l'avis écrit.

Sur chaque ligne à voie unique un agent dit "agent spécial", désigné par un ordre de service, a seul qualité pour autoriser la mise en marche de trains facultatifs, la circulation extraordinaire de trains ou machines ou la suppression de trains réguliers. Cet "agent spécial" doit, dans tous les cas,

avant de rendre effective l'une de ces mesures, l'annoncer au préalable par des avis spéciaux à toutes les stations intéressées qui lui en accusent immédiatement réception par dépêche.

Sur les lignes à voie unique, les appareils de block-système sont combinés non seulement pour assurer l'espacement de distance entre les trains de même sens, mais aussi pour empêcher l'expédition des trains en sens inverse.

Service des voyageurs. — Le service des voyageurs se décompose en service des billets et service des bagages.

D'une manière générale, en effet, la perception du prix des places sur les chemins de fer se fait au départ, contre délivrance au voyageur d'un billet (en papier ou en carton) indiquant le prix perçu, la classe, la destination et la direction à suivre. Le voyageur doit remettre son billet, à l'arrivée, avant de quitter la gare. Le contrôle des billets se fait à l'accès des quais, à l'arrivée et, éventuellement, en cours de route pour vérifier que les voyageurs occupent bien les voitures qui leur sont affectées d'après la classe inscrite sur leur billet de place.

En France, il y a 3 classes de billets pour lesquelles, depuis le 1er avril 1892, sont adoptés les tarifs kilométriques ci-après :

0 fr. 04928 pour la 3ème classe,
0 fr. 0756 pour la 2ème —
et 0 fr 112 pour la 1ère classe.

Dans les grandes gares, le service des billets prend une grande importance. On y installe un grand nombre de bureaux distincts ayant chacun un casier à billets et un guichet de distribution. Des tableaux indicateurs mobiles, placés à proximité du guichet, désignent au public le train pour lequel la distribution est ouverte à un moment déterminé.

Cette distribution cesse un certain temps avant l'heure régle-

mentaire de départ du train. Les casiers à billets sont pourvus à l'avance, pour les principales destinations, de billets à destination imprimée des diverses classes; le préposé aux billets se contente alors de tirer du casier les billets demandés, de les composter à la date du départ et de percevoir le prix imprimé sur le billet. Pour les destinations peu demandées, l'employé doit remplir sur un billet, dit passe-partout, les indications utiles après calcul de la taxe, au moyen d'un barème, d'après la distance kilométrique à parcourir.

L'importance du service des bagages est en fonction de celle du service des voyageurs. Les grandes facilités accordées en France pour le transport des bagages (gratuité jusqu'à 30 kilogs) contribuent à rendre très lourdes les charges résultant des opérations de réception, de manutention et de livraison de ces colis. Dans beaucoup d'autres pays d'Europe, la franchise n'existe pas : tout bagage paie.

En France, en dépit de la gratuité, le transport des bagages impose de grandes responsabilités aux Compagnies, le public, moyennant of 10 de frais d'enregistrement, étant dispensé de toute surveillance en cours de route.

Un colis expédié comme bagage doit être pesé, puis muni d'une étiquette portant un numéro d'enregistrement et d'une étiquette de destination. Pendant que se fait l'étiquetage, le voyageur reçoit, à un guichet spécial, sur le vu de son billet de place, un bulletin de bagage, dont un double, établi au décalque est remis au conducteur du train qui reçoit le colis.

Les colis bagages doivent circuler, en principe, par le train qui achemine le voyageur ; ce dernier les réclame, à l'arrivée à destination, en échange de son bulletin de bagage.

Dans les gares importantes, les opérations de chargement

en ce déchargement des bagages, ainsi que les opérations de transbordement d'un train à l'autre exigent l'emploi d'un personnel nombreux. Les bagages doivent en effet être transportés sur d'assez longs parcours, à l'aide de chariots ou tricycles à bagages, entre les bascules de pesage et les fourgons des trains au départ, ou inversement, entre les fourgons des trains à l'arrivée et les bancs à bagages de la salle de livraison. Les installations utilisées pour le service des bagages, restreintes à une bascule romaine, un banc à bagages et un guichet dans les petites stations, prennent dans les grandes gares une importance spéciale sur laquelle nous reviendrons en étudiant les aménagements des gares.

Service des Marchandises.—

1 - Messageries et postaux. — En dehors des bagages, qui doivent accompagner les voyageurs, le public peut faire transporter isolément des marchandises en grande vitesse : dans cet ordre d'idées, il peut choisir et les expédier, soit comme colis postaux pour réserve de certaines limites de dimensions et de poids, soit comme colis messageries.

Les colis postaux, transportés par les Cies de Chemins de fer pour le compte de l'Etat, sont l'objet de taxes fixes afférentes à chacune des 3 coupures de poids admises : 0 à 3 kil., 3 à 5 kil., et 5 à 10 kil. C'est un mode de transport avantageux pour les colis de faible poids. Les responsabilités du Chemin de fer-transporteur sont limitées.

Les colis messageries peuvent, au contraire, être d'un poids inférieur ou de beaucoup supérieur à 10 kilogs. A l'opposé de ce qui a lieu pour les colis postaux, la taxe appliquée aux colis messageries est essentiellement variable et comporte

une somme fixe de 0 f. 45 pour droits d'enregistrement en timbre en une somme variable calculée d'après le poids réel arrondi au multiple de 10 k.

La mise en vigueur, en 1892, de nouveaux tarifs de messageries en la création de la coupure de 5 à 10 kilogs pour les postaux ont plus que doublé le nombre des expéditions en grande vitesse.

Dès lors, il a fallu renoncer à expédier exclusivement ces marchandises par trains de voyageurs en on a créé sur les grandes artères des trains de messageries à grande vitesse acheminant à des heures convenables, habituellement la nuit, la plus grosse partie des colis messageries en postaux. On a adopté dans les grands centres des méthodes spéciales réduisant au minimum les chances d'erreur dans l'acheminement en simplifiant les recherches dans les gares de passage.

L'organisation d'ensemble devait tenir compte des exigences du commerce qui a l'habitude d'apporter la plus grosse partie de ses marchandises, dans les gares comme dans les bureaux de ville, en fin de soirée, peu avant l'heure officielle de fermeture du service de réception, en assurer néanmoins l'expédition méthodique en rapide de ce gros afflux de marchandises dans les délais restreints prévus par les tarifs.

Pour bien comprendre les difficultés rencontrées dans les grandes gares, il faut se rendre compte que, lorsque tout est fini pour le commerce après les opérations de reconnaissance contradictoire en d'étiquetage des colis, il reste à la gare à assurer, d'une part, la remonte des colis réunis dans les bureaux de ville, d'autre part, pour l'ensemble des colis, l'établissement des taxes, la création des écritures accompagnant la marchandise, le triage des colis par directions, leur chargement

rationnel dans des fourgons d'affectation, s'terminée en enfin l'incorporation de ceux-ci dans les trains de grande vitesse partann généralemenn des gares extrêmes entre 9 heures du soir en minuio.

Les fourgons d'affectation, créés régulièremenn chaque jour avec un rôle bien défini, sonn, suivann les cas, puremenn collecteurs, puremenn distributeurs, ou à la fois collecteurs distributeurs; suivann les parcours dans lesquels ils recoivenn des colis ou en diotribuenn.

Acheminés sur toun ou partie de leur parcours par les trains spéciaux de grande vitesse dits trains de messageries, certains d'entre eux effectuenn des parcours restreints par trains de voyageurs sur les lignes secondaires.

Lorsque, pour une direction donnee, l'utilisation de wagons n'eon pas justifiee, des paniers de groupage ou des nappes de groupage jouenn le rôle de collecteurs ou de distributeurs.

II Marchandises en petite vitesse. — Les transports à petite vitesse, eux aussi se sonn développés dans une proportion énorme au fur en à mesure que l'industrie prenain un essor de plus en plus grand. On aura une idée de cette progression en considérann que, sur le réseau du Nord, par exemple, le tonnage transporté eon passé de 2 millions de tonnes en 1856, à 7 millions en 1867, à 22 millions en 1889, à 33 millions en 1900, à 39 millions 1/2 en 1908.

Les Compagnies de Chemins de fer onn dû accroître sans cesse leurs moyens d'action par une augmentation constante de l'effectif du matériel roulann en par des agrandissements apportés dans les installations des gares. Mais, sur ce poinn on se trouge parfois limité, la place faisann défaun. On a alors

recherché dans la création de wagons à grande capacité, de divers types (wagons occupant comme nous le verrons plus loin une moindre place en longueur à tonnage égal) le moyen d'accroître la capacité des voies en des installations fixes des gares. Des modifications de tarifs ont été apportées pour assurer une utilisation rationnelle de ce matériel nouveau à grande capacité.

Cette augmentation matérielle des moyens d'action a été renforcée par l'application de méthodes modernes d'exploitation visant à diminuer la longueur des escales des wagons dans les gares et à accélérer le transport.

J'indiquerai succinctement quelles sont les grandes lignes de cette organisation d'ensemble qui a contribué, dans la région du Nord à assurer une régularité aussi complète que possible dans des courants de transport rarement égalés ailleurs.

Les marchandises transportées à petite vitesse peuvent être rangées dans 3 catégories distinctes :

1° celles qui font l'objet de chargements de wagons complets par le public;

2° — d° — — d° — chargés par la Compagnie ;

3° celles qui sont remises sous halle par petites parties (colis de détail) et dont les opérations de manutention, de classement et de chargement au départ, ainsi que celles de déchargement à l'arrivée incombent entièrement à la Compagnie.

Acheminement des marchandises transportées par wagons complets. — Dans la première catégorie, les opérations de chargement et de déchargement des wagons complets incombent entièrement au public. Elles sont effectuées, les unes dans la cour aux marchandises des gares de voiture à wagon ou de wagon à voiture, les autres sur des estacades ou des embranche-

chements particuliers qui constituent des ramifications du Chemin de fer jusque dans les usines.

Dans la deuxième catégorie, les marchandises sont remises par lots, déposées sous halle par le Commerce en chargées en wagons complets par les services de manutention de la Compagnie.

Les wagons complets appartenant à l'une ou l'autre de ces catégories sont ensuite assimilables, au point de vue du transport ; ils constituent, sur le Réseau du Nord, environ 95 % du tonnage total des marchandises transportées en petite vitesse.

Les marchandises pondéreuses comme la houille, le sable, les pierres, les bois, fers, etc. — sont transportées dans des wagons à découvert. Les marchandises qui craignent au contraire les intempéries en qui ont une valeur plus considérable sont chargées dans des wagons fermés, dits wagons couverts. Une fois les portes à coulisse refermées par l'expéditeur ou par le service de manutention du Chemin de fer qui a opéré le chargement, ces portes sont clavetées en munies, en outre, par les soins de la gare de départ, de ficelles plombées à l'aide d'une pince à empreinte spéciale. A la réception du wagon, la gare destinataire a le devoir de vérifier si les plombs apposés par la gare expéditrice sont intacts. L'intégrité des plombs portant l'empreinte de la gare de départ donne la certitude qu'aucune modification ni soustraction n'a été faite dans le chargement depuis le départ.

Trains d'affectation. — Que leur chargement ait été fait par les soins du Commerce ou par les soins de la Compagnie du Chemin de fer, les wagons complets une fois plombés en étiquetés, doivent être acheminés le plus rapidement possible sur leur destination. Les méthodes modernes d'exploitation s'attachent à les acheminer, en tout en partie, dans la nuit même qui suit

l'achèvement du chargement, par des trains appropriés, combinés de manière à déduire le plus possible le nombre des escales dans les gares de bifurcation en à réduire au strict minimum la durée des escales indispensables. C'est sur ce principe qui a été appliqué dans toute son ampleur au Chemin de fer du Nord, que repose l'organisation d'ensemble des trains d'affectation : tous les trains compris dans cette organisation ont une fonction (une affectation) bien distincte, portée à la connaissance du personnel des gares par un livret spécial, en les gares de départ ou de passage ont l'obligation d'incorporer les wagons de destinations désignées dans des trains désignés.

Les trains d'affectation sont de divers types:

a. trains complets au départ d'un grand centre industriel, d'un groupe de charbonnages ou d'un grand port d'importation en composés uniquement de wagons pour un grand centre ou pour une gare de transit avec les réseaux voisins.

Ces trains sont acheminés par marches rapides, sans garages ni remaniements en cours de route. Ils mettent, par exemple, 7 à 8 heures, dans une même main, pour effectuer le trajet de Lille ou Sens à Paris-La Chapelle.

b. - trains distributeurs, formés également par un seul grand centre, avec itinéraires directs en rapides sur la plus grande partie de leur parcours, mais distributeurs (c'est-à-dire égrenant leurs wagons) dans la dernière partie de ce parcours.

c. - trains collecteurs, prenant des wagons au passage dans les gares de la première partie du parcours, mais directs ensuite jusqu'à un grand centre.

d. - trains collecteurs-distributeurs, qui sont collecteurs sur la première partie de leur parcours, directs en rapides sur une partie intermédiaire, en distributeurs dans les gares de la der-

nière partie.

Trains de groupes. — Allant encore plus loin dans cette voie, la Compagnie du Nord a établi dans certaines grandes gares de relai, de véritables correspondances des trains de marchandises entre eux.

Dans une période de 1 ou 2 heures de nuit, on fait affluer de diverses directions dans la gare de relai une série de 4 à 6 trains rapides de marchandises composés au départ en groupes bien classés dans un ordre déterminé. Chaque groupe correspond à une direction distincte au départ de la gare de relai. Cette gare se borne donc à décomposer (débrancher) les trains de groupes sur plusieurs voies de triage, à réunir les groupes de même direction amenés par les différents trains de la série considérée, puis à expédier sur chacune des directions les trains de continuation ainsi constitués. La gare de relai se trouve alors libérée en peu recevoir, un peu plus tard dans la même nuit, une autre série de trains de groupes, à dégrouper de la même manière.

Wagons d'affectation pour l'acheminement des colis de détail petite vitesse. — Les marchandises de détail, ainsi désignées parce que chacune des expéditions remises sous halle par le public ne comporte pas à elle seule l'emploi d'un wagon, créent aux Compagnies de Chemins de fer des difficultés réelles, en raison de la diversité des destinations sur lesquelles il faut acheminer, dans une même journée les colis remis dans une station par les expéditeurs. Il faut qu'une station déterminée, même de faible importance, ait les moyens d'expédier chaque jour des colis sur une destination quelconque, car les délais de transport prévus par les tarifs doivent être respectés.

Pour assurer l'écoulement méthodique en un jour le jour

de ces marchandises de détail, on a créé des wagons d'affectation qui sont aux colis de détail ce que les trains d'affectation dont il a été parlé précédemment sont aux wagons complets.

Chaque wagon d'affectation est caractérisé par un numéro d'ordre distinct, par les points de départ et d'arrivée fixés et par les portions de parcours sur lesquelles il est collecteur ou distributeur. Il existe donc quatre catégories de wagons d'affectation:

a.- complets, d'une grande gare pour une autre;

b.- distributeurs, prenant charge dans une seule gare;

c.- collecteurs, prenant charge au passage dans un certain nombre de gares;

d collecteurs-distributeurs.

Un livret spécial, distribué au personnel des gares, précise l'affectation de chacun des wagons et les trains successifs désignés pour les acheminer. Les gares de la route, qui savent par quel train est acheminé chaque jour le wagon d'affectation de numéro déterminé, y chargent au passage tous les colis de destinations désignées, en, inversement, en retirent s'il y a lieu les colis qui leur sont destinés.

Les wagons d'affectation sont, sur les lignes importantes, groupés dans des trains de marchandises spéciaux dits trains de détail. Dans certaines gares importantes de bifurcation appelées gares de transbordement, des équipes de manutention organisées à cet effet, retirent des wagons d'affectation les colis destinés à des lignes d'embranchement pour les transborder dans des wagons affectés à ces lignes secondaires, et inversement pour les colis en provenance des lignes secondaires.

L'organisation d'ensemble est prévue de manière à réduire au strict minimum le nombre des escales et des transbordements

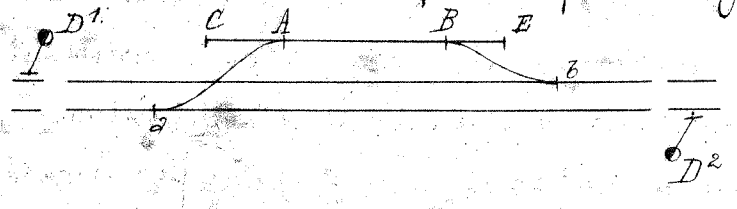
pour les colis : les itinéraires des wagons d'affectation sont donc étudiés pour faire effectuer aux wagons de longs parcours par des trains directs, en dehors des sections sur lesquelles ils sont collecteurs ou distributeurs.

Aménagement des gares en stations

Après avoir envisagé les besoins auxquels doivent satisfaire les gares en stations, c'est-à-dire les points ou des stationnements de trains sont prévus pour prendre ou laisser des voyageurs, ou des marchandises, nous allons examiner maintenant ce que sont les installations réalisées sur ces points.

Les expressions de gare et de station sont souvent employées comme synonymes. Cependant, on désigne plus particulièrement sous le nom de *stations*, les points où les trains stationnent sans s'arrêter définitivement, tandis qu'on réserve celui de gares aux installations plus importantes placées aux points de départ ou d'aboutissement de certains trains, notamment aux têtes de ligne et aux bifurcations. Les stations se distinguent encore en stations proprement dites, haltes, points d'arrêts, garages ou ports secs, suivant qu'elles sont ouvertes à toutes ou à certaines parties du service seulement.

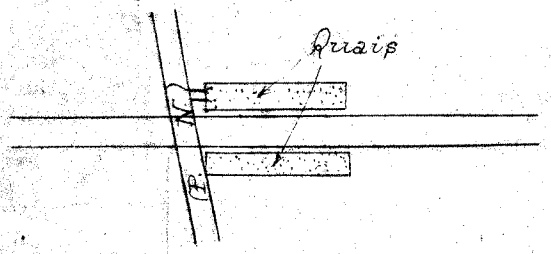
Les garages ou ports secs sont des installations privées ou publiques qui sont exclusivement réservées au service des marchandises transportées par wagons complets.



Ils se réduisent à une voie de garage AB reliée par aiguille aux deux voies de circulation en sont pourvus, en général, d'impasses de sécurité AC et BE. Pour assurer la sécurité des manœuvres qui sont effectuées sur ces points par certains trains de marchandises, des disques

à distance $D_1 D_2$ placés à 1200 mètres du point à protéger peuvent être actionnés par des leviers installés au voisinage des aiguilles du garage en sont rendus solidaires de ces aiguilles par des enclenchements appropriés.

Les points d'arrêt sont, au contraire exclusivement desservis par certains trains de voyageurs, en général par des trains-tramways en ne comportent aucune installation spéciale autre que un ou deux quais de fortune.



Les trains-tramways y font un arrêt de 30 secondes pour prendre ou laisser des voyageurs sans bagages et les billets sont délivrés ou recueillis par les conducteurs.

Les stations proprement dites sont établies, suivant les réseaux en suivant l'importance du trafic qu'elles ont à assurer, d'après des types très variables.

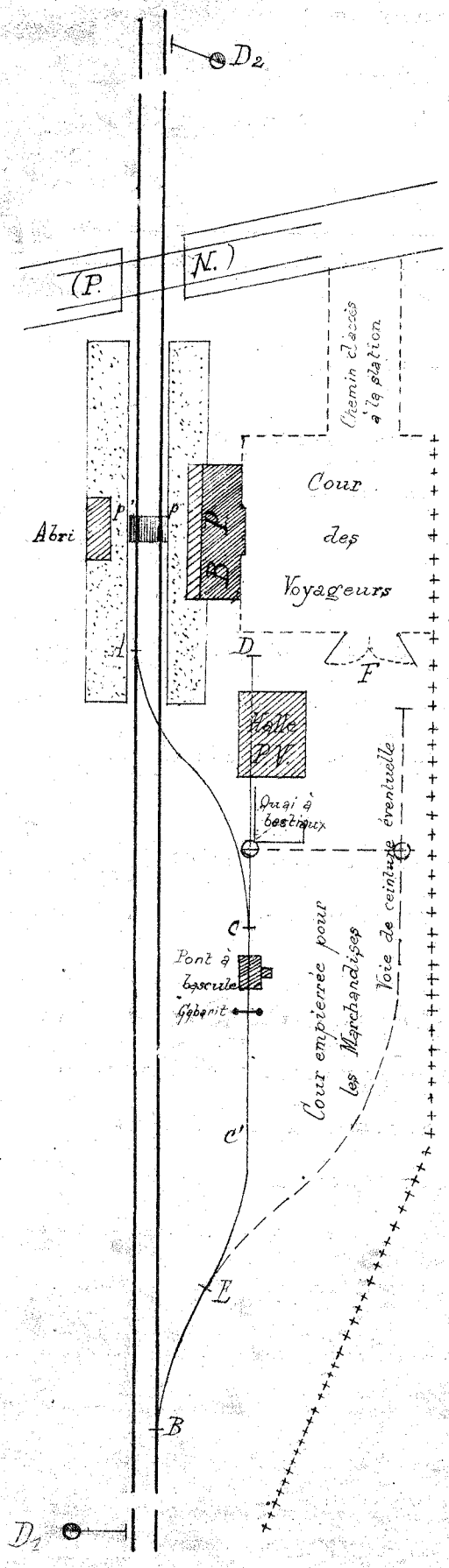
Nous allons cependant analyser les dispositions indispensables à toute station, si faible qu'elle soit, ouverte à tous les services.

Pour le service des voyageurs, il faut d'abord :

1° deux trottoirs ou quais à voyageurs (de 130 mètres en moyenne) établis de part et d'autre et en bordure des voies principales.

2° un passage planchéié pp' permettant aux voyageurs et aux tricycles à bagages de passer d'un quai à l'autre. Cette plateforme est arrasée au niveau des rails et comporte des ornières pour le passage des boudins des roues des wagons.

3° un bâtiment, dit bâtiment principal (BP) donnant accès, d'une part sur le quai à voyageurs, d'autre part dans la cour des voyageurs et renfermant les bureaux des billets et des bagages, consigne, grande vitesse, salle des pas perdus, salles



salle d'attente, etc..

4°. devant le bâtiment principal, une cour assez spacieuse pour permettre l'évolution des voyageurs en des voitures.

Si l'importance du service des voyageurs le justifie, un abri pour voyageurs, fermé sur 3 côtés, est installé, vis-à-vis du Bâtiment principal, sur le quai opposé.

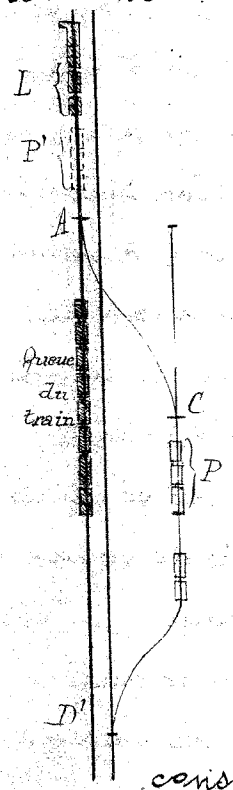
En ce qui concerne le service des marchandises en petite vitesse, on installe une voie de garage BCA, d'une centaine de mètres de longueur au minimum, reliée à l'une des voies principales par l'aiguille B et à l'autre voie principale par l'aiguille A. Les trains des deux sens peuvent ainsi prendre ou laisser des wagons vides ou chargés sur la voie de garage de la station, dite voie de débord. En bordure de cette voie de garage, du côté opposé aux voies principales, existe une cour empierrée qui permet aux voitures d'accéder auprès des wagons en stationnement.

C'est dans cette cour aux marchandises, dans la longueur cc', que le public effectue le chargement ou le déchargement des wagons complets de voiture à wagon ou de wagon à

voiture.

Ainsi que le montre le croquis, les aiguilles telles que A en B qui se trouvent sur les voies principales sont disposées de manière à ne jamais être abordées par la pointe par les trains circulant dans le sens normal (chacun des trains suivant celle des deux voies qui est la plus à gauche dans le sens de la circulation). Il en résulte que les manœuvres des trains de passage doivent être exécutées par refoulement.

Ces manœuvres s'exécutent de la manière suivante : tout train de marchandises arrivant dans le sens D, A s'arrête sur la voie principale en avant du croisement de l'aiguille A. On décroche les attelages pour faire une coupure du train en arrière du groupe L des wagons à laisser dans la station.



Pendant que la queue du train demeure sur voie principale, la partie de tête remorquée par la machine s'avance de manière à dégager complètement l'aiguille A. Les aiguilles A et C ayant été ensuite manœuvrées pour donner la direction de la jonction AC, la machine recule pour refouler toute la rame des wagons, qui vient accoster sur la voie de garage, le groupe P des wagons à faire partir par le train considéré. On accroche ce groupe P en arrière du groupe L, puis la machine s'avance à nouveau de manière que toute la manœuvre, y compris le groupe P (venu en P') dégage complètement l'aiguille A que l'on manœuvre à nouveau. La machine refoule alors le groupe P' sur la queue du train ; puis elle s'avance une 3e fois au-delà de l'aiguille A en refoule le groupe L des wagons à laisser sur la voie de garage au point occupé précédemment par le groupe P. La tête du train s'avance une 4e fois pour dégager l'aiguille A en refoule sur la queue du train. Après accrochage

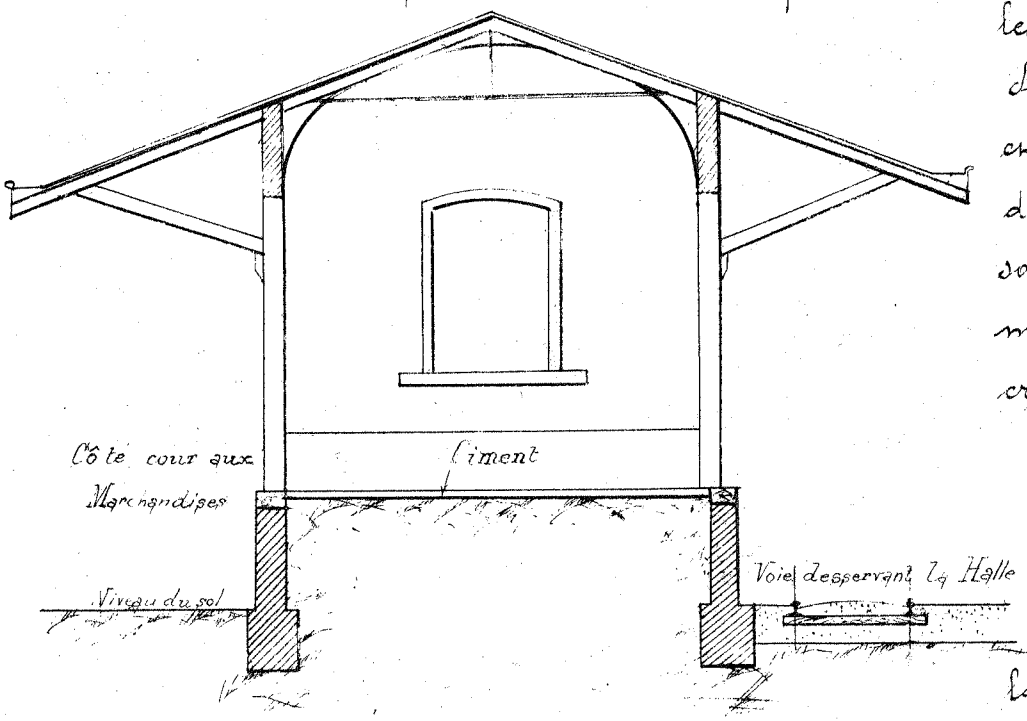
des attelages en tête en en queue du groupe P' le train ayant terminé ce qu'on appelle les manœuvres pour prendre ou laisser peut quitter la station en continuer sa route.

Sur la voie de garage se trouve une bascule permettant de peser les wagons en un gabarit de chargement: ce dernier est une sorte de portique métallique suspendu dans l'axe de la voie en donne le profil est découpé suivant les dimensions extrêmes à ne pas dépasser en largeur ou en hauteur pour le chargement des wagons.

Ces installations suffiraient pour le service des wagons complets donne les opérations de chargement en de déchargement incombent au public.

Elles ne suffisent pas si la station est ouverte au service des colis de détail en petite vitesse. Dans ce cas, un prolongement de la voie de garage permet d'amener les wagons pour prendre chargement ou laisser des marchandises dans un magasin couvert, dénommé halle petite vitesse.

C'est sur le quai de la halle P.V. que le commerce vient déposer les marchandises de détail qu'il expédie en prendre livraison de celles qui lui sont adressées. Comme l'indique le croquis ci-contre, le quai de la halle surélevé de manière à se trouver à peu près à la hauteur du



plancher des wagons, se trouve bordé d'un côté par la voie de garage, dite voie de la halle, en de l'autre par la cour aux marchandises où viennent accoster les voitures ou camions du commerce.

Sur le quai de la halle se trouve une bascule romaine qui permet de vérifier le poids des colis. C'est là que, après pointage de la déclaration d'expédition, l'agent préposé à la reconnaissance donne le visa sur la foi duquel l'employé aux écritures établit les titres de transport. Les colis déposés sous halle sont immédiatement étiquetés, tout prêts à quitter la station dans l'un des wagons affectation dont nous avons parlé précédemment. Un appareil de levage (grue à pivot ou grue Saepen) sert à la manutention des colis lourds indivisibles.

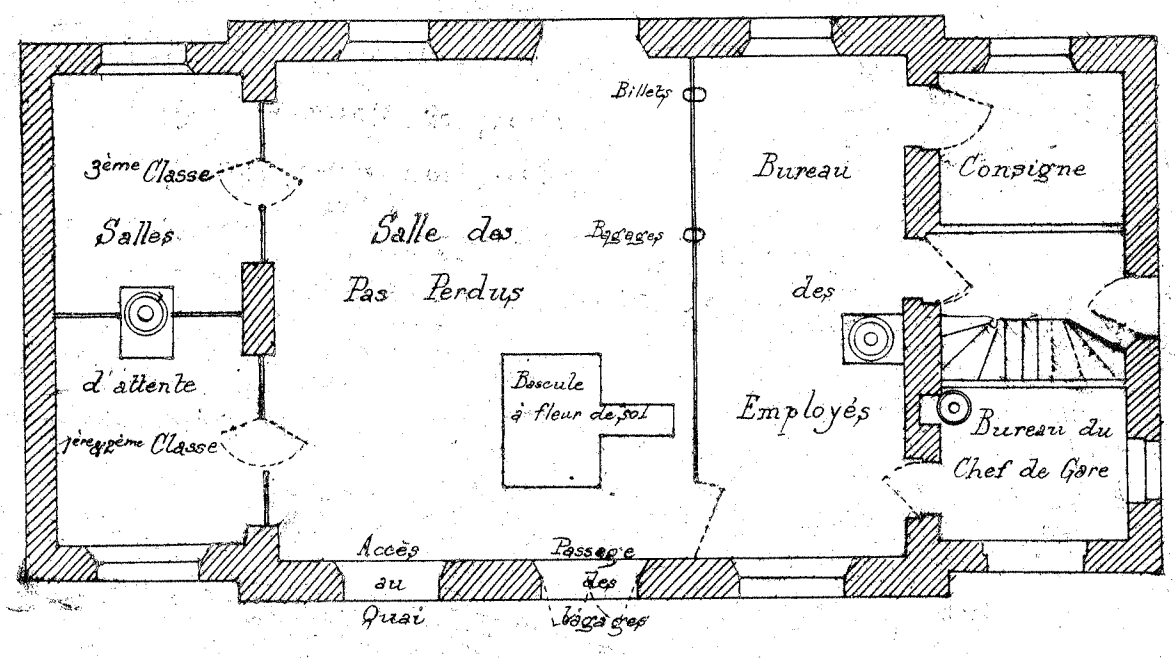
Lorsqu'une unique voie de débord est insuffisante pour mettre simultanément en bordure de la cour empierrée tous les wagons du commerce, on établit de l'autre côté de la cour empierrée une 2ème voie de débord dite voie de ceinture $\mathbb{E}\mathbb{F}$ reliée à la première par une aiguille $\mathbb{E}$. On ménage dans ce cas entre les deux voies une largeur minima de 10 mètres pour permettre l'évolution des voitures.

Voyons maintenant quel est l'aménagement du Bâtiment principal dans une petite station.

Au centre du bâtiment, en occupant toute la largeur de celui-ci, est réservée pour le public une salle des pas perdus aussi spacieuse que possible. Sur l'un des côtés de cette salle s'ouvrent les salles d'attente disposées parallèlement aux voies. Sur le côté opposé se trouve le bureau des employés, avec les guichets pour les billets et un guichet distinct pour l'enregistrement des bagages. Une bascule romaine à plateau, ou mieux, une bascule à fleur de sol et à cadran, se trouve disposée près d'une des portes ouvrant sur le quai, et réservée au passage des brouettes, autrey-

cles

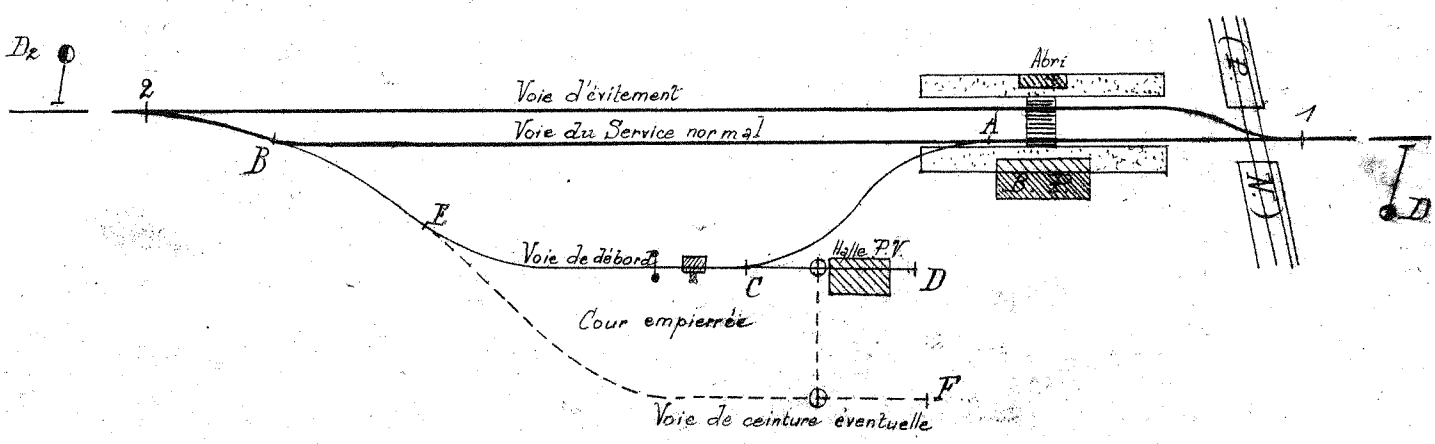
à bagages ; une autre porte est réservée à l'accès des quais pour les



voyageurs. Au delà du bureau central, l'extrémité du bâtiment est occupée par une consigne pour le dépôt des colis, par le bureau du Chef de station, et par l'escalier donnant accès à l'étage servant de logements. Les lampisterie et les water-closets sont habituellement installés dans un petit bâtiment annexe.

Stations des lignes à voie unique. — Lorsque la station se trouve sur une ligne à voie unique, la disposition type de station de faible importance devient la suivante :

Deux voies principales parallèles sont en général établies dans



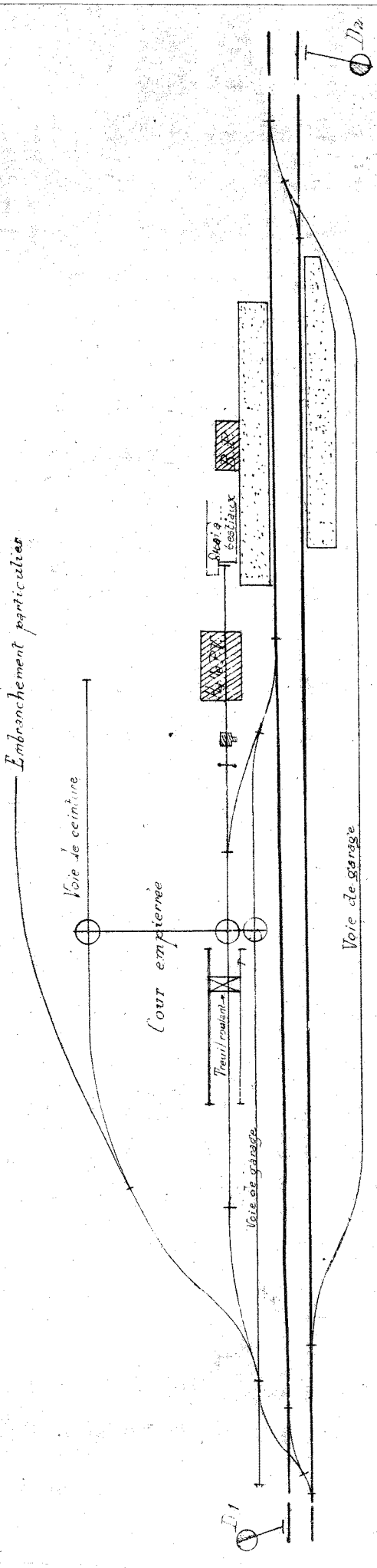
le périmètre de la station afin de permettre d'y recevoir deux trains de sens opposé dans le croisement son prévu dans la station. Les aiguilles de dédoublement 1 & 2 prises en pointe par les trains donnent lieu à des visites fréquentes, auxquelles on supplée par l'établissement d'enclenchements spéciaux.

Celle des deux voies qui est la plus écartée du bâtiment principal n'est utilisée que comme voie d'évitement lorsqu'il y a lieu de recevoir deux trains simultanément. La plupart des trains sont reçus sur la voie longeant le bâtiment principal dite voie du service normal. Cela évite des traversées de voies pour les voyageurs ; cela simplifie en outre les manœuvres des trains de marchandises puisque cette voie est reliée des deux côtés à la voie de garage.

En cas de croisement de deux trains de voyageurs dans une station de voie unique, les aiguilles de dédoublement sont généralement disposées pour que chacun des trains prenne sa gauche.

Stations de moyenne importance. — Dans chacun des types de petite station que nous avons indiqués, d'une part pour les lignes à double voie, d'autre part pour les lignes à voie unique, on peut augmenter en plus que doubler la longueur de voie affectée au chargement de voiture à wagon par le commerce installant de l'autre côté de la cour empierrée la voie indiquée en pointillé, dite voie de ceinture. Cette voie de ceinture est souvent reliée à la voie de la halle par une voie perpendiculaire avec plaques tournantes dite traversée rectangulaire, qui permet au personnel de la station de faire passer des wagons d'une voie sur l'autre.

Lorsque le trafic local est très important, les trains de passage ne suffisent pas pour exécuter toutes les manœuvres en



mettre en place les wagons sur les divers chantiers (halle, voie de ceinture, wagons à placer sous le treuil roulant, desserte des embranchements particuliers) en une machine de manœuvres vient effectuer ce travail à des heures convenables. On ajoute alors entre la voie de la halle et les voies principales une 3ème voie de garage qui sert de voie de dépôt. Cette voie, reliée aux deux voies principales, peut en même temps servir au garage d'un train de marchandises qui a des manœuvres à effectuer dans la station. Une voie en impasse permet de manœuvrer avec une machine sans emprunter les voies principales. Enfin, une longue voie de garage, située à l'opposé des voies du service local par rapport aux voies principales, sert à effectuer le garage des trains qui doivent être dépassés par d'autres.

Une partie de la cour aux marchandises est desservie par un treuil roulant, d'une force maxima de 10 tonnes, l'un des deux rails servant de chemin de roulement est à 1m45 du rail de la voie de débord, et l'autre est à 8 ou 12 mètres du premier. Le treuil roulant dessert donc outre la voie de débord, une bande du sol de la cour assez large pour donner place aux chariots mis en

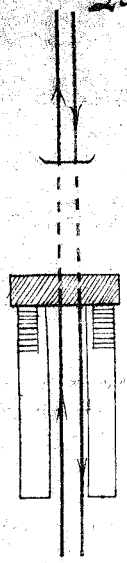
batterie le long des wagons en pour faire un dépôn provisoire à terre des lourdes masses à manutentionner à l'aide du treuil.

Autres types de stations.— Un type récenn en appliqué aux petites stations en haltes sur le réeau du Nord. Tout en n'exigeann qu'une longueur réduite (220 mètres environ) pour la cour empierrée, il permen de disposer de deux voies en impasse, desservies facilemenn au passage par les trains des deux sens.



Sur l'une des impasses (voisine du Bâtimenn princi-pal) se trouve la halle P.V., le pont à bascule en le gabarin. Les deux impasses sonn réunies par une jonction, qui donne la possibilité de faire passer un wagon d'une impasse sur l'autre pour le mettre au départ.

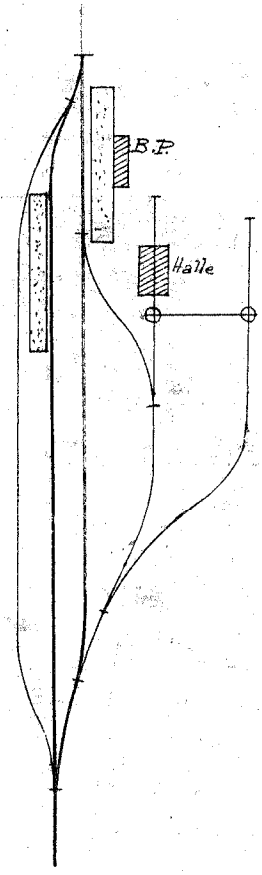
Parmi les dispositions spéciales de stations, on peun citer celle adoptée pour le service des voyageurs sur le Chemin de fer de Ceinture à Paris. Les voies se trouvann en tranchée, le bâtimenn est disposé perpendiculairemenn en au-dessus de ces voies. Aux deux extrémités du bâtimenn, un escalier desserv chacun des quais à voyageurs. La salle des pas perdus en le bureau des billets se trouvenn à la partie supérieure; de petits bureaux pour le service des bagages sonn placés sur les quais, ou exceptionnellemenn, à l'étage supérieur, avec monte-charges pour desservir les quais. Le service des bagages n'a d'ailleurs, dans ces stations, qu'une très faible importance.



Une disposition quelquefois adoptée dans les stations de banlieue où circulenn de nombreux voyageurs pour lesquels la traversée des voies principales est rendue dangereuse par la succession des trains, consiste à établir une sortie pour les voyageurs sur chacun des quais, avec un passage souterrain conduisann d'un quai à l'autre. La double sortie a son intérêt dans le cas où comme sur

le Chemin de fer de Vincennes, il y a des agglomérations à desservir de part en d'autre.

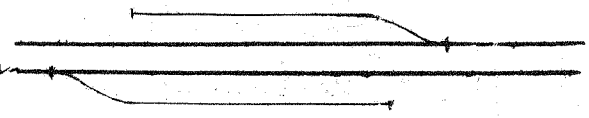
Stations de dépassement. — La grosse différence qui existe entre les vitesses commerciales respectives des trains de voyageurs et des trains de marchandises fait que ces derniers sont obligés de se garer en cours de route dans certaines stations pour laisser passer les trains de voyageurs. Il faut donc ménager dans un certain nombre de stations des voies de garage spéciales de longueur suffisante et maintenues toujours libres.



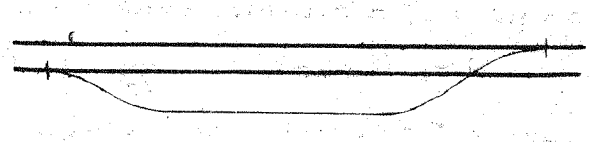
Sur les lignes à voie unique, les voies d'évitement sont tous indiquées pour cet usage et suffisent généralement. Dans certaines stations seulement, on prévoit, en plus de la voie d'évitement, une longue voie de garage supplémentaire reliée par aiguilles à ses deux extrémités pour permettre de garer un train de marchandises en même temps que se fait le croisement normal de deux autres trains.

Sur les lignes à double voie, on peut adopter trois solutions pour les garages:

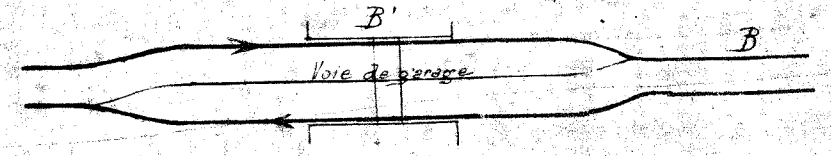
- la première consiste à établir de part en d'autre des voies principales deux voies en cul-de-sac sur lesquelles les trains sont garés par refoulement.



- la seconde, qui exige moins de place en largeur, consiste à établir une seule voie de garage reliée aux deux voies principales; c'est une solution élégante, plus économique qui n'a que l'inconvénient d'engager les deux voies principales pendant le mouvement de refoulement ou de sortie des trains de l'une des directions.

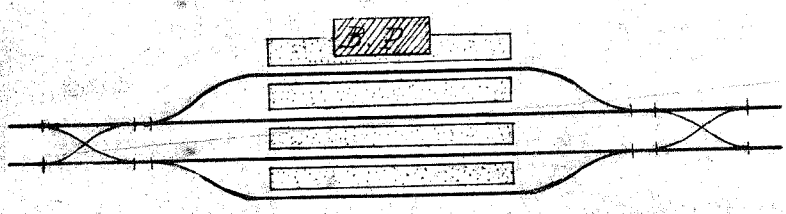


la troisième solution, qui évite ce dernier inconvénient tout en donnant l'avantage de garer sur une seule voie un train de l'une ou de l'autre direction, consiste à disposer la voie de garage unique entre les deux voies principales. Mais elle a l'inconvénient de créer des courbes en contre-courbes pour les voies principales ; en outre, si l'on ne dispose pas d'une très grande longueur pour installer le bâtiment principal en B, on est obligé de créer à un emplacement tel que B' un passage planchéié traversant la voie de garage d'où nécessité de faire une coupure dans le train garé pour laisser passer les voyageurs utilisant le quai opposé au bâtiment principal B'.



Dans les trois solutions, les aiguilles existant sur les voies principales sont disposées de manière à n'être abordées que par le talon dans le sens normal de la circulation et les trains doivent se garer par refoulement.

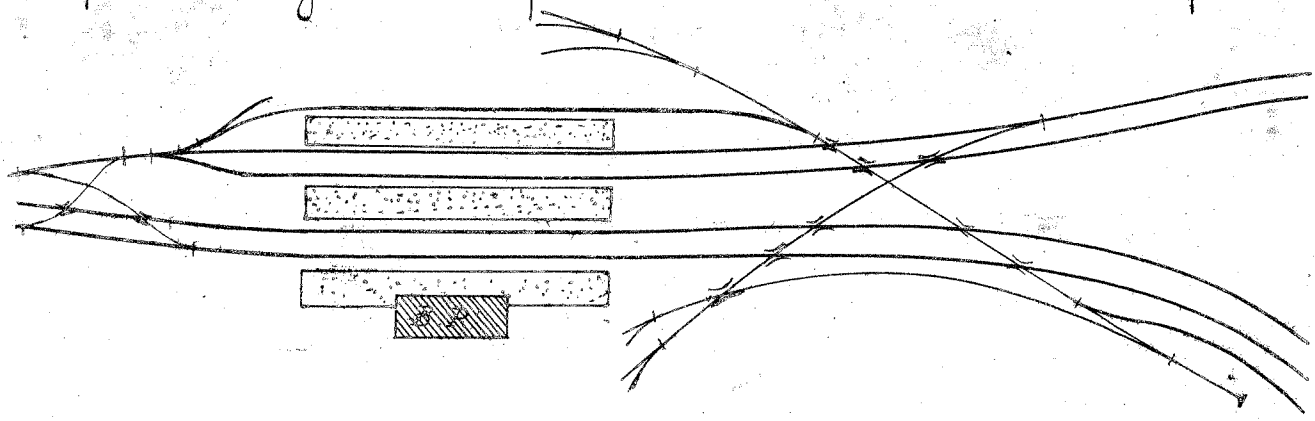
Gares de bifurcation. Pour ces gares, qui ont à faire l'échange des voyageurs et des bagages entre les trains en correspondance de 4, 5 ou 6 directions, la disposition la plus usitée en France consiste à faire arriver les différentes voies parallèlement au bâtiment principal, de façon que les trains des divers embranchements se trouvent à côté les uns des autres.



Les voyageurs passant d'un train à l'autre ont alors à traverser un certain nombre de voies.

On peut placer les trottoirs d'entre-voie de deux façons : un trottoir dans chaque entrevoie ou au contraire un trottoir de deux en deux voies, ainsi que le montrent les deux croquis ci-contre. La seconde solution est la meilleure ; en effet, elle fait gagner un peu

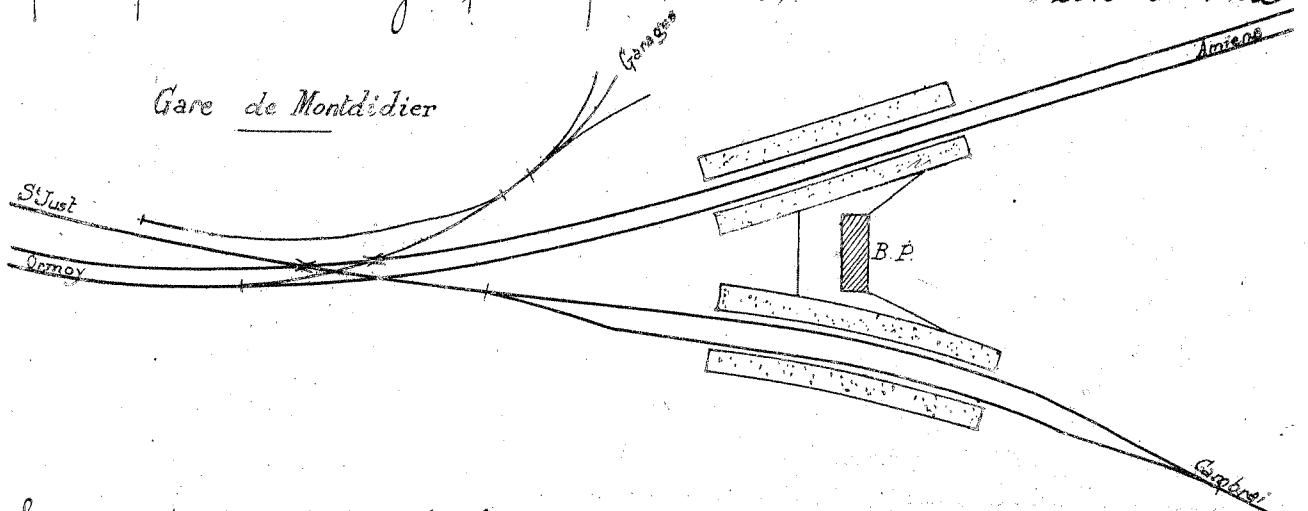
de place en largeur (bien que les trottoirs doubles soient tenus plus



larges que les autres), mais en outre elle facilite le service en donnant la possibilité de recevoir de part en d'autre d'un même quai les correspondances les plus suivies. Avec ses trottoirs plus larges, ce dernier système a encore l'avantage de donner place aux escaliers de passages supérieurs ou souterrains.

Une disposition quelquefois employée pour les gares de bifurcation ou de croisement de deux lignes consiste à placer le bâtiment principal dans l'angle formé par deux des branches. C'est le cas de

Gare de Montdidier



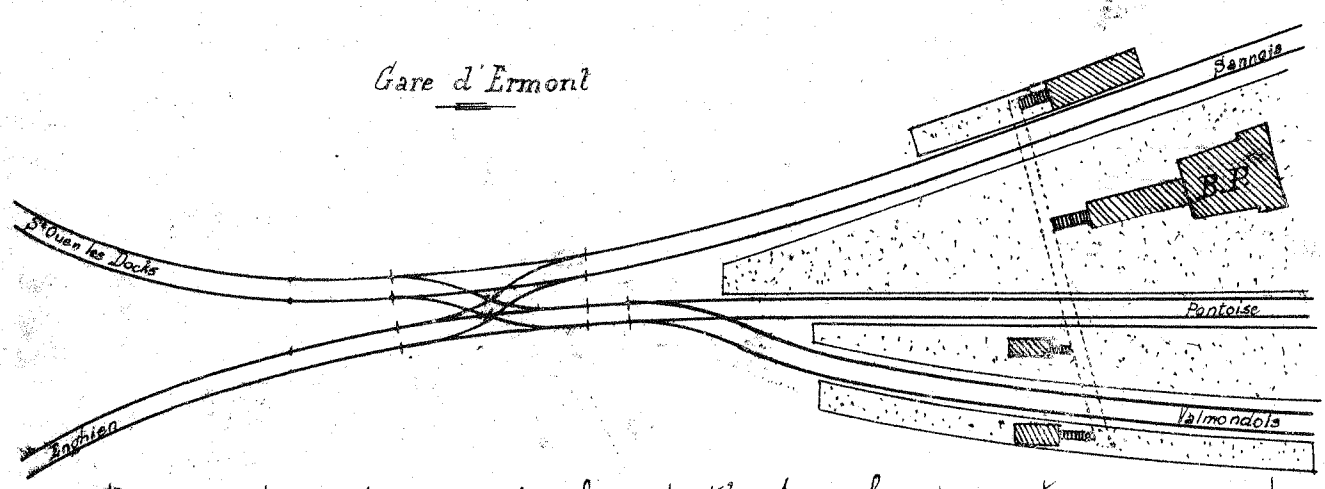
la gare de Montdidier (schéma ci-contre), où 4 trains de voyageurs peuvent stationner simultanément. Cette disposition est intéressante parce qu'elle réduit le nombre des voies à traverser par les voyageurs, lorsque la ville à desservir se trouve elle-même placée dans l'angle des lignes aboutissant à la gare, évitant ainsi la traversée de passages à niveau.

Il existe dans la banlieue de Paris, des gares placées dans l'angle formé par trois lignes convergentes ou dans lesquelles se produit un

très gros mouvement de voyageurs. Dans ces conditions, on évite la traversée des voies par les voyageurs, qui serait trop dangereuse, en créant des escaliers en des souterrains.

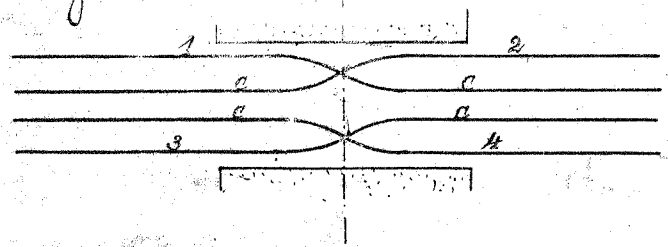
Les gares d'Ermont et d'Argenteuil sont dans ce cas :

Gare d'Ermont



Mais ces dispositions spéciales, dictées par les circonstances, sont des exceptions et le cas le plus fréquent en France est, comme nous l'avons dit, celui des quais parallèles bordant un nombre de voies égal à celui des directions convergentes.

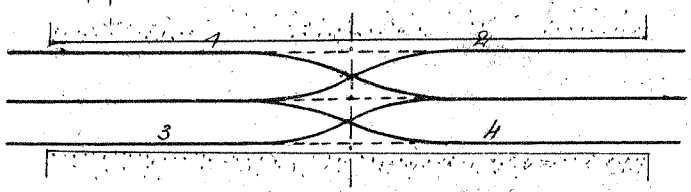
On a cherché toutefois à réduire le nombre des voies à traverser et, pour cela, dans les gares où la place en longueur ne manque pas pour l'établissement des quais, on a fait arriver deux trains en prolongement sur une voie en bordure d'un même quai.



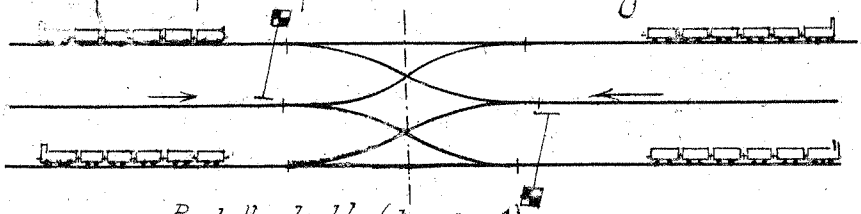
Une solution pratiquée à l'étranger consiste à faire passer les trains sur des voies de circulation c éloignées des trottoirs, mais en les faisant s'infléchir en se croiser deux à deux pour côtoyer en 1, 2, 3 ou 4 une moitié de la longueur de l'un des quais.

Une disposition partant du même principe, mais plus simple, en exigeant moins de place en largeur, est celle dite de la bretelle double, indiquée ci-contre en qui a reçu un certain nombre

d'applications sur le réseau du Nord français (en particulier à Hazebrouck, Arras, Laon, Tourcoing, Valenciennes). Une seule voie de circulation existe entre les deux voies 1 & 3, ou 2 & 4 bd dans les demi-quais opposés. En complétant cette disposition par tout ou partie des jonctions indiquées en pointillé entre les voies situées en prolongement, on facilite les mouvements de circulation ou de manœuvres pour faire passer certains wagons d'un train à un autre.

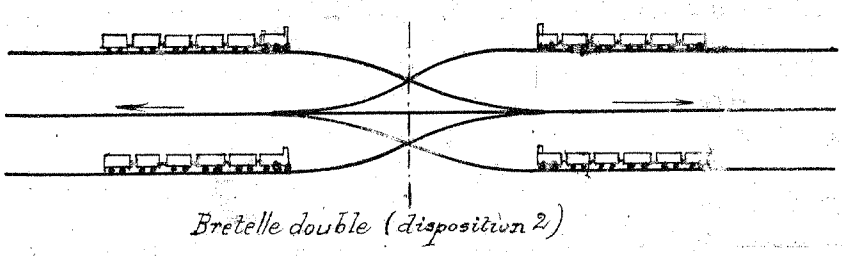


Bretelle double


Bretelle double (disposition 1)

A Arras, Hazebrouck, Laon, Tourcoing, les trains arrivant par les voies du milieu dans le sens indiqué par les flèches franchissent la bretelle double avant de se placer à quai, où ils se tournent le dos. Des jonctions établies en bordure des quais facilitent les retraits, additions ou échanges de véhicules placés en queue des trains : ces manœuvres sont donc grandement facilitées (disposition 1).

A Valenciennes, au contraire, les trains s'arrêtent à quai face à face avant de franchir la bretelle double (disposition 2); lorsqu'ils franchissent cette


Bretelle double (disposition 2)

bretelle double — sur laquelle se trouvent les passages planchéiés réservés à la traversée des voyageurs — ils démarrent peulement en sonnant à très faible vitesse, en outre ils n'abordent pas d'aiguilles en pointe. Des jonctions en bordure des quais sont inutiles en n'ont pas été installées; en revanche, une jonction établie dans l'axe longitudinal de la bretelle double peut être utilisée (grâce au jeu d'enclenchements appropriés) pour faire passer de bout en bout par la voie du milieu certains

trains directs – ou mouvements de machines –. Cette disposition permet de réduire au minimum la distance à parcourir entre deux trains reçus en bordure d'un même trottoir, les mécaniciens s'arrêtant aussi près que possible de l'axe du B.P Elle a pu être adoptée à Valenciennes d'autant mieux que, en raison de la situation spéciale de la gare, bon nombre des trains rebroussent ou ne donnent pas lieu à une traversée de la bretelle double.

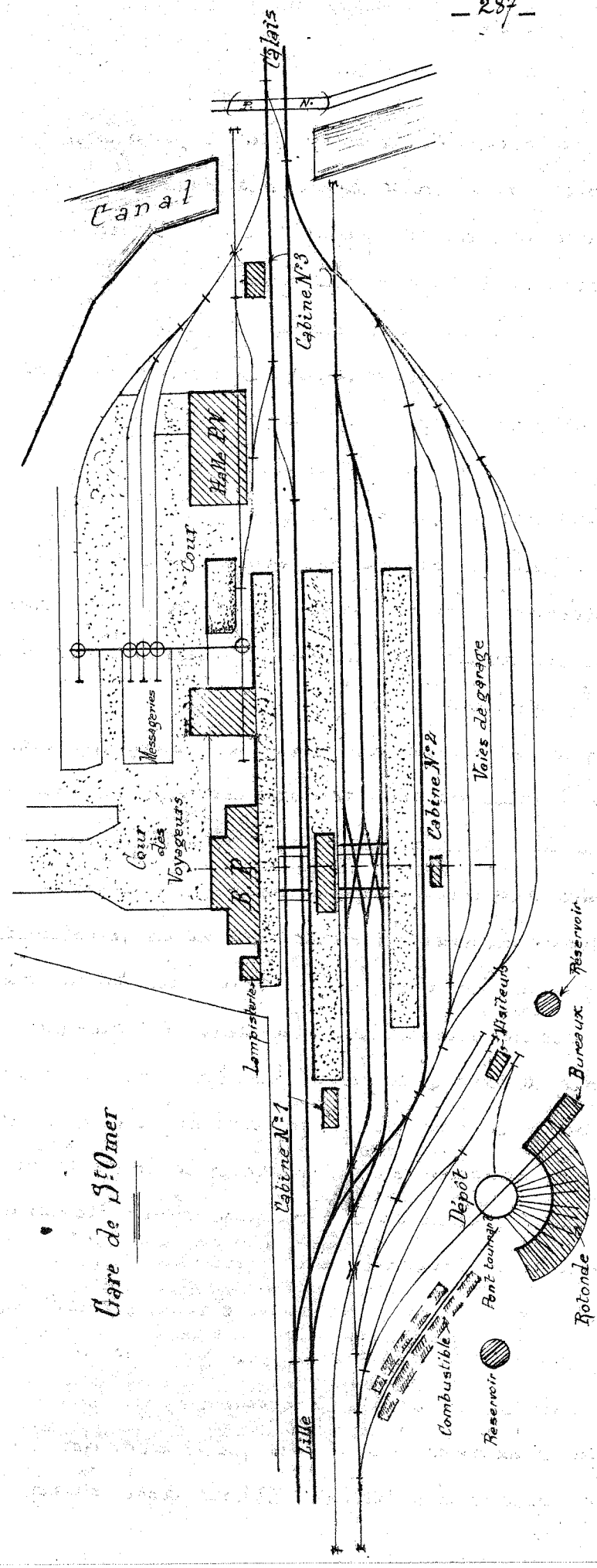
Grandes Gares de passage.— Dans les grandes gares qui ont à assurer un service de voyageurs très important, tant au point de vue service local qu'au point de vue des correspondances, on installe à la fois vis-à-vis du B.P. un groupe de 2 voies pour le passage direct des grands trains et un groupe de 3 voies réunies comme nous venons de le voir par une bretelle double.

C'est le cas de la gare de St Omer, dans laquelle les voies directes sont établies en bordure du bâtiment principal.

Au-delà du 3ème quai à voyageurs se trouve le faisceau des voies de garage relié à ses deux extrémités aux voies principales en pourvu d'un côté d'une longue impasse de manœuvre juxtaposée à une voie spéciale d'accès au dépôt des machines. Une liaison avec traversées-jonctions met ces deux voies en rapport direct avec les voies à quai de la bretelle double.

Le service des marchandises est installé à l'opposé du faisceau des voies de garage, du même côté que le bâtiment principal. On y trouve d'abord une halle spéciale au service des marchandises Grande Vitesse (messageries & postaux) avec un plan incliné permettant de conduire les tricycles des quais à voyageurs au quai de la halle des messageries.

La halle petite vitesse est placée dans le prolongement de la précédente, mais plus écartée du service des voyageurs. En dehors de la voie qui dessert la halle et le quai à bestiaux, la cour aux mar-



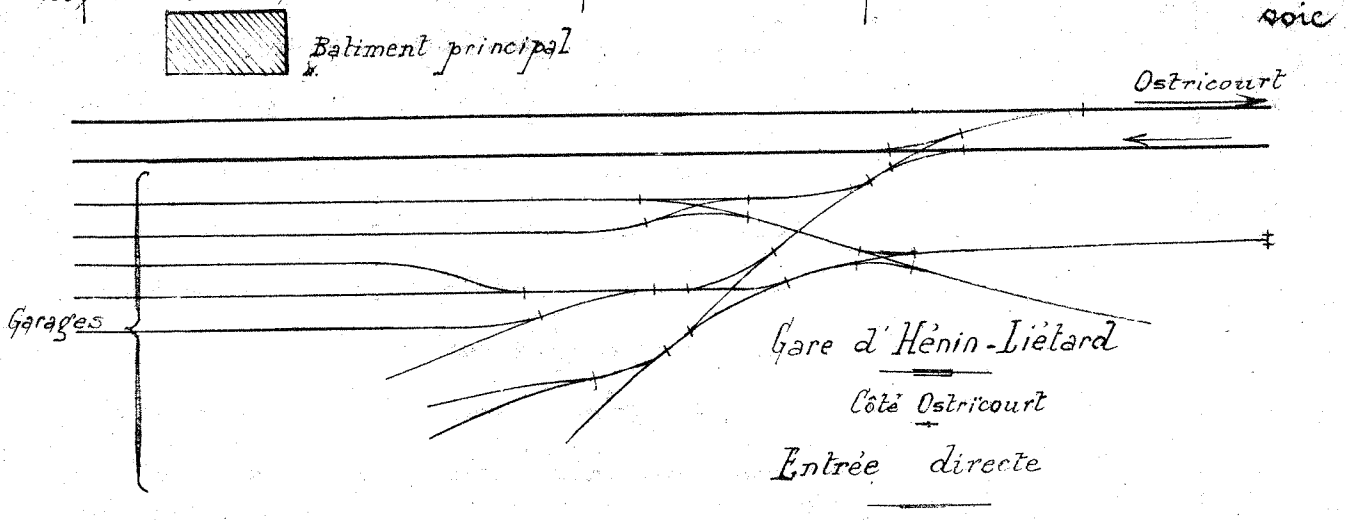
Gare de St Omer

chandises, partagée en deux parties, comporte une voie de ceinture en un groupe de 3 voies centrales, ce qui fait 3 voies de débord en une voie de dépôt de wagons; le tout est relié par une traversée rectangulaire à hauteur de la halle des messageries et du quai à bestiaux, en même temps que par aiguilles à l'extrémité de la gare.

Une jonction spéciale reliant la voie du quai des messageries aux voies principales facilite les manœuvres d'addition et de retrait de véhicules G.V. aux trains de voyageurs de passage.

Pour réduire au strict minimum l'occupation des voies principales par les trains de marchandises, la gare possède à chacune de ses extrémités, une entrée directe (fig. page 288) donnant accès des voies prin-

principales dans le faisceau des voies de garage. Les trains de marchandises y pénètrent donc directement, au lieu de se garer par refoulement comme cela se fait dans les petites stations de double voie

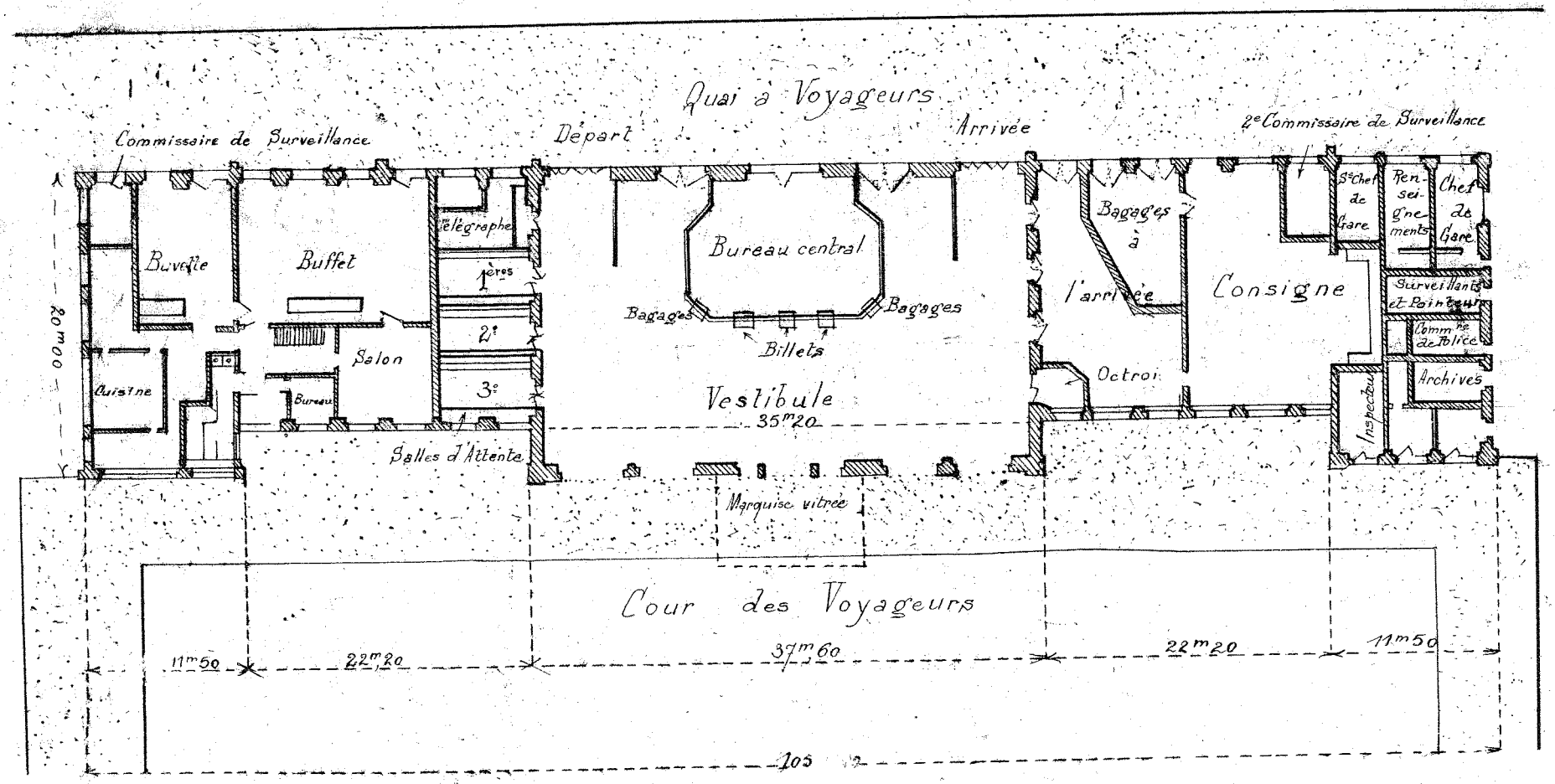


Entre la tête du faisceau des garages et les voies du Dépôt des machines, sont réservées deux courtes voies en cul-de-sac constituant le chantier des visiteurs, sur lesquelles se font les petites réparations de wagons.

Un petit bâtiment spécial à usage de lampisterie est édifié à quelque distance de l'extrémité du bâtiment principal, du côté opposé aux halles.

Distribution du bâtiment des voyageurs dans une grande gare. — Dans les installations modernes, on s'attache à avoir de larges dégagements. Un grand rectangle, occupant la partie centrale du bâtiment principal, est réservé pour constituer, autour du bureau central des billets et des bascules, un vaste vestibule ou salle des pas perdus. Le bureau central, placé dans l'axe du B.P. et adossé au quai, comporte 2 ou 3 guichets pour la distribution des billets et un guichet pour l'enregistrement des bagages à chaque extrémité. De part et d'autre du bureau, vis-à-vis de portes donnant sur le quai sont installées des bascules à fleur de sol sur lesquelles peuvent être amenés très facile-
ment

Bâtimens principal de la gare de Valenciennes



les tricycles à bagages. A l'une des extrémités de la salle se trouve une porte réservée à l'accès des quais, tandis qu'une porte située à l'extrémité opposée est réservée à la sortie des voyageurs.

Les salles d'attente des 3 classes de dimensions relativement restreintes sont disposées parallèlement aux voies et ouvrent sur la salle des pas perdus, au voisinage de la porte d'accès des quais.

A l'extrémité de la salle voisine de la porte de sortie des voyageurs se trouve au contraire la salle des bagages à l'arrivée. Tout est donc combiné pour que les courants des voyageurs au départ et à l'arrivée ne se contrarient pas.

Dans un angle de la salle des bagages à l'arrivée est ménagé le bureau de l'octroi, tandis que dans la partie opposée se fait le dépôt des colis en arrière du banc à bagages. Dans une salle voisine servant de consigne sont déposés les bagages que les voyageurs n'ont pas réclamés à l'arrivée du train transporteur.

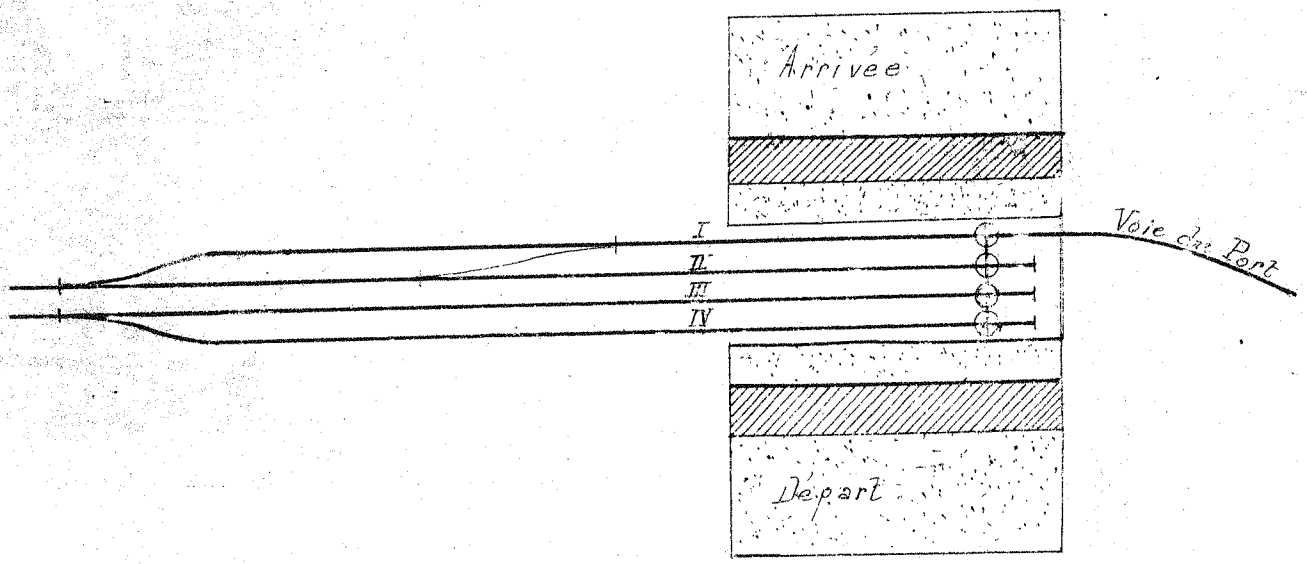
D'une des extrémités du bâtiment reçoit les installations du buffet-hôtel et de la buvette, tandis qu'à l'autre extrémité sont ménagés des locaux annexes : bureau du Chef et des sous-chefs de gare, du Commissaire de Surveillance administrative, archives, télégraphe, etc..

Gares terminus de voyageurs. — Les gares de l'espèce, gares de Paris ou gares installées avec rebroussement dans certaines grandes villes ou dans des ports de mer, sont en général en impasse, pour pénétrer au cœur des villes.

Les plus simples comportent un seul quai d'arrivée et un seul quai de départ et entre les deux voies à quai, des voies destinées à l'évacuation des machines et au remisage du matériel à voyageurs. Ces voies sont reliées par des plaques tournantes aux voies d'arrivée et de départ. En bordure des quais sont édifiés des bâtiments aménagés respectivement pour les ser-

perçoces de l'arrivée en du départ en qui, avec un pignon situé ou un bâtiment perpendiculaire aux voies, supportent une halle couverte.

L'une des voies extérieures est prolongée, s'il y a lieu, dans une tranchée du bâtiment d'extrémité, pour servir de voie mère aux ramifications desservant les quais des divers bassins du port.



Cette disposition rend très facile le service des bagages en réduisant le parcours des tricycles.

Les gares de l'espèce doivent être pourvues d'une remise pour les locomotives, d'un pont tournant, en le cas échéant, d'une remise de voitures desservie par un chariot à niveau.

Des variantes ont été apportées à cette disposition-type pour augmenter le débit de la gare à voyageurs, en particulier lorsqu'il s'agit d'un service de banlieue.

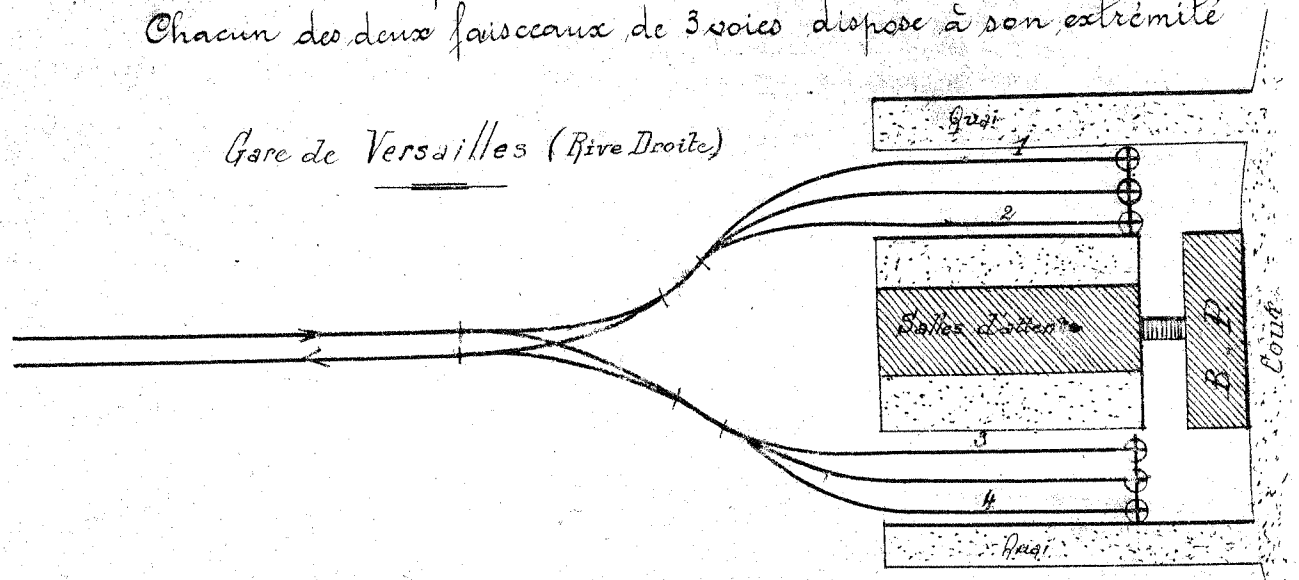
A Versailles (rive droite), par exemple, on a disposé deux faisceaux de trois voies en impasse de part en d'autre des deux quais à départ symétriques. Ces derniers encadrent les salles d'attente en donnent accès aux trains en partance stationnant sur l'une des voies de départ 2 & 3.

Les arrivées des trains de voyageurs se font sur les voies 1 et 4

bordées chacune d'un quai extérieur.

Chacun des deux faisceaux de 3 voies dispose à son extrémité

Gare de Versailles (Rive Droite)



d'une batterie de plaques tournantes. Les machines-tenders qui ont remorqué les trains, tournent sur ces plaques et se dégagent par la voie voisine.

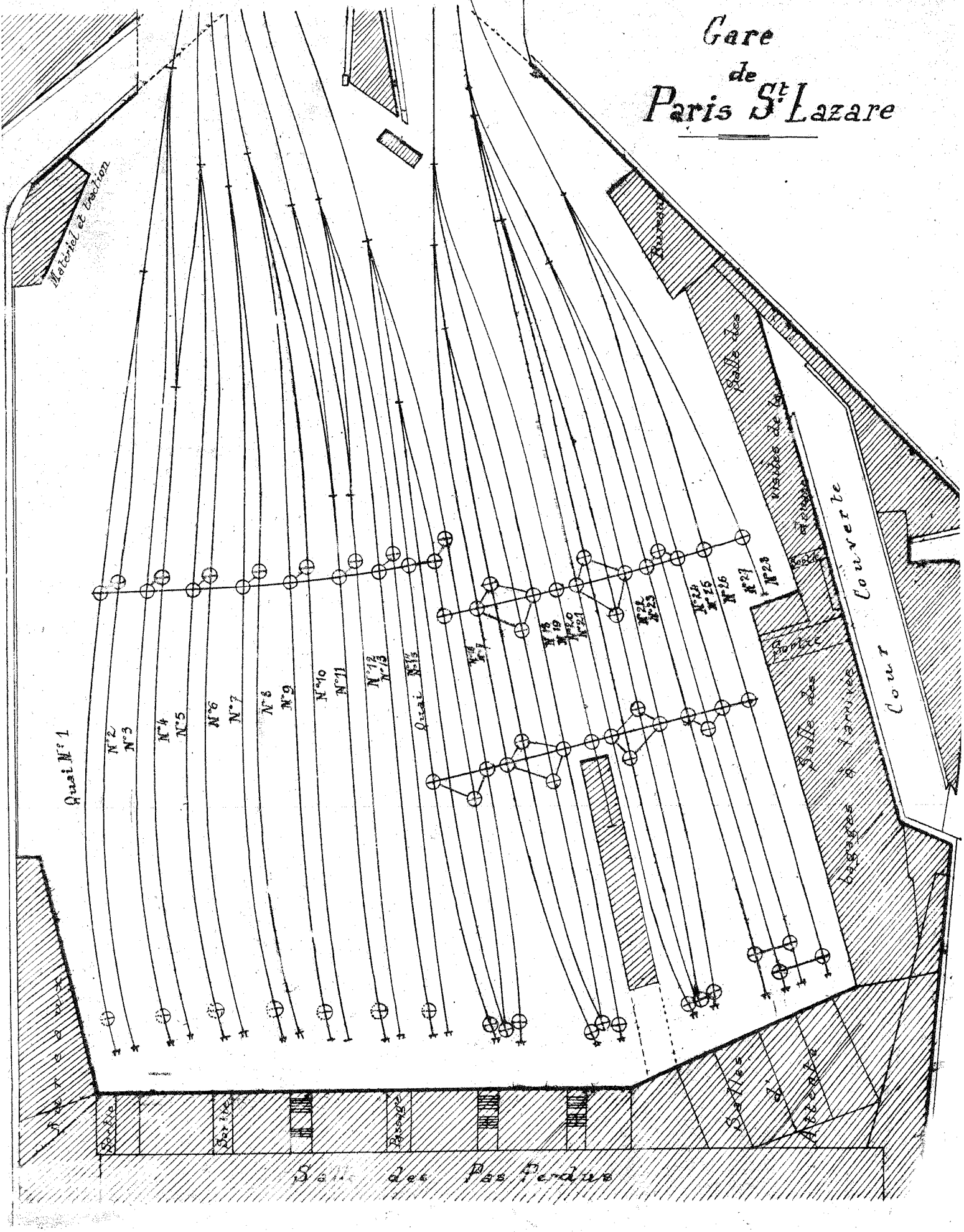
Grandes gares de Paris. — Les grandes gares de Paris sont également établies en impasse et encadrées sur trois côtés par des bâtiments réunis par des halles couvertes. Mais celle d'entre elles qui ont à faire face, en plus du service de grandes lignes, à un service de banlieue très important, comme Paris St Lazare et Paris-Nord, ont dû être remaniées profondément en vue d'augmenter le nombre des voies et d'améliorer le rendement des installations.

Dans les trains de banlieue, le service des bagages est beaucoup moins important que dans les trains des grandes lignes. D'autre part, le matériel d'un train à l'arrivée doit pouvoir repartir au bout d'un temps très court après dégagement et mise en tête de la machine.

Le service de banlieue est donc groupé dans un faisceau distinct de celui des grandes lignes, ce dernier étant placé à proximité des salles de réception ou de livraison des bagages.

a la gare de Paris St Lazare (Réseau de l'Ouest-Etat)

Gare de Paris St Lazare


Matériel et traction
Bureaux
Salle des
Visites de la douane
Salle des
Bagages à l'arrivée
Couvert
Cour
Quai N° 1
N° 2
N° 3
N° 4
N° 5
N° 6
N° 7
N° 8
N° 9
N° 10
N° 11
N° 12
N° 13
Quai N° 14
N° 15
N° 16
N° 17
N° 18
N° 19
N° 20
N° 21
N° 22
N° 23
N° 24
N° 25
N° 26
N° 27
N° 28
Rue de Rome
Rue de Stockholm
Rue de Leipzig
Rue de Berlin
Rue de Vienne
Rue de Budapest
Rue de Londres
Rue de Liverpool
Rue de Manchester
Rue de Dunkerque
Rue de Amsterdam
Rue de Saint Pétersbourg
Rue de Moscou
Rue de Varsovie
Rue de Copenhague
Rue de Bruxelles

les voies affectées aux lignes de banlieue sont groupées sur la gauche en séparées de 2 en 2 par des quais perpendiculaires à la façade de la gare. Les voies contiguës sont reliées près des heurtoirs par des plaques tournantes sur chariots, en qui sont utilisées pour le tournage des machines.

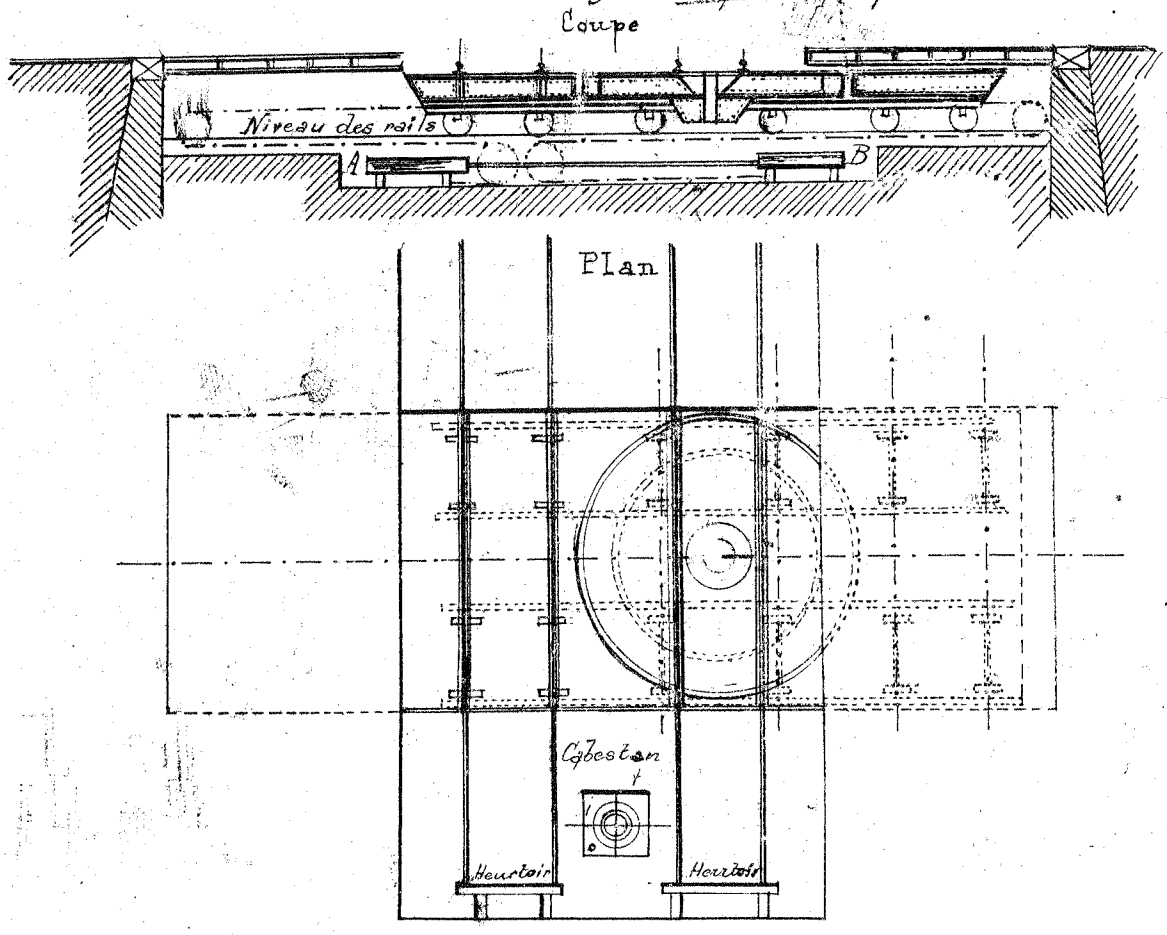
Le faisceau de banlieue se subdivise d'ailleurs en 3 groupes: Ceinture, ligne de Versailles, ligne de St Germain, placés dans cet ordre à partir de la gauche, en qui disposent chacun de portes d'accès aux quais de départ en de bureaux de billets distincts dans la grande salle des pas perdus, qui s'étend sur toute la longueur de la façade, au niveau des voies (1er étage).

Les voies des grandes lignes, réunies dans un faisceau situé dans la partie droite de la gare, comprennent au contraire des groupes de 4 voies reliées entre elles par 3 batteries de plaques tournantes. Les bagages au départ sont déposés au rez-de-chaussée (sous la salle des pas perdus) dans le prolongement du faisceau des grandes lignes. Repris par des monte-charges, ils débouchent sur la plateforme avec le minimum de chemin à parcourir.

Chacun des groupes de 2 voies du service de banlieue est commandé à son extrémité par un chariot transbordeur hydraulique portant une plaque tournante avec cabestan hydraulique permettant de tourner les machines des trains de banlieue dès leur arrivée avant de les dégager par la voie contiguë pour les faire passer en tête du matériel même qu'elles viennent de remorquer.

La machine s'étant placée sur la plaque tournante, un premier mouvement du chariot amène la plaque dans l'axe du groupe des 2 voies. En ce point, le mouvement de rotation de la machine peut s'opérer sous l'action du cabestan hydraulique sans engager les quais. Le chariot est ensuite amené à fond de course

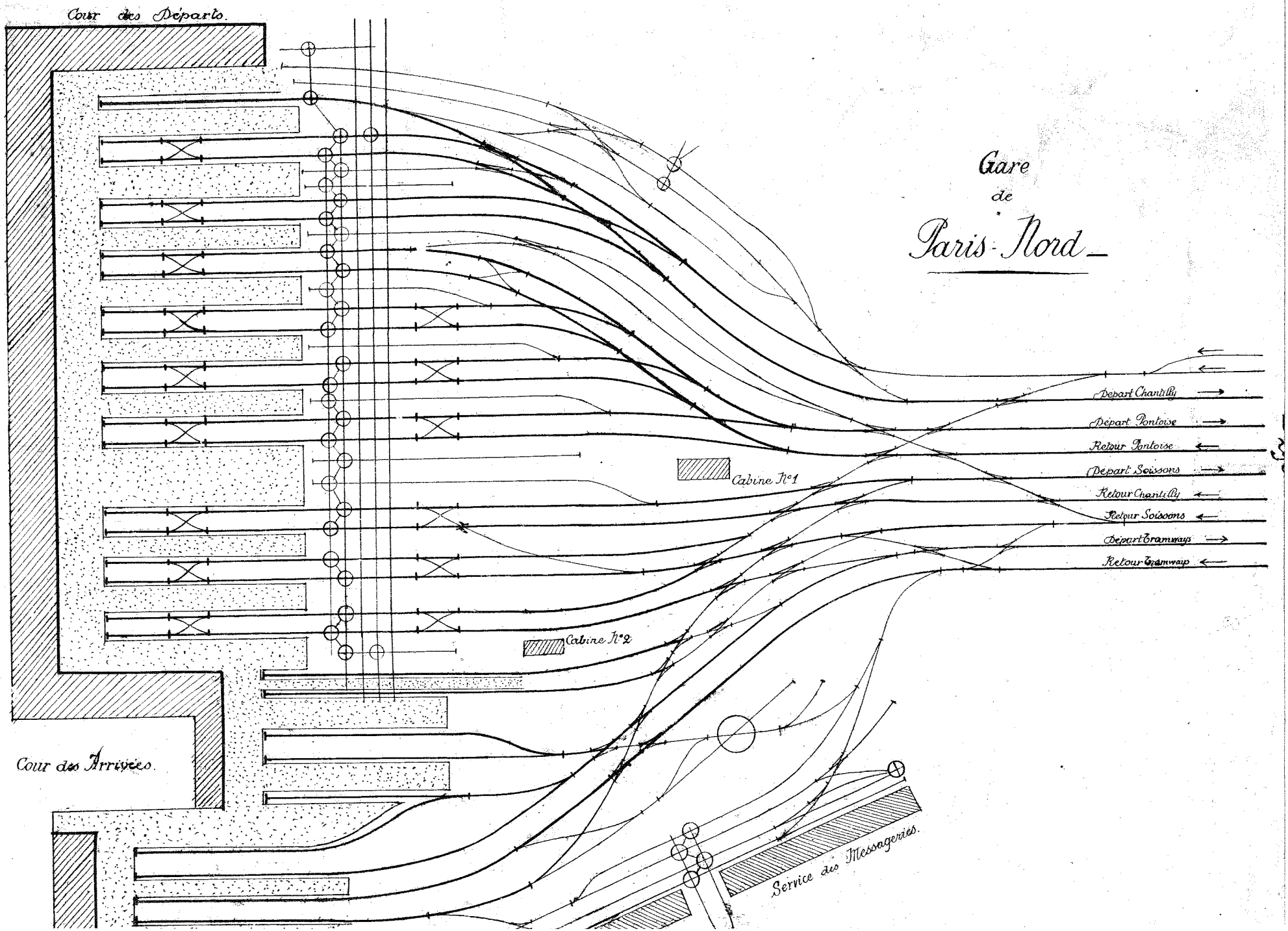
Chariot transbordeur hydraulique à plaque tournante



pour permettre à la machine de regagner l'une des deux voies pour se dégager.

A la gare de Paris. Nord, tout le service de banlieue est groupé au centre (à part le service des trains de ceinture et des trains-tramways de St. Denis qui est rejeté sur la droite dans un bâtiment spécial). Quant au service des grandes lignes, il est divisé en deux groupes : le départ des trains se fait du côté gauche où se trouvent les bascules d'enregistrement des bagages et la consigne des bagages au départ, tandis que les arrivées se font à droite du faisceau de banlieue, à proximité des installations de la douane, de la salle de distribution des bagages et de la consigne des bagages à l'arrivée.

Entre deux quais les voies sont jumelées en reliées entre deux à deux par une bretelle près des heurtoirs et une autre bre-


Cour des Départs.
Gare
de
Paris-Nord
Départ Chantilly
Départ Pontoise
Retour Pontoise
Départ Soissons
Retour Chantilly
Retour Soissons
Départ Tramways
Retour Tramways
Cabine N°1
Cabine N°2
Cour des Arrivées.
Service des Messageries.

bretelle en avant du rideau du grand hall, un peu au-delà de la ligne des plaques tournantes. Ces bretelles servent au dégagement des machines qui peuvent, le cas échéant, se mettre immédiatement en tête d'un nouveau train. Toutes les voies sont d'ailleurs réunies dans l'avant-gare par une grande bretelle qui permet dans des cas déterminés de banaliser complètement toutes les voies à quai.

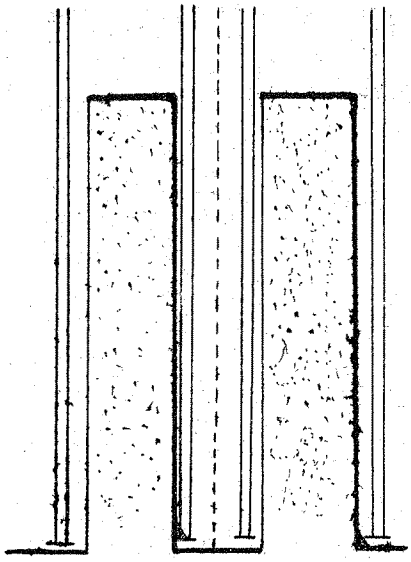
Sur un chemin de roulement spécial, établi parallèlement à la ligne des plaques tournantes, circule un chariot transbordeur à niveau, remorqué par un tracteur électrique à trolley, qui permet de transporter rapidement d'une voie sur l'autre une voiture à voyageurs nécessaire pour renforcer un train.

Quais surélevés. — Dans certaines gares, peu nombreuses en France, répandues au contraire en Angleterre, on a installé des quais hauts permettant aux voyageurs d'accéder dans les voitures sans utiliser les marchepieds. C'est le cas de la gare de Lille, des gares de la Petite Ceinture de Paris et du Métropolitain de Paris. Les voyageurs trouvent plus facilement les places disponibles dans les voitures en y accédant avec plus de rapidité. La manutention des bagages s'en trouve également facilitée.

Le système présente, par contre, des inconvénients en ce qui concerne la visite de la partie basse du matériel, l'alimentation des appareils de chauffage, etc... Il partage, en outre, avec le système des quais à niveau des grandes gares terminus, l'inconvénient de rendre plus longs les échanges de voyageurs et de bagages entre trains en correspondance, qui ne peuvent être mis en batterie en bordure d'un même quai.

Circulation des tricycles à bagages. — Dans les grandes gares, en dépit de la largeur donnée aux quais parallèles, la circulation des tricycles à bagages est une cause de gêne

pour la circulation des voyageurs.



Dans certaines gares terminus de l'étranger, comme à Zurich, on a ménagé entre les voies jumelées un petit quai, non accessible aux voyageurs, en sur lequel circulent les tricycles à bagages et ceux de la poste (trajet indiqué en pointillé sur le croquis ci-contre)

A Paris. Nord, les passages souterrains pour tricycles ont été aménagés récemment, avec ascenseurs électriques près des bascules à bagages en à la tête de chacun des quais de départ des trains de grandes lignes.

A la gare de Paris-Orsay, où les voies sont en sous-sol, des toiles sans fin mises en mouvement par des dynamos, assurent le transport des bagages entre divers points des quais et le rez-de-chaussée où se fait l'enregistrement et le premier étage où se trouve la consigne des bagages à l'arrivée.

Gares de triage. — On entend généralement par triage des trains, l'ensemble des opérations qu'une gare de bifurcation doit effectuer pour extraire des trains qui lui parviennent des diverses directions, les wagons qui doivent continuer leur route dans chacune des directions divergentes. Il y a décomposition des trains, puis reconstitution en trains nouveaux.

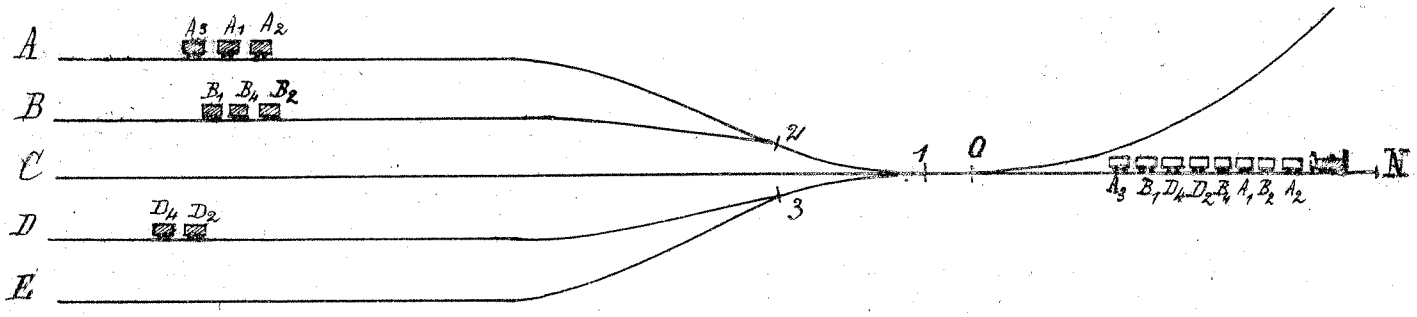
1° le <u>débranchement</u> ou triage proprement dit, qui consiste à décomposer par directions tous les trains convergeant dans la gare.

2° la *formation* ou classement, qui consiste à reprendre les wagons d'une même direction groupés dans l'opération précédente pour les classer dans l'ordre géographique des stations, de manière à obtenir pour chacune des directions un train de

de continuation qui acheminera les wagons sur leur destination définitive en réduisant au minimum les manœuvres à faire pendant le stationnement dans les petites stations.

Pour faire un débranchement rationnel, il faut que la gare possède autant de voies de garage qu'il y a de directions $A, B, C, D, \ldots$ rayonnant autour de la gare considérée en une voie de manœuvre en impasse ON reliée par aiguilles à toutes ces voies. On opère alors de la manière suivante :

Désignons par $A_1, A_2, A_3 \ldots$ les stations successives ren



contrées dans direction A, par B_1, B_2, B_3, etc... les stations de la direction B, et de même pour les directions $C, D, E \ldots$

Une machine tire sur l'impasse de manœuvre ON une rame de 8 wagons par exemple : $A_2, B_2, A_1, B_4, D_2, D_4, B_1, A_3$ comme l'indique le schéma ci-dessus, de manière à dégager toutes les aiguilles du faisceau. Cela fait, on décroche les attelages du wagon A_3, en après avoir demandé à l'aiguilleur de disposer les aiguilles pour la direction A, on commande à la machine un lancement. La machine refoule énergiquement mais s'arrête presque aussitôt après avoir donné au wagon A_3 l'impulsion nécessaire pour franchir les aiguillages et gagner la partie moyenne de la voie A. On décroche ensuite le wagon B_1 que la machine lance sur la voie B, puis on décroche les attelages entre D_2 et B_4, de manière à lancer d'un seul coup sur la voie D l'ensemble des wagons D_4 et D_2 qui sont déjà réunis ; et ainsi de suite jusqu'au wagon A_2. Dans le cas qui nous occupe, les 8

wagons se groupant sur les voies A, B ou D comme l'indique le schema.

Lorsque dans les refoulements successifs, on atteint l'aiguille 1, la machine doit avancer à nouveau vers l'extrémité N avant de continuer ses lancements. Cette machine effectue donc sur la voie ON un mouvement de va-et-vient qui fait donner à cette impasse de manœuvre le nom de voie de tiroir.

On peut débrancher ensuite d'autres parties de trains ou trains entiers si la longueur de la voie ON le permet.

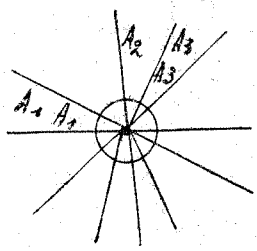
Tout ce que nous venons de dire s'applique au cas où on peut substituer à la voie de tiroir en palier une voie de débranchement en pente de 10 m/m vers le faisceau, de manière à faire le débranchement des wagons en chute libre, sous l'action de la pesanteur (triage par gravité), mais dans ce cas les wagons sont débranchés plus rapidement, et on réduit les dépenses de machines.

Un certain nombre de gares de bifurcation ne possèdent pas autant de voies qu'il y a de directions ou d'affectations de train particulières ; cela oblige à reprendre en 2 fois le débranchement pour certaines directions. De même, certaines gares ne possèdent pas de voie de tiroir et doivent effectuer leurs manœuvres en utilisant la voie principale.

Enfin beaucoup de gares doivent faire tout le triage sur le groupe des voies de garage.

Quoi qu'il en soit, une fois le débranchement des divers trains terminé, il faut procéder à la formation, ou au classement des trains de continuation. Pour cela, on reprend les wagons A_3, A_1, A_2 etc... devant entrer dans la composition d'un train pour la direction A, et on les égrène à nouveau de manière à réunir sur des bouts de voie distincts les wagons A_1 destinés à la première station, les wagons A_2 destinés à la seconde, etc...

Cette opération peut se faire en manœuvrant avec une machine sur une impasse de manœuvre pour lancer les wagons soit sur la tête des voies du faisceau de triage unique, soit sur les voies d'un faisceau distinct. On peut encore faire ce classement à l'aide d'un chariot à vapeur dont le chemin de roulement est perpendiculaire aux voies de triage. On le fait aussi quelquefois en égrenant les wagons sur des voies courtes rayonnant autour de plaques tournantes. Ce sont là toutefois des procédés coûteux et lents, très peu utilisés.



Nous avons dit précédemment que, dans les gares de bifurcation de moyenne importance, les opérations de débranchement et de formation qui constituent le triage devaient se faire, faute de mieux, sur l'unique faisceau des voies de garage situé à proximité de la gare des voyageurs, et de la cour des marchandises et parfois même sans l'appoint d'une voie de manœuvre de longueur suffisante. Dans ces gares, les opérations de triage ne sont pratiquées qu'à certaines périodes de la journée.

Nous allons envisager maintenant les dispositions généralement adoptées pour les gares de triage spécialisées complètement distinctes des garages du service local (quoique en relation facile avec ces voies) et dans lesquelles le travail de triage s'opère sans discontinuer.

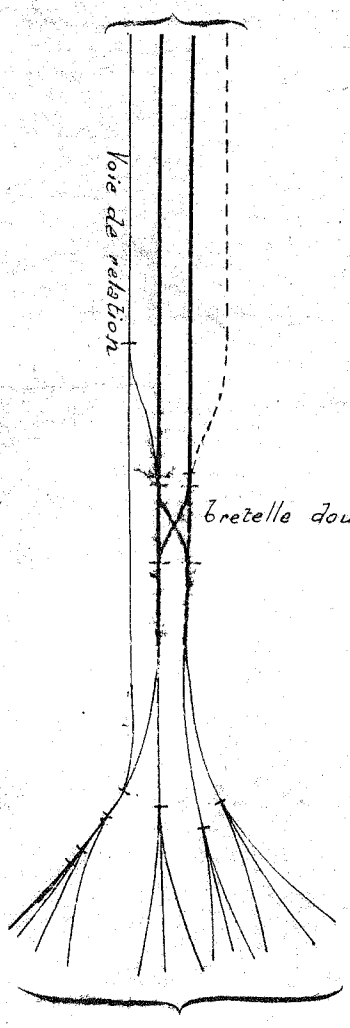
Ces gares de triage proprement dites doivent autant que le permettent l'emplacement disponible et la configuration générale des grandes lignes rayonnantes — satisfaire aux conditions suivantes :

1° disposer d'un faisceau de triage ayant un nombre de voies au moins égal à celui des groupes à former (directions ou fractions de direction).

2° permettre aux trains des directions les plus importantes d'accéder directement des voies principales aux voies de débranchement

de manière à dégager rapidement les voies principales.

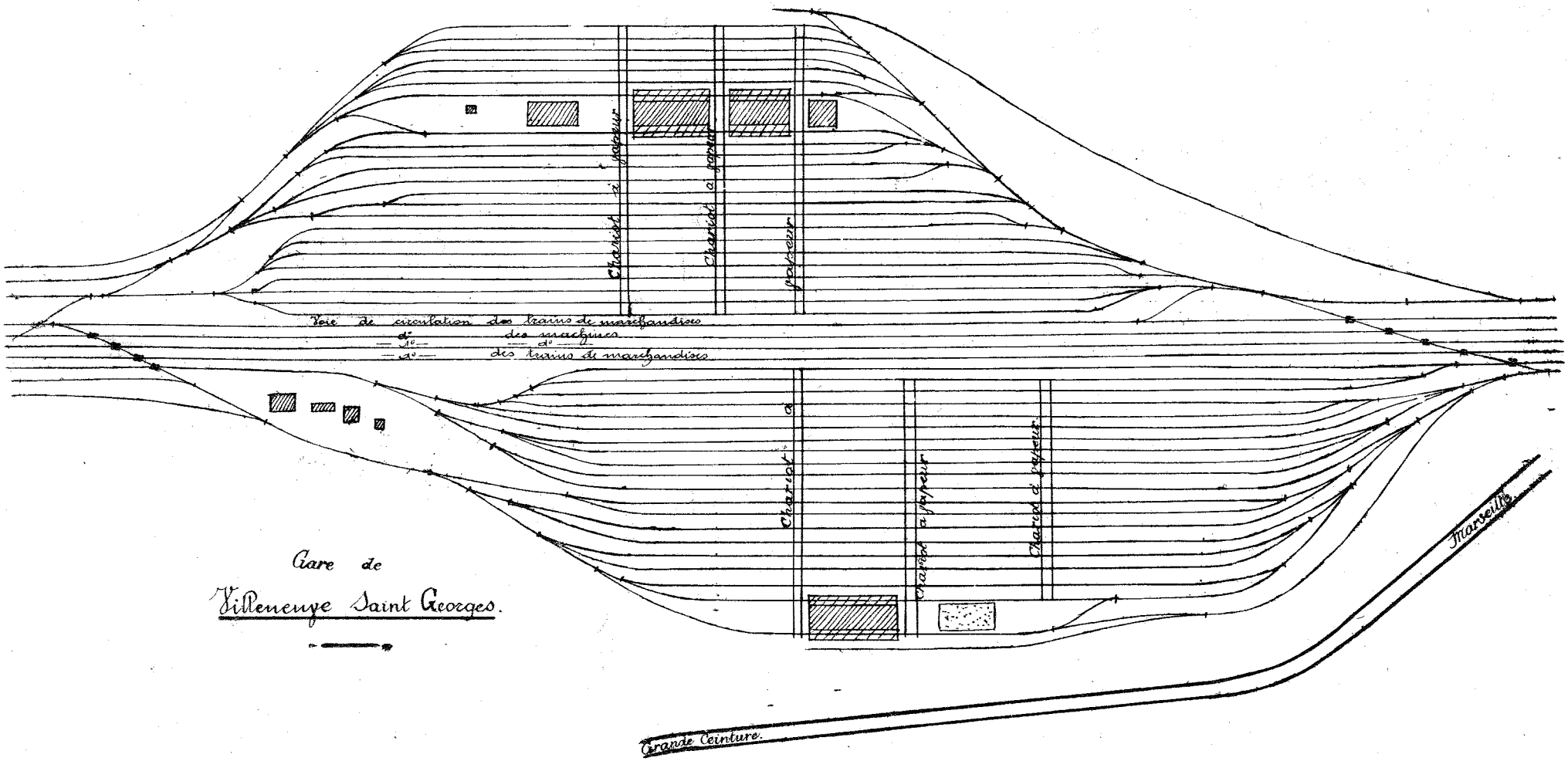
3° disposer autant que possible d'un faisceau de formation distinct du faisceau de triage, ce qui permet de ne pas suspendre le débranchement pendant les opérations de classement en de formation.



4° si le triage se fait par la gravité, c'est-à-dire avec lancement sous la seule action de la pesanteur, offrir plusieurs voies de débranchement en pente, de manière que pendant les débranchements d'un train par l'une d'elles, un autre train puisse être amené sur la voie voisine par sa propre machine, qui se dégage immédiatement ensuite. Une bretelle double doit alors permettre à chacune des voies de débranchement de communiquer avec toutes les voies du faisceau de triage et aussi de débrancher au besoin deux rames simultanément.

5° une voie de relation doit permettre de faire passer au faisceau de formation l'ensemble des wagons d'une des voies du faisceau de triage sans entraver complètement les opérations de débranchement faites sur ce dernier.

Ces conditions ne sont pas toutes remplies dans les grandes gares de triage, car les dispositions locales ne sont pas toujours favorables, surtout lorsqu'on remanie sur place une gare existante pour y appliquer le triage par la gravité comme on l'a fait sur un certain nombre de points dans ces trente dernières années afin d'obtenir dans les gares de triage ainsi transformées un travail plus rapide et un meilleur rendement.



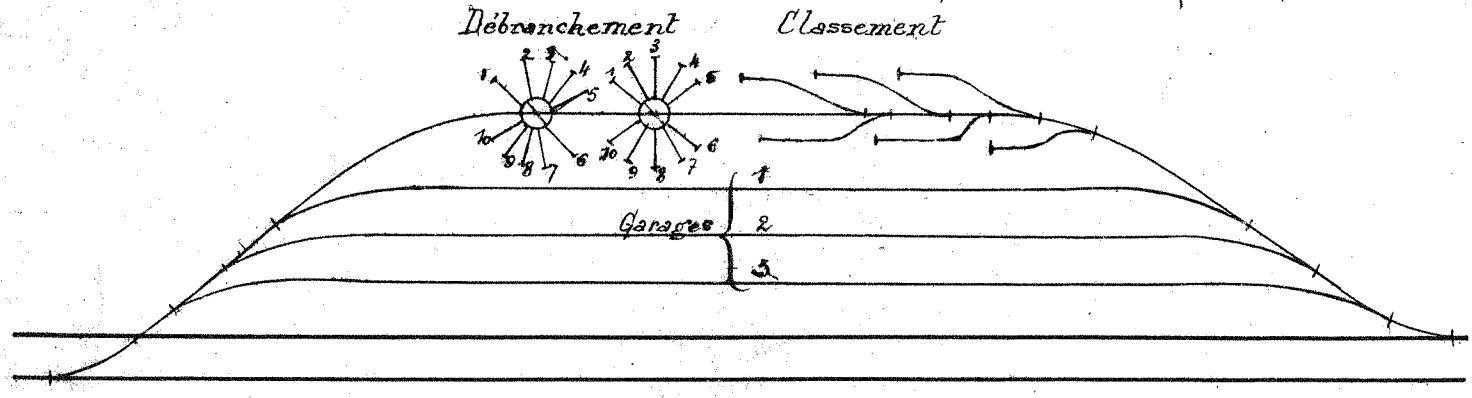
Gare de

Villeneuve Saint Georges.

En France, le faisceau de formation est généralement juxtaposé au faisceau de triage, afin de réduire la longueur de l'ensemble. C'est le cas de Conflens.

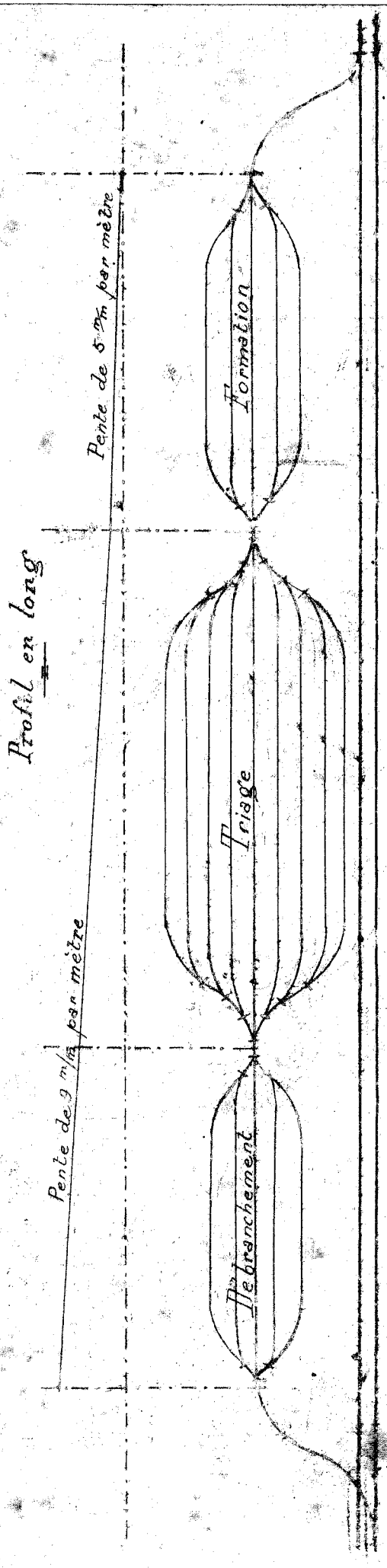
Mais on dispose quelquefois, comme à Fives, deux faisceaux de triage orientés en sens opposé. Cela se pratique beaucoup en Angleterre et surtout en Amérique.

Certaines gares ne possèdent qu'un seul faisceau relié à ses deux bouts aux voies principales. Les voies doivent alors être très longues de façon à contenir des trains entiers. Le classement se fait, sans interrompre le triage, soit au moyen de plusieurs chariots à vapeur perpendiculaires au faisceau, comme à Villeneuve St Georges (croquis page 303), soit en opérant avec une machine travaillant sur une voie de tiroir, à l'autre extrémité du faisceau, soit encore à l'aide de voies courtes rayonnant en étoiles autour de plaques tournantes pour les trains desservant toutes les stations. Cette disposition est pratiquée



dans bon nombre de gares de triage allemandes où le classement par stations, réduit en principe au strict minimum ne se fait généralement que pour un faible parcours. Les wagons devant aller au delà de la gare de bifurcation suivante sont simplement réunis en un groupe jusqu'à cette gare de bifurcation, qui a la charge de classer par stations, ceux qui rentrent dans sa zône propre.

En Angleterre, sur certains points où la longueur disponible le permettait, on a disposé 3 ou 4 faisceaux successifs : c'est la disposition dite des *grils anglais*.



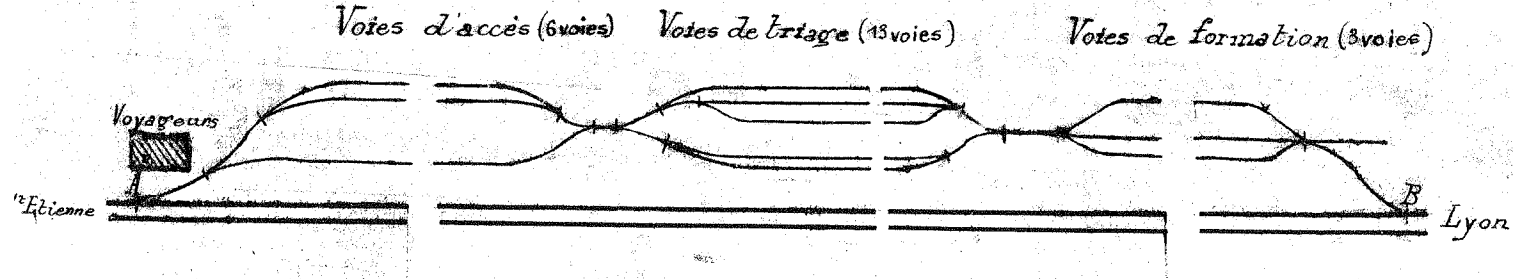
Un premier fuseau comporte les voies de débranchements sur lesquelles sont reçus les trains. Chaque direction est débranchée sur une voie distincte du 2e fuseau. Les wagons de chacune des voies du 2e fuseau sont ensuite égrenés sur le 3e fuseau, en vue du classement par ordre géographique.

Le cas échéant, un 4e fuseau sert à former les trains au départ. Cette disposition étant complétée, comme à Newport, par une pente générale de 9 m/m sur les premiers fuseaux en une pente de 5 m/m sur le fuseau de formation, on conçoit que le triage puisse se faire très économiquement sans l'aide de machines et sans pertes de temps, puisqu'on n'a pas à reprendre pour les faire passer d'un chantier à l'autre les rames débranchées afin de les conduire au groupe de formation.

A la gare de Terrenoire (P.L.M.), on dispose ainsi de 3 fuseaux successifs en pente de 14 m/m, qui est la pente générale des voies principales.

Le fuseau des voies d'accès comprend 6 voies accessibles par une aiguille en pointe. Les trains venant de la direction de St Étienne s'arrêtent

en A, avant d'atteindre cette aiguille. Après serrage des freins, la machine s'en va avec le fourgon de tête prendre un train à 2 kilomètres



plus loin sur le groupe de formation, en B. En desserrant les freins on laisse descendre le train sur l'une des voies d'accès, où on l'arrête.

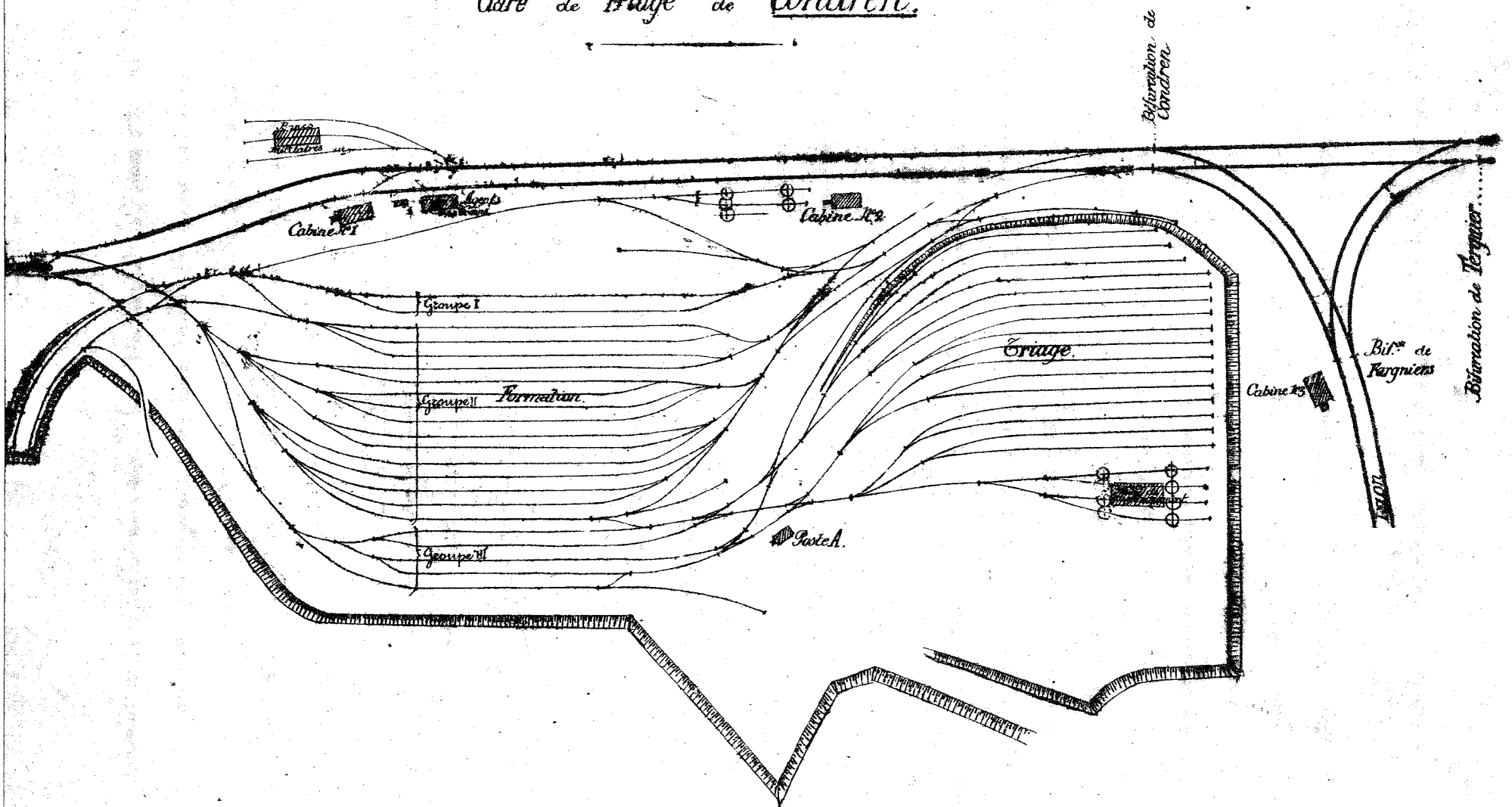
Il suffit ensuite de desserrer successivement les freins des wagons, pour que, obéissant aux lois de la pesanteur, ils aillent les uns après les autres, isolément ou par rames, se trier sur les voies du 2e faisceau, où on les arrête en serrant les freins. Ce deuxième faisceau comporte 13 voies ; mais sur certaines d'entre elles, des aiguilles prises en pointe à la descente divisent pratiquement les 2 voies adjacentes en deux sections, côté St Etienne et côté Lyon. Les 13 voies servent donc en réalité à constituer 18 lots de wagons différents.

Le classement se fait de la même manière sur les voies du 3ème faisceau, lesquelles voies peuvent recevoir chacune deux trains complets. Le mouvement journalier est de 1100 wagons par 24 heures.

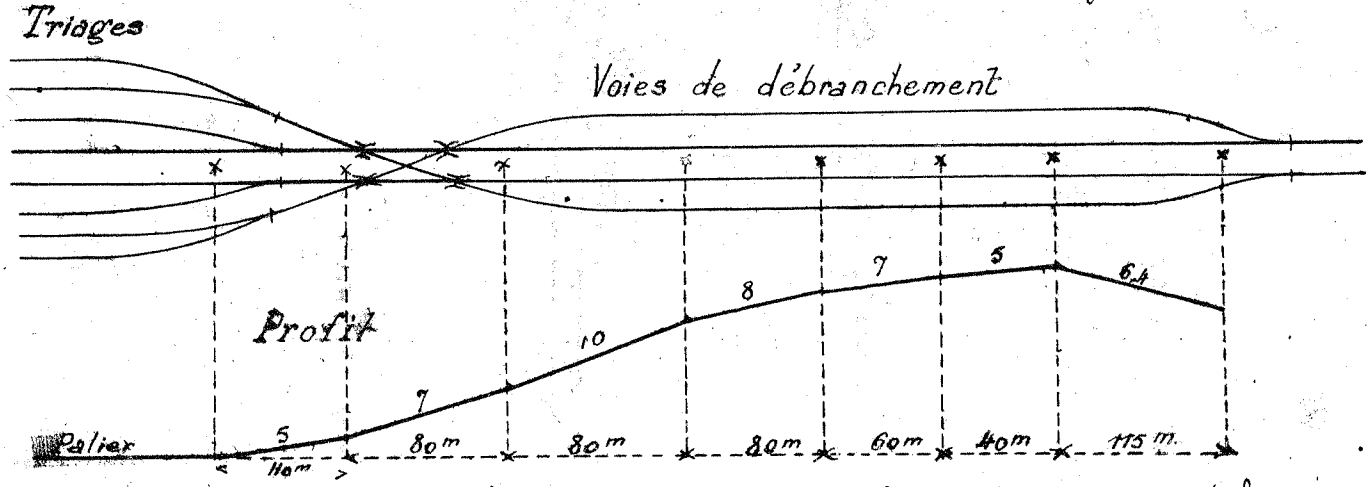
Mais cette application du triage par la gravité avec des voies exclusivement au niveau des voies principales n'a été possible qu'à cause de dispositions locales toutes spéciales et est restée en France une exception.

En principe, au contraire — dans le cas le plus général de voies principales en palier ou à profil peu différent de l'horizontalité — les pentes nécessaires, de 0m010 par mètre en moyenne, n'ont pu être réalisées sur les voies de débranchement qu'au prix de travaux de terrassements importants. Deux solutions ont prévalu : on distingue actuellement les triages par la gravité sans dos d'âne, ou avec dos d'âne.

Gare de Triage de Condren.



Triage par la gravité sans dos d'âne. — Dans ce système, les voies de débranchement sont établies sur une longueur de 400 à 500 mètres en pente continue vers le faisceau de triage. Cette pente varie de 5 à 10 m/m suivant les indications du profil type ci-dessous.



Un train complet étant amené sur l'une des voies de débranchement, on serre les freins des wagons en commençant par ceux du bas de la rampe, afin de donner du lâche aux attelages. La machine peut se dégager en rentrer au dépôt. On décroche les attelages pour faire des coupures aux points convenables, en desserrant les freins successivement on abandonne en chute libre chacun des coupons à débrancher. Pour éviter que le point de chute varie par trop en pour obtenir au contraire des vitesses à peu près égales pour toutes les coupes, on fait de temps à autre descendre lentement sur la pente par son propre poids la rame restant à débrancher, de manière à ramener la tête du débranchement au point de chute convenable. L'agent qui commande le débranchement veille à ce que les coupes soient suffisamment espacées pour permettre à l'aiguilleur du poste de concentration de disposer les aiguilles comme il convient entre le passage de deux coupes successives.

Les aiguilleurs sont d'ailleurs prévenus — par la vue d'un

numéro inscrit à la craie sur l'un des tampons du 1er wagon d'une coupe de la voie sur laquelle ils doivent l'acheminer ; la nuit, cette indication leur est fournie par des coups de corne conventionnels correspondant à la numérotation des voies du triage.

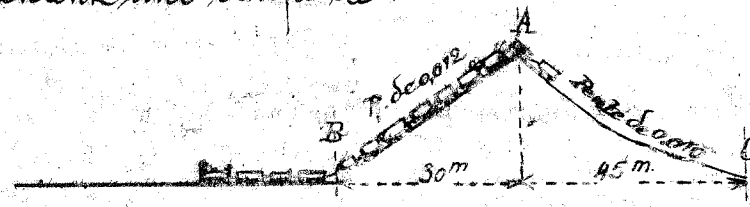
Dans l'installation faite à Nürenberg (pour 1200 wagons par 24 heures) on trouve à la suite du faisceau d'attente unique en pente de 5 à 16 m/m, un faisceau de débranchement (triage par direction) en pente de 5 m/m en ensuite des grils de classement géographique, en pente eux-mêmes vers le faisceau de sortie (formation).

Sur l'une des 3 voies qui font communiquer le faisceau d'attente avec le faisceau de triage, un dos d'âne est cependant disposé, mais on ne l'utilise que par temps de neige, ou par forte gelée contraire.

La disposition de triage sans dos d'âne comporte des terrassements considérables en la différence de 11 à 5 mètres, qui doit exister entre le niveau des têtes de voies de débranchement et le niveau des autres voies et des voies principales, en particulier, rend difficile l'établissement de liaisons entre ces voies. Elle n'est pratique que si presque tous les wagons sont munis de freins. Mais elle présente l'avantage de ne pas immobiliser de machine pour le débranchement.

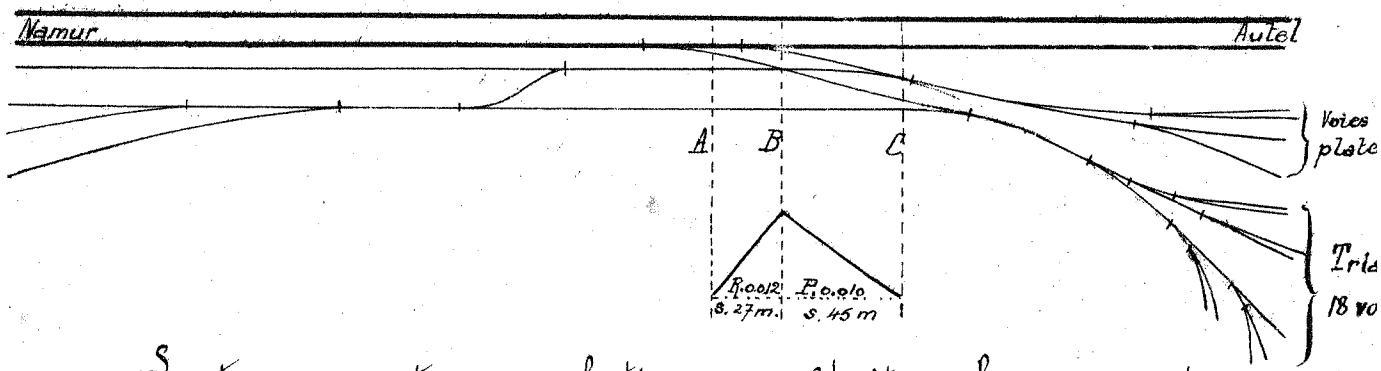
Triages par la gravité avec Dos d'âne. — Ce 2ème type de triage par la gravité (voir croquis de la gare d'Arlon) réduit au minimum les inconvénients que nous venons d'envisager.

A cinquante mètres environ des premières aiguilles du faisceau de triage, les voies de débranchement sont relevées en dos d'âne : horizontales sur leur plus grande longueur ces voies présentent une coupe de 0m012 en avant du point A, puis une contre-pente de 0m010 sur 45 mètres sur la partie AC qui précède les aiguilles.



Lorsqu'on a préparé les coupures de manière à n'avoir plus qu'à décrocher les barres d'attelage entre les diverses coupes, une machine refoule lentement en régulièrement tout le train. Au fur en à mesure qu'une des coupures atteint le point A, un agent fait sauter la barre d'attelage à l'aide d'une perche en bois, en la coupe de wagons prend une accélération en chute libre sur un parcours AC toujours identique.

Gare d'Arlon



Les terrassements sont relativement réduits en le niveau des points B en C peut être sensiblement le même. Dans les grandes gares de triage allemandes installées récemment, comme à Mannheim (où le mouvement journalier est de 8000 wagons par 24 heures), on a généralisé l'emploi des dos d'âne tant pour le débranchement que pour le classement géographique.

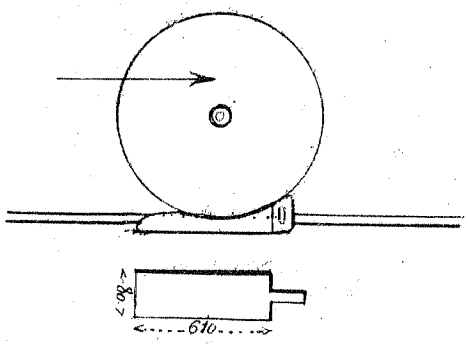
Rattrapage. — Quel que soit le type adopté, il faut, afin d'éviter les chocs dans le triage, prendre des dispositions spéciales pour modérer la vitesse des wagons lancés dès qu'ils sont parvenus assez loin sur les voies. Une équipe d'agents de manœuvre dits rattrapeurs est spécialisée à cette besogne et plusieurs moyens sont employés dans ce but :

1° serrage des freins à contrepoids ou des freins à main si les wagons en possèdent (et c'est le plus grand nombre) ;

2° emploi d'un bâton de manœuvre que l'agent introduit entre le longeron du véhicule et la roue, pour coincer le bandage

en jouer le rôle de sabots ;

3e emploi d'un ~~sabot~~ métallique muni d'une poignée que les agents disposent à l'avance, à cheval sur le rail, aux points convenables (en général à une dizaine de mètres du point où l'arrêt doit se produire) ; le frottement de roulement est remplacé par un frottement de glissement du sabot sur le rail qui absorbe une plus grande force vive ; après, le wagon redescendant lui-même du plan incliné, le sabot peut être retiré et placé sur un autre point.



4e dans les faisceaux de triage en cul-de-sac, les voies sont relevées généralement en rampe de 3 à 5 m/m vers leur extrémité, afin d'aider au ralentissement des wagons lancés.

Influence du vent. — Dos d'âne plus relevés pour la mauvaise saison. — L'influence du vent en des perturbations atmosphériques intervient défavorablement au point de vue du roulement des wagons. Lorsque cette action retardatrice est très marquée (dans la mauvaise saison), les wagons ont tendance à s'arrêter trop vite, certains d'entre eux, roulant moins bien, engagent les croisements, et il en résulte une diminution sensible du débit du triage. Lorsqu'on débranche par lancement avec une machine, on en tient compte en lançant plus fort ; dans le triage sans dos d'âne, on abandonne les wagons de plus haut sur la pente. Mais dans les triages avec dos d'âne, on n'a pas cette ressource, et il faut dès lors établir le dos d'âne pour vaincre les difficultés de la mauvaise saison en tenir compte du vent contraire : on les établit avec des hauteurs de chute de 1m30 à 1m40, des pentes de 15 m/m sur 50 mètres de longueur et de 5 à 6 m/m sur toute la traversée des appareils d'aiguillage.

En Allemagne, où on adopte maintenant en grand cette disposition, on corrige l'excès de hauteur de chute, en disposant à faible distance des aiguilles, des sabots à poignées qui provoquent un ralentissement suffisant, après quoi, on fait dérailler le sabot en on laisse rouler les wagons au-delà.

En Amérique, on a tourné la difficulté en établissant sur deux voies de débranchement placées côte à côte des dos d'âne de hauteur différente, le dos d'âne le plus élevé, donn la pente atteint 20 % sur une certaine longueur, étant utilisé dans la mauvaise saison.

Comme compléments d'installations relativement aux triages, il faut citer la réunion des leviers d'aiguilles du faisceau de triage dans un poste de concentration, ce qui permet de gagner du temps pour la manœuvre des aiguilles.

En Amérique, dans certaines gares, on a imaginé d'assurer le retour des équipes rattrapeurs vers le dos d'âne au moyen d'une voiture remorquée sur une voie spéciale ou d'une automotrice. On y a installé également sur certains points des ponts-bascules automatiques qui, intercalés entre le dos d'âne en les premières aiguilles permettent d'effectuer le pesage des wagons à la volée (jusqu'à 9 à la minute).

Prix de revient. — A Condren, d'après les chiffres moyens établis sur un total de 1400 wagons par jour passant au triage, le prix de revient des manœuvres de triage par la gravité — débranchement seul — est de 0 f. 12 par wagon (0 f 25 par wagon comme prix de revient total des manœuvres multiples effectuées depuis l'entrée jusqu'à la sortie de la gare, y compris classement par conséquent), alors que, dans les triages opérant sans utiliser la gravité, ce prix de revient atteint couramment 0 frs 20.

Le triage par la gravité est donc plus rapide en plus économique, et on l'a appliqué un peu partout dans toutes les gares recevant journellement plus de 1200 wagons à débrancher. Le débranchement d'un train complet se fait, couramment en 15 ou 20 minutes et ce système expéditif permet d'obtenir des séjours de wagons réduits à une heure ou deux dans certaines grandes gares bien organisées, alors que dans les autres gares un peu chargées ne possédant pas de voies en pente, le stationnement moyen des wagons à débrancher atteint 8 heures et même 10 heures.

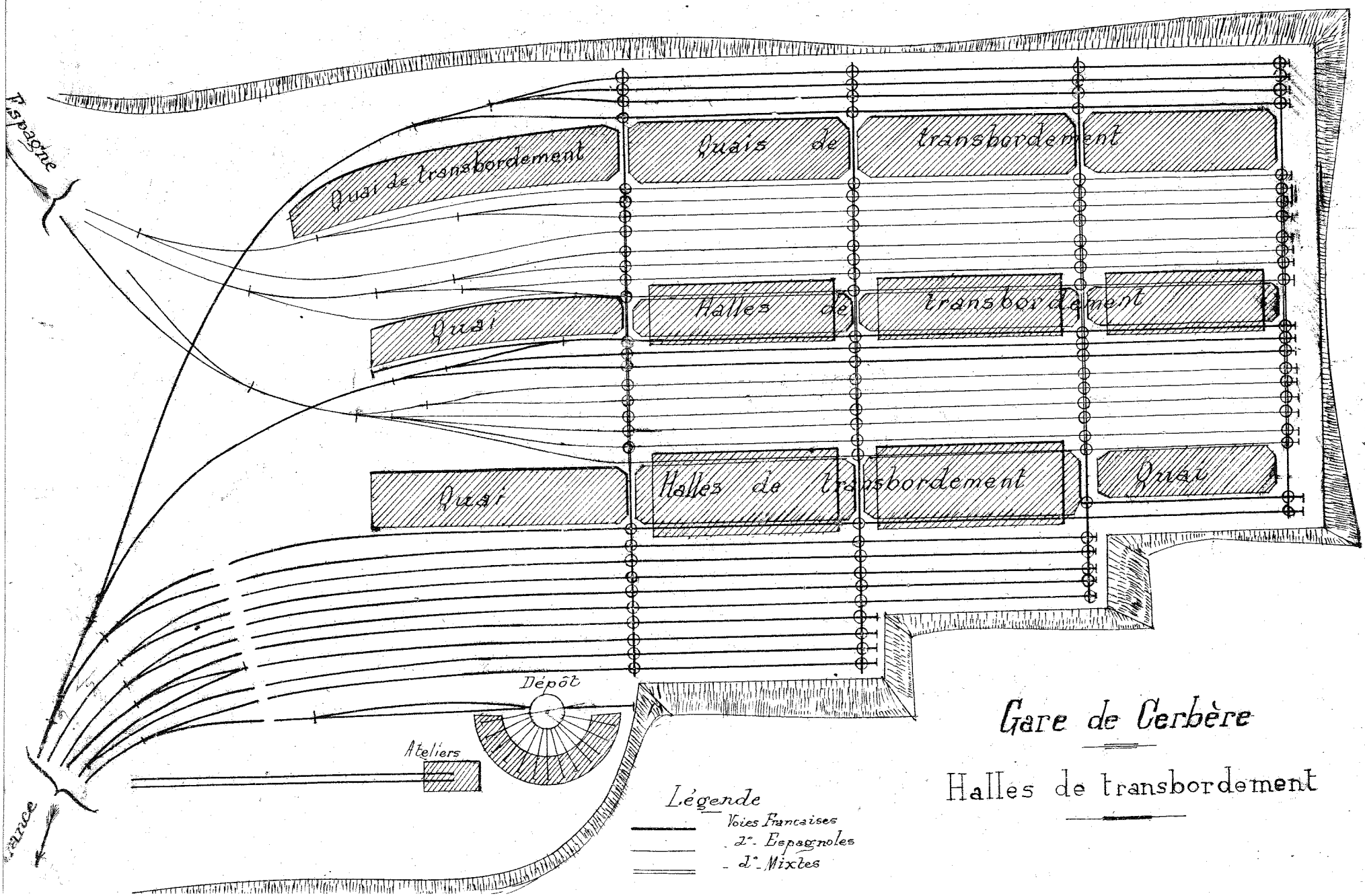
Grandes gares de transbordement. — Dans les gares communes à deux réseaux voisins, on est appelé à transborder, du matériel de la Compagnie expéditrice dans celui de la Compagnie destinataire, un certain nombre de marchandises.

Si les deux réseaux voisins ont des voies d'écartement différent, toutes les marchandises sont à transborder sans exception. Il faut alors disposer d'un certain nombre de quais de transbordement découverts et de halles de transbordement. Qu'ils soient couverts ou découverts, ces quais, établis à une hauteur de 0 m 90 à 1 mètre au-dessus du niveau des rails, sont encadrés d'un côté par la voie à écartement le plus large, de l'autre par la voie à moindre écartement.

Des voies contiguës distinctes établies de part et d'autre en reliées par plaques tournantes aux précédentes servent au dépôt des wagons à passer au transbordement, ou de ceux qui en sortent.

Si les deux réseaux voisins ont des voies de même écartement, bon nombre de wagons à chargement complet sont de bout en bout sans transbordement. Au contraire les marchandises de détail sont en grande partie transbordées.

Depuis quelques années, en en vue de réduire ce transbordement, les grandes Compagnies s'entendent entre elles pour faire former au



Gare de Cerbère

Halles de transbordement

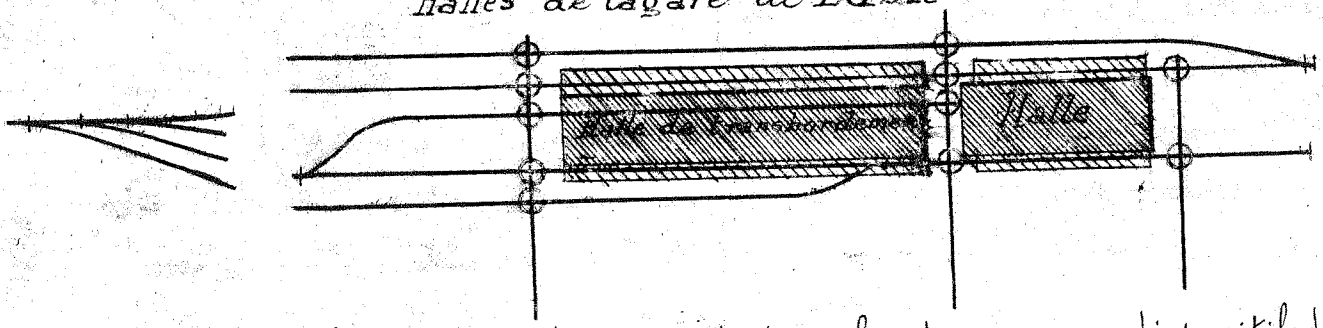
départ de certaines de leurs grandes gares des wagons de détail pour les grandes gares de l'intérieur du réseau voisin.

D'autre part, nous avons vu, en passant en revue les méthodes perfectionnées mises en œuvre pour l'acheminement rationnel des marchandises de détail, que certaines grandes gares de bifurcation de l'intérieur d'un réseau ont à assurer un service de transbordement très important. On affecte donc à ce service spécial des halles distinctes, dites halles de transbordement, dans lesquelles doivent passer tous les wagons d'affectation de détail qui ont à prendre ou laisser des colis de ou pour diverses directions.

Dans les halles de transbordement, les colis n'ont à séjourner sur les quais que tout à fait exceptionnellement. En général, on transborde directement les colis d'un wagon de détail à un autre par roulage sur le quai vis-à-vis duquel ils sont tous deux en batterie. Il s'en suit que les quais des halles de transbordement doivent avoir une largeur restreinte et au contraire une grande longueur, attendu que les colis extraits d'un même wagon doivent pouvoir être rechargés directement dans plusieurs autres wagons d'affectation en correspondance avec le premier.

Lorsque dans une gare, le service de transbordement est très important, on dispose de plusieurs halles de transbordement. Dans certaines gares, comme Laon, on a accru notablement la capacité et le rendement de la halle de transbordement en y installant, outre les deux voies latérales, une voie médiane en impasse. Cette disposition permet de grouper un plus grand nombre de wagons en correspondance et de réduire la longueur du chemin à parcourir sur un même quai pour le service d'un wagon déterminé : des ponts de transbordement permettent de faire le roulage d'un quai à l'autre. Les brigades d'agents travaillent alors plus facilement sans se gêner les unes les autres.

Halles de la gare de Laon



Dans les très grandes gares de transbordement ce dispositif du double quai est adopté avec deux voies contiguës (au lieu d'une seule) dans l'axe de la halle.

A la gare du Bourget, la halle de transbordement de la Ceinture vers le Nord – qui ne comporte pas moins de 176 mètres de longueur sur 23 mètres de largeur – est installée sur ces bases avec des ponts-levis permettant de traverser les deux voies du milieu en deux points distincts. La largeur des quais a été réduite à 4 mètres.

On a transbordé dans cette halle, au cours d'une même année, 70.000 wagons représentant 213.000 tonnes d'arrivages en 2.800.000 colis, avec un personnel de manutention d'une centaine d'agents.

Pour terminer ce qui concerne le transbordement des colis de détail, il faut noter que, dans les gares moyennes de bifurcation, on fait avancer sur une voie contiguë à celle occupée par le train de détail, un wagon dit rouleur qu'on amène successivement côte à côte avec les wagons d'affectation du train. Le plancher de ce wagon rouleur, qui est une sorte de prolongement de la halle locale reçoit provisoirement les marchandises de détail pour la gare même ou à faire continuer par les wagons d'affectation du train ou à en extraire pour être transbordées à destination des lignes d'embranchements, dans les wagons d'affectation qui séjournent dans la gare en passant au quai de la halle.

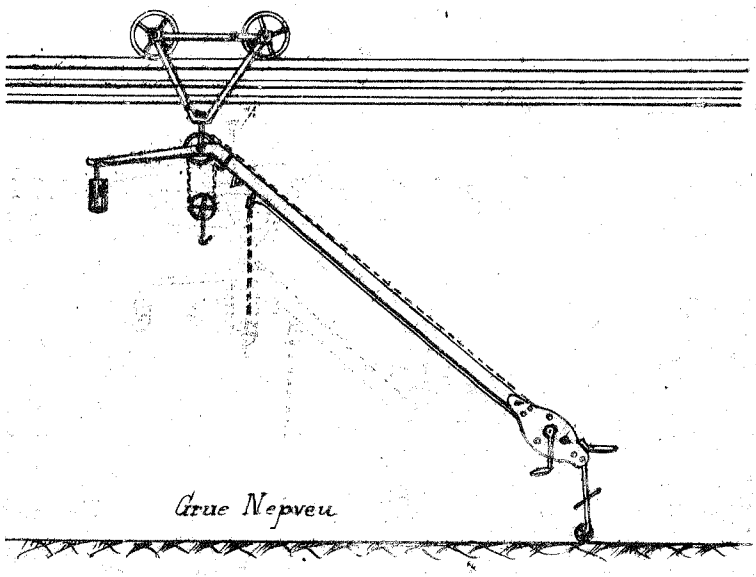
Grandes gares de marchandises spécialisées

Grandes gares de marchandises spécialisées. — Dans les grosses agglomérations, en les centres industriels importants, on est conduit à créer — assez loin, parfois, des gares à voyageurs, qui sont réservées à la grande vitesse — des installations très considérables, comportant plusieurs halles de grandes dimensions, spécialisées au service des marchandises.

Le manque de place en longueur oblige souvent à installer ces halles sur deux lignes parallèles. Il en est ainsi à Paris pour toutes les grandes Compagnies.

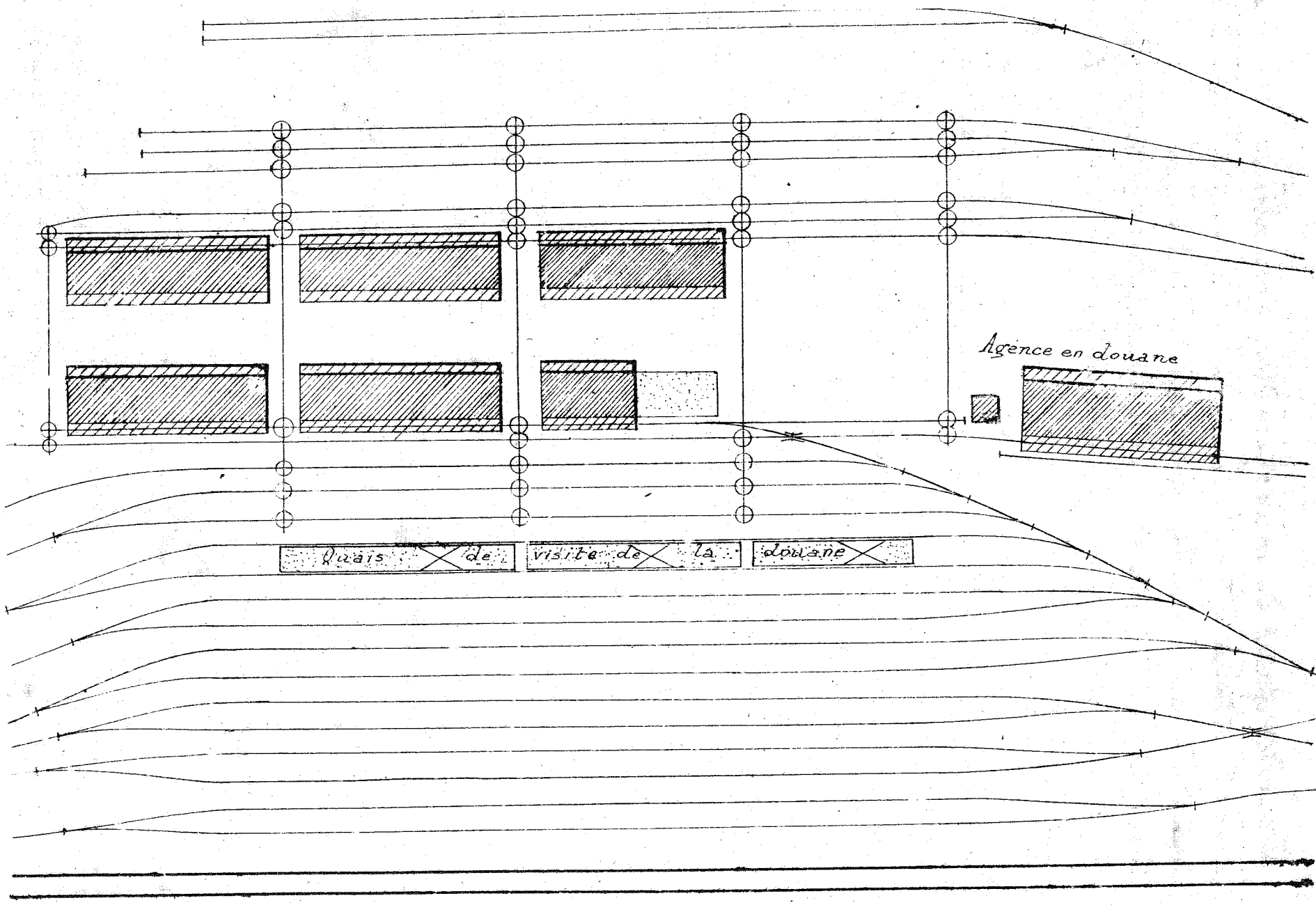
Contrairement à ce qui existe dans les halles de transbordement, les colis déchargés devant séjourner un temps appréciable sur les quais, on doit donner à ceux-ci une grande largeur (20 à 25 mètres), ce qui permet de ranger par travées, vis-à-vis d'un même wagon, les marchandises qui en sont extraites. Sur l'un des grands côtés court une voie, tandis que de l'autre côté du quai de 0 m. 90 de hauteur environ viennent accoster, en suivant une chaussée pavée, les chariots du commerce.

Les quais se trouvent ainsi à peu près à hauteur du plancher des wagons, les opérations de manutention se font par roulage. Certaines travées comportent toutefois des grues roulantes avec chemin de roulement supérieur susceptibles de soulever de grosses masses indivisibles (les grues Stepven de 2.000 kg sont très pratiques à ce point de vue, parce que très facilement maniables.



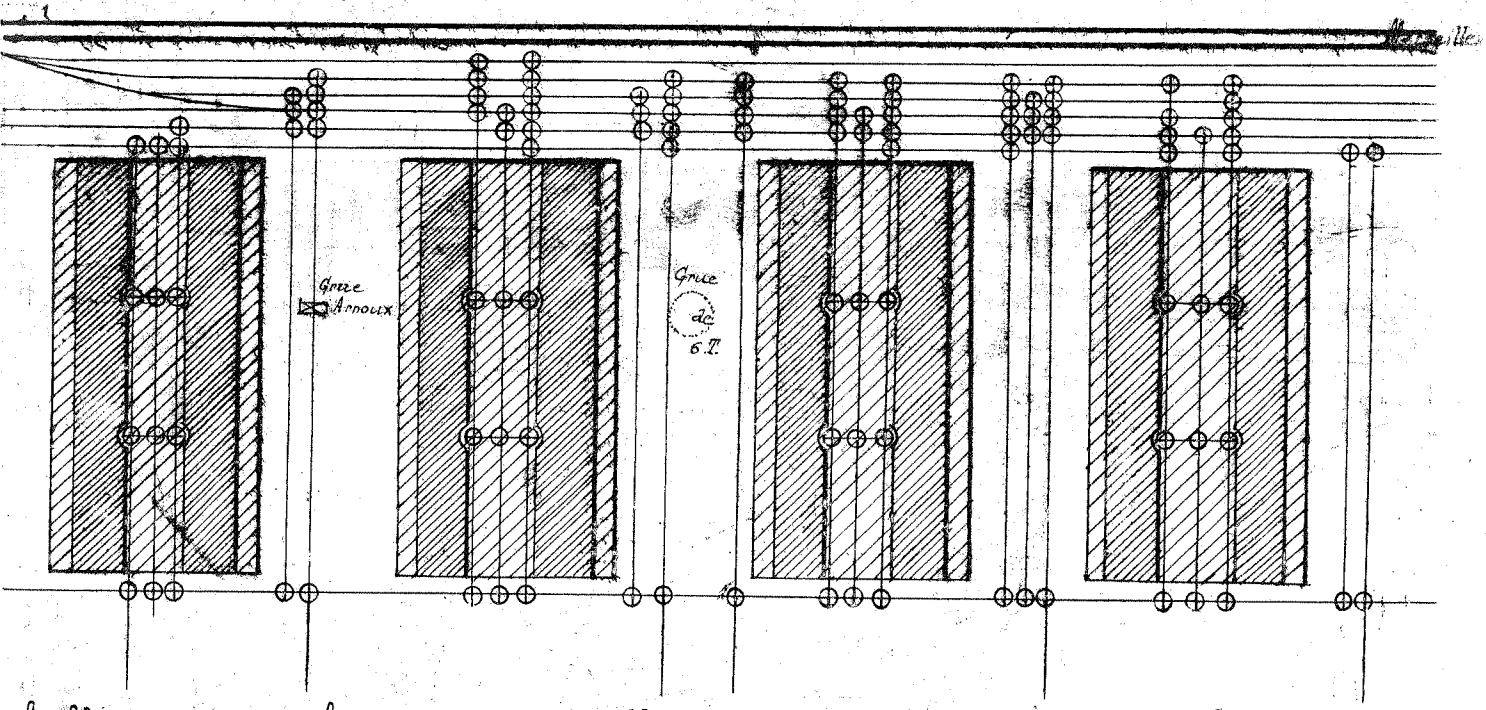
Grue Nepveu

Une solution heureuse pour l'emplacement des



Gare de Tourcoing — (Halles)

Halles normales de Paris-Bercy



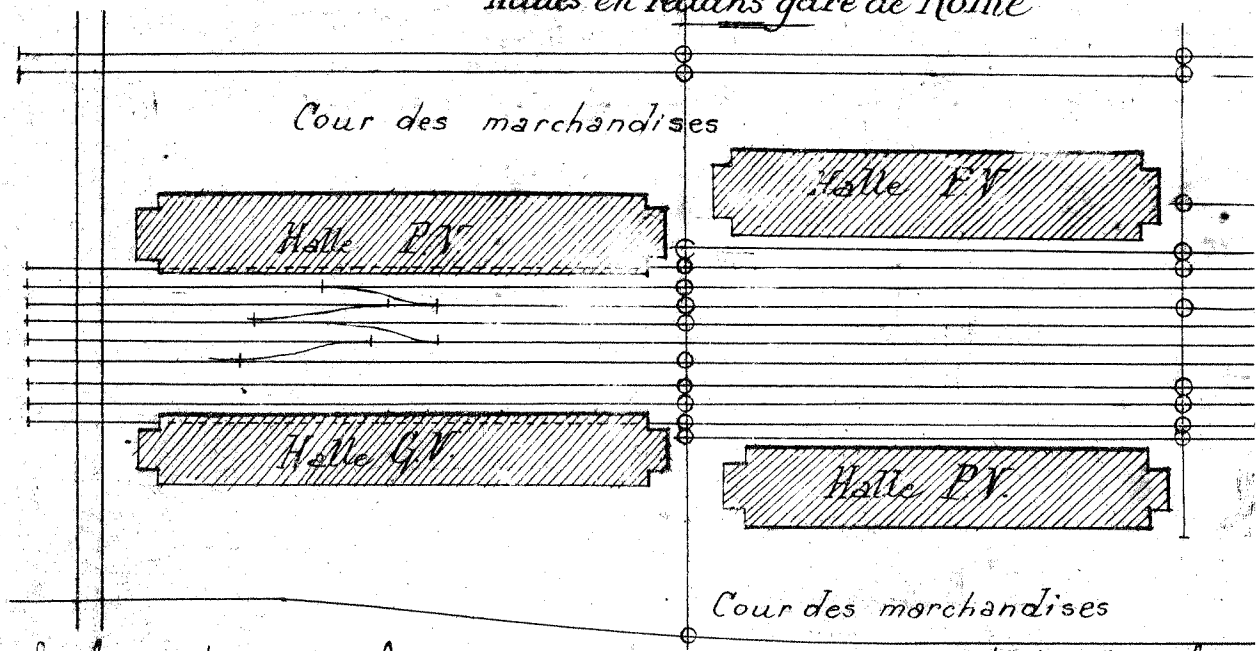
halles consiste à les disposer parallèlement aux voies de garage (halles parallèles) en de manière que les voies des halles se détachant du faisceau des garages, soient directement desservies par aiguilles (gares de la Chapelle, Tourcoing ; voir p. 318).

Dans ce système on peut, une ou deux fois par jour, refaire complètement le garnissage des halles au moyen de la machine. Des traversées rectangulaires avec plaques tournantes séparant les halles donnent la possibilité d'effectuer, dans les intervalles, à l'aide de cabestans hydrauliques ou électriques, des manœuvres spéciales de mise en place ou de retrait de wagons, au moyen de 2 rotations sur plaques.

Dans le système des halles normales (gare de Bercy 2 & 3) tous les wagons doivent au contraire subir une rotation sur plaque.

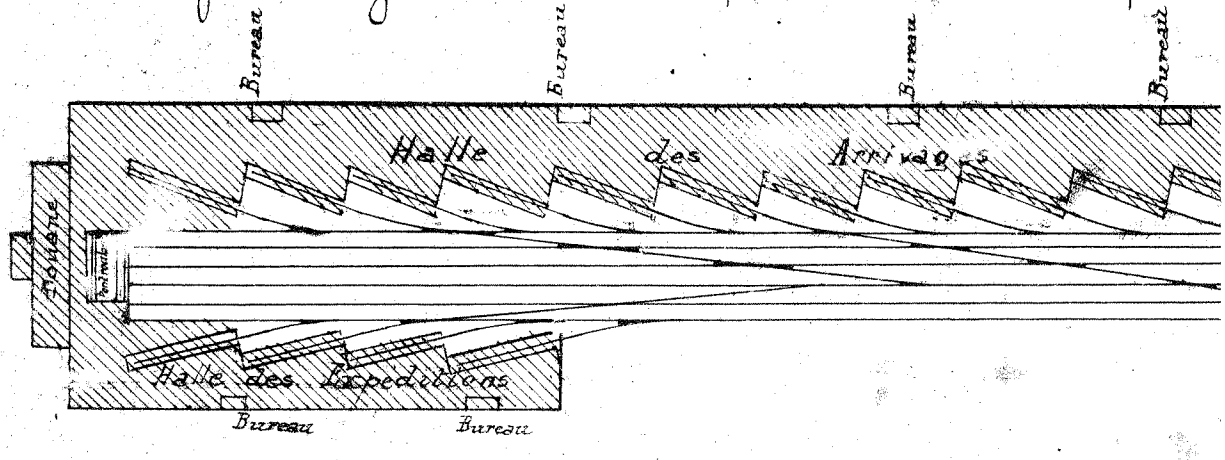
Au lieu de commander une ligne de halles parallèles par une même voie, on peut disposer les diverses halles d'une même ligne en retrait l'une par rapport à la voisine de manière à

Halles en redans gare de Rome



les faire desservir chacune par une voie en impasse distincte reliée aiguilles au faisceau des garages : c'est le système des halles en red appliqué en particulier à la gare de Rome (Termini). On peut alors desservir une halle sans gêner les autres.

Dans les gares moins importantes, on peut chercher à obt un avantage analogue en desservant par des voies courtes spécial



Halles de la gare de Zurich

aiposées en arêtes, des longueurs de quais de deux ou trois wagons.

C'est le cas des halles dentelées appliquées à la gare de Zuric par exemple, dans lesquelles un retrait de wagon n'oblige à dépla qu'un seul wagon au plus.

Nous allons étudier plus en détail, sur l'exemple de la gare de Lille St Sauveur (croquis p. 322), l'outillage d'une grande gare de marchandises petite vitesse.

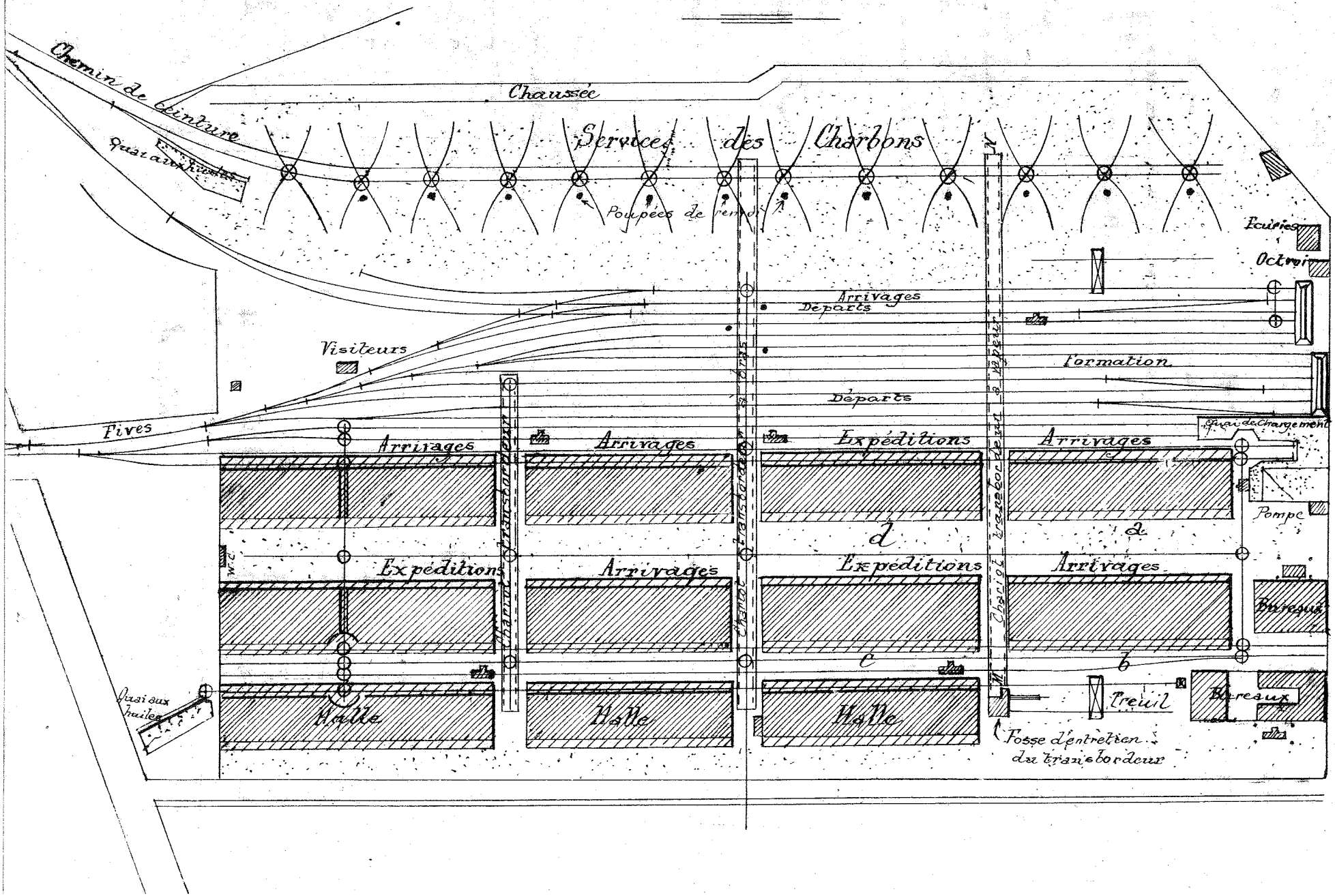
On trouve à Lille St Sauveur une disposition complexe de halles parallèles, attendu que la première ligne de halles est seule reliée par aiguille au faisceau des voies de garage; les deux autres lignes sont exclusivement desservies par des chariots-transbordeurs à niveau, au nombre de trois.

Limitée étroitement par les fortifications en le boulevard avec un accès voûté réduit à deux voies seulement, la gare de Lille St Sauveur comporte un faisceau de 15 voies de garage terminées en impasse. Des trains sont reçus sur certaines voies qui sont reliées aux voies voisines par des jonctions pour le dégagement des machines. La voie extérieure du faisceau, desservie par deux treuils (dont un treuil à bras en bois de 10 T., et un treuil en fer, à vapeur, de 20 T.) est affectée au déchargement par le public des wagons complets qui comportent de grosses masses indivisibles.

Les autres wagons complets, et en particulier les charbons, sont mis en batterie sur les voies en X, qui règnent sur toute la longueur de la cour de départ. Certaines de ces voies en X sont d'ailleurs prolongées pour desservir des terrains loués pour dépôts (recouverts ou non de hangars).

Au croisement de chaque groupe de 2 voies en X est une plaque tournante. Toutes les plaques tournantes de l'espèce sont situées sur une même voie de grande longueur que côtoie une seconde voie toujours libre servant de voie de circulation à une petite machine de manutention à cabestan. Les wagons à mettre en place sur les voies en X étant refoulés sur la voie des plaque

Gare de Lille-St Sauveur



la machine de manutention les fait tourner sur plaque en les place sur l'une ou l'autre des branches. Ces branches n'ayant qu'une longueur de 3 ou 4 wagons, on peut facilement y placer ou retirer de nouveaux wagons dans le courant de la journée sans entraver la manutention de tous les autres wagons qui sont sur des voies courtes différentes.

Cette disposition, qui a été reproduite à Roubaix, à Arras, à La Chapelle, permet en outre de louer aux commerçants, dans les angles compris entre les branches des X des terrains pour dépôts faciles à desservir malgré leur grand nombre.

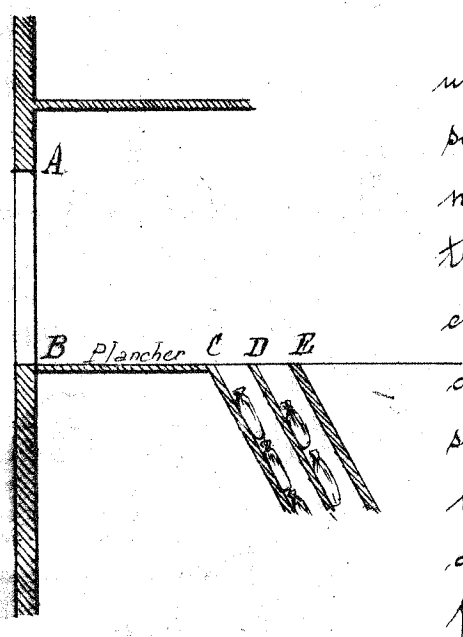
Ces halles ont des affectations particulières : certaines sont utilisées pour les expéditions de marchandises par wagons complets dont la manutention incombe à la Compagnie ; d'autres sont affectées aux arrivages ou aux expéditions des colis de détail. La 3e ligne, desservie par une cour spéciale, reçoit les marchandises du service international.

Deux des chariots à niveau sont du type d'arcade non pourvu de moteur ; on y attèle une petite machine de manutention à cabestan. Le 3e chariot est un transbordeur à vapeur qui comporte à côté du chariot à niveau proprement dit, une petite machine à vapeur avec appareil de calage en cabestan. Les chemins de roulement de deux des chariots traversent tout le faisceau des voies de garage et atteignent même la voie mère de la batterie des voies en X.

Les halles sont pourvues de grues Stephen de 2000 kilogs à chemin de roulement supérieur, et de grues à pivot de 1000 kilogs.

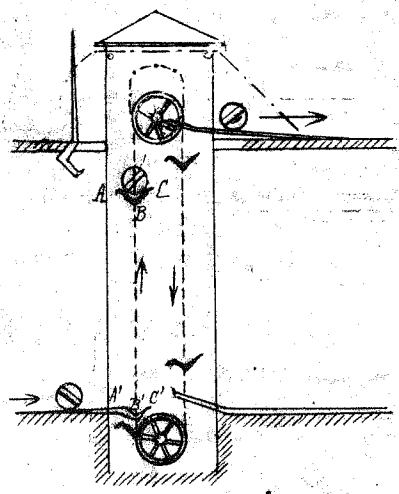
Dans les gares anglaises, où certaines halles jouent le rôle d'entrepôt pour les grosses maisons, on a eu recours à des magasins à double étage et à sous-sol.

C'est le cas, en particulier, de la nouvelle gare de New Bridge Street, à Newcastle, où toute l'étendue des quais doit dès lors être desservie par des engins de levage mécaniques. Au lieu de grues hydrauliques fixes à pivot que comporte (au nombre de 54, pour une longueur de quais de 456 mètres) l'ancienne gare de Forth Banks (Newcastle), la nouvelle halle à marchandises de Bridge Street met en œuvre 9 grues roulantes électriques à pivot, produisant le même effet utile que les 54 grues de Forth Bancks. Ces grues électriques à pivot sont suspendues aux fermes du bâtiment et n'apportent aucune gêne sur les quais; elles peuvent prendre un mouvement de déplacement transversal sur un chemin de roulement solidaire d'un pont roulant, ce qui leur permet de desservir une étendue considérable.



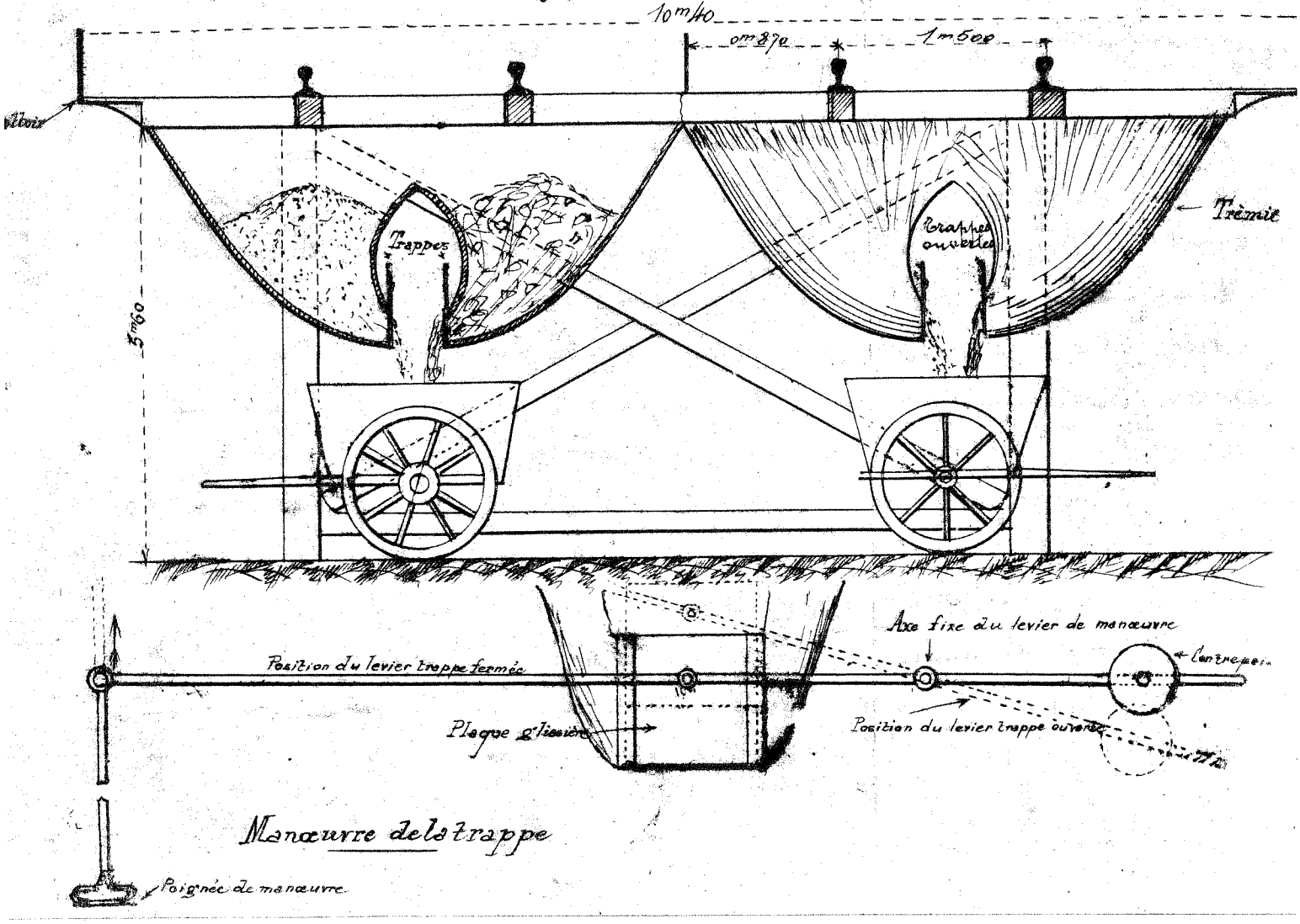
Cette même gare comporte également un magasin à sacs de farine où les sacs sont emmagasinés dans des couloirs inclinés C, D, E. On les élève à l'aide d'un treuil électrique, par les fenêtres de AB et on les transporte jusqu'aux trappes d'accès des couloirs C, D, E, etc.. Ces couloirs sont en grand nombre et agencés de manière qu'à la partie inférieure un agent peut, par le jeu de trappes appropriées charger un wagon avec les sacs provenant d'un groupe de couloirs.

Comme outillage de gare de marchandises à étages, on peut citer en France, le *monte-fûts* continu qui fonctionne dans la gare de Paris-Ivry (P.O.) et dans lequel une chaîne sans fin, mue électriquement, porte 4 supports spéciaux en forme de peigne angulaire ABC. Le fût est amené sur un plancher mobile A'B'C' de



même forme, mais dont les dents peuvent laisser passer celles des supports ABC ; l'un de ces supports ~~mobiles~~ ABC prend le fil au passage en le monte à l'étage supérieur, au renversement. Les supports ABC sont munis de bras porteurs de galets en fer, déplaçant dans la rainure d'un guidage spécial. L'appareil permet de monter 80 à 100 fûts à l'heure.

Estacades. — Pour activer les opérations de déchargement des marchandises pondéreuses amenées par grandes masses, comme les charbons, on a établi dans certaines grandes gares de villes industrielles (Tourcoing, Roubaix-Annexe), des estacades en fer supportant deux longues voies en impasse dominant chacune une ligne de trémies de grandes dimensions.



Manœuvre des trappes

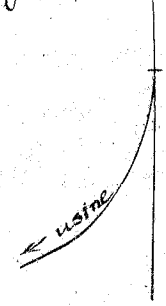
Ces trémies sont fermées à la partie inférieure par des trappes à contrepoids manœuvrables de la partie inférieure. Moyennant une redevance minime (0f50 par wagon 10T) la Compagnie fait décharger rapidement les wagons dans les trémies des destinataires intéressés. Ceux-ci peuvent venir ensuite prendre charge eux-mêmes, par petites portions, du contenu des trémies, en les vidant directement dans des tombereaux, c'est-à-dire avec une durée de manutention presque nulle. En permettant de déverser simultanément dans une même voiture partie du contenu de deux trémies voisines, le système permet aux industriels de faire des mélanges sans aucune main d'œuvre.

La Compagnie du Chemin de fer y trouve l'avantage d'une libération plus rapide du matériel, en même temps que les industriels, dont l'usine ne peut être reliée par voie de fer à la gare, ont le moyen de simplifier les opérations de transbordement qui leur incombent.

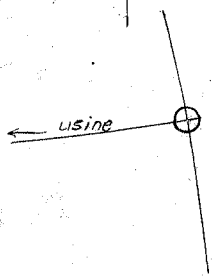
Raccordements industriels. — D'assez bonne heure, avant 1860, l'industrie minière éprouva le besoin d'établir, entre ses installations et les lignes ferrées, des raccordements industriels ayant plusieurs kilomètres de développement. L'avantage étant considérable pour accroître leur rayon d'action, tout en réduisant au minimum les opérations de chargement et de transbordement, les autres grandes industries suivirent cet exemple sans tarder.

Depuis, même les plus petites industries sont rentrées dans cette voie; et c'est ainsi que, dans les centres industriels, on trouve jusqu'à 16 *embranchements particuliers* dans une même gare.

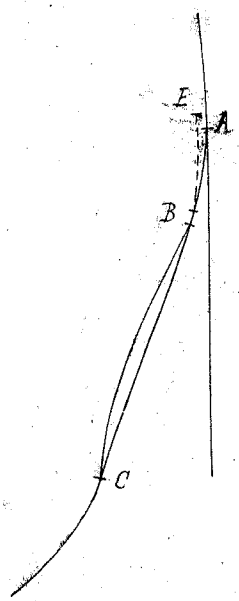
Assez souvent, les dispositions locales obligent à établir ces raccordements avec une voie d'amorce unique soudée par aiguille ou par plaque tournante sur une voie laté



latérale de la gare (voie de ceinture). Mais, en raison des sujétions qui en résultent, en pour l'industriel, en pour le Chemin de fer, ces dispositions sommaires sont à écarter.

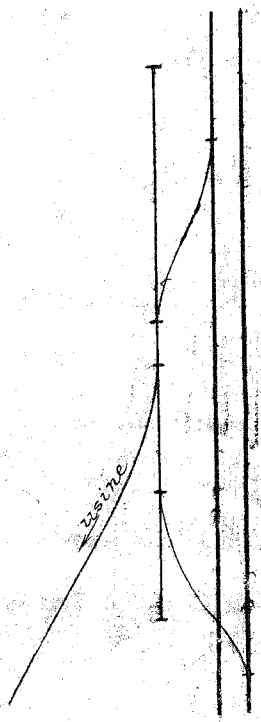


Chaque fois que la chose est possible, en quand il s'agit d'industries appelées à recevoir chaque jour plusieurs wagons chargés ou vides, il est préférable d'établir près du Chemin de fer deux voies BC formant demi-lune en soudées à la voie de ceinture de la gare par une aiguille A. L'une des voies reçoit les wagons destinés à l'usine, l'autre ceux qui sont restitués chargés ou vides.



Si la voie de raccordement est en pente vers le Chemin de fer, une petite voie en cul de sac, BE, dite impasse de sécurité est nécessaire.

Pour les embranchements particuliers à établir en pleine voie, en dehors du périmètre des gares, il faut adopter la disposition ci-contre avec liaison par aiguilles aux deux extrémités pour rendre possibles les manœuvres de wagons par les trains de passage des deux sens. Des impasses de sécurité sont nécessaires en l'embranché a à supporter les frais d'installation de 2 disques à distance en les enclenchements à réaliser entre ces signaux en les aiguilles de soudure de l'embranchement.



Si les machines n'ont pas à accéder sur les embranchements particuliers, il suffit que les rayons des courbes ne soient pas inférieurs à 75 mètres. Pour que les embranchements soient accessibles aux machines, il faut autant que possible

qu'ils ne comportent pas de courbes de rayon inférieur à 150 mètres ; on accepte à la rigueur des rayons de 125 mètres. Les pentes ne doivent pas dépasser 20 m/m par mètre pour la desserte au moyen de machines.

La largeur disponible pour l'établissement d'une voie doit être de 3 m 25 au minimum non compris les fossés en garages pour piétons. Le bord des quais dans l'usine doit être placé à 1 m 60 de l'axe de la voie.

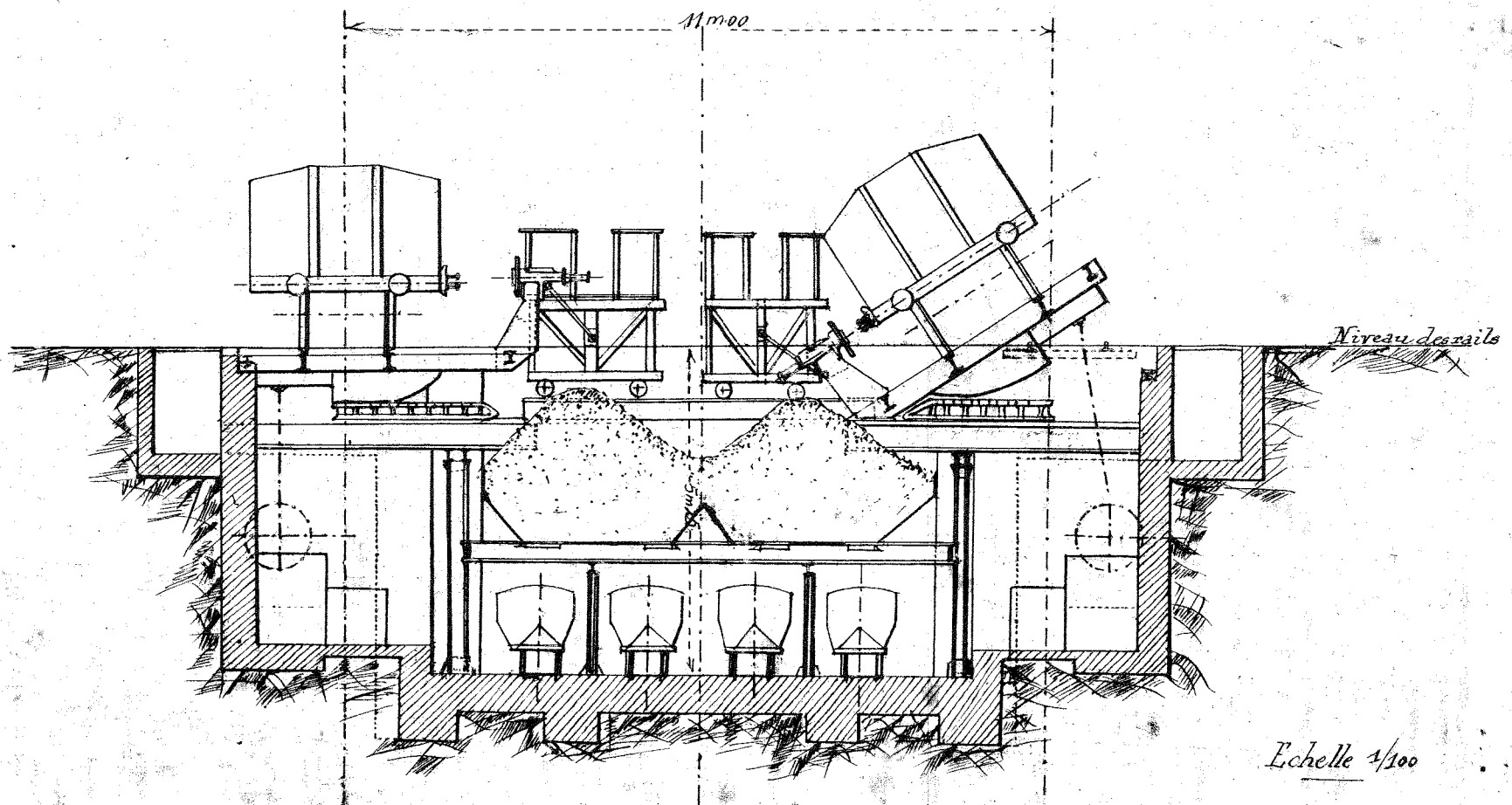
Les projets d'embranchements particuliers, arrêtés après accord avec les Compagnies de Chemins de fer, sont soumis à l'homologation ministérielle. Ils ne sont mis en service qu'après un récolement officiel du Service du Contrôle.

L'article 62, du Cahier des charges, qui régit les embranchements particuliers, précise qu'il ne devra résulter pour les Compagnies, du fait de l'installation des embranchements, aucune dépense supplémentaire d'établissement ni d'exploitation. Les frais d'installation, d'entretien, et de manœuvres spéciales à la desserte des embranchements s'il y a lieu sont donc entièrement à la charge des embranchés.

A l'époque actuelle, où les industries doivent chercher à réduire leurs frais généraux, dont la main d'œuvre est un des principaux facteurs, non seulement les embranchements particuliers s'imposent, mais ils doivent être conjugués à des installations spéciales appropriées à chacune des industries.

On peut citer, à ce sujet, les installations de chargement avec estacades à trémies usitées dans les mines, ainsi que dans les carrières pour le chargement des pierres à macadam, sables, etc. — une mention spéciale s'impose pour l'installation récente avec bascules de la sucrerie de Pont d'Ardres qui, dans la période active de réception des betteraves ne reçoit pas moins de 200 wagons

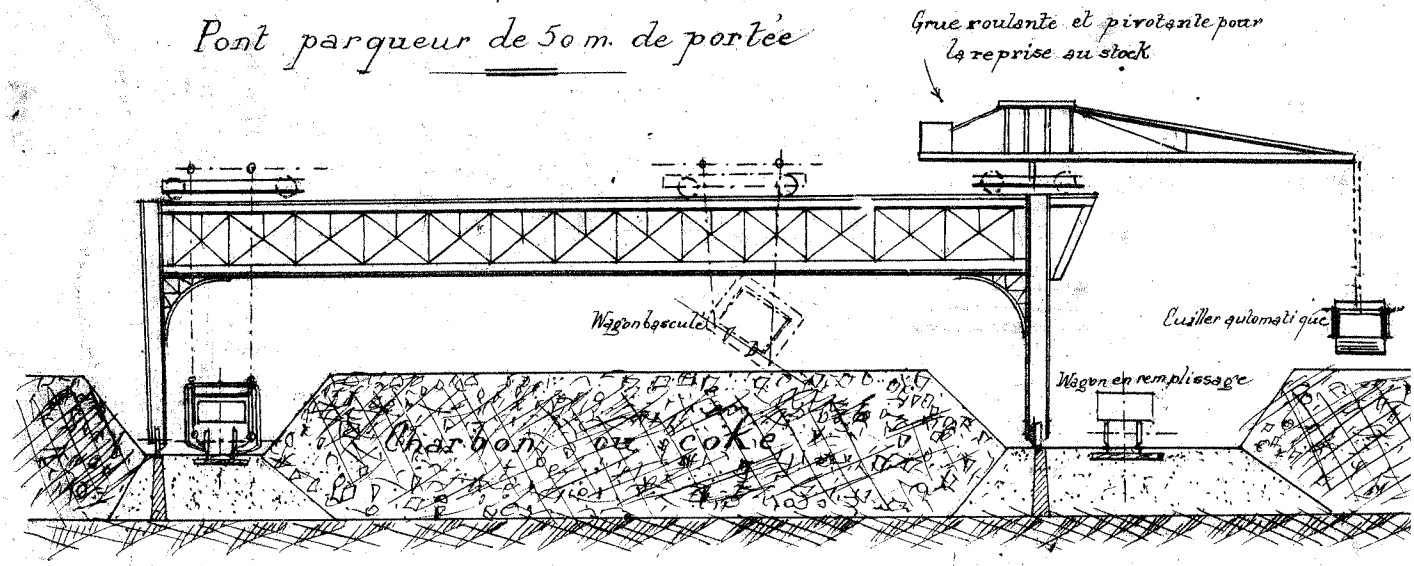
Coupe transversale de la trémie & des basculeurs de la Sucrerie de Gonnelieu d'Ardres.



par jour, indépendamment des réceptions par chariots ou par bateaux.

La figure ci-contre indique comment la Compagnie des Mines de Béthune utilise pour constituer ses stocks un pont parqueur de 50 m. de portée qui permet, d'une part de soulever et de culbu-

Pont parqueur de 50 m. de portée



ter dans un berceau culbuteur les wagons de charbon ou de coke à décharger au stock et, d'autre part, de reprendre ces stocks pour remplir des wagons au moyen d'une grue à pivot armée d'une cuiller automatique.

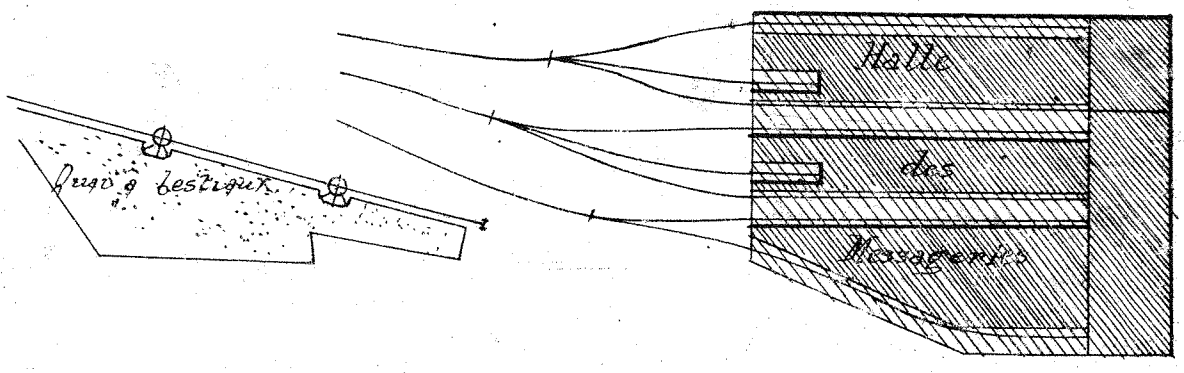
Installations spécialisées au service des messageries.

Nous avons défini les méthodes d'acheminement des colis messageries et des colis postaux, qui reposent essentiellement sur l'organisation des trains de messageries et des fourgons d'affectation. Dans les gares importantes, les halles et les bureaux de messageries, sont, en général, installés à proximité de la gare des voyageurs (voir gare de St-Omer).

Dans les très grands centres, comme Paris-Nord, qui n'expédie que très peu de fourgons de messageries par trains de voyageurs, le service des expéditions Grande vitesse et la formation des trains de messageries (au nombre de 6 à 7 par jour au départ de Paris-Nord seulement) a pu être éloigné du service des voyageurs, où

il était trop à l'étroit.

Ce service est actuellement concentré dans la gare de Paris-Annexe, avec entrée par la gare de la Chapelle. 6 voies à quai (dont 2 voies courtes) sont desservies par un faisceau de 4 voies de formation.

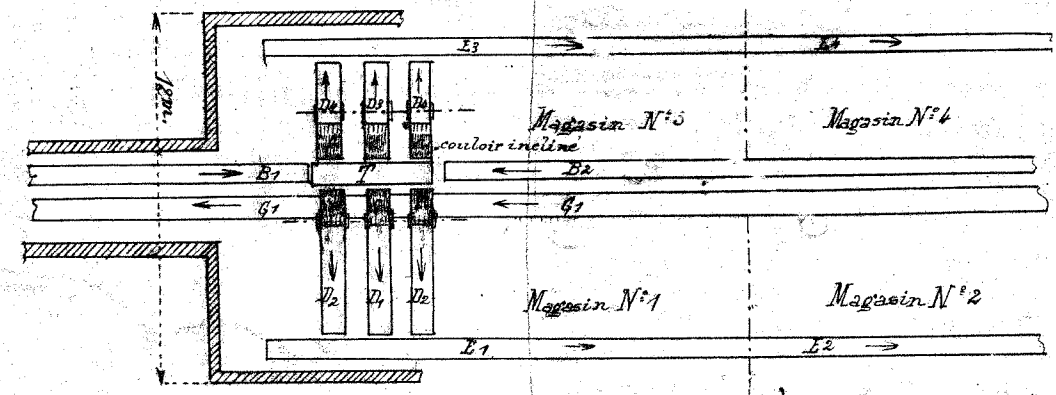


Une plateforme perpendiculaire à ces voies en établie à la hauteur des camions et du plancher des wagons, reçoit les colis amenés par les voitures de factage des bureaux de ville et des maisons de commerce.

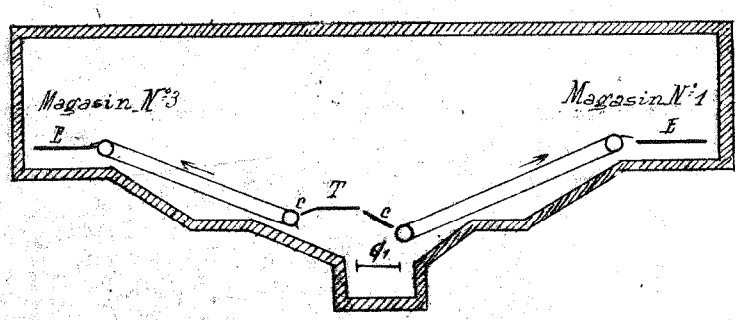
Les wagons d'affectation étant en batterie, les chargements y sont faits directement, en majeure partie. Les colis sont transportés de la plateforme aux fourgons sur des tricycles; le parcours des tricycles étant relativement court et les quais étant spacieux, ce procédé peu coûteux a été préféré à des procédés mécaniques d'installation onéreuse.

Transport et triage mécanique des petits colis à Paris-Austerlitz. — A la gare de Paris-Austerlitz où les points de chargement sont assez éloignés des quais de réception et des bureaux de messageries, des installations mécaniques ont été réalisées, dans ces dernières années, pour le triage et le transport des colis à plus de 150 mètres de distance.

Les colis, jetés dans des entonnoirs $A_1 A_2 \ldots$ disséminés sur la longueur du quai de réception sont transportés par des toiles sans fin B_1 & B_2 à une table de triage souterraine T. Au fur et à

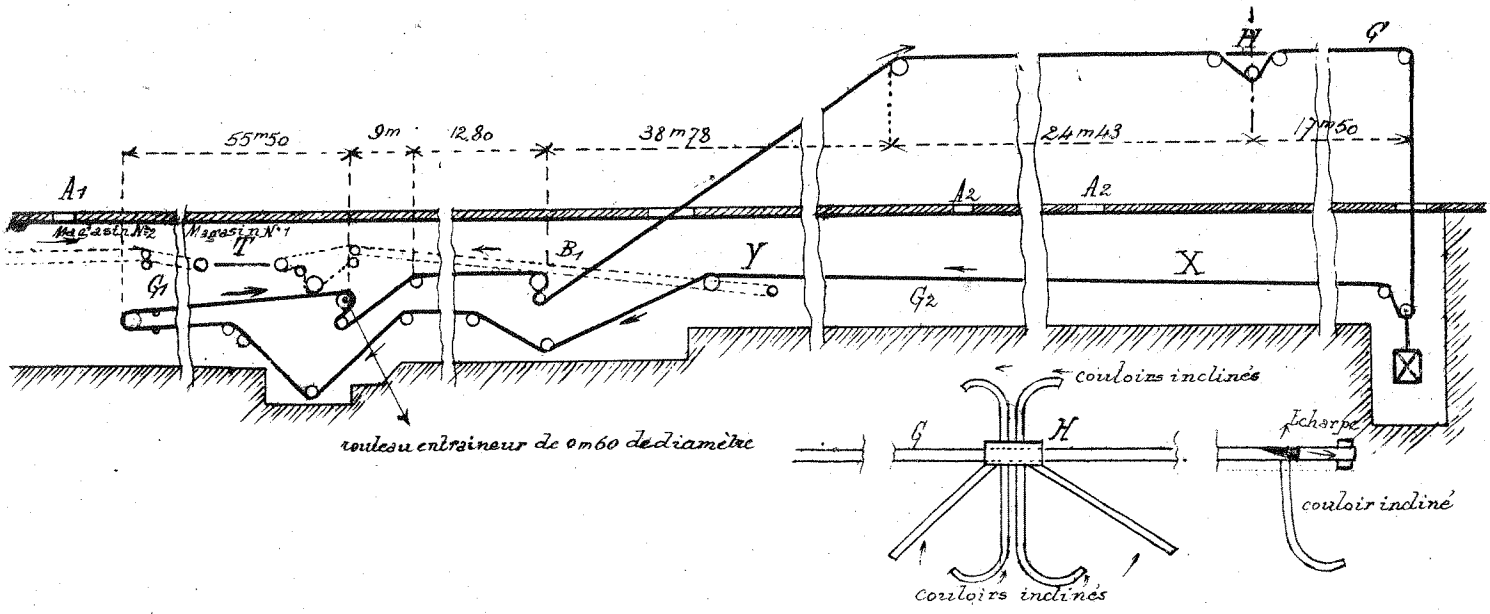


mesure de leur déversement sur cette table, des agents déposent ceux de colis à acheminer par paniers sur des toiles sans fin ascendantes D, qui les déversent sur des toiles horizontales E desservant les 4 magasins souterrains, où ils se trouvent classés en attente par directions.



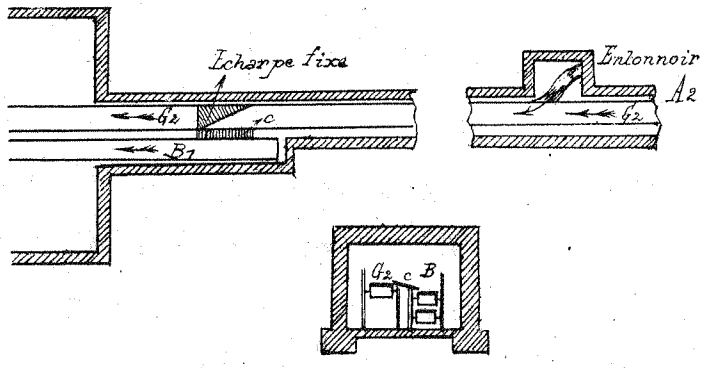
Au moment convenable, les colis déposés dans l'un de ces magasins souterrains (le sol de ces magasins est en pente de 0,50, sauf une bande en pente de 0,05 qui sert à la circulation des agents) sont déversés sur une toile sans fin G1 qui les longe horizontalement à leur partie inférieure puis s'élève, traverse le plancher en gagne une table de triage aérienne H. En ce point, un agent reprend les colis en fait un nouveau classement dit du 2e degré en les déposant sur l'un ou l'autre des 6 couloirs inclinés qui les descendent sur des tables vis-à-vis des fourgons affectés.

Les toiles sans fin sont en coton tissé de 6 m/m d'épaisseur et ont une largeur de 0 m 70, le brin porteur est supporté par des rouleaux distants de 1 m 50; le brin inférieur par des rouleaux distants de 3 mètres. Celles des toiles sans fin qui sont de quelque longueur ont des rouleaux compensateurs de tension la plus longue des toiles qui a 330 mètres de longueur est pourvue d'un système de tension constitué par une caisse lestée en guid



verticalement, suspendue à l'axe du rouleau tendeur.

Le brin inférieur G2 de la toile la plus longue est ramené en souterrain en utilisé comme brin porteur sur le parcours XY pour les colis jetés par les 2 entonnoirs A2 ; au point Y où cette toile G2 cesse d'être horizontale, les colis se déversent d'eux-mêmes sur la toile B1 dont nous avons parlé déjà et qui les conduit à la table de triage souterraine T. On économise ainsi une longueur de toile très notable. Le niveau de la toile B1 est un peu inférieur à celui de la toile G2, de sorte que les colis rencontrent une cloison fixe verticale, inclinée nommée écharpe, dévient en descendent sur la toile B1 par l'intermédiaire du petit couloir incliné C qui réunit en ce point les deux toiles.



Ce sont également des écharpes inclinées à 30° qui arrêtent les colis sur les toiles E en des points convenables et variables à volonté pour les déverser dans les magasins 1, 2, 3 ou 4 de la chambre souterraine. Mais ces écharpes mobiles, roulant sur des galets, sont tirées

par un câble jusqu'au point convenable, lorsqu'on manœuvre une fourchette d'embrayage.

Ceux des colis destinés à former des fourgons complets, au lieu d'être envoyés sur les toiles inclinées D_1 D_2 D_3 D_4 qui conduisent aux magasins souterrains sont déposés sur une toile horizontale qui court à 0m 82 au-dessus de la table de triage souterraine T, en sont acheminés directement à une chambre aérienne comportant une table de triage à 6 directions. Des toiles sans fin conduisent les colis des couloirs de descente articulés, prolongés par un chariot mobile jusque dans les fourgons. Un moteur électrique de 26 kilowatts, fonctionnant sous une tension de 500 volts, installé à la partie inférieure de la chambre souterraine commande par courroies droites ou croisées les rouleaux entraîneurs des toiles, B_1, B_2, G, D, E, ainsi que ceux des toiles montant à la chambre aérienne les colis destinés aux fourgons complets et le mécanisme des écharpes mobiles. Cette dynamo, qui entraîne une longueur totale de toiles de 1050 mètres à la vitesse uniforme de 1 mètre par seconde, consomme en marche normale de 10 à 12 kilowatts.

Un second moteur électrique, qui fonctionne également sous 500 volts en est installé dans la chambre aérienne pour actionner les 200 mètres de toile du triage des fourgons complets dépense en marche normale 7 à 8 kilowatts.

A Paris St-Lazare, le service des messageries est reporté dans l'avant-gare, au pont de l'Europe, dans une halle dont le plancher est à 6 mètres au-dessus des voies. Un monte-charge hydraulique élève les wagons du niveau général des voies jusque dans la halle en inversement.

Gares maritimes. — Pour terminer le chapitre relatif aux installations de gares, il nous reste à dire quelques mots des gares

maritimes, qui doivent satisfaire à des exigences toutes spéciales.

Les installations doivent être appropriées en variables suivant les ports ; cependant leur agencement est soumis à certains principes généraux que nous allons passer en revue.

Tout d'abord, il y a lieu de créer une installation distincte pour le service des voyageurs, car il faut des appontements toujours libres pour l'arrivée des paquebots qui sont souvent déhenrés, en raison de l'état de la mer.

Le chargement des fourgons ou trucks à bagages se fait en des points fixes du quai, au moyen de grues électriques, hydrauliques ou à vapeur. Une halle couverte abrite généralement plusieurs quais desservant 2, 4 et même 6 voies, suivant qu'il y a lieu de mettre un nombre plus ou moins grand de trains en correspondance avec les paquebots.

Un bâtiment spécial accolé à cette halle réunit toutes les installations utiles au service : bureaux, douane, agences en douane, changeur, w.c., buffets, chambres d'hôtel, etc...

En ce qui concerne le service des marchandises, il faut adopter des dispositions judicieuses pour réduire la durée de séjour des wagons, sur les quais en libérer rapidement le matériel nautique. L'immobilisation exagérée d'un vapeur de 1000 tonneaux représente souvent une dépense de 3 à 400 francs par jour, avec absence complète de bénéfices, et, par surcroît, entraîne le paiement d'une surestarie qui atteint 0f75 par tonne et par jour. Il importe donc 1° de bien relier les bassins avec la gare centrale et avec les voies de classement de cette gare ; 2° de disposer avec soin les voies qui desservent les bassins eux-mêmes, afin de donner aux quais de ces bassins le maximum d'utilisation.

La gare centrale, d'où partent, en général, plusieurs directions, est pourvue d'une gare de triage qui doit dès lors considérer les dif-

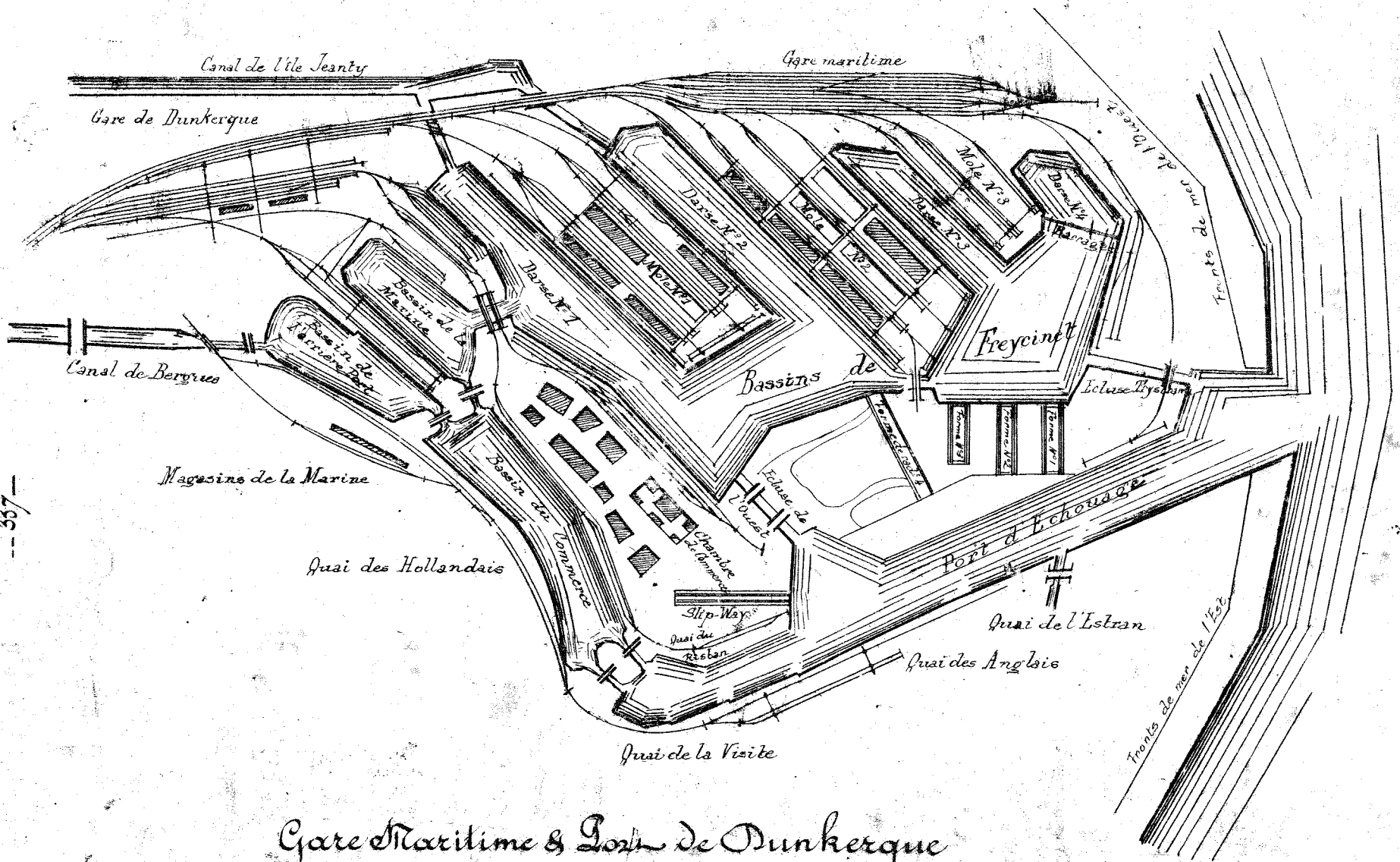
chantiers au bassins du port, au point de vue du classement, comme groupes distincts s'ajoutant aux directions des voies ferrées rayonnantes. Les bassins constituent, en somme, une gare annexe de la gare centrale.

Il arrive toutefois que sur certains points, comme à Dunkerque, l'importance d'une certaine partie du port nécessite la création d'une gare annexe de triage, spéciale à certains bassins (darse du bassin Freycinet à Dunkerque par exemple). Cette division n'est pratique que quand il n'y a aucun mélange possible entre les wagons de ou pour les bassins en question et ceux des autres parties du port. La gare de triage annexe reçoit alors et expédie des trains complets, les trie et les forme.

Il faut disposer les voies sur les quais, de façon que les wagons puissent approcher suffisamment des navires, afin de faciliter un transbordement direct au moyen d'appareils de levage perfectionnés. Il faut, en même temps, ménager sur les môles ou quais, des terre-pleins assez larges pour les dépôts à faire en plein air et pour les batiments à édifier (douane, entrepôts, etc.)

Voies ferrées du port de Dunkerque. — Les trains de marchandises en provenance du réseau sont réunis en débranchés à la gare de triage de Coudekerque, qui dispose de voies de débranchement en pente. Des manœuvres spéciales conduisent ensuite les groupes triés, soit au service local de la gare de Dunkerque, soit sur le groupe des voies desservant le bassin de la Marine et la darse N° 1, soit enfin sur le groupe le plus important qui commande l'espace compris entre les darses 1 et 4 des bassins de Freycinet.

Ce dernier groupe — qui comprend les môles 1, 2 et 3, c'est-à-dire la plus grosse partie des quais, hangars et entrepôts (entrepôt réel des sucres pouvant contenir 450.000 sacs; entrepôt des laines pouvant contenir 17.000 balles; entrepôt réel des douanes, etc...) — est pourvu d'une gare annexe de triage, avec jonctions en V, où



Gare Maritime & Port de Dunkerque

s'achève le triage des wagons destinés aux diverses parties de quais des môles en où se forment les trains comprenant les wagons chargés sur ces quais.

Sur chacun des môles, les voies sont reliées par des traversées rectangulaires avec plaques tournantes en par des traversées-jonctions.

Chaque quai comporte deux voies près de l'arête du quai, dont une voie de circulation pour les grues hydrauliques, puis en arrière des quais découverts, un groupe de 3 ou 4 voies dont les voies extérieures desservent les quais découverts en les hangars en entrepôts.

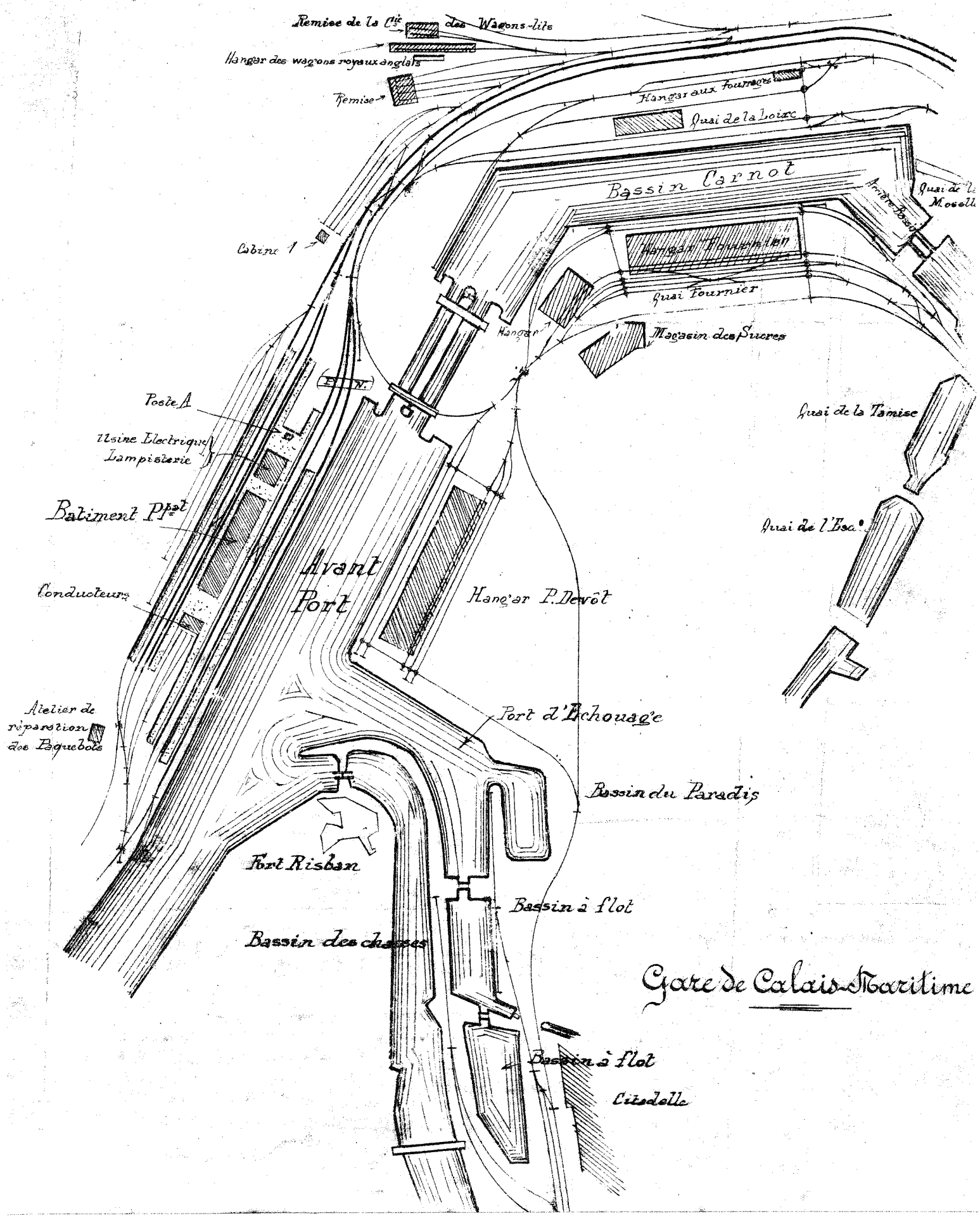
Le développement des voies ferrées des quais en de la gare maritime dépasse 37 kilomètres.

Gare de Calais. — En raison de sa proximité de la côte anglaise, le port de Calais assure un service maritime de voyageurs très important doté d'installations spacieuses en modernes.

Le quai Nord-Est, dont le terre-plein est réservé à la gare maritime des voyageurs, a une longueur de 570 mètres en comporte quatre groupes d'appontements métalliques à étages permettant le stationnement en les opérations simultanées, à toute heure, de 4 grands paquebots de 100 à 120 mètres de longueur en, de 3m.50 de tirant d'eau. Une grue électrique de 3^T5 y fonctionne pour l'embarquement en le débarquement rapide des caisses à bagages qui voyagent directement, sous plomb de douane, entre Londres en Paris en vice-versa.

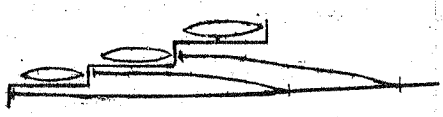
Un appareil Temperley de $1^T1/2$ est utilisé pour pour l'embarquement des messageries expédiées en trafic direct en, en particulier, des paniers de fruits qui passent en Angleterre en très grand nombre.

Quant aux bassins affectés au service des marchandises, ils permettent tous la mise à quai par aiguillage direct de wagons ou trains complets. Deux voies placées près de l'arête du quai servent à


Remise de la Cie des Wagons-lits
Hangar des wagons royaux anglais
Remise
Hangar aux fourrages
Quai de la Loire
Bassin Carnot
Cabine 1
Hangar Frigorifique
Quai Fournier
Hangar
Magasin des Sucres
Quai de la Tamise
Poste A
Usine Electrique
Lampisterie
Batiment Pfat
Avant Port
Hangar P. Devôt
Conducteurs
Quai de l'Esca
Atelier de réparation des Paquebots
Port d'Echouage
Bassin du Paradis
Fort Risban
Bassin à flot
Bassin des chasses
Bassin à flot
Citadelle
Gare de Calais-Maritime

la circulation des grues hydrauliques en à la mise en place des wagons pour le transbordement direct, tandis que d'autres voies en nombre variable situées de l'autre côté des quais découverts ou des hangars de la Chambre de Commerce permettent de desservir ces terre-pleins en d'effectuer la mise en place ou le retrait des wagons.

La gare de triage de Calais se trouve à la fois en avant de la gare maritime en en avant de la gare centrale qui dessert l'agglomération de la ville de Calais.

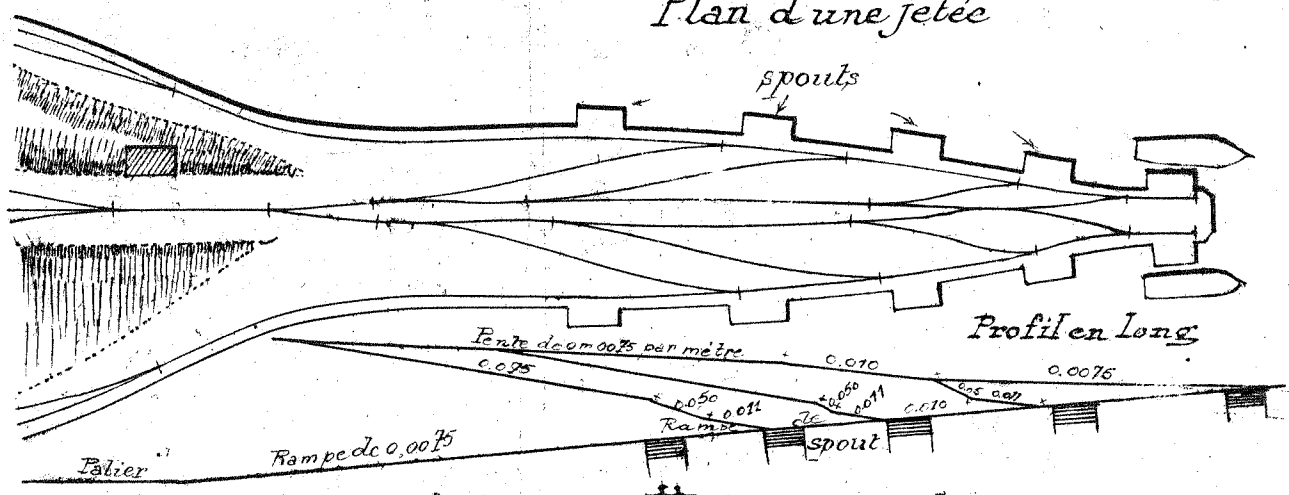


Gare de Philadelphie. —

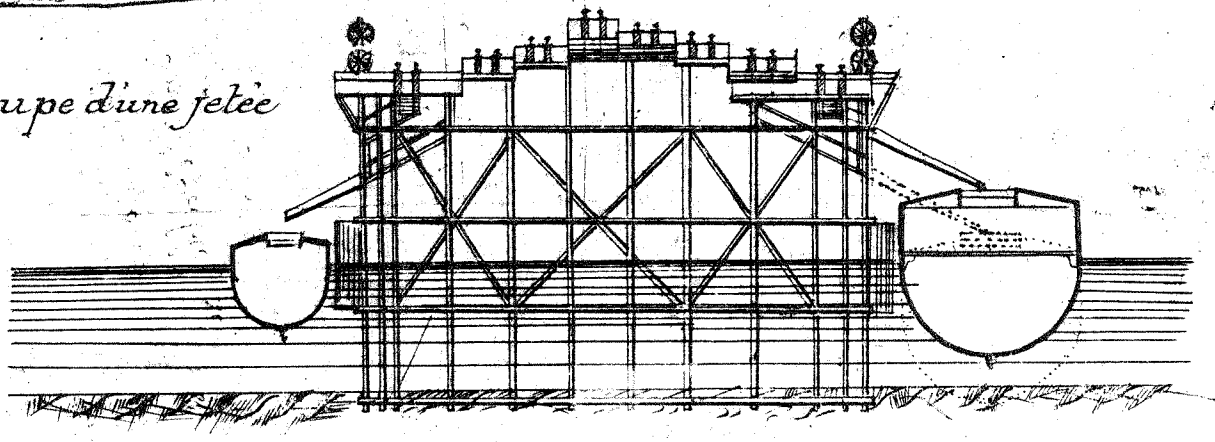
Dans certains ports, comme à Philadelphie, on a installé sur le bord des bassins une série de redans permettant chacun l'accostage d'un navire. Chacun des navires a ainsi sa voie spéciale, on ne se trouve pas dérangé dans son travail par les manœuvres effectuées pour la desserte des chantiers voisins.

Dans certaines gares maritimes anglaises, où se font en grand

Plan d'une jetée



Coupe d'une jetée



les opérations d'embarquement du charbon, on a installé des chantiers spéciaux qui participent à la fois du principe précédent et de celui des môles de Dunkerque. Un certain nombre de jetées, comportent chacune des appontements ou sports recevant chacun un navire en chargement ou desservis par un faisceau de voies en pente, tel que les wagons de charbon sont envoyés par la gravité sur chacun des ponts à volonté. Une voie en pente en sens inverse sert à évacuer les wagons vides, également par la gravité.

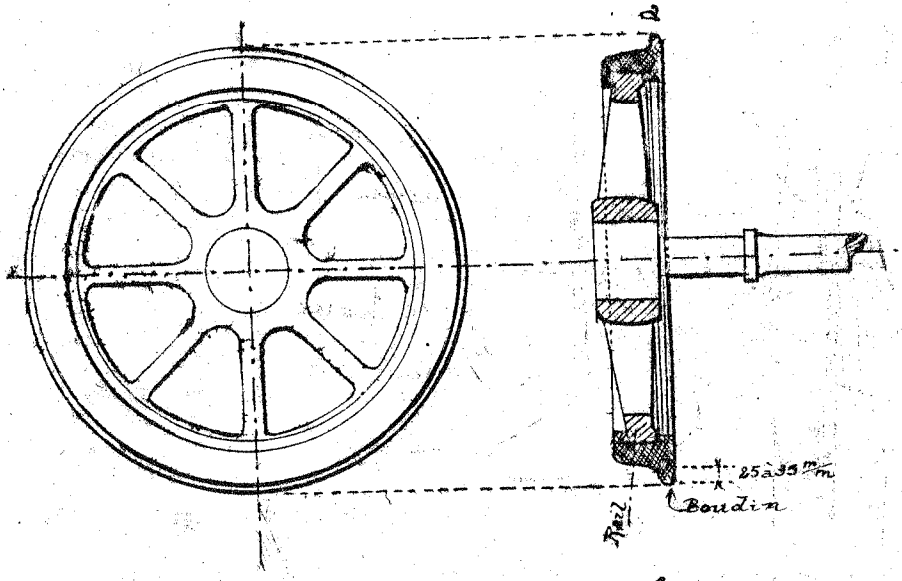
Matériel et Traction

Matériel & Traction

Le matériel roulant des chemins de fer se distingue de celui des routes principalement par les points suivants :

Présence de mentonnets ou boudins sur les bandages des roues ;
Calage des roues sur les essieux ;
Conicité des bandages ;
Parallélisme des essieux ;

1° **Mentonnets ou boudins des roues.** — Les cercles des roues ou bandages portent du côté intérieur un boudin a, dont la saillie est de 25 à 35 millimètres ; son rôle est de maintenir les roues sur les rails, en quand il y a lieu d'imprimer une direction au véhicule.



2° **Calage des roues sur les essieux.** — L'ensemble des deux roues et de l'essieu forme une seule pièce rigide et l'essieu tourne ainsi en même temps que les roues, alors que dans les voitures routières, les roues tournent autour de l'essieu. La simplicité de construction et la solidité sont deux avantages qui ont fait dès le début, adopter cette solution qui permet d'obtenir un système solide à écartement bien déterminé.

Elle présente un inconvénient, c'est de rendre plus difficile le passage des véhicules dans les courbes, en d'occasionner un mouvement de glissement de la roue qui circule sur le rail intérieur de la courbe.

3° Conicité des bandages. — Cette solution a été employée pour faciliter dans une certaine mesure le passage dans les courbes.

En effet, sous l'action de la force centrifuge, en grâce à un jeu laissé entre les boudins des roues en le rail, le véhicule est poussé vers le rail extérieur ; il s'ensuit que le roulement de deux roues conjuguées s'opère sur des diamètres différents.

Si les développements des deux cercles de contact correspondent exactement à celui des files de rails, l'ensemble de l'essieu et des roues se meut sans glissement comme un cône dont le sommet se trouverait au centre de courbure de la voie.

4° Parallélisme des essieux. — Pour répondre aux conditions de simplicité et de solidité qui ont fait adopter le calage, les essieux d'un même véhicule sont, en outre, parallèles entre eux alors que dans les voitures sur route l'essieu d'avant peut prendre une position oblique par rapport à l'essieu d'arrière.

Ce parallélisme des essieux, serait un obstacle pour la marche en courbe ; pour l'atténuer, on fixe l'écartement des bandages et de la voie de façon à laisser un certain jeu entre les boudins et les rails (Ce jeu varie de 25 à 35 m/m) et d'autre part le jeu de 5 à 20 m/m qui existe entre les boîtes à graisse et les plaques de garde permet aux essieux de s'écarter légèrement du parallélisme absolu.

Ces différentes particularités s'appliquent aussi bien aux locomotives qu'aux véhicules à remorquer. Il en est deux autres qui concernent plus particulièrement les voitures et wagons, à l'exclusion des locomotives, ce sont : 1° La position des roues sous les caisses. Cette disposition a été adoptée pour rendre la

largeur des caisses indépendante de la largeur de la voie en pour permettre, en conséquence, de leur donner une capacité plus grande

2° Application de la charge sur les fusées extérieures des roues.

On appelle fusée, la partie de l'essieu sur laquelle repose le poids de la caisse par l'intermédiaire d'un coussinet : c'est le point de contact du corps du véhicule animé d'un mouvement de translation, avec le système animé d'un mouvement de rotation, comprenant les roues et l'essieu. En ce point se produit un frottement de glissement, on conçoit que la portion de l'essieu servant de fusée puisse être à l'intérieur ou à l'extérieur des roues.

La solution habituellement employée pour les véhicules est de mettre les fusées extérieures. Cette disposition a pour avantages de faciliter le graissage de donner le maximum de stabilité au véhicule puisque la distance entre les points d'appui de la caisse est augmentée, et, d'autre part, d'appliquer la charge dans les conditions les plus favorables à la réduction du diamètre des fusées.

La locomotive se compose d'un véhicule présentant les mêmes caractères généraux que ceux dont nous venons de parler. Ce véhicule porte un moteur qui, par un mouvement de rotation imprimé à l'un des essieux, détermine le déplacement de la machine en engendre l'effort de traction.

Après avoir ainsi examiné rapidement les principaux caractères distinctifs du matériel roulant des chemins de fer, nous allons étudier tout d'abord les différentes parties du matériel de transport, et nous terminerons par l'étude de la locomotive.

Matériel roulant

Un véhicule de chemin de fer est essentiellement formé d'une caisse de forme variable (voiture, fourgon, wagon à marchandises) portée par un train. Le train est formé d'un châssis rectangulaire sur lequel est boulonnée la caisse, et de divers organes destinés à permettre le mouvement du wagon et sa liaison avec les autres véhicules. A cet effet, le châssis repose sur les essieux par l'intermédiaire de coussinets enchâssés dans des boîtes à graissage dénommées couramment boîtes à graisses qui enveloppent la fusée de l'essieu. Pour amortir les chocs, la boîte à graisse n'est pas fixée directement aux châssis, mais elle lui est reliée par l'intermédiaire d'un ressort de suspension. Les essieux et les roues sont maintenus dans leur position par des fourches en fer, qui embrassent les boîtes à graisse et sont fixées invariablement aux faces longitudinales du châssis. Ces fourches se nomment plaques de garde. Enfin la liaison des véhicules entre eux est réalisée au moyen d'appareils d'attelage, qui comportent des tampons, des barres d'attelage et de choc et des ressorts.

Nombre des essieux. — Les véhicules des réseaux français sont en général munis de deux essieux seulement. L'emploi des wagons à 3 essieux n'a été fait couramment que sur le P.L.M., et dans une certaine mesure sur le réseau du Nord. Si elle est moins économique, la disposition à 3 essieux paraît préférable au point de vue de la sécurité et au point de vue de la fatigue de la voie, puisque dans ce cas la charge par essieu est plus faible. Le passage sur les joints est certainement moins sensible qu'avec les véhicules à 2 essieux. Par contre, les véhicules à 3 essieux donnent lieu à un mouvement de lacet plus accentué. Cela tient à ce que, du fait de la moindre charge des essieux extrêmes, les frottements qui

s'opposent à leurs déplacements latéraux sont notablement diminués. Un autre inconvénient de la disposition à 3 essieux résulte du freinage. S'il s'agit du frein continu, il faut, en effet, que les sabots de frein agissent simultanément, et avec la même intensité sur les 6 roues de chaque véhicule. Il y a là une difficulté de réglage dont il faut tenir compte. Enfin, dans les véhicules à 3 essieux, il faut donner à l'essieu du milieu un jeu longitudinal. En Allemagne, on donne jusqu'à 40 m/m de jeu pour des véhicules ayant 7 mètres d'écartement des essieux extrêmes.

Au point de vue du passage dans les courbes, les véhicules à 2 essieux offrent moins de résistance que ceux à 3 essieux. Ils sont aussi mieux équilibrés et d'une manœuvre plus facile, de sorte que, dans l'ensemble, on peut peut-être pencher plutôt pour 2 essieux que pour 3, surtout si l'écartement des essieux est assez grand : 7 mètres par exemple.

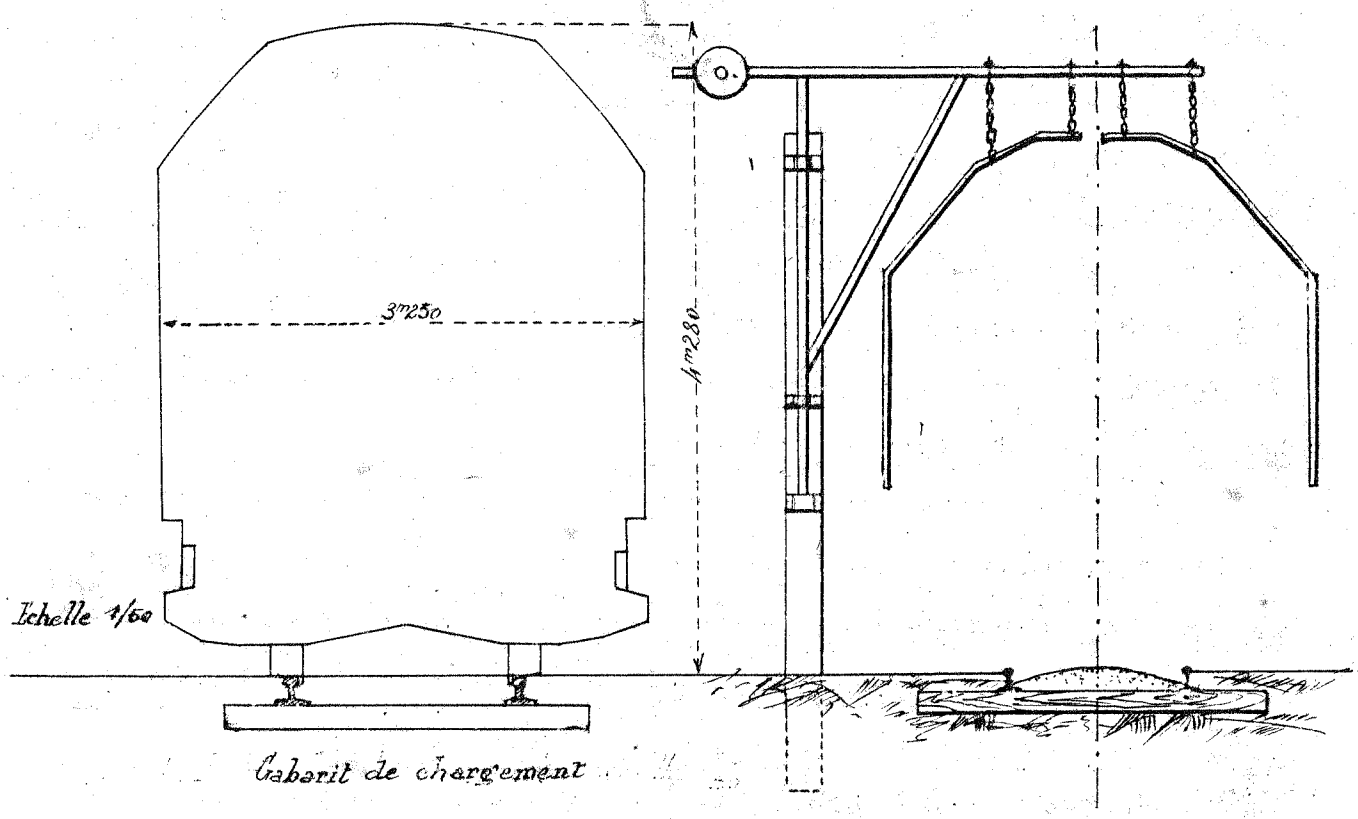
Tout ce qui précède s'applique au matériel rigide, au matériel anglais, mais, dans ce qu'on appelle le matériel américain, où la caisse est portée par des chariots ou bogies, on est arrivé à 4 et même 6 essieux par véhicule. Ces 4 ou 6 essieux sont alors partagés en sous-groupes de 2 ou 3 par bogie.

Écartement des essieux du matériel rigide. — Plus cet écartement est grand, plus la stabilité du véhicule est grande, parce que les mouvements de lacet seront moins importants. Mais, d'autre part, l'écartement ou l'empattement des véhicules est limité par la facilité d'inscription dans les courbes. Il est également limité par la nécessité de pouvoir tourner sur des plaques dont le diamètre ne soit pas exagéré.

Autrefois, on ne donnait pas au matériel à marchandises plus de 2 m. 60 d'écartement d'essieux; on arrive maintenant

à 3 m. 50 ou 3 m 75 (Esno). Pour le matériel à voyageurs, on a eu longtemps 3 m. 50 à 4 mètres seulement. On arrive maintenant à 7 mètres 25 (P.L.M.).

Gabarit du matériel roulant. — Les dimensions des caisses sont limitées par un profil ou gabarit que l'on cherche à établir le même pour tous les réseaux, de manière à faciliter les échanges (ci-dessous le croquis, à l'échelle de ce gabarit, adopté par la conférence de Berne.



Gabarit de chargement

Dans les gares, ce gabarit est établi pratiquement à l'aide d'un profil en fer suspendu à une potence dans l'axe d'une des voies. Il faut que les wagons chargés passent sous ce gabarit sans le toucher.

Description des parties des wagons

Le matériel de transport se divise en deux grandes classes: matériel à voyageurs et matériel à marchandises. Dans les 2 classes, le châssis, les essieux, la suspension, les boîtes à graisse, les

plaques de garde, les roues en les appareils d'attelage diffèrent peu. C'est donc par ces parties qu'il y a lieu de commencer la description, pour s'occuper ensuite de la caisse en des types de matériel employés.

Roues

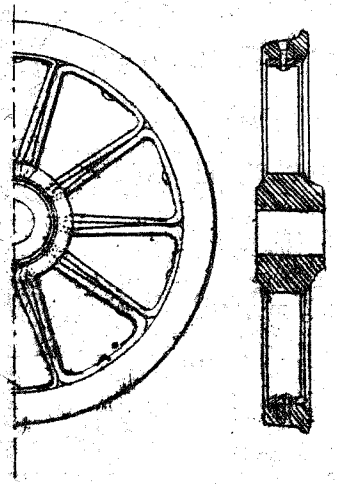
Les roues du matériel des chemins de fer sont généralement de 0m90 à 1m. de diamètre (sauf pour le matériel moteur). Il y a cependant une exception pour quelques chemins de fer anglais comme le Great Eastern, par exemple, où le diamètre des roues des voitures à voyageurs est plus considérable; on doit alors engager les roues sous les banquettes, ce qui est une gêne et une complication pour l'aménagement intérieur des caisses. En Amérique, les diamètres sont au contraire un peu plus faibles (0m80 à 0m85).

Les roues doivent être très solides à cause de leur grande vitesse de rotation, et très légères afin de ne pas trop augmenter le poids mort.

Au point de vue construction, elles se composent de la partie centrale appelée moyeu et de la jante autour de laquelle est serré le bandage. Le moyeu et la jante sont réunis soit par des bras, soit par une surface continue et l'on distingue dès lors:

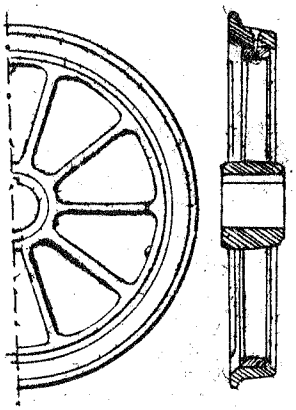
1° les roues à rais;

2° les roues pleines ou à disques.



Roues à rais. — Ces roues ont longtemps été formées d'un moyeu en fonte, dans lequel venaient se loger les extrémités de barres de fer laminées et courbées à chaud. Ces roues, encore employées pour les wagons à marchandises, sont d'un prix peu élevé. On tend de plus en plus à les remplacer par des roues

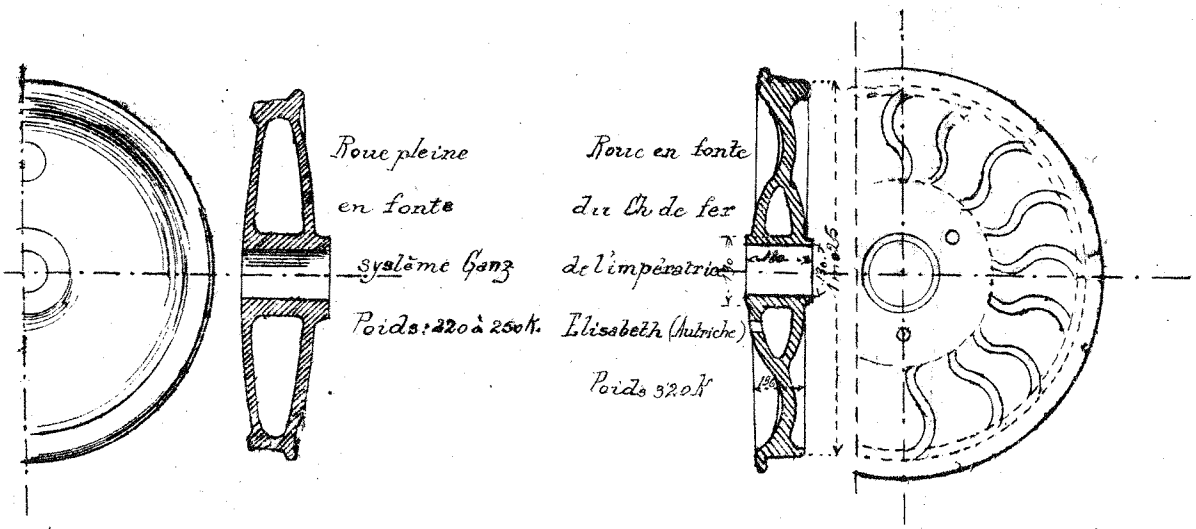
dans le centre est tout entier en fer forgé. Actuellement, au moins sur les chemins de fer français, et pour les wagons à marchandises, les roues à rais simples en droits du système Arbel sont les plus en faveur. Elles sont obtenues en chauffant en même temps au blanc soudant les différents éléments qui doivent composer le centre de la roue: la jante, les rais et le moyeu. On donne aux rais un petit excès de longueur de sorte que, lorsqu'on porte la roue chauffée au blanc dans une étampe qui contient des creux correspondant aux différentes parties, ces rais se relèvent vers le moyeu. Quand on vient ensuite frapper sur l'ensemble au moyen d'un marteau pilon, armé de la contre étampe, les rais sont refoulés dans les rainures du moyeu, ce qui produit la soudure parfaite de tous les éléments de la roue.



Roues pleines. — Les roues à rais, en tournant rapidement présentent à l'air une résistance considérable, soulèvent la poussière du ballast et peuvent projeter les escarbilles incandescentes tombant des cendriers des locomotives. Aussi, a-t-on songé soit à garnir les intervalles des rais, soit à remplacer les rais par des disques pleins. On obtient alors les roues pleines, très employées en Allemagne, Autriche, Belgique, Angleterre et Amérique et aussi sur les chemins de fer français. On peut les classer d'après la nature de la matière première, en 5 catégories: <u>Fonte</u>; <u>Fer laminé</u>; <u>Acier fondu</u>; <u>Bois</u>; <u>Papier comprimé</u>.

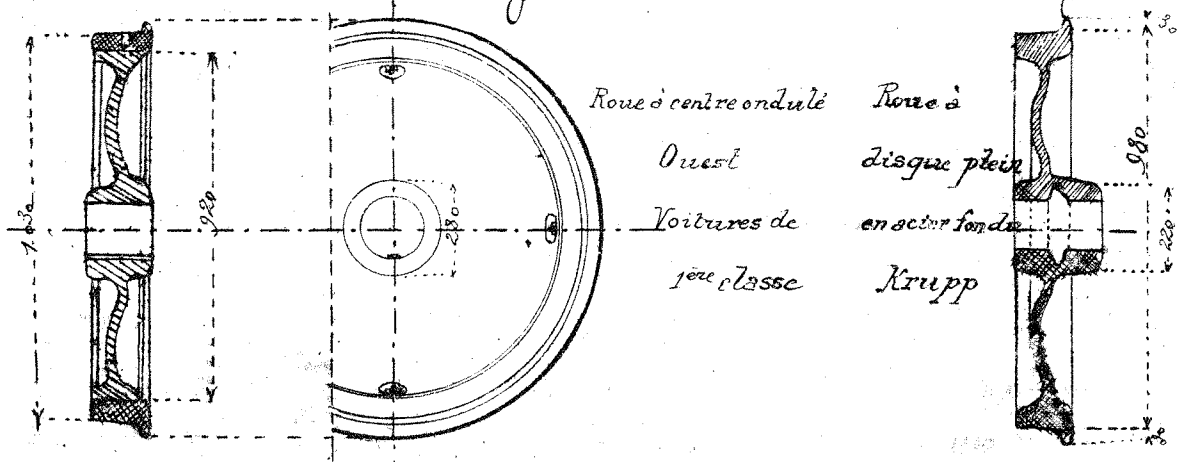
1.— Roues en fonte. — Elles sont employées couramment en Amérique. En Europe, on s'en est servi à l'origine des chemins de fer, puis on les a abandonnées probablement par suite de l'appréhension de graves accidents que leur rupture pouvait entraîner. Elles sont cependant encore utilisées en Allemagne

en en Autriche, mais seulement pour les wagons qui ne sont pas freinés.



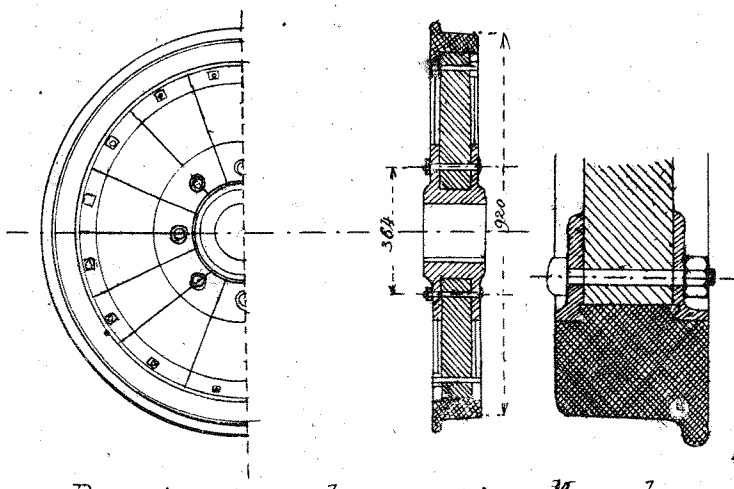
B.- Roues en fer laminé.— Elles ont été employées en France d'abord, par l'Orléans puis par les Compagnies du Nord, de l'Ouest-Etat et du Midi.

Le disque peut être plat ou ondulé, ce qui donne plus d'élasticité à la roue, et ménage ainsi le rail et le bandage.



C Roues en acier fondu.— Elles ne sont pas encore très employées, sauf en Allemagne et en Angleterre car elles paraissent peu élastiques et l'on craint des ruptures sous l'action des freins. On les fait soit d'une seule pièce, y compris le bandage rapporté. Les roues d'une seule pièce peuvent être prolongées ou d'ouvre par l'application d'un bandage sur la jante préparée à cet effet.

D.- Roues à centre en bois. — En Allemagne et en Angleterre, on emploie des roues composées d'un moyeu en fonte, d'un corps en bois de teck et d'un bandage en fer ou acier. En France, l'Orléans et l'Ouest-Etat emploient aussi des roues de ce système du type Manceel. Ces roues, très élastiques, donnent un roulement très doux avec moins de sonorité que les roues métalliques et ne se rompent pas sous l'action du froid, mais elles ne supportent pas l'usage prolongé des freins.



Roues à centre en bois, système Manceel

E.- Roues à centre en papier. — Elles sont employées, d'une façon assez restreinte, depuis quelques années, en Amérique, dans le but d'avoir des roues très élastiques et encore moins sonores. Le disque en papier comprimé sous une pression de 500 à 600 T., est maintenu par deux disques en fer boulonnés, contre des saillies du bandage.

Bandages

Ce sont des cercles qui entourent la jante de la roue et qui fournissent la surface de roulement.

Au point de vue de la sécurité, le bandage est la partie la plus importante de la roue, et il faut en étudier de très près la section, le métal à employer et le mode d'attache de la roue.

Le profil d'un bandage comprend une face interne alésée en cylindre, 2 faces latérales planes, dont la distance forme la largeur du bandage, et une face externe de forme variable, par laquelle le bandage porte sur le rail. Dans récemment (1908)

les Compagnies françaises se sont entendues pour adopter un nouveau profil unifié présentant les caractéristiques suivantes:

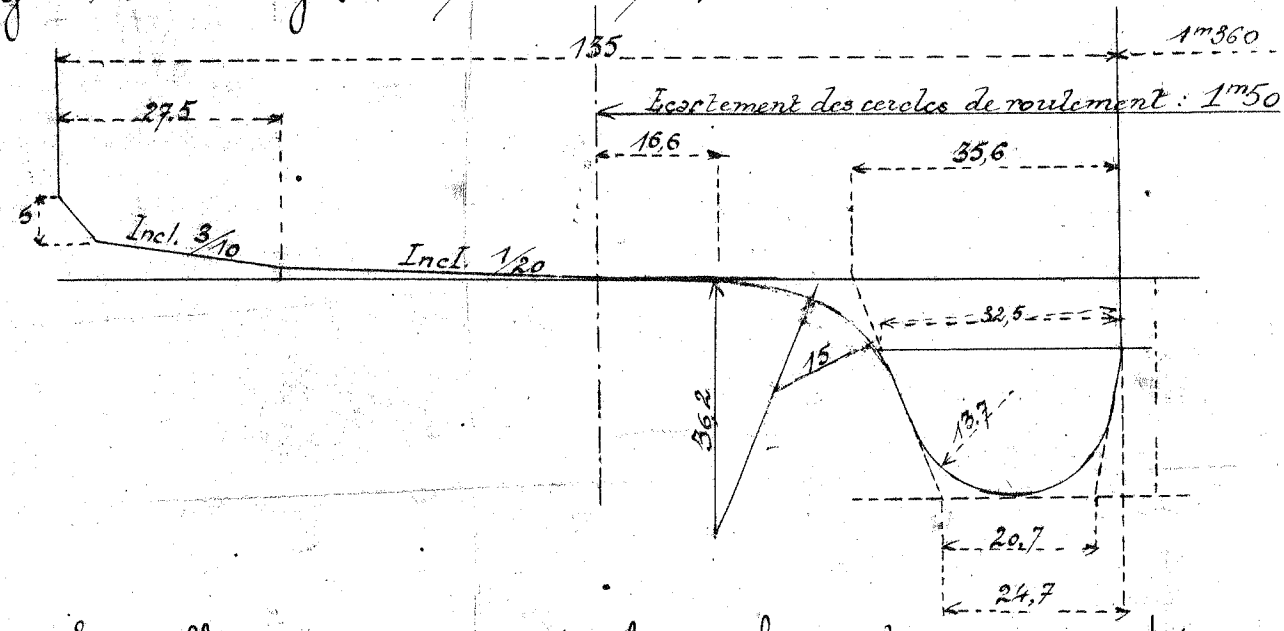
1° partie active externe.

La face extérieure du boudin est un cône dont les génératrices sont inclinées sur l'axe à 70°; elle se raccorde à la surface de roulement par des congés de 15 m/m en 36 m/m de rayon.

2° partie active interne

La face intérieure du bandage descend verticalement jusqu'à 10 m/m au-dessous du plan de roulement; puis se prolonge par une face inclinée au 1/5.

Seront toujours comprises dans les limites maxima et minima fixées par la 3ème Conférence de Berne (Mai 1907) les cotes d'écartement intérieur des bandages (1m366 . 1m357), d'écartement extérieur des boudins mesurée à 10 m/m au-dessous du cercle de roulement (1m425 . 1m405), de hauteur du boudin (36 m/m . 25 m/m) et de largeur de bandage (150 m/m . 130 m/m).

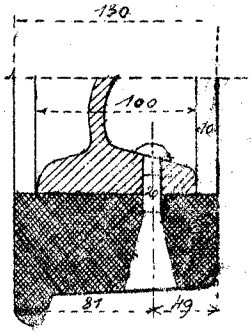


En Allemagne et en Autriche, quelques réseaux ont adopté 1/16 pour la conicité du bandage. En Espagne on a pris 1/15.

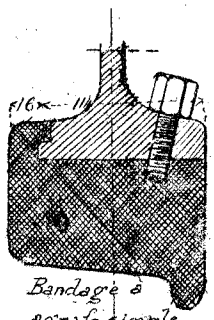
Nature du métal employé. — Aujourd'hui on ne se sert plus guère que d'acier coulé en lingots et transformé en anneaux

par martelage. On recherche des aciers très durs (résistance 50 à 70 k°)

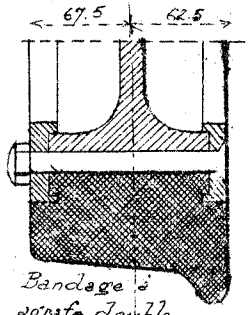
Mode d'attache en embattage. — On fait le diamètre intérieur du bandage un peu plus petit que le diamètre extérieur de la jante. On chauffe le bandage de manière que, en se dilatant, il emboite librement la jante en qu'en se refroidissant, il exerce sur celle-ci une pression considérable, qu'on peut du reste régler par la différence prévue entre les 2 diamètres.



Attache des bandages (Etat français)



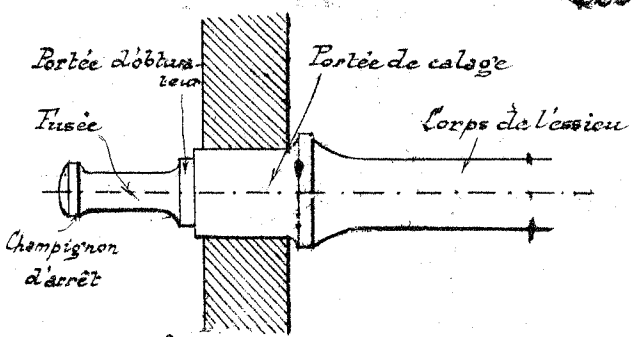
Bandage à agrafe simple Orléans (1878)



Bandage à agrafe double (Orléans)

Cette différence au serrage est habituellement de 1/1000. En plus du serrage ainsi obtenu, on fixe le bandage sur la jante soit par rivets ou boulons soit par vis taraudées, soit par agrafes.

Essieux



Les essieux comportent 3 parties: le corps de l'essieu, partie comprise entre les roues; la portée de calage, partie emprisonnée dans le moyeu des roues; la fusée, partie qui prolonge l'essieu extérieurement en sur laquelle reposent les véhicules par l'intermédiaire des coussinets en de la suspension.

La portion placée entre la fusée en la portée de calage reçoit la garniture fermant la boîte de graissage en se nomme portée d'obturateur.

Enfin, le champignon d'arrêt termine la fusée à laquelle il se raccorde par des congés de 5 à 7 m/m de rayon, ayant pour but d'empêcher les ruptures. Dans les 2 champignons d'un essieu, on pratique des centres qui déterminent l'axe de cet essieu en

personne lorsqu'on doive mettre celui-ci sur le tour. Les roues sont fixées invariablement sur les portées de calage par pression hydraulique (30 à 40.000 k. de pression pour les roues de machines : jusqu'à 80.000 k.).

Le corps de l'essieu a généralement une forme tronconique avec partie cylindrique au milieu. La portée de calage est cylindrique. Plus elle est longue, mieux la roue est bien fixée et plus réduite est la tension moléculaire qui résulte du serrage. A cause de cette tension qui s'ajoute aux efforts que supporte le corps de l'essieu, on donne à la portée de calage un diamètre plus grand que celui du corps de l'essieu dans son voisinage immédiat (5 à 15 m/m de plus). Le diamètre de la fusée doit être calculé pour satisfaire aux conditions de résistance, mais il y a intérêt à le réduire autant que possible pour diminuer le frottement. Actuellement on arrive pour les véhicules de grande capacité à des diamètres de 115 m/m avec des longueurs de 220 à 230 de telle sorte que le rapport $\frac{l}{d}$ varie de 1,75 à 2,25. Quoi qu'il en soit, ces dimensions qui résultent surtout de l'expérience, doivent satisfaire aux conditions suivantes :

A. — Résister à la charge en restant loin de la limite de rupture. B. — Rester sous la pression par cm² entre le coussinet et la fusée, en dessous d'un certain chiffre, qui varie de 15 à 20 k suivant le mode de graissage adopté.

C. — Eviter les chauffages.

Evidemment, les conditions B et C sont liées l'une à l'autre : et quand elles sont satisfaites, la condition A l'est également.

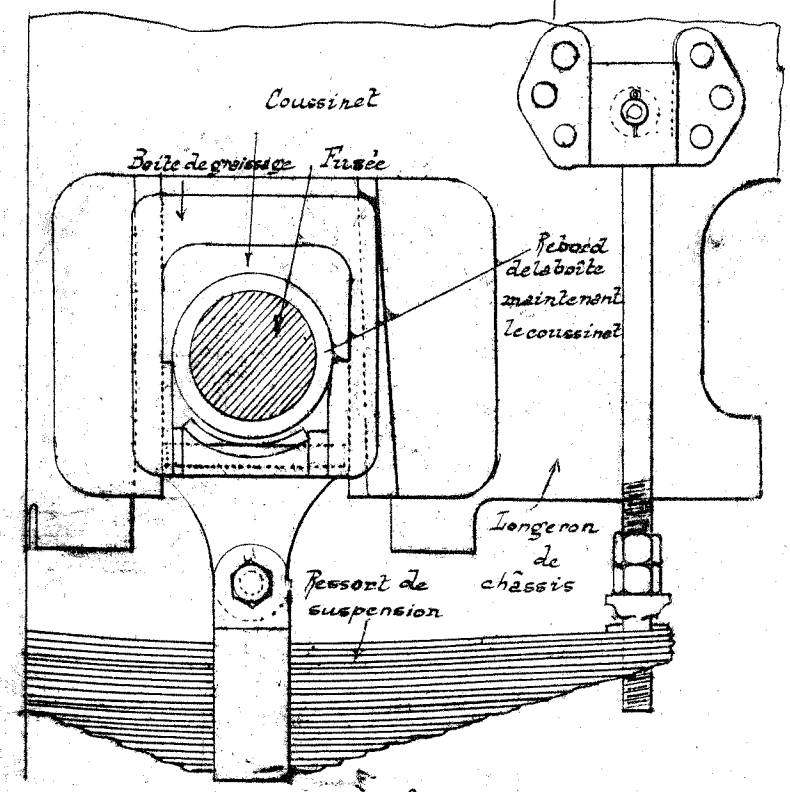
Autrefois, les essieux étaient toujours en fer fin de 1ère qualité soudé au paquet et étiré au martelage. Aujourd'hui, on n'emploie plus guère que de l'acier doux à 45 k. de résistance par m/m²

avec allongement minimum de 25%.

Ruptures d'essieux. — Ces ruptures peuvent donner lieu à de graves accidents. Pour les éviter, il faut donc forcer plutôt un peu leurs dimensions en chercher à obtenir une bonne fabrication en du très bon métal. Il faut aussi les visiter souvent. C'est surtout dans les portées de calage en dans les fusées que les ruptures sont fréquentes.

Graissage

La fusée est enfermée dans une boîte contenant la matière de graissage. Cette boîte supporte le véhicule par l'intermédiaire des ressorts. Enfin, la charge repose sur la fusée par l'intermédiaire d'un coussinet. Il y a intérêt à ce que la fusée et le coussinet soient faits de métaux différents, bien qu'il n'y ait pas contact effectif entre eux à cause de l'interposition de la matière de graissage.



La fusée est en fer ou acier et le coussinet en bronze de composition variable suivant la Compagnie. C'est ainsi qu'on a essayé du bronze au nickel, au tungstène et du bronze phosphoreux. Le plus souvent on garnit l'intérieur du coussinet d'une légère couche d'un alliage facilement fusible, dit régule ou métal blanc, contenant de l'étain, de l'antimoine et un peu de cuivre. On évite ainsi l'échauffement en cas de grippage accidentel parce que le métal blanc s'arrache plus facil

moins que le bronze.

Matières de graissage — Autrefois on employait de la graisse solide qui se liquéfiait par le fait de l'échauffement dû au frottement du coussinet sur la fusée. Aujourd'hui on se sert couramment d'huiles végétales (colza, olive) ou de préférence d'huiles minérales, car les premières coûtent cher et gèlent facilement.

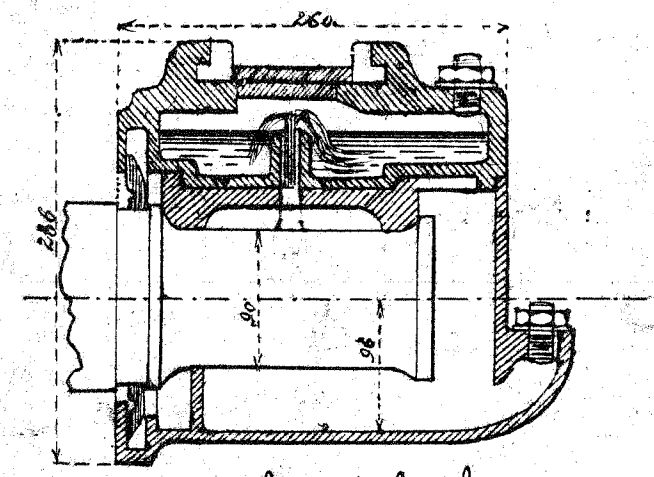
Disposition des boîtes à huile. — Ces boîtes ont la triple fonction suivante :

A. — Assurer la liaison mécanique de l'essieu avec le véhicule.

B. — Entretenir une couche convenable de matière lubrifiante entre la fusée et le coussinet.

C. — Protéger les surfaces frottantes contre l'accès des poussières.

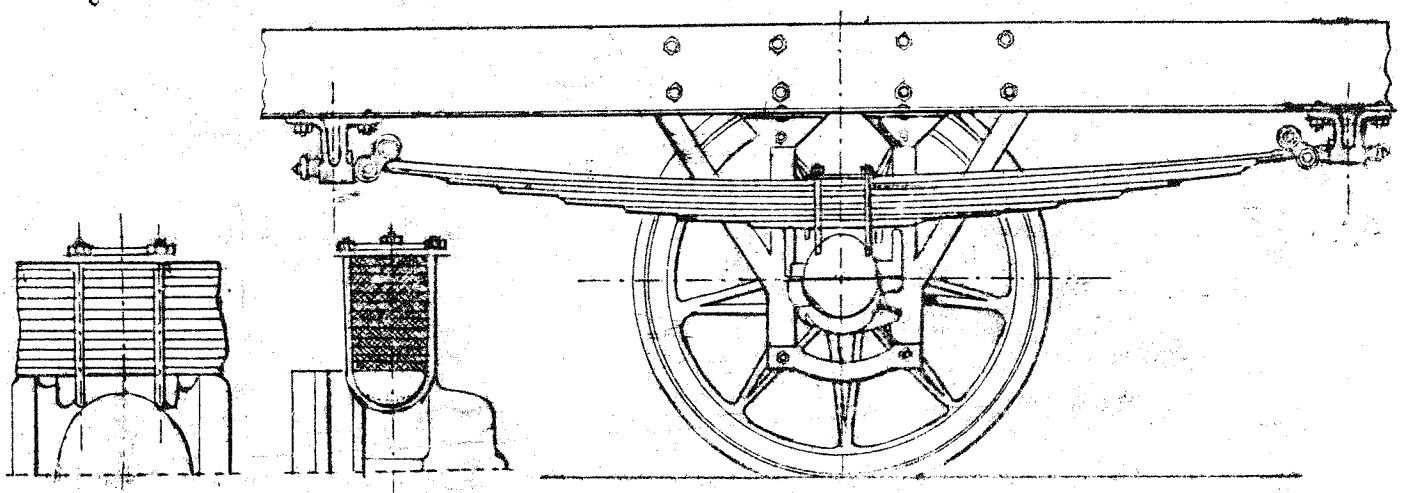
On peut les classer en deux groupes suivants que le graissage s'opère par dessus ou par dessous. Ce deuxième système a l'avantage de faire pénétrer l'huile entre les surfaces frottantes par les points où la pression est la plus faible.



Dans les boîtes à huile à graissage par dessus, l'huile est amenée dans les trous du coussinet à l'aide d'une mèche en coton ou laine. Dans les boîtes américaines, le réservoir inférieur est simplement rempli de déchets de laine ou de coton imbibé d'huile.

Suspension des véhicules. — Ainsi que nous l'avons dit, le châssis des véhicules est suspendu sur les essieux par l'intermédiaire des boîtes au moyen des ressorts. Pour la suspension des bogies de construction américaine, on emploie des ressorts à boudins formés d'une tige d'acier ronde enroulée en hélice.

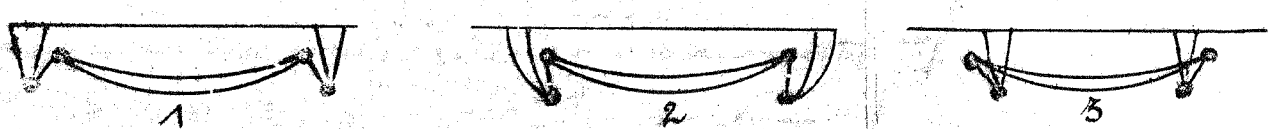
Pour les véhicules de type européen, on emploie des ressorts à lames étagées, formés d'une série de lames d'acier parallèles courbées en arc de cercle de longueurs décroissantes, superposées les unes sur les autres et réunies entre elles vers le milieu par une bride ou deux étriers. Pour éviter le déplacement transversal de ces lames, les unes par rapport aux autres, on les lamine de manière qu'elles présentent une rainure sur la face concave, et, sur la face opposée, une saillie qui vient s'emboîter dans la rainure de la lame suivante. La suspension élastique des véhicules a un double but : Amortir la violence des chocs résultant des irrégularités de la voie de façon à adoucir le roulement et réciproquement diminuer les chocs des roues sur la voie, afin de ménager l'usure de celle-ci. On détermine les ressorts d'après la résistance qu'ils doivent offrir pour supporter la charge, d'après la flexibilité choisie et d'après la hauteur totale



qu'ils doivent avoir sous charge pour se loger entre la boîte à huile et le chassis en maintenant ce dernier à la hauteur voulue. On adopte une flexibilité variable suivant la nature des véhicules. La flexibilité est la dépression en millimètres qu'éprouve le ressort sous l'action d'une charge de 1 tonne. On prend 6 à 15 m/m pour les locomotives, 12 à 25 pour les wagons à marchandises,

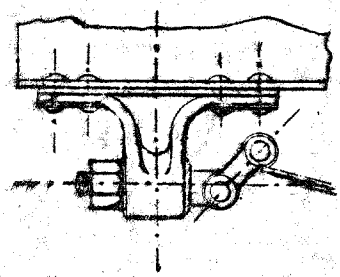
30 à 40 pour les fourgons à bagages, 60 à 150 pour les voitures à voyageurs. Ces différences sont motivées à la fois par des raisons d'économie et par la nécessité de maintenir pour les véhicules, chargés ou non, la même hauteur de tamponnement à 0m125 près. La flexibilité doit donc diminuer quand la charge utile du véhicule augmente. La largeur des ressorts est ordinairement de 0,075. Pour les grandes voitures actuelles, on est allé jusqu'à 0m100. La longueur est de 1m environ pour les wagons à marchandises et de 1m50 à 2m50 pour les voitures à voyageurs. L'épaisseur des lames est de 9 à 5 m/m, et leur nombre varie de 5 à 16.

Disposition des ressorts de suspension. — La disposition la plus employée aujourd'hui est la suspension à menottes. Elle consiste à réunir les extrémités de la feuille maîtresse à des supports fixés au châssis à l'aide de petites bielles appelées *menottes*. Suivant la position de ces bielles, on a une des 3 dispositions ci-après:



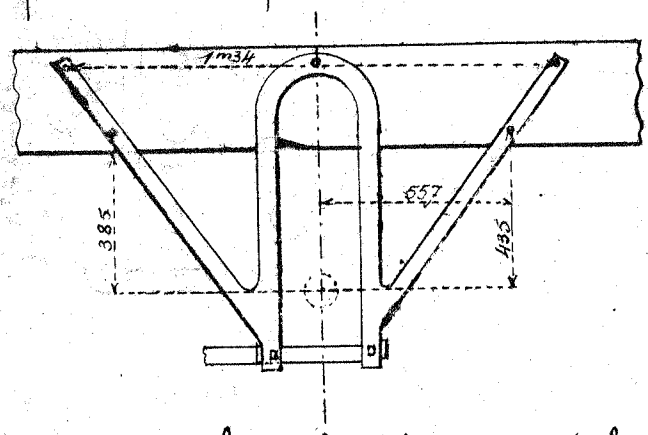
Généralement, la 1ère est employée pour le matériel de transport, la 2ème pour les machines et tenders, la 3ème est peu répandue.

Disposition des menottes. — Les extrémités de la feuille maîtresse sont terminées en forme de douilles obtenues par enroulement. Dans la douille passe une broche sur les extrémités de laquelle viennent s'articuler les bielles jumelles qui constituent la menotte. Ces bielles s'articulent à leur autre extrémité sur une autre broche parallèle à la 1ère, passant dans une douille pratiquée à l'intérieur d'une tige appelée main de réglage. Cette main



Suspension des voitures

de réglage passe dans un support boulonné au châssis en son autre extrémité est filetée et munie d'écrous qui permettent de régler la tension et l'inclinaison des menottes. Fréquemment on remplace les bielles des menottes par des anneaux. Enfin, on interpose quelquefois entre le support et l'écrou de réglage une plaque de caoutchouc ou de bois pour augmenter la souplesse de suspension.



Plaques de garde. — La plaque de garde est une sorte de fourchette invariablement fixée au châssis et qui saisit la boîte à graisse de manière à la maintenir dans sa position normale.

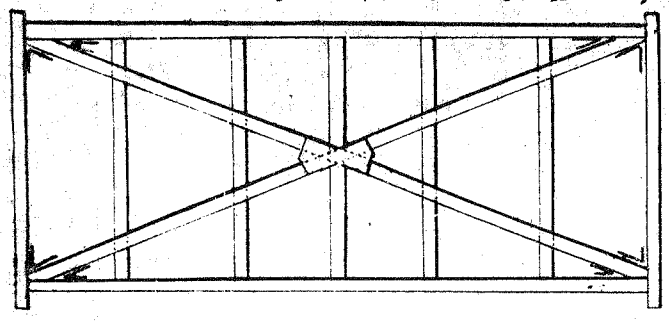
On fait les plaques en tôle d'acier de 10 à 15 m/m d'épaisseur ou en fer forgé de 20 à 25 m/m. Les 2 branches en sont réunies à leur extrémité inférieure par une entretoise horizontale qui en double la résistance.

Ces plaques de garde ne sont, nous l'avons vu, que des appareils de sûreté qui, normalement, ne doivent pas fonctionner. Elles doivent se mouvoir avec jeu sans frottement dans les glissières des boîtes de graissage. Ce jeu qui est de 5 à 10 m/m de chaque côté de la boîte pour les voitures à 2 essieux, facilite le passage des essieux dans les courbes.

Châssis

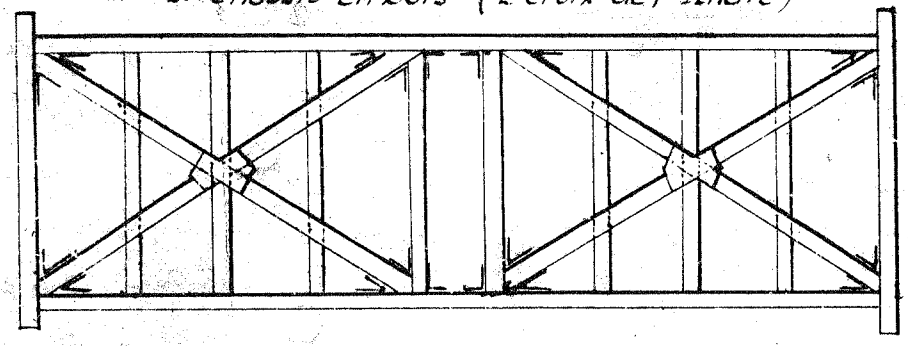
Le châssis sert à supporter la caisse du véhicule et aussi à transmettre les efforts horizontaux que les véhicules exercent entre eux. Après les avoir fait longtemps en bois de chêne on les a faits en fer et bois. Actuellement on ne les fait plus guère qu'en acier doux. Les châssis en bois se composent d'un cadre

1° Châssis en bois (1 croix de St André)

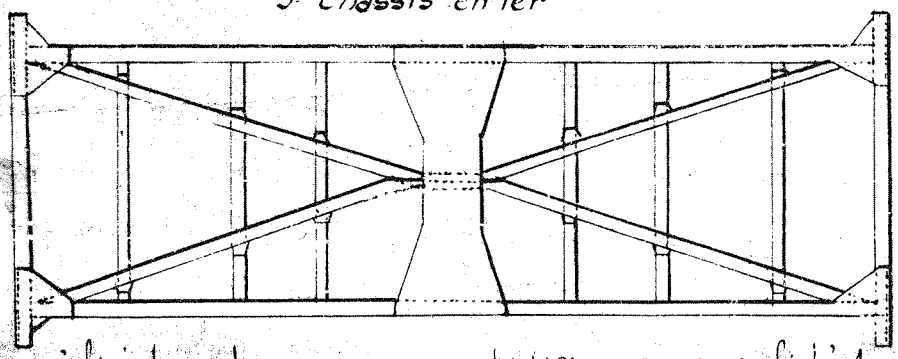


- Matériel allongé -

2° Châssis en bois (2 croix de St André)



3° Châssis en fer



rectangulaire constitué par deux longerons en deux traverses à about (pièces de bois de 0,25 de hauteur en 0,10 d'épaisseur, posées de champ). Un certain nombre de traverses intermédiaires supportent la caisse en reçoivent divers organes. Enfin, des pièces posées à plat en forme de croix de St André assurent l'invariabilité des angles.

L'assemblage des longerons en des traverses d'about réalisé par tenons en mortaises est consolidé par des boulons à pattes. La croix de St André est consolidée par une pièce de fer vissée au croisement des 2 branches. Ces dispositions convenaient avec l'ancien matériel d'assez faible longueur. Lorsqu'on a dû augmenter cette longueur, on a employé différentes dispositions en surtout la double croix de St André.

Dans la construction mixte, on fait les longerons en fer et les traverses en bois.

Dans les châssis entièrement métalliques, on emploie pour les

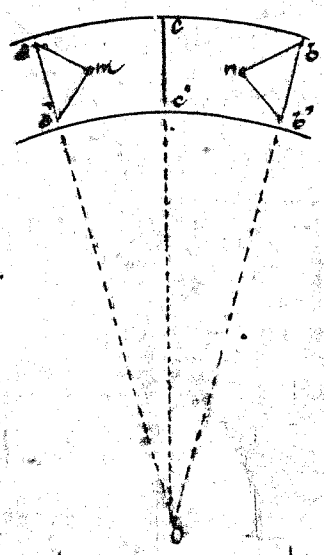
longerons des fers en I ou en ⊏ ou pour les traverses des fers en ⊏. Les assemblages sont faits à l'aide d'équerres ou de gousets rivés. Il y a quelques années, on a voulu essayer des châssis tubulaires formés d'une série de tubes en acier assemblés entre eux, mais ce système de construction se prêtait mal aux réparations et il n'a pas été généralisé.

Dispositions employées pour faciliter le passage en courbe

On a déjà vu que le jeu laissé entre les boîtes à graisse et les plaques de garde facilitait le passage en courbe. On a voulu aller plus loin, et notamment M. Arnoux a imaginé un matériel articulé qui a reçu une application sur la ligne de Sceaux, mais a été abandonné. Il était d'un entretien coûteux et ne se prêtait pas aux grandes vitesses.

Matériel américain. — De toutes les dispositions essayées en vue du passage dans les courbes, celle du matériel américain est la seule qui ait complètement réussi. La caisse repose sur 2 chariots à 2 ou 3 essieux de faible empattement. Ces bogies ou trucks sont reliés au châssis au moyen de chevilles ouvrières autour desquelles chaque groupe d'essieux peut tourner librement. En Amérique l'écartement des essieux d'un bogie est très faible : 1 à 2 mètres. En France il est en général plus considérable dans le but d'augmenter la stabilité : P.-L.-M. : 2m35 ; Orléans 2m80 ; Etat 2m40 ; Nord. 2m50. Dans l'étude des locomotives nous traiterons plus longuement la question des bogies.

Articulation de Bissel. — Si l'on suppose que la cheville ouvrière d'un bogie soit placée, non plus en son centre de figure, mais, en un point situé sur le prolongement de son axe longitudinal le bogie est dit à articulation de Bissel. Cette disposition convient aux voitures en réduisant à un seul les deux essieux du bogie. Un essieu unique mobile autour d'une cheville ouvrière



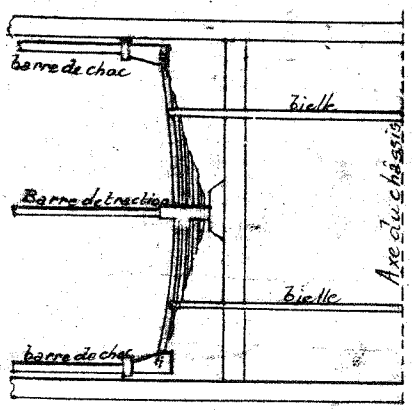
placée en son milieu ne peut se maintenir sur les rails, que s'il est guidé. Or, ce guidage peut s'obtenir très simplement en déplaçant la cheville ouvrière, ou en la plaçant en dehors de l'essieu du bissel soit en avant, soit en arrière, en un point situé sur l'axe longitudinal du véhicule. En alignement droit, l'essieu ne pourra se déplacer que dans les limites du jeu de la voie et son déplacement sera d'autant plus petit que sa distance à la cheville sera plus grande. Cette distance est d'ailleurs déterminée par la considération suivante: En courbe, les 2 essieux extrêmes aa' bb' doivent concourir au centre de la courbe en même temps que l'axe transversal cc' du véhicule. Cette condition ne peut être remplie que si les chevilles ouvrières m et n sont placées à égale distance des essieux ou de l'axe transversal. Dans ce système, un 3ème essieu placé au milieu est sans utile pour fixer la position du châssis relativement à la voie.

Appareils d'attelage

Au moment des démarrages ou des ralentissements, les véhicules tendent, en vertu de leur inertie, à s'éloigner ou à se rapprocher les uns des autres. Pour que ce double effet se produise sans chocs, il est nécessaire d'employer des organes d'attelage élastiques, les uns pour la traction, les autres pour le choc.

L'appareil de choc se compose d'un ou deux tampons par lesquels les véhicules sont en contact. Ces tampons agissent sur des ressorts qui se compriment quand les véhicules se rapprochent.

L'appareil de traction se compose d'une barre d'attelage agissant sur le châssis par l'intermédiaire d'un ressort qui se comprime quand on exerce une traction sur la barre.



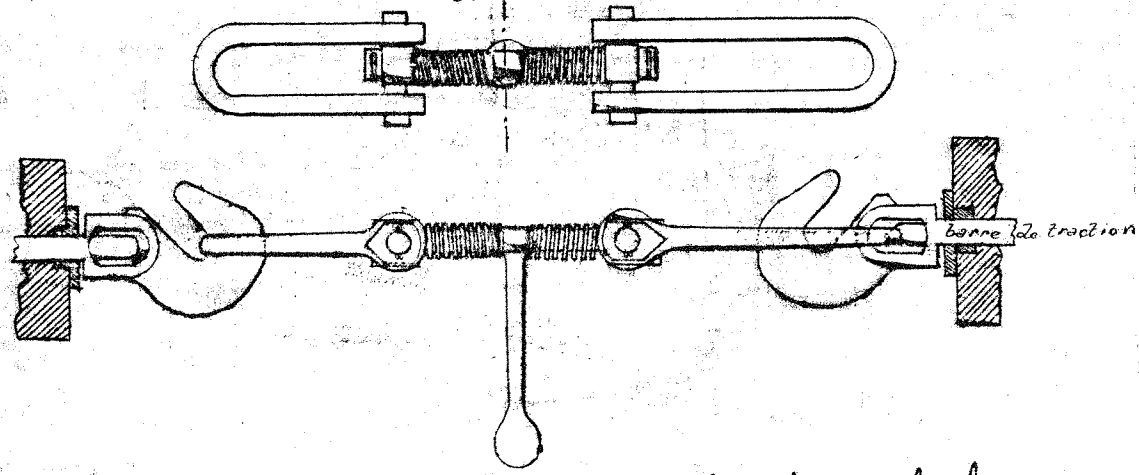
Appareil de choc et de traction
(Ouest-Français)

les barres d'attelage de deux véhicules en contact sont réunies par un tendeur à vis permettant de serrer plus ou moins l'attelage. Dans les trains de voyageurs, on serre les attelages pour maintenir les véhicules constamment en contact afin de diminuer les mouvements de lacet. Cette condition oblige à enlever le train en bloc, ce qui est possible parce que les machines remorquant les trains de voyageurs disposent, pour le démarrage, de la grande puissance qu'elles doivent avoir, en raison de la vitesse à réaliser en pleine marche. Nous verrons en effet plus loin que la résistance croît très vite avec la vitesse. On est donc conduit à employer, pour les voitures à voyageurs, des ressorts de traction peu flexibles pour que les attelages soient bien serrés, et, par contre, des ressorts de choc très flexibles pour amortir les chocs lors des arrêts.

Pour les trains de marchandises, au contraire, les machines ne seraient pas assez puissantes pour faire démarrer le train en bloc, et le démarrage ne doit s'opérer que successivement. On ne serre donc pas les tampons en contact, et, pour atténuer les chocs éprouvés au moment du démarrage par les différents véhicules, on emploie des ressorts de traction très flexibles. Enfin, les ressorts de choc des wagons à marchandises sont déterminés avec moins de flexibilité que pour les voitures à voyageurs, par raison d'économie et pour diminuer les réactions qui se produisent au moment des arrêts.

Pratiquement on emploie, pour les trains de marchandises, la même flexibilité pour les ressorts de traction et de choc : 30 à 50 m/m. Pour les trains de voyageurs, on prend généralement 12 à 20 pour les ressorts de traction, et 50 à 70 pour les ressorts de choc.

En Europe, l'appareil d'attelage utilisé est l'attelage à tendeur :

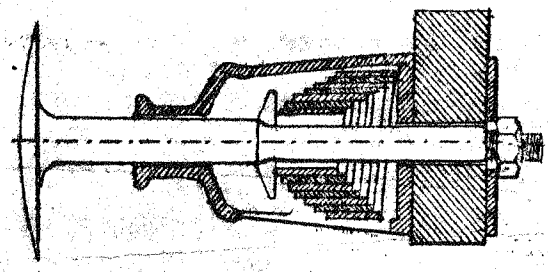


Une extrémité du tendeur est réunie au véhicule par la barre de traction, qui porte, à cet effet, un œil en avant du crochet de traction. L'autre extrémité du tendeur est libre et peut être fixée sur le crochet de traction du véhicule voisin. Comme tout véhicule a un tendeur à chacune de ses deux extrémités, l'un au moins est inutilisé. Pour éviter que le maillon libre de ce tendeur ne traîne à terre, on l'attache à un crochet spécial. En plus du tendeur, les attelages usités en Europe comportent des chaînes de sûreté destinées à maintenir les 2 parties du train en cas de rupture du tendeur ou de la barre de traction. Ces chaînes sont fixées, soit à la traverse d'about, soit à une traverse intermédiaire au moyen d'une tige. Elles sont placées de part et d'autre du tendeur et séparées par un intervalle de 0,60 à 1,20. Il faut enfin les attacher aussi court que possible afin de réduire leurs chances de rupture. En Suisse et en Allemagne, on les a supprimées et remplacées par le second tendeur que l'on fixe à un crochet spécial, mais avec ce système, il n'y a plus aucune liaison de véhicules si la barre de traction vient à se rompre.

Appareils de choc

Ils sont constitués par des tampons formés de plateaux en fer ou en acier soudés à l'extrémité d'une tige en fer qui court

sur la face intérieure des longerons. Cette tige est guidée par un boisseau en fonte fixé sur la traverse d'about du véhicule.



Dans que, même dans les courbes, le contact existe toujours entre les tampons de 2 véhicules, on fait usage des tampons semi-bombés, c'est-à-dire sur une même traverse, un tampon plat et l'autre bombé. Dans ce cas, on les dispose de façon qu'un tampon plat se trouve toujours en face d'un tampon bombé (avec deux tampons bombés en contact, si l'un des wagons était un peu plus bas il pourrait soulever l'autre). On emploie enfin parfois des tampons terminés par une surface cylindrique à génératrices verticales. La conférence de Berne a fixé pour la hauteur de l'axe des tampons au-dessus de la face supérieure des rails les cotes suivantes :

Véhicules vides $\leq$ 1 m. 065

Véhicules chargés au maximum $\geq$ 0 m 940

Le diamètre des disques de tampons doit être au moins de 0 m 340. L'écartement des tampons doit être compris entre 1 m 710 et 1 m 770 avec la réserve que si cet écartement est inférieur à 1 m 720, le diamètre des tampons doit être au moins de 0,360. En Allemagne, on a adopté 1 m. 754. Cet écartement a une grande importance au point de vue de la rigidité [illegible] ain. Plus il est grand et plus il s'oppose au mouvement de l[illegible], mais en même temps plus il augmente la difficulté d'inscription en courbe.

Dispositions des attelages

On classe les attelages en 2 groupes : attelages discontinus, attelages continus.

Dans les premiers, les appareils placés aux deux extrémités

d'un même véhicule sont complètement indépendants. Dans ce cas, l'effort de traction est transmis par l'intermédiaire du châssis, ce qui représente dans les trains lourds un effort considérable pour les traverses d'about. Dans les seconds, les appareils placés aux deux extrémités d'un même véhicule sont solidaires, et c'est par l'attelage régnant ainsi d'un bout à l'autre du train que l'effort de traction se trouve transmis. Pour chacune de ces classes, les ressorts de choc et de traction peuvent être distincts ou confondus. de sorte que l'on est conduit à examiner 4 cas différents:

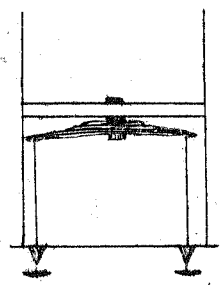
A. Attelages discontinus avec ressorts distincts pour le choc et la traction

B.- — — — communs — —

C.- continus distincts

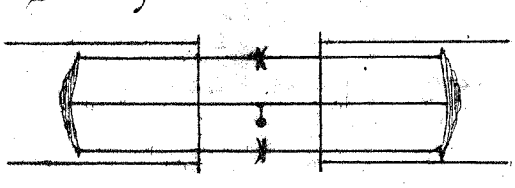
D.- — — — communs — —

Groupe A. — Les ressorts de choc peuvent être à lames ou en spirale conique. Dans le 1er cas, c'est un même ressort fixé à une traverse intermédiaire qui appuie sur les tiges des 2 tampons. Dans le 2e cas, chaque tampon possède son ressort en spirale logé dans le boisseau ou faux tampon. Ce ressort s'appuie sur la traverse d'une part ou sur un petit plateau porté par la tige du tampon d'autre part. Pour régler la tension du ressort, la tige du tampon se termine par une partie filetée sur laquelle on visse un écrou s'appuyant sur la face interne de la traverse d'about.

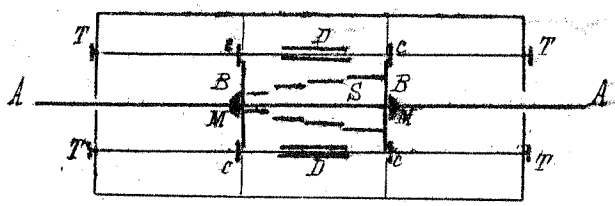


La barre de traction agit sur un ressort prenant appui sur la traverse d'about ou sur une traverse intermédiaire.

Groupe B. — Le ressort commun est ordinairement à lames étagées. Les tiges des tampons s'appuient sur les extrémités du ressort au milieu duquel vient se fixer la barre de traction. Ces ressorts s'appuient sur des traverses intermédiaires.



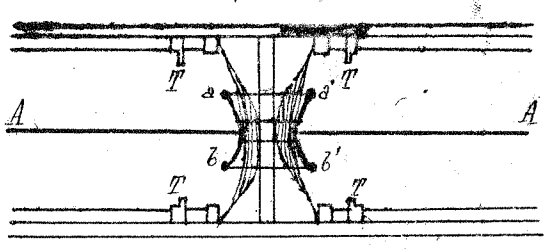
Quand on serre l'attelage entre deux véhicules ce contact peut cesser, et alors les châssis ont une sorte de flottement sur l'attelage. En marche, tant que l'effort de traction ne dépasse pas le serrage du tendeur, l'ensemble formé par les ressorts, les tampons et les barres de traction, constitue une sorte d'attache indéformable qui réunit les 2 véhicules. Si l'effort de traction devient plus considérable, les ressorts fonctionnent.



Groupe l'. — Dans ce système, on a une barre A terminée à ses deux extrémités par un crochet de traction. Cette barre règne sur toute la longueur du véhicule. Vers son milieu, il y a un ressort en spirale compris entre deux plateaux B, lesquels sont guidés de chaque côté par une tige en fer T. Ces tiges présentent des arrêts c, qui servent à limiter la course des plateaux B. La barre AA, qui traverse librement ces plateaux, porte 2 manchons clavetés M contre lesquels viennent buter les plateaux, qui sont maintenus écartés par le ressort S. Enfin, la compression de ce ressort est limitée par les manchons D enfilés sur les tiges T.

Quand on exerce une traction sur l'attelage du premier véhicule d'un train, les attelages sont tendus et les ressorts S sont tous comprimés. Quand la traction est supérieure à la tension de ces ressorts, les plateaux B, qui, jusqu'alors, étaient restés appuyés contre les arrêts c, quittent ces arrêts du côté opposé à l'attelage. Chaque véhicule ne subit que l'effort correspondant à sa propre résistance au roulement. Dans ce système, qui s'applique plutôt aux trains de marchandises (dans lesquels les attelages ne sont pas serrés), les ressorts de choc sont généralement des ressorts en spirale logés dans de faux tampons.

Groupe D.— Dans le 4e groupe, les ressorts s'appuient sur la traverse médiane du véhicule en leurs extrémités buttent contre 2 patins qui terminent les tiges des tampons. Des tasseaux T fixés aux longerons limitent la course des patins et permettent l'entraînement du véhicule lorsqu'on exerce un effort sur la tige de traction réunie au ressort par une bride. On voit que



le ressort fonctionne alors dans les mêmes conditions pour la traction et le choc. Pour avoir une flexibilité différente suivant qu'il s'agit de traction ou de choc, on applique sur chacun des ressorts, une feuille supplémentaire et l'on réunit les extrémités de ces feuilles par 2 bielles aa', bb'. Dans l'appareil de traction, la partie médiane du ressort intervient seule ; dans l'appareil de choc, tout le ressort fonctionne. On arrive ainsi à avoir pour le ressort de traction une flexibilité, qui n'est plus que le 1/4 ou le 1/5 de la flexibilité du ressort entier.

D'une façon générale, on emploie maintenant, en France, l'attelage discontinu avec ressorts indépendants s'il s'agit de voitures à voyageurs, et distincts ou indépendants aussi s'il s'agit de wagons à marchandises. A l'étranger, on emploie beaucoup, pour ces derniers, les attelages continus.

Attelages automatiques

On a, depuis longtemps, cherché des attelages permettant le décrochage et l'accrochage sans qu'un agent soit obligé de s'introduire entre les deux véhicules pour effectuer ces opérations. Le problème est assez difficile à résoudre, car il faut que les appareils soient résistants en dépit de leur complexité ; toutefois il

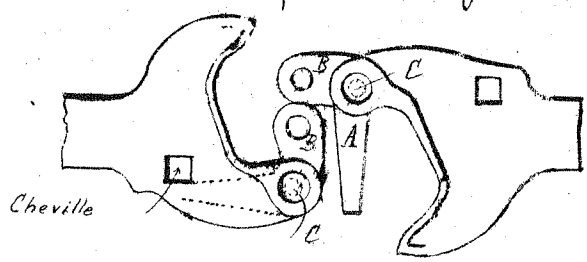
en existe une solution qui a reçu son application en Amérique, où elle a d'ailleurs été imposée par la loi.

Le principe de l'attelage américain est le suivant :

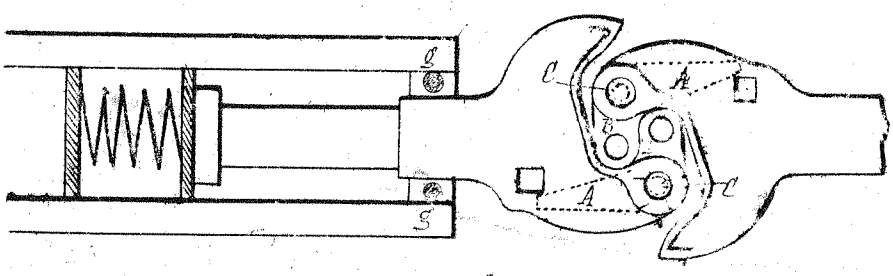
Il n'y a plus de tampons de choc ; il n'y a qu'une pièce d'attelage placée dans l'axe du véhicule ; c'est une tête qui termine la barre de traction et qui vient s'articuler sur une tête semblable terminant la barre du véhicule suivant ; c'est en somme une simple articulation entre les barres de traction, disposition très favorable au passage en courbe.

L'attelage imposé par la loi aux Etats Unis doit fonctionner automatiquement par simple choc, et doit pouvoir être défait sans que l'agent ait à s'introduire entre les véhicules.

Quoiqu'il y ait plusieurs systèmes, différents entre eux par quelques détails, ils ressemblent tous au système le plus employé et qui est appelé le *Jeanny coupler*. La partie essentielle est une tête creuse en acier fondu faisant corps avec un tronc également creux qui est attaché sous le véhicule. Dans cette tête, une pièce AB recourbée presque à angle droit est appelée Knuckle



joue autour d'un axe C. La queue A est retenue par une cheville. Lorsqu'on relève cette cheville, la queue A du knuckle se trouve libérée. La cheville est soulevée au



moyen d'une chaînette attachée à l'extrémité d'un levier fixé sur la traverse d'arbre en manœuvre au moyen d'une manivelle.

Le vide compris entre le knuckle et la tête a précisément la forme du knuckle, et c'est dans ce vide que vient se placer le knuckle de la tête de l'autre véhicule. Le tronc fixe de la tête glisse entre deux longerons et sa course transversale est limitée par deux rouleaux verticaux g. Il appuie à son extrémité contre un plateau épaulé par un puissant ressort à boudin, qui fait à la fois office de ressort de traction.

Ces appareils appelés aussi "coupleurs automatiques," loin d'être parfaits, donnent lieu assez fréquemment à des ratés d'accrochage et même à des ruptures d'attelages. C'est pourquoi, malgré les avantages de ces appareils, leur emploi ne s'est pas encore répandu en Europe.

Toutefois, on essaie sur le réseau de l'Etat français, depuis quelques années un attelage automatique imaginé par M. Boirault.

Plan schématique de l'attelage automatique

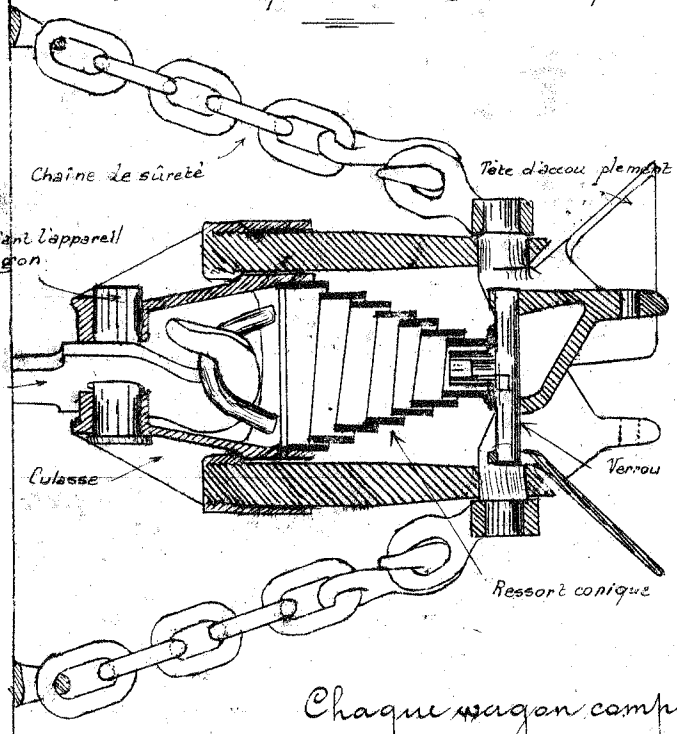
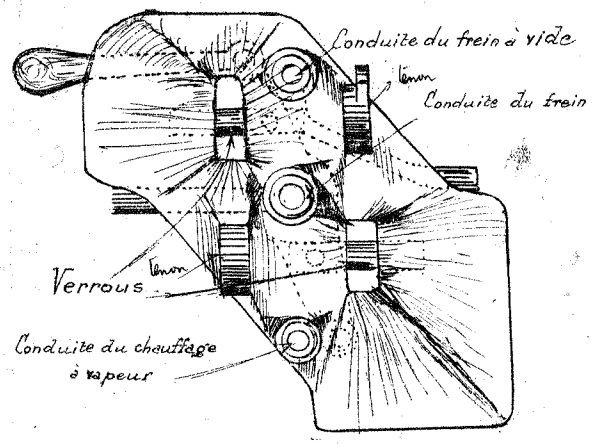
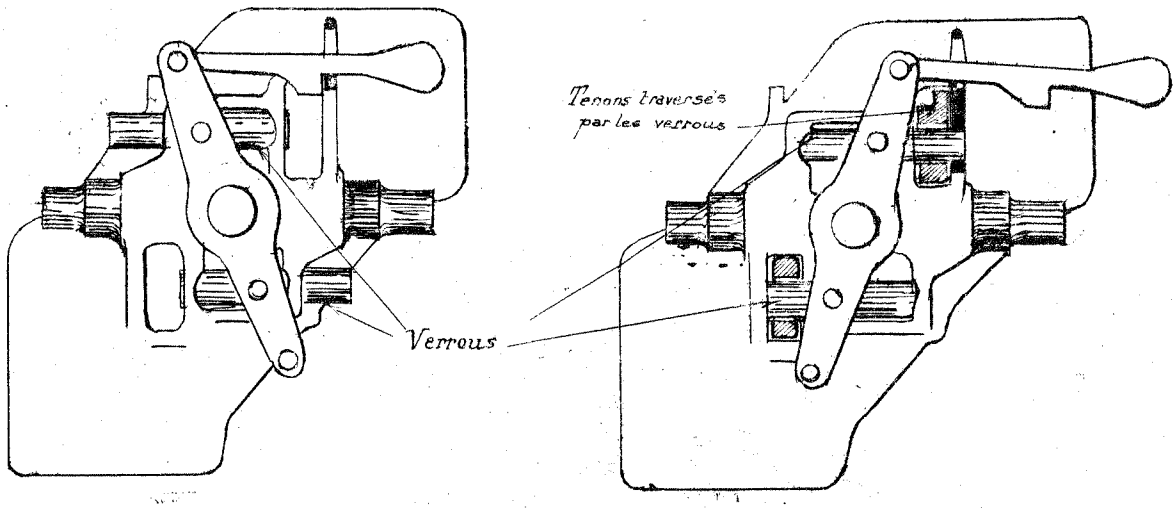


Schéma d'une tête d'accouplement
(Verrous fermés)



Chaque wagon comporte, sur son axe longitudinal, fixé au crochet de traction, un appareil d'attelage comprenant deux parties principales : 1° le cadre compressible, 2° la plaque ou tête d'accouplement formant serrure.

Fonctionnement des verrous (Tête d'accouplement, vue de derrière)



Le cadre compressible se compose d'une culasse formée de deux glissières montées sur un gros boulon traversant l'œil du crochet de traction, de deux forts coulisseaux passant dans ces glissières et portant à leur autre extrémité les tourillons de la tête d'accouplement, laquelle est reliée à la culasse par un gros ressort conique.

La plaque ou tête d'accouplement porte sur sa face avant, symétriquement placés suivant deux diagonales inclinées à 45° sur l'horizontale 1° deux forts tenons percés d'un œil ; 2° deux ouvertures situées au fond de deux sortes d'entonnoirs en tronc de pyramides en dans lesquels doivent venir s'engager et se verrouiller les deux tenons de l'organe du wagon voisin.

Sur la face arrière de la tête d'accouplement un balancier lié avec un gros ressort conique fonctionne automatiquement sous l'action de ce ressort pour lancer 2 verrous dans les tenons de la tête d'accouplement du wagon voisin.

Les verrous sont lancés sous l'effort du bandage du ressort conique, dès que, après avoir soulevé un cliquet articulé qui retient jusque là le balancier, les tenons guidés par les entonnoirs ont pénétré dans leurs encoches.

Lorsqu'on veut dételer les wagons, le balancier peut être

actionné à la main du dehors par deux chaînettes qui provoquent le retrait des verrous, en la mise en œuvre du cliquet qui maintient à nouveau le balancier dans cette position, où il est armé pour un accouplement ultérieur.

L'appareil Boirault paraît supporter convenablement les essais qui sont poursuivis depuis quelques années. Il a l'avantage de pouvoir s'adapter aux wagons français, en laissant subsister les tendeurs, ce qui serait intéressant au point de vue de la période transitoire, en cas de généralisation. Il réalise automatiquement en même temps l'attelage des wagons et la jonction étanche tant des conduites des freins que de celles du chauffage à la vapeur.

Caisses. — **1° Voitures à voyageurs.** — On peut distinguer deux types généraux, le *type à compartiments* séparés les uns des autres par des cloisons transversales et accessibles uniquement par les portières latérales, et le *type à intercirculation*. Dans ce dernier type, on peut signaler le type américain composé d'un grand compartiment unique, ou subdivisé avec passage central et accès par les extrémités du véhicule seulement. En France, on emploie plus fréquemment le couloir latéral donnant accès par des portières dans chaque compartiment. On peut donner accès à la voiture uniquement par des portes qui s'ouvrent à chaque extrémité du couloir ou encore combiner les deux systèmes en ménageant un couloir latéral tout en conservant les portières donnant accès à chaque compartiment.

Au point de vue du confortable dans l'intérieur des voitures, l'accès par l'extrémité des voitures est préférable en évitant davantage le refroidissement des compartiments, mais, au point de vue de la commodité d'embarquement et de débarquement des voyageurs, le système à portières est préférable.

L'intercirculation peut exister seulement entre les compar-

partiments d'une même voiture, ou encore elle peut être établie de voiture à voiture, au moyen de passerelles munies ou non de soufflets.

Le choix du type de voiture doit être subordonné aux nécessités de l'exploitation et à la nature du service à assurer. Dans les trains à longo parcours, à arrêts peu fréquents, l'intercirculation s'impose, à cause de la nécessité de donner à tous les voyageurs l'accès aux cabinets de toilette et aux water-closets. L'intercirculation de voiture à voiture s'impose également pour donner accès aux wagons-restaurants, le cas échéant.

L'intercirculation peut exister aussi bien avec le matériel rigide qu'avec le matériel à bogie, toutefois elle amène à donner la préférence au matériel à bogie qui permet d'admettre pour les caisses des voitures une longueur beaucoup plus grande, et par suite, de réduire les places perdues pour l'établissement des cabinets de toilette. Les conditions de stabilité et de confort doivent d'ailleurs faire préférer le matériel à bogie.

Les parois des caisses des voitures sont constituées par des charpentes en bois, en fer ou en acier qui reçoivent un revêtement approprié à l'intérieur et à l'extérieur. Le revêtement intérieur est formé soit de frises en bois verni soit de panneaux en marqueterie, soit de planches recouvertes de drap tendu, de linoléum ou d'autres garnitures spéciales. Le revêtement extérieur est composé soit de frises en bois de teck, soit de feuilles de tôle peintes et vernies.

Le plancher est généralement double avec interposition de matières destinées à amortir le bruit et à conserver la chaleur. La toiture est formée de voliges recouvertes de feuilles de zinc ou de plomb.

La liaison entre la caisse et le châssis se fait à l'aide de boulons qui réunissent les traverses du plancher aux longerons du châssis et aux traverses d'about.

Dans les grandes voitures à bogies avec accès par les extré-

mités seulement, on obtient pour la caisse le maximum de rigidité, puisque les portes n'affaiblissent pas les parois longitudinales.

Le seul inconvénient des voitures à intercirculation, c'est la réduction du nombre de places, et, par suite, l'augmentation du poids mort, c'est à dire du poids du véhicule rapporté au poids des voyageurs. Le poids mort, qui était jadis, avec l'ancien matériel, d'environ 350 kilogs par voyageur de 1ère classe, varie aujourd'hui entre 700 et 800 kilogs. Cette augmentation du poids mort a entraîné une augmentation de la puissance des locomotives à grande vitesse.

Caisses des wagons à marchandises.—

Dans le classement des wagons à marchandises, deux éléments sont à considérer : le type et la capacité.

Le type doit être approprié à la nature de la marchandise à transporter, et, à ce point de vue, on distingue :

les wagons plats ou plateformes, les tombereaux et les wagons fermés ou couverts.

Le wagon-plateforme est constitué par un simple plancher avec des rebords de faibles dimensions susceptibles le plus souvent de se rabattre. Il est utilisé au transport des pierres, des bois, des pailles, des fers, des voitures et autres objets encombrants.

Le wagon-tombereau est également un wagon découvert, mais qui comporte des rebords de 0 m 80 à 1 m. de hauteur, avec des portes latérales pour faciliter le chargement et le déchargement. Il est utilisé au transport en vrac des marchandises pondéreuses et d'assez faible valeur, telles que houille, minerai, betteraves, etc... Les parois de ce type de wagons sont généralement fixes. En Allemagne, on a créé assez récemment deux types dont les abouts sont amovibles et peuvent servir de ponts volants d'un wagon à

l'autre; une rame de matériel de l'espèce peut donc s'adapter au chargement en bout en continu du matériel de guerre. L'un de ces deux types de tombereaux allemands est pourvu de panneaux longitudinaux amovibles en peu de minutes d'une demi-heure se transformer en wagon-plat.

Les wagons couverts comportent une caisse parallélipipédique complètement fermée, pourvue sur les deux faces longitudinales de portes roulantes pouvant être cadenassées et plombées. Ils servent au transport des marchandises craignant la mouille : tissus, céréales, sucres, etc... ou nécessitant un abri, comme les animaux, ou encore aux marchandises qui ont une grande valeur et doivent être soustraites aux convoitises.

Notons en passant qu'il existe, en dehors de ces grandes catégories, des séries plus restreintes de wagons spécialisés à certains transports : wagons-écuries, trucks à équipages, wagons réservoirs, wagons réfrigérants, wagons à bois, wagons pupitres pour le transport des glaces, etc...

Au point de vue de la capacité des wagons, on peut classer en trois grandes catégories l'ensemble des voies ferrées de l'univers :

a :- En Angleterre, le matériel de petite capacité (5 tonnes par wagon en général), a toujours été en faveur.

b.- Sur le Continent, le matériel de moyenne capacité à essieux indépendants (8 à 10 tonnes par wagon, et 15 à 20 tonnes depuis une quinzaine d'années) est presque exclusivement employé.

c.- En Amérique, on a adopté presque à l'origine des chemins de fer du matériel de grande capacité (40 à 50 tonnes) monté sur bogies et le tonnage n'est généralement pas inférieur à 20 ou 25 tonnes pour les wagons du type le plus réduit.

La capacité d'un wagon à marchandises peut d'ailleurs

être envisagée au triple point de vue :

1° du tonnage, c'est-à-dire du poids maximum susceptible d'être porté par le véhicule ;

2° du volume ou mieux du cube utilisable de la caisse ;

3° de la surface du plancher ou de la longueur du véhicule, puisque la largeur ne peut guère varier.

Suivant la nature des marchandises à transporter, c'est l'une ou l'autre de ces caractéristiques : tonnage, cube, ou surface qui doit être appropriée aux unités commerciales de la région à desservir.

Au point de vue de leur construction, les caisses des wagons étaient primitivement faites en bois et constituées par une carcasse de pièces horizontales et verticales solidement assemblées et entretoisées à l'aide d'écharpes obliques. Le remplissage des parois verticales était composé de planches jointives appelées *frises* et le plancher constitué par des planches en chêne.

Aujourd'hui, la carcasse des wagons se fait en fer ou en acier, et les frises sont fréquemment remplacées par des panneaux en tôle emboutie. Quant à la couverture, elle est formée de voliges jointives fixées sur la carcasse et recouvertes de toile enduite d'une matière imperméable.

Avantages des wagons de grande capacité. — L'emploi des wagons de grande capacité est à divers titres très avantageux au point de vue technique, mais il va sans dire qu'il ne doit être pratiqué que judicieusement et en tenant compte de la possibilité d'utiliser couramment à charge complète le nouveau matériel. Il faut, en particulier, envisager les usages commerciaux, étudier des tarifs appropriés susceptibles de favoriser l'emploi du matériel de grande capacité ; pratiquement, il est bon d'adopter pour le tonnage des nouveaux wagons des multiples de celui

des wagons anciens.

C'est dans ces conditions que les Chemins de fer du Continent ont créé, depuis 1900, des wagons de 30 à 40 tonnes, parmi lesquels on peut citer le wagon tombereau de 40 tonnes à deux bogies, du réseau du Nord français.

Au préalable, dans une première étape, on avait cherché à augmenter la capacité (dans des proportions réduites, en passant de 10 à 15 tonnes par exemple) soit en renforçant simplement les organes de roulement et de suspension du matériel existant, soit en ajoutant un 3e essieu. Mais, ces procédés ne donnent que des résultats peu intéressants ; pour obtenir un accroissement notable de la capacité, il faut recourir à la construction du matériel neuf, et, au-delà de 20 tonnes renoncer au matériel à essieux indépendants et adopter le matériel à bogies.

Les avantages recueillis dans l'emploi du matériel à grande capacité sont les suivants :

a. — Réduction du poids mort rapporté à l'unité de capacité (la réduction est d'environ 20 % si on passe du type 10^T à celui de 15^T et de 25 % - d° - 10^T d° 20^T

b. — Réduction de la dépense de 1er établissement. (sur le réseau du Nord, entre les tombereaux 10^T (12 m^3) et les tombereaux de même série 20^T (24 m^3) il n'y a qu'une différence de 800 fcs, soit une majoration de 33 % seulement, bien que la capacité soit augmentée de 100 %.)

c. — Meilleur rendement des installations fixes des gares (quais couverts ou découverts, voies de garage et de triage) et embranchements particuliers, attendu que le tonnage utile par mètre courant de voie occupée est passé sur le Nord de 1^{T}45 pour les tombereaux 10^T, à 2^{T}52 pour les tombereaux 20^T et à 3^{T}13 pour les tombereaux 40^T à bogies. Un train de houille de 1000^T passe de 41

à 276 m. en à 228 m. environ, qu'il est formé exclusivement de tombereaux 10 T, 20 T ou 40 T.

2.- Réduction des dépenses de traction, attendu que le poids mort rapporté à la charge utile diminue sensiblement (il passe, dans l'exemple qui précède, de 0,56 pour les tombereaux 10 T à 0,41 pour les tombereaux 20 T.

Intercommunication.— Dans tous les trains de voyageurs, on a, depuis longtemps, considéré comme indispensable d'avoir une disposition permettant aux voyageurs de communiquer avec les agents du train pour appeler au secours, en réclamer, au besoin, l'arrêt du train. D'autre part, le conducteur-chef de train doit pouvoir, dans tous les cas, communiquer avec le mécanicien; à cet effet, le conducteur dispose dans son fourgon d'une corde qui vient agir sur un timbre placé sur le tender de la machine, et peut ainsi commander l'arrêt au mécanicien; il suffit donc que les appareils d'intercommunication, mis à la disposition des voyageurs, servent à avertir le conducteur.

Ces appareils sont désignés d'une façon générale, sous le nom de sonnette d'alarme, et se présentent dans chaque compartiment sous la forme d'une poignée que le voyageur peut tirer en cas de nécessité. Dans l'intercommunication électrique, cette poignée agit par l'intermédiaire d'un fil qui règne tout le long du train, sur une sonnerie électrique installée dans le fourgon; en même temps, une ailette horizontale placée sur le côté de la voiture se place verticalement, ce qui permet au conducteur de reconnaître immédiatement le compartiment d'où est parti l'appel.

Ce mode d'intercommunication oblige à avoir, entre chaque véhicule, des raccords de fils qui doivent être reliés ensemble au moment de l'attelage.

Dans l'intercommunication pneumatique, lorsqu'un voyageur

actionne la sonnette d'alarme, il produit dans la conduite d'air comprimé du frein continu une dépression qui amène, comme nous le verrons plus loin, un serrage des freins ; en outre, l'air comprimé qui s'échappe de la conduite actionne un sifflet placé sur la voiture, ce qui permet au conducteur de reconnaître d'où vient l'appel.

Chauffage des trains. — Le chauffage des trains de voyageurs est obligatoire pendant toute la période d'hiver.

Pendant longtemps, le chauffage se faisait à l'aide de bouillottes, et c'est le système qui a été le plus répandu jusqu'au moment où l'adoption des voitures à intercirculation et à couloir latéral l'a rendu impraticable.

Les bouillottes sont généralement de forme plate et allongée et se placent à raison de deux par compartiment. Elles sont remplies d'eau chaude à 70° environ, au moment où on les met en place. Elles se refroidissent assez rapidement ; on doit les renouveler au bout d'une heure ou d'une heure et demie suivant la température extérieure.

Le réchauffage des bouillottes se fait dans les grandes gares où ce service exige des installations coûteuses et importantes. On procède le plus souvent au réchauffage en envoyant dans la bouillotte remplie un jet de vapeur à haute pression. Les bouillottes sont un procédé de chauffage hygiénique, mais elles présentent de nombreux inconvénients : 1° Elles donnent une température qui est loin d'être constante, puisque très chaudes au moment de la mise en place, elles se refroidissent rapidement ; 2° on est obligé de déranger les voyageurs très souvent pour changer les bouillottes ; 3° elles exigent dans les gares des installations importantes et une manipulation, à l'aide de tricycles, qui augmente encore l'encombrement des quais.

qui augmente encore l'encombrement des quais.

Pour éviter les remplacements aussi fréquents des bouillottes, on a essayé pendant assez longtemps l'emploi des bouillottes à acétate. L'acétate de soude a la propriété de se maintenir pendant plusieurs heures à une température constante de 55°, au moment où il arrive à son point de cristallisation. On porte la solution d'acétate à la température de 70°; pendant son refroidissement, la bouillotte abandonne une quantité de chaleur proportionnelle à la chute de température entre 70° et 55°, puis, à partir de ce moment et pendant tout le temps de la solidification de l'acétate, la bouillotte reste à une température voisine de 50°. Une bouillotte peut ainsi rester chaude 3 ou 4 heures, mais ces bouillottes sont lourdes et d'une manipulation difficile.

En Allemagne, on a essayé des bouillottes remplies de sable préalablement chauffé dans des fours. L'essai n'a pas été très satisfaisant.

On peut citer encore le chauffage au moyen d'un charbon spécial sous la forme de briquettes dit chauffage Berghausen. Ces briquettes dont la combustion est très lente sont allumées et placées dans des fourneaux économiques disposés sous les sièges ou sous les pieds des voyageurs. Ce système a souvent l'inconvénient de laisser pénétrer dans le compartiment des gaz de la combustion qui incommodent les voyageurs.

Pour l'éviter, la Compagnie du Nord a employé, pour certaines voitures, la chaufferette mixte à eau et à briquettes. C'est une grande chaufferette plate à eau sous laquelle on place des briquettes allumées. Dans ces conditions, c'est l'eau qui chauffe le compartiment tout en servant d'isolant entre le foyer et les voyageurs.

Dans certains pays : en Suisse, en Amérique, on emploie le système à air chaud, qui comporte un calorifère placé sous la voiture

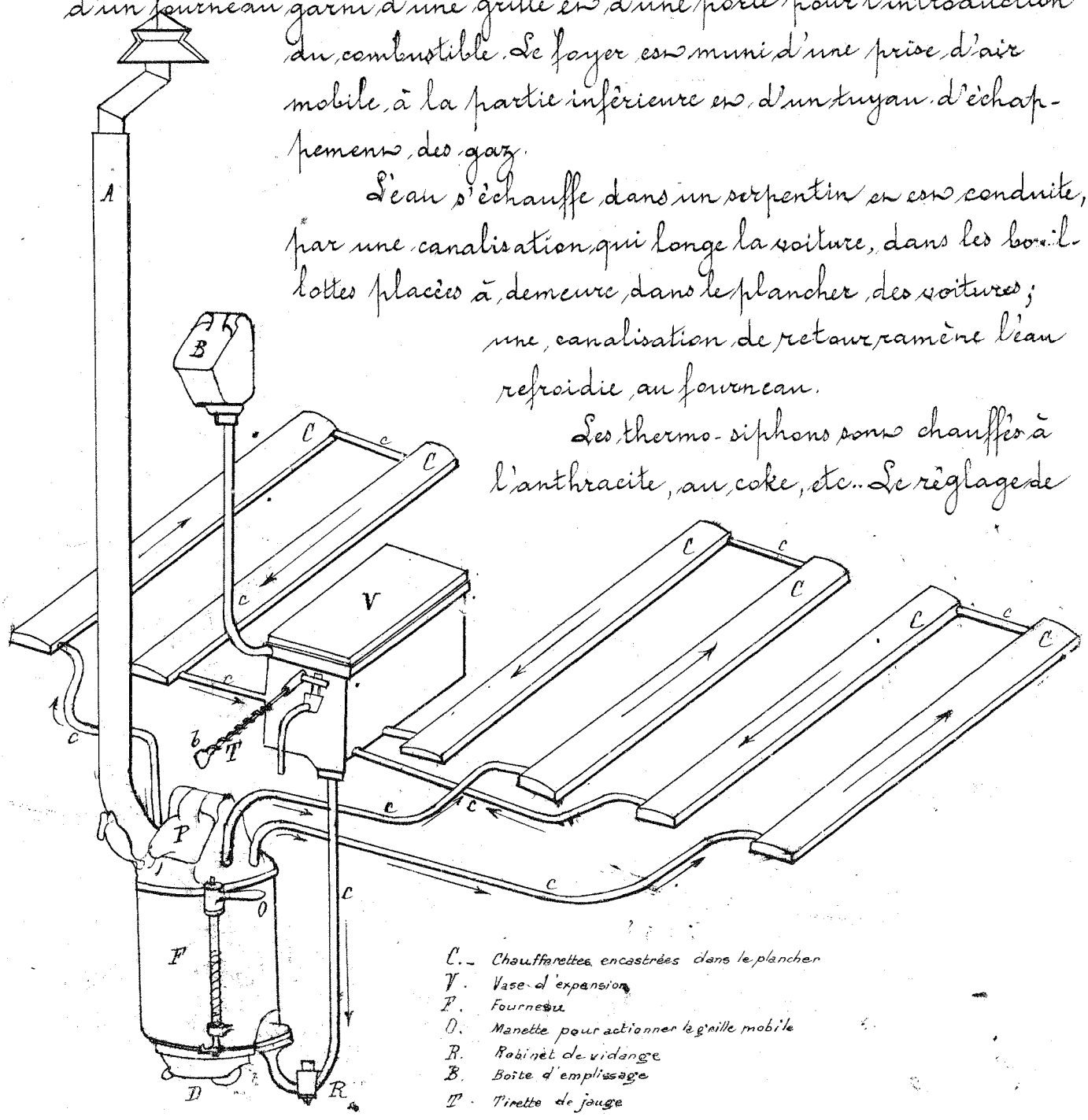
en, d'où l'air, chaud est envoyé, dans les compartiments. Il donne une chaleur trop sèche, peu agréable pour les voyageurs et ne chauffe pas suffisamment les pieds.

Ces différents systèmes sont maintenant presque partout remplacés, soit par le thermo-siphon, soit par le chauffage à la vapeur.

Thermo-siphon. — Les thermo-siphons sont des appareils à circulation d'eau chaude. Chaque voiture est munie latéralement d'un fourneau garni d'une grille et d'une porte pour l'introduction du combustible. Le foyer est muni d'une prise d'air mobile, à la partie inférieure et d'un tuyau d'échappement des gaz.

L'eau s'échauffe dans un serpentin et est conduite, par une canalisation qui longe la voiture, dans les bouillottes placées à demeure dans le plancher des voitures; une canalisation de retour ramène l'eau refroidie au fourneau.

Les thermo-siphons sont chauffés à l'anthracite, au coke, etc.. Le réglage de



C.— Chaufferettes encastrées dans le plancher
V. Vase d'expansion
F. Fourneau
O. Manette pour actionner la grille mobile
R. Robinet de vidange
B. Boîte d'emplissage
T. Tirette de jauge

la chaleur se fait à l'aide d'un papillon contenu dans la cheminée du foyer. Ils donnent un chauffage satisfaisant à condition qu'on ait toujours soin de maintenir une quantité d'eau suffisante dans les appareils des voitures.

La combustion dans le foyer s'active facilement pendant la marche, mais est lente dans les stationnements. Le réglage du chauffage suivant la température n'est pas facile et assez fréquemment, par des températures douces, le thermo-siphon donne trop de chaleur dans les compartiments. Enfin, ce chauffage demande une certaine surveillance pour l'entretien des foyers dans les gares de passage. Mais il présente le grand avantage de laisser à chacune des voitures

Chauffage des voitures par la vapeur. — Tous les systèmes de chauffage par la vapeur comportent une conduite de vapeur qui part de la locomotive, en traversant toutes les voitures à chauffer jusqu'à la queue du train. On se trouve donc dans l'obligation de faire un raccord des conduites de vapeur au passage de chaque véhicule au suivant ; on complique ainsi l'attelage ; mais en fait, ces raccords se font sans difficulté et ne donnent généralement lieu qu'à très peu de perte de vapeur.

La vapeur, prise à la chaudière et envoyée dans la conduite du train, passe par un détenteur, de façon que la pression soit réduite à 3 ou 4 kilogs suivant les systèmes.

L'utilisation de la vapeur pour le chauffage des voitures peut être faite de plusieurs manières. Dans le système belge, par exemple, ce sont, dans chaque voiture, des tuyaux qui se branchent sur la conduite générale de vapeur et qui circulent, dans chaque compartiment, sous les sièges ou sous le plancher. La vapeur envoyée par la machine chauffe donc directement les radiateurs de toutes les voitures.

Ce système exige une dépense assez considérable de vapeur ; de plus, si les premières voitures sont bien chauffées, les dernières le sont souvent très mal, dès que la composition d'un train dépasse 8 ou 10 voitures.

Dans le système de la Compagnie de l'Est, on envoie dans les voitures non plus seulement de la vapeur, mais un mélange de vapeur et d'air comprimé à 3 kilogs. La conduite générale de vapeur reçoit, d'un côté la vapeur et l'air envoyés par le mécanicien ; elle est terminée, à l'autre extrémité, par un purgeur automatique, qui laisse échapper l'air refroidi et l'eau condensée dans la conduite générale elle-même. Sur chaque voiture, des tuyaux de chauffage branchés en dérivation sur la conduite générale pénètrent dans la voiture et, après circulation sous les planchers, aboutissent à un purgeur automatique ; suivant la température, on met en service 1, 2 ou 3 tuyaux par voiture.

L'addition d'air comprimé à la vapeur produit un excellent effet : Quand on chauffe à la vapeur seule une longue conduite fermée par un purgeur automatique, l'intensité du courant gazeux diminue à mesure qu'on s'éloigne de la prise de vapeur ; il devient presque nul vers l'extrémité de la conduite où l'on a plus d'eau condensée que de vapeur. L'eau tend alors à former, à tous les points bas, des accumulations qui forment de véritables bouchons empêchant le passage de la vapeur et augmentant les pertes de charge.

Si, au contraire, on ajoute une certaine quantité d'air à la vapeur, on peut maintenir jusqu'à l'extrémité des conduites un courant gazeux suffisant pour entraîner continuellement l'eau aux orifices d'évacuation et pour empêcher les bouchons d'eau de se former. On comprend aisément que l'on arrive ainsi à réduire les pertes de charge et à obtenir une pression plus régulière.

L'eau de condensation a toujours tendance à s'accumuler dans les points bas ; lorsqu'elle n'est pas expulsée avant la cessation du chauffage, elle se congèle dans des points bas, en empêche toute reprise de chauffage. On évite, en général, ces inconvénients quand on chauffe avec le mélange d'air et de vapeur.

En pratique, la proportion d'air employé doit être environ 1/10 à l'origine de la conduite. Avec le mélange d'air et de vapeur, la Compagnie de l'Est obtient un chauffage uniforme, même avec des trains très longs.

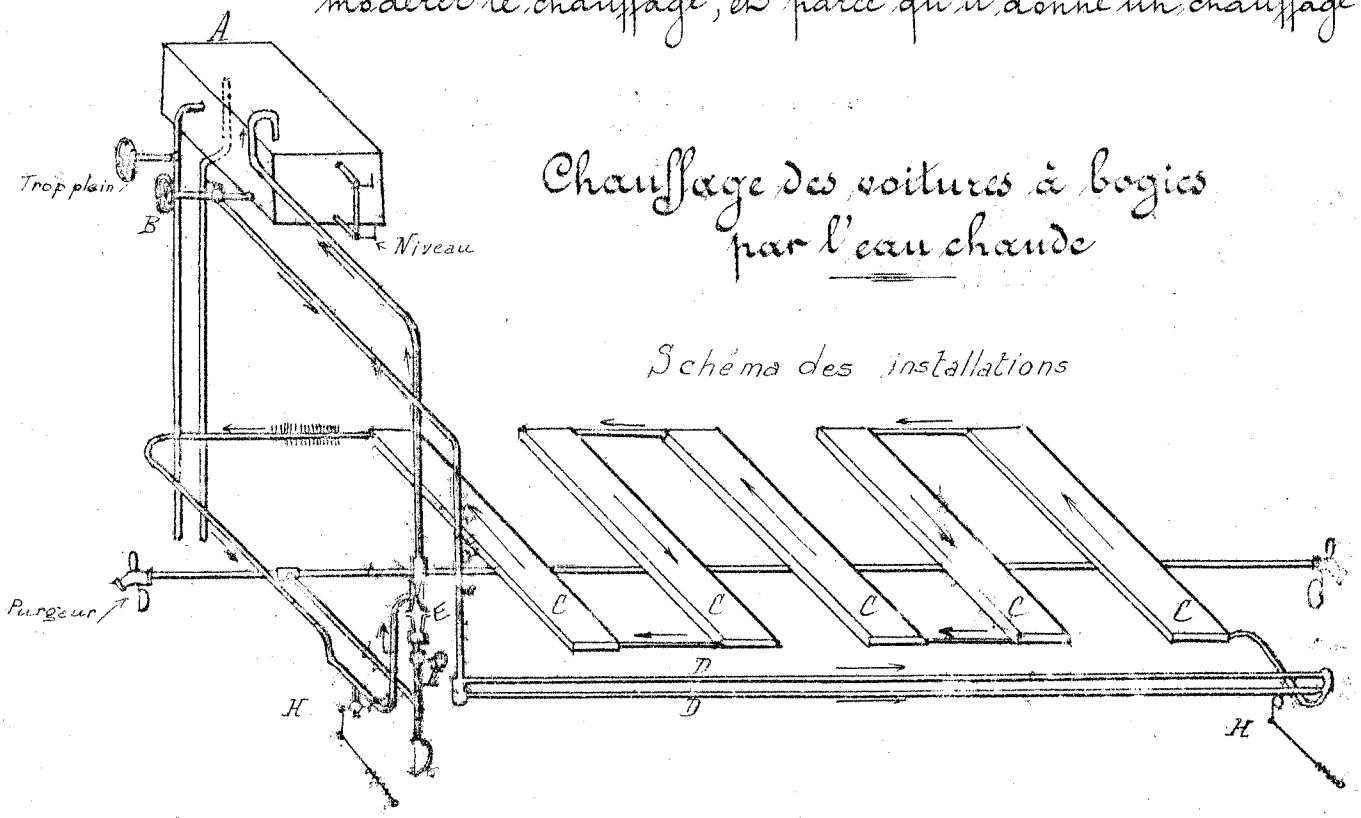
Dans le système de chauffage de la Compagnie du Nord, les voitures sont chauffées par l'eau chaude qui vient d'un réservoir A placé sur la toiture de la voiture, passe dans des tuyaux D le long des couloirs et dans les chaufferettes C encastrées dans le plancher des compartiments ; cette eau revient ensuite au réservoir, en parcourant un circuit continu. L'eau reçoit à la fois sa chaleur et son mouvement dans le circuit d'un jet de vapeur amené de la machine par la conduite générale placée sous les différents éléments des voitures. Le jet de vapeur est introduit dans le circuit par un injecteur E placé dans l'intérieur de la voiture, par exemple dans le couloir. Cet injecteur E ramène l'eau dans le réservoir A, tout en la chauffant. Les robinets de vidange HH permettent, au besoin, de vider tout le système.

Dans la position de repos du matériel, les bouillottes et les tuyaux doivent être vides. L'eau du circuit de chauffage doit être refoulée tout entière dans le réservoir A. Le robinet B doit être fermé et les robinets de vidange ouverts ; pour chauffer, il faut fermer les robinets de vidange et ouvrir B, de façon à remplir les bouillottes d'eau, puis on ouvre l'injecteur E.

La température de l'eau dans les bouillottes est réglée par le fonctionnement de l'injecteur ; on la tient habituellement entre 40 et 80°

suivant la température extérieure.

Ce système donne d'excellents résultats parce qu'il permet de modérer le chauffage, et parce qu'il donne un chauffage



Chauffage des voitures à bogies par l'eau chaude

Schéma des installations

uniforme sur toutes les voitures d'un train ; de plus, la dépense de vapeur est beaucoup moindre qu'avec le système belge, parce qu'il y a moins de condensation.

L'accouplement entre les voitures se fait, comme dans les autres systèmes, à l'aide de raccords flexibles. Chaque voiture est munie de ce que l'on appelle un demi-accouplement ; ce demi-accouplement ou boyau s'adapte d'un côté à la conduite de vapeur de la voiture et se termine, à l'autre extrémité, par une pièce métallique dite tête d'accouplement qui permet de réunir entre eux les boyaux de deux voitures consécutives.

Sur chaque conduite, en avant des robinets d'arrêt, il existe des purgeurs destinés à éviter l'accumulation d'eau de condensation dans les conduites.

Quel que soit le mode de chauffage à la vapeur employé, il présente toujours le léger inconvénient d'exiger un chauffage

des voitures quelque temps avant le départ ; il est donc nécessaire soit de faire venir la machine en tête du train un certain temps avant le départ, soit d'avoir une machine spéciale pour préparer le chauffage du train avant la mise en tête de la machine qui doit l'assurer. La durée du chauffage préalable est d'ailleurs moindre avec le chauffage employé sur le Nord qu'avec le chauffage belge.

En général, les divers systèmes de chauffage passés en revue sont bons, lorsque la température n'est pas très rigoureuse, mais, dès que l'on se trouve dans une période de forte gelée, le chauffage devient un problème difficile, et malgré tous les soins qu'on y apporte, il n'est pas toujours possible d'obtenir de bons résultats.

Eclairage. — L'éclairage s'est beaucoup perfectionné depuis quelques années ; jadis, les voitures étaient éclairées à l'aide de bougies ; ce système n'est plus employé que dans les pays froids où l'huile serait trop exposée à se congeler, ou à titre d'éclairage de secours, dans certaines voitures éclairées à l'électricité.

Le mode d'éclairage le plus généralement employé a été, jusque dans ces derniers temps, l'éclairage à l'huile végétale. Il est encore employé sur un grand nombre de voitures de la Compagnie du Nord. Les lampes sont suspendues au plafond de la voiture, et sont mises en place extérieurement.

Les anciennes lampes à huile à bec plat ne donnaient qu'une lumière fumeuse et vacillante, mais les lampes à mèche ronde, surmontées d'un verre avec bon réflecteur, donnent un éclairage assez satisfaisant.

Eclairage au gaz. — L'éclairage au gaz est beaucoup répandu en Europe et spécialement en France sur le réseau de l'Etat, de l'Est, du P.L.M;

Le système le plus usité est le système Pintsch. On emploie

du gaz riche fabriqué, dans des usines spéciales, par la distillation des huiles lourdes, en comprimé à 7 kilogs environ. Ce gaz, amené dans les gares par des conduites ou transporté, au moyen de wagons spéciaux, on introduit dans des réservoirs placés sous les voitures ou au dessus de la toiture. A la sortie de ces réservoirs, le gaz est détendu à une pression constante par un régulateur de pression et est amené jusqu'aux lampes par une conduite disposée le long des parois ou sur la toiture. Chaque voiture emporte ainsi une provision de gaz suffisante pour l'éclairage pendant 20 ou 24 heures. Dans chaque compartiment, un dispositif spécial permet aux voyageurs de mettre à volonté la lampe en veilleuse.

L'éclairage au gaz a été perfectionné par l'emploi de manchons à incandescence. On peut employer avec l'incandescence, soit les becs droits, soit les becs renversés. Malgré la dépense de remplacements des manchons, l'incandescence réalise une économie sensible tout en augmentant l'intensité de l'éclairage.

La Compagnie du Nord étend ce système aux voitures de toutes classes à intercirculation qu'elle met en service, et va le substituer progressivement à l'éclairage à l'huile sur toutes les voitures ; mais le gaz employé par la Compagnie du Nord est du gaz ordinaire de houille comprimé à 15 kilogs au maximum, et détendu sur les voitures à la pression de consommation.

On a fait aussi des essais d'éclairage à l'acétylène.

L'acétylène pure qui avait été essayée sur le P.L.M. a été abandonné en raison des dangers de fabrication et d'emploi, mais la même Compagnie a utilisé, depuis, l'acétylène dans la proportion de 30 % pour augmenter le pouvoir éclairant du gaz riche. Ce gaz mixte est contenu dans de grands récipients fixés sur la toiture des wagons et à la pression de 7 kilogs. Le pouvoir éclairant se trouve ainsi doublé, mais la dépense est aussi nota-

blement plus élevé.

Éclairage électrique. — L'éclairage électrique est assez fréquemment employé, notamment pour le matériel des trains de luxe et des trains rapides à grands parcours. Il est tout indiqué, bien entendu sur les lignes à traction électrique.

Pour les autres lignes, il est réalisé, soit au moyen d'accumulateurs placés sous les voitures et qui sont, au rechargés sur place pendant le stationnement de celles-ci, ou remplacés pendant un arrêt par des accumulateurs fraîchement chargés, soit au moyen d'une petite usine génératrice à vapeur ou à pétrole installée dans un fourgon du train, soit, enfin, au moyen d'une dynamo actionnée par un essieu de la voiture.

L'emploi des accumulateurs est assez onéreux ; il est en usage sur la Compagnie du Nord pour les voitures à bogies des trains rapides. Les accumulateurs sont placés dans des coffres fixés aux longerons de chaque voiture ; ils sont chargés sur place avant le départ à une tension de 25 volts.

L'emploi d'un groupe électrogène placé dans un fourgon comporte d'assez grandes sujétions. Ce système n'est guère employé que pour certains trains de luxe aux États-Unis.

On emploie plus fréquemment le système de la dynamo actionné par essieu de la voiture. Il offre l'avantage d'assurer l'indépendance du véhicule qui peut ainsi circuler sur une ligne quelconque et dans un train quelconque, avec d'autres voitures munies d'un autre système d'éclairage. Ce système comporte d'ailleurs l'emploi de batteries d'accumulateurs qui emmagasinent une partie du courant produit par la dynamo pour alimenter les lampes pendant les arrêts et pendant la marche à faible vitesse.

Les systèmes les plus répandus sont les systèmes Stone et

Vicarino.

Dans le système Stone, la dynamo est suspendue à la voiture à l'extrémité d'une bride réglée de manière à donner une tension déterminée à la courroie de commande. Lorsque, par suite de l'augmentation de vitesse du train, la tension de la courroie dépasse celle qui résulte de l'action du poids de la dynamo, celle-ci se trouve légèrement soulevée et la courroie glisse tout en laissant l'induit tourner à sa vitesse normale. Un régulateur mécanique relie la dynamo et les accumulateurs dès que la vitesse du train dépasse une certaine limite. Quand la vitesse ralentit, ou quand le train s'arrête, les accumulateurs seuls alimentent les lampes.

Ce système est coûteux et peu sûr.

Dans le système Vicarino, la courroie est tendue par l'action combinée du poids de la dynamo et d'un ressort, et la dynamo tourne à une vitesse absolument variable suivant l'allure plus ou moins rapide du train. Un appareil spécial appelé conjoncteur-disjoncteur automatique placé entre la dynamo et la batterie d'accumulateurs établit la communication lorsque la vitesse de la dynamo est suffisante pour qu'elle produise un courant de tension égale à celle de la batterie ; elle interrompt cette communication lorsque la vitesse est trop faible, afin d'éviter que le courant de la batterie ne fasse retour à la dynamo. La dynamo présente une disposition particulière qui a pour but de maintenir constamment à 30 volts la tension du courant malgré les variations de la vitesse de rotation. Le système Vicarino est employé, en particulier, sur l'Etat français.

La Compagnie du P.L.M. emploie un système analogue au système Vicarino, mais sensiblement plus compliqué imaginé par Mr Auvert, et spécialement étudié pour obtenir une constance aussi

grande que possible de l'intensité du courant produit par la dynamo.

Résistance des trains

Le travail total développé par la vapeur sur les pistons de la machine locomotive à deux actions. D'une part, il provoque le déplacement de la machine avec sa chaudière et ses approvisionnements, d'autre part il sert à vaincre la résistance totale du train à remorquer, en engendrant l'effort de traction, c'est à dire l'effort qui s'exerce sur la barre d'attelage du premier des véhicule remorqués, à l'arrière.

Nous allons déterminer, par le calcul, les divers éléments qui composent la résistance totale du train, éléments qui dépendent de la nature des véhicules, de la constitution de la voie et de l'état de l'atmosphère, et qu'on peut classer de la manière suivante :

1° Résistance due au glissement de la fusée de l'essieu dans le coussinet de la boîte à graisse;

2° Résistance due au roulement sur le rail ;

3° Résistance due aux déclivités ;

4° Résistance due aux courbes ;

5° Résistance due à l'influence de l'air;

6° Résistance due aux mouvements de lacet.

1° Résistance due au glissement de la fusée sur le coussinet. — Soit P le poids d'un véhicule ; p le poids des trains de roues, c'est à dire de l'ensemble des roues et des essieux ; $(P-p)$ représentera le poids de la caisse ; soit f le coëfficient de frottement du coussinet sur la fusée (bronze sur acier) ; $f(P-p)$ représente l'effort de frottement total s'exerçant tangentiellement à la fusée ; par suite, le travail de frottement par tour de roues est : $2\pi r f (P-p)$.

en parcourue de longueur parcourue sur le rail :

$$\frac{2\pi r f (P-p)}{2\pi R} = f (P-p) \frac{r}{R}$$

R représentant le rayon de la roue en r le rayon de la fusée. On voit d'après cette formule, que pour réduire la résistance au glissement, il faut rechercher une faible valeur pour le coefficient de frottement, un diamètre réduit des fusées et un grand diamètre des roues.

La valeur du coefficient de frottement f dépend non seulement de la nature des métaux en contact, mais encore du mode de graissage. Ces métaux sont, pour l'essieu, de l'acier ; pour le coussinet le bronze ; mais pour améliorer encore le frottement, on emploie souvent des coussinets garnis intérieurement, au moins en partie, de métal blanc.

Différentes expériences ont été faites pour déterminer la valeur du coefficient f. D'après leurs résultats, on peut admettre comme chiffre moyen dans les conditions normales du service des chemins de fer un coefficient égal à $1/70$. Si, d'autre part, on admet la fraction $1/11$ comme représentant le rapport moyen du diamètre de la fusée à celui de la roue, on voit que la résistance totale due au glissement sera :

$$\frac{1}{70} \times \frac{1}{11} (P-p) = \frac{1}{770} (P-p)$$

On trouve ainsi environ 1 kg 30 pour une charge d'une tonne.

C'est un résultat très satisfaisant qui permet de conserver pour les véhicules des chemins de fer, la construction simple en usage, sans recourir à l'emploi de roulements à billes, dont le défaut de simplicité a fait échouer les essais.

2° Résistance due au roulement du bandage sur le rail. — C'est un frottement de roulement qui s'exerce

tangentiellement à la roue. Ce frottement est très faible surtout lorsque les corps en contact, comme les bandages roulant sur les rails, sont à peu près indéformables.

Soit f' coefficient de frottement ; l'effort qu'il faut appliquer au centre de la roue de rayon R, parallèlement au plan d'appui pour produire le roulement est directement proportionnel à la charge P en en raison inverse du rayon, c'est-à-dire qu'on peut l'exprimer par la formule $\frac{f'P}{R}$. La valeur de f' est faible et dépend de la nature des corps en contact et de l'état des surfaces.

On a admis pendant longtemps pour le rapport $\frac{f'}{R}$ applicable au matériel roulant, la valeur 0,001, qui pratiquement n'est pas atteinte. La résistance due au roulement des trains sur des voies bien entretenues est donc presque négligeable.

3° **Résistance due aux déclivités.** — La pesanteur donne lieu à une résistance additionnelle dont la valeur dépend de l'inclinaison de la voie et du poids total transporté. Nous avons vu précédemment (page 21) que cette résistance additionnelle pouvait être représentée par un accroissement $P \times \frac{d}{1000}$ de la charge remorquée P.

4° **Résistance due aux courbes.** — Le surcroît de résistance au passage d'un train dans une voie en courbe dépend à la fois, de la valeur du rayon de la courbe et des conditions d'établissement des véhicules.

La résistance due aux courbes est produite par trois causes: a. force centrifuge ; b. solidarité des roues et des essieux ; c. parallélisme des essieux.

a. — On néglige généralement la première des causes parce qu'on admet que l'effet de la force centrifuge est annulée par le surhaussement.

b. - La solidarité des essieux en des roues a pour effet, étant donné la différence des chemins à parcourir simultanément sur les deux files de rails de produire un certain glissement de la jante de la roue intérieure. Il est entendu que cette cause de résistance est en partie détruite du fait de la conicité des bandages, mais pour la facilité du calcul, nous supposerons que cette conicité n'existant pas les deux roues roulent sur un cercle de même diamètre.

Soit ρ le rayon moyen de la courbe ; e la largeur de la voie ; P le poids total des véhicules ; f'' le coefficient de glissement.

Les chemins parcourus par les 2 roues conjuguées sont :

pour la roue extérieure $2\pi\left(\rho + \frac{e}{2}\right)$

pour la roue intérieure $2\pi\left(\rho - \frac{e}{2}\right)$

Si l'on rapporte ces longueurs à l'unité de parcours du véhicule, il faut diviser les deux expressions ci-dessus par $2\pi\rho$. On a donc :

pour la roue extérieure $1 + \frac{e}{2\rho}$

pour la roue intérieure $1 - \frac{e}{2\rho}$

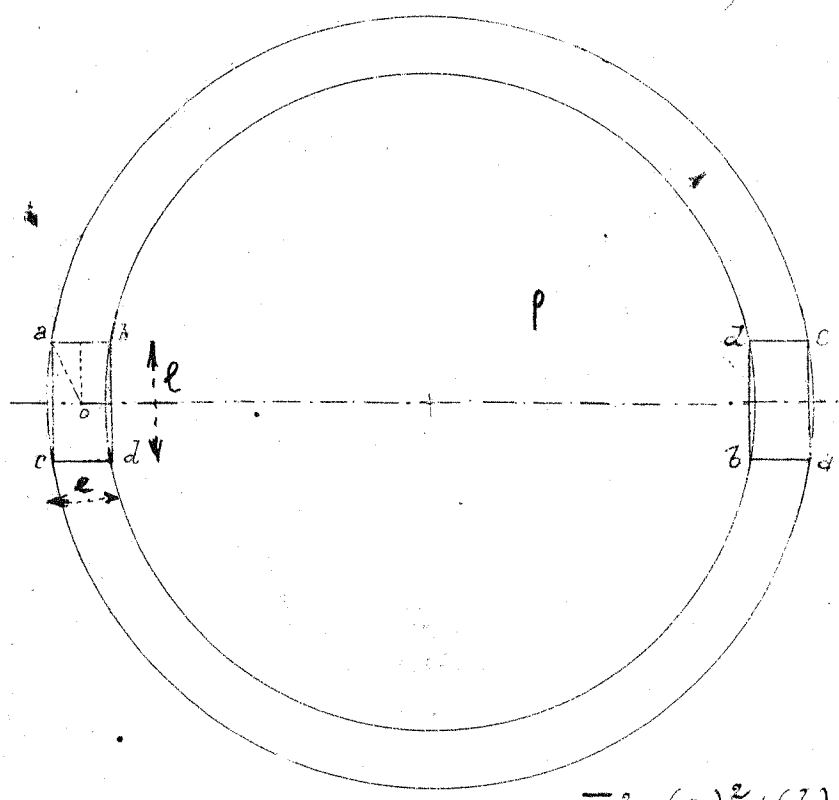
La différence entre les deux parcours est donc égale à $\frac{e}{\rho}$, et le travail correspondant à ce glissement du poids $\frac{P}{2}$ (charge des roues intérieures sur le rail) a pour valeur $f'' \frac{P}{2} \frac{e}{\rho}$.

Cette résistance est donc proportionnelle à l'écartement des rails et inversement proportionnelle au rayon.

c. - **Par suite du parallélisme des essieux**, le changement de direction imposé constamment dans les courbes aux véhicules par la réaction du rail extérieur sur le boudin de la roue est aussi par celle que le rail intérieur exerce parfois sur le boudin de la roue d'arrière détermine un glissement transversal des bandages sur les rails. Le coefficient de ce frottement est encore f''.

Considérons un véhicule décrivant une circonférence entière de rayon moyen ρ.

Revenu à son point de départ après avoir parcouru le



le chemin $2\pi\rho$ le véhicule occupera la même position que s'il avait pivoté autour d'un axe vertical passant par son centre de figure o et, dans ce mouvement, les 4 points frottants ont parcouru une circonférence de rayon oa dont le développement est de $2\pi\,\overline{oa}$, ou $2\pi\sqrt{\frac{e^2+l^2}{4}} = \pi\sqrt{e^2+l^2}$, attendu que :

$$\overline{oa}^2 = \left(\frac{e}{2}\right)^2 + \left(\frac{l}{2}\right)^2$$

{ e = largeur de la voie
{ l = écartement des essieux

d'où $\overline{oa} = \sqrt{\frac{e^2+l^2}{4}}$.

$\pi\sqrt{e^2+l^2}$ représente donc le chemin parcouru par le glissement transversal des bandages pour un parcours total $2\pi\rho$ du véhicule.

Pour un déplacement du véhicule égal à un mètre, ce glissement transversal sera donc : $\frac{\pi\sqrt{e^2+l^2}}{2\pi\rho}$,

et le travail correspondant à la charge totale P a pour valeur :

$$\frac{f''\,P\sqrt{e^2+l^2}}{2\rho}$$

En réunissant les deux formules des paragraphes B et C, nous voyons que, pour un déplacement du véhicule égal à l'unité, le travail résistant d'un wagon circulant en courbe est :

$$f''\frac{Pe}{2\rho} + f''\frac{P\sqrt{e^2+l^2}}{2\rho}\,.$$

La résistance est donc inversement proportionnelle au rayon de la courbe, et, pour un rayon donné, elle augmente avec la largeur de la voie et l'écartement des essieux.

Le coefficient f est assez variable avec l'état de l'atmosphère; on peut lui attribuer une valeur moyenne de $\frac{1}{6}$.

5° Résistance due à l'influence de l'air. La résistance de l'air peut être considérée comme négligeable dans le cas de vitesses très faibles. Au contraire, elle peut acquérir pour les trains rapides, une importance de premier ordre.

On admet généralement que la résistance produite sur une surface plane exposée perpendiculairement à la direction d'un vent de vitesse V est proportionnelle, à la fois, à l'étendue de la surface et au carré de la vitesse. Cette résistance serait donc représentée par l'expression KSV^2, K étant un coefficient invariable.

D'après les expériences faites en Allemagne sur des lignes où la traction électrique a permis des vitesses considérables, on a reconnu que la pression sur une surface plane située à l'avant du véhicule perpendiculairement à cette direction était égale à $p = 0{,}065\ V^2$, p représentant la pression en kilogrammes par mètre carré, V la vitesse en mètres par seconde.

Cette formule s'applique jusqu'à une vitesse de 150 kilomètres à l'heure; au delà de cette vitesse, la résistance due à l'air augmente considérablement; elle atteint $0{,}088\ V^2$.

A titre d'exemple, si on applique la première formule $p = 0{,}0065\ V^2$ au cas d'un véhicule circulant à la vitesse de 72 kilomètres à l'heure, soit 20 mètres à la seconde, on aura:

$$p = 0{,}0065 \times 20^2 = 26 \text{ kilogs.}$$

Si la surface de front est de 7 mètres carrés, on trouve:

$$p = 182 \text{ kilogs}$$

On voit que la résistance de l'air devient très importante aux vitesses de 100 et 120 kilomètres.

Le vent agissant transversalement augmente également la résistance du train, en appliquant les boudins contre les rails. Il est à

remarquer que la résistance de l'air est presque aussi considérable pour un train court que pour un train long.

6° Résistance due aux mouvements de lacet. — Ces mouvements de lacet sont les mouvements que prennent les véhicules les uns par rapport aux autres, surtout dans les trains de vitesse. Ils sont dus à de légers défauts de parallélisme des essieux et à des inégalités de la voie. Ils augmentent avec la vitesse et diminuent avec l'écartement des essieux.

Ils sont très accentués sur les pentes à forte déclivité et nuls sur les rampes à cause de l'augmentation de l'effort de traction.

Le travail résistant dû au lacet peut être approximativement considéré comme proportionnel au poids P du véhicule et à la vitesse V. Il serait représenté par la formule $K'PV$; la valeur de K' étant très faible.

Formule générale de la résistance d'un train. — En résumé, le travail total des résistances des wagons que doit vaincre l'effort de traction de la machine se trouve représenté par la formule suivante :

$$T = f(P-p)\frac{r}{R} + f'\frac{P}{R} + P\frac{d}{1000} + f''\frac{Pe}{2\rho} + f''P\frac{\sqrt{e^2+l^2}}{2\rho} + KSV^2 + K'PV$$

Chaque terme représente un travail par unité de chemin parcouru. Leur total T indique la force à appliquer à la traction pour surmonter l'ensemble des résistances.

Le poids P du véhicule entre dans tous les termes, sauf dans celui relatif à la résistance de l'air ; d'autre part, dans le premier terme entre également le poids p des trains de roues.

On admet souvent $P - p = \frac{5}{6}P$.

En substituant cette valeur approximative de $P-p$, et en divisant le tout par P, on trouve :

$$T' = \frac{5}{6}f\frac{r}{R} + \frac{f'}{R} + \frac{d}{1000} + \frac{f''}{2\rho}\left(e + \sqrt{e^2+l^2}\right) + \frac{KSV^2}{P} + KV$$

D'après cette formule, la résistance par tonne serait pour un poids total donné, théoriquement indépendante à la fois, du nombre des essieux qui répartissent le poids sur les rails et de la longueur du train. Ces deux conclusions théoriques ne sont pas du tout vérifiées par la pratique.

Les deux premiers et les deux derniers termes de cette expression représentent la partie de la résistance qui est indépendante du tracé et qu'il faut vaincre d'un bout à l'autre du parcours; c'est ce que l'on appelle la résistance propre du train. Les deux autres termes représentent l'influence des pentes et l'influence des courbes.

Dans cette formule T' représente l'effort par tonne à développer pour vaincre la résistance du train ; si on multiplie par P, poids total du train exprimé en tonnes, on aura l'effort total, et si on multiplie par V, vitesse exprimée en mètres à la seconde, on aura le travail total, d'où on pourra déduire la quantité de vapeur que doit fournir la machine.

Formules pratiques. — Les formules théoriques permettent de se rendre compte de la valeur des différentes résistances qui s'opposent à la marche d'un train ; elles fournissent des résultats qui s'écartent parfois de ceux que donnent les recherches expérimentales, mais elles n'en sont pas moins utiles à connaître parce qu'elles facilitent l'interprétation judicieuse des résultats d'expériences faites sur des trains en service courant.

Des recherches nombreuses ont été entreprises dans le but de déterminer en bloc la résistance opposée à la traction par des trains de composition variable aux différentes vitesses admises en service.

La formule que nous avons indiquée plus haut peut s'écrire :

$$T' = A + KV + \frac{KSV^2}{P}$$

ou

$$T' = A + BV + CV^2$$

Des expériences tentées ont eu pour but de déterminer ces coefficients A, B, C.

Formule Harding. — Des premières expériences ont été faites en Angleterre, en 1846, par M. Harding. Elles ont été faites sur la gravité et ont permis d'exprimer la résistance par la formule:

$$R = 2{,}72 + 0{,}094\,V + 0{,}00484\,\frac{SV^2}{P}$$

R est la résistance exprimée en kilogrammes par tonne, V la vitesse en kilomètres à l'heure, P le poids du train, S la surface transversale maxima du train.

Cette formule donne des résultats beaucoup trop forts pour les faibles vitesses.

Formule de la Compagnie de l'Est. — A la suite d'expériences très complètes faites en 1865 et 1866 par MM. Guillemin, Chébard et Diandonné, la Compagnie de l'Est a conservé la formule Harding en modifiant les coefficients suivant la nature des trains, et elle a adopté les formules suivantes :

1° Trains de marchandises, vitesse 12 à 30 kilomètres à l'heure:

$$R = 1{,}065 + 0{,}05\,V$$

2° Trains omnibus, vitesse de 50 à 60 kilomètres à l'heure:

$$R = 1{,}80 + 0{,}08\,V + 0{,}006\,\frac{SV^2}{P}$$

3° Trains express, vitesse 70 à 80 kilomètres à l'heure:

$$R = 1{,}80 + 0{,}14\,V + \frac{0{,}004\,SV^2}{P}$$

Ces formules s'approchent plus de la réalité, mais pour le matériel actuel, elles donnent encore des résultats trop élevés.

Dans ces formules (formule Harding, formule de l'Est), R comprend la résistance des véhicules remorqués en celle de la locomotive, considérée comme véhicule. Il représente la résistance par tonne de train évaluée aux jantes des roues motrices.

Pour opérer d'une manière plus correcte, il est indispensable de considérer séparément la machine qui, réunie à son tender,

constitue un véhicule ayant ses lois propres de résistance, et, d'autre part, le train remorqué.

Wagon dynamomètre. — Le meilleur procédé pour déterminer les coefficients entrant dans le calcul de la résistance du train, est d'opérer expérimentalement à l'aide d'un wagon dynamomètre que l'on attelle directement derrière le tender, et qui est suivi par les véhicules dont il s'agit d'étudier la circulation.

La traction s'exerce par l'intermédiaire d'un ressort à lame taré, placé sous le véhicule, et relié à un style qui se prolonge à l'intérieur du wagon en inscrivant, à chaque instant, sur une bande de papier se déroulant d'un mouvement uniforme, les variations de la flexion du ressort et, par suite, celles de l'effort de traction. On enregistre, en même temps, à chaque instant la vitesse. On a donc de la sorte tous les éléments pour calculer la puissance développée à tout instant.

Calcul de la résistance des voitures et wagons en alignement droit. — Sur l'Est, en 1880, les essais faits sur les trains de voyageurs ont conduit à la formule :

$$R = 1{,}83 + 0{,}0843\,V$$

A la vitesse de 80 kilomètres, la formule donne $R = 8^k5$. Or, dans les essais faits en 1892, à la Compagnie du Nord, avec des trains de 180 tonnes composés de voitures de 12 tonnes, on a obtenu $R = 7$ kilogs à 7^k5.

Pour les trains de marchandises, dans des expériences faites sur le Nord, en 1882 - 1883 avec des trains composés de wagons chargés à 10 tonnes et marchant à la vitesse de 25 à 55 kilomètres, on a trouvé :

$$R = 1{,}45 + 0{,}0008\,V^2$$

D'après les expériences faites sur l'Etat, en 1890, par M. Desdouits, dans le but de comparer la résistance du matériel ordinaire et du matériel à bogies, les résistances constatées en palier

en en alignemens droits à la vitesse de 74 kilomètres à l'heure seraient :

Voitures ordinaires pesant 8 tonnes : 5 kilogs par tonne ;

Voitures à bogies pesant 16 tonnes, 3 kilogs 78 par tonne.

Ces chiffres, moins élevés avec les voitures à bogies, tiennent non seulement à la mobilité des bogies, mais encore à la diminution du nombre des intervalles ouverts entre les voitures.

Pour résumer ses expériences, M. Desdouits adopta les formules suivantes :

Voitures ordinaires $R = 1{,}5 + 0{,}007\,V^2$, pour V compris entre 0 et 80 kilomètres ;

Voitures à bogies $R = 1{,}5 + 0{,}04\,V$, pour V compris entre 30 et 100 kilomètres.

Mais les formules de ce genre ne sont réellement applicables que dans des conditions identiques ou pour des véhicules absolument semblables.

Depuis quelques années les résistances se sont trouvées abaissées en raison des améliorations introduites dans la construction : augmentation du poids des véhicules ; renforcement de la voie ; allongement des rails : 18 m 45 Kgs. A la Compagnie du Nord, des essais nombreux faits également en 1895 dans le but de comparer le matériel à bogies au matériel ordinaire ont porté sur des trains de voyageurs de 120 à 140 tonnes à la vitesse de 60 à 115 kilomètres. Ces essais ont été faits, uniquement en alignement droit.

On a fait un grand nombre d'expériences en dans chacune d'elles on a relevé sur graphique donnant à chaque instant les vitesses en abscisses et les résistances en ordonnées. La courbe moyenne se rapproche d'une parabole dont la formule serait :

$$R = \underset{\text{résistances fixes}}{1{,}6} + \underset{\text{frottements}}{0{,}023\,V} + \underset{\text{influence de l'air}}{0{,}00046\,V^2}.$$

Cette formule peut être remplacée par la suivante :

$$R = 1{,}6 + 0{,}46 \cdot \frac{(V+50)}{1000}$$

Avec les véhicules à bogies on a trouvé :

$$R = 1{,}6 + 0{,}456\,V\,\frac{(V+12)}{1000}.$$

Le tableau ci-dessous résume les résultats obtenus :

Résistance par tonne :

Vitesse	Matériel ordinaire	Matériel à bogies
60 km	4 kg 64	3 kg 52
80 —	6, 38	4. 38
100 —	8, 50	6.62
110 —	9.70	7,62

Surcroît de résistance des voitures et wagons dû aux courbes. — Les difficultés que l'on rencontre pour établir les formules, pour exprimer la résistance des véhicules en alignement droit, se trouvent beaucoup plus sérieuses lorsqu'il s'agit du passage en courbe.

Des expériences nombreuses ont été entreprises à différentes époques, en 1865 - 1866, dans les Compagnies de l'Est, d'Orléans et puis du P.L.M.

On en a déduit, comme coefficient moyen d'un train dans les courbes, non compris les résistances de la machine et du tender :

pour un rayon de 800 mètres, 0k5 par tonne | pour un rayon de 400 mètres, 2k par tonne

» 600 » 1k » | » 300 » 3 »

» 500 » 1k25 » | » 200 » 4 »

pour un rayon de 150 mètres, 6 k. par tonne

Il est établi que, dans les courbes de 1000 mètres au moins de rayon, le matériel employé actuellement sur la voie normale n'éprouve aucun surcroît de résistance. La vitesse n'a, pour ainsi dire, aucune influence sur l'augmentation de cette résistance.

Résistance de la machine et du tender. — Les machines et les tenders considérés comme véhicules présentent beaucoup plus de rigidité que les voitures et les wagons et opposent à leur mise en marche, une résistance beaucoup plus grande. Cela tient surtout au plus grand diamètre des fusées.

On peut admettre, comme moyenne, le coefficient de :

12 kilogs pour une locomotive à 8 roues couplées ;
9 K.5 » 6 »
6 K.4 » 2 »

Dans ces coefficients est compris le surcroît de résistance pour le passage en courbe.

Exemple d'un calcul de l'effort de traction pour un train donné. — Prenons un train de houille expédié des lignes du Nord sur Paris, en admettant que les rampes ne dépassent pas 5 m/m par mètre, et que les rayons des courbes ne soient pas inférieurs à 600 m. Le train est constitué de 45 wagons dont la tare est de 5 tonnes et la charge utile de 10 tonnes. Le poids du tender en charge est de 22 tonnes ; le poids de la machine à 4 essieux accouplés en charge 44 tonnes. La vitesse en rampe est de 30 kilomètres.

La formule : $R = 1{,}45 + 0{,}0008\ V^2$ adoptée sur le Chemin de fer du Nord ; donne $R = 2{,}17$.

Pour le tender, on peut admettre une résistance plus forte de 2,7 ; pour la machine on admettra, d'après des essais récents, le coefficient de 5K5, à la vitesse de 30 kilomètres à l'heure.

La résistance du train se calculera comme suit :

1° Pour le train : 45 × 15 = 675 tonnes

Résistance par tonne en palier en en alignement droit	2K,17
Surcroît de résistance par tonne en rampe de 0,005	5.»
Surcroît de résistance par tonne en courbe de 600 mètres	1,»
	8K17

Résistance du train : 675 × 8,17 = 5.515 K.

2° Tender

Résistance par tonne en palier en en alignement droit	2K,7
Surcroît de résistance par tonne en rampe de 0,005	5K,»
Surcroît de résistance par tonne en courbe de 600 mètres	1K,»
	8,K7.

Résistance du tender 22 × 8,7 = 191K.

3° Machine

Résistance par tonne en palier en en alignement droit 5k5
Surcroît de résistance par tonne en rampe de 0,005 ..... 5,"
Surcroît de résistance par tonne en courbe de 600 mètres 1,5
12k,"

Résistance de la machine : 44 × 12 = 528 kg

On aura pour la résistance du train entier :

5515 + 191 + 528 = 6.234 k.

La locomotive devra donc développer à la circonférence des roues motrices un effort de 6.234 k.

Le poids adhérent de la locomotive nous permettra, comme nous le verrons plus loin, de calculer l'effort disponible dû à l'adhérence. En fait, il sera d'environ :

44.000 : 7 = 6.300 kilogs.

soit un peu supérieur au chiffre trouvé pour la résistance du train.

Locomotive

La locomotive est une machine à vapeur, qui agit par l'intermédiaire de bielles pour imprimer un mouvement de rotation à une paire de roues en contact avec les rails. Ces roues motrices avancent sur la voie, à la condition que leur frottement sur les rails, c'est-à-dire leur adhérence soit plus fort que la résistance à vaincre pour mettre en mouvement la machine et le train auquel elle est attelée.

Si cette condition n'est pas remplie, les roues tournent sur place sans avancer et on dit que la machine patine.

La puissance d'une locomotive dépend du nombre de chevaux vapeur qu'elle peut développer pendant un temps prolongé sur un profil accidenté.

En pratique, dans le langage des Chemins de fer, on confond

sonsen la puissance avec l'effors maximum théorique de traction de la machine. En fais, une machine bien établie devra tous en présentans un grand effors de traction, avoir une grande puissance, c'est-à-dire posséder un générateur produisans une grande quantité de vapeur dans un temps donné en en outre un moteur perfectionné utilisans rationnellemens cette vapeur.

Effors maximum théorique de traction. — Une locomotive comprend presque toujours deux machines à vapeur, l'une attaquans les rones côté droit en l'autre les rones côté gauche.

Evaluons le travail produis par ces deux machines pendans un tour des rones motrices en comparons-le au travail de résistance que doit vaincre la machine. Nous négligerons provisoiremens la résistance passive de la machine.

Soit D le diamètre des rones motrices, πD sera le chemin parcouru pendans un tour. Soit F l'effors de traction ou la résistance totale à vaincre, résistance qui s'exerce tangentiellemens à la rone au contact du rail. πDF représente le travail de la résistance pendans un tour des rones.

Cherchons d'autre pars à évaluer le travail moteur; soit d le diamètre des pistons, l la course des pistons, p la pression de la vapeur en kilogrammes par unité de surface. Le travail moteur pendans une course de piston est égal au produis de la pression sur une face du piston $\frac{p\pi d^2}{4}$ par l'espace. Ce travail est donc $\frac{p\pi d^2 l}{4}$.

Or pendans un tour de rones, le piston a fais deux courses, une à l'aller, l'autre au retour. Le travail d'un piston pour un tour de rones est donc représenté par l'expression $\frac{2p\pi d^2 l}{4}$ et le travail des deux pistons est égal à : $p\pi d^2 l$

Ce travail moteur doit être plus grand que le travail résistans; on doit donc avoir :

$$p\pi d^2 l > \pi DF \quad \text{ou} \quad p d^2 l > DF$$

si on égale ces deux expressions, on obtient :

$$p d^2 l = F D \quad \text{ou} \quad F = \frac{p d^2 l}{D}$$

Cette dernière formule qu'on appelle l'équation de la locomotive donne l'effort maximum théorique de traction ; mais, cet effort ne peut être réalisé intégralement et on est toujours obligé d'appliquer, au second membre de l'équation, un coefficient de réduction a.

En effet, on a admis que la pression p était celle de la vapeur dans la chaudière. Or il se produit une diminution de pression, en raison des pertes de charge dans les conduites. D'autre part, une partie du travail est absorbée pour vaincre les résistances passives des pièces du mécanisme entre le cylindre et le point de contact des roues motrices. La perte de pression dans le cylindre est ordinairement de 10 %, celle due aux résistances passives est de 15 %.

Pratiquement, on applique $F = \frac{a p d^2 l}{D}$ en donnant à a, suivant les Compagnies, une valeur conventionnelle ; sur le Nord, on admet $a = 0{,}65$. Il faut que la valeur de F ainsi calculée soit supérieure ou au moins égale à la résistance totale du train, que nous avons appris précédemment à évaluer.

Adhérence — Cette condition remplie, un mouvement de rotation imprimé à l'essieu engendrera des forces tangentielles aux circonférences des roues à leurs points de contact avec les rails, mais ces forces ont pour limite supérieure la résistance au glissement des surfaces pressées l'une sur l'autre par la charge des essieux ; c'est cette résistance que l'on appelle l'adhérence.

Si l'adhérence est insuffisante, la roue glisse sur le rail, il n'y a plus roulement, mais glissement de la roue tournant sur elle-même sans que son centre soit animé d'un mouvement de translation ; c'est ce que l'on appelle le patinage.

L'adhérence a donc pour valeur l'intensité du frottement

des bandages des roues motrices sur le rail. Elle est proportionnelle à la charge des roues motrices et varie suivant la nature des corps en contact et l'état de leurs surfaces.

Si on appelle P_2 la pression totale exercée sur les rails au contact des roues motrices, pression que l'on désigne sous le nom de poids adhérent, et f'' le coefficient de frottement des bandages sur les rails désigné aussi sous le nom de coefficient d'adhérence, la résistance due au frottement des bandages sur les rails a pour valeur $f'' P_2$.

Pour que la machine avance, il faut que la résistance au frottement des bandages soit supérieure à l'effort maximum de traction ait la relation $\frac{a p d^2 l}{D} \leqslant f'' P_2$.

Le patinage doit être évité à tout prix parce qu'il produit une usure rapide des bandages et des rails et qu'il a, en outre, pour effet de détériorer le mécanisme.

Coefficient pratique d'adhérence. — L'effort maximum pratique de traction est donc une fonction du poids adhérent, c'est-à-dire de la fraction P_2 du poids de la machine appliqué sur les roues motrices. P_2 est facile à déterminer pour chaque machine. Le coefficient d'adhérence f'' peut varier à chaque instant avec l'état des surfaces en contact et les circonstances atmosphériques qui modifient l'état de ces surfaces.

Il arrive fréquemment qu'une machine convenablement choisie pour remorquer un train de charge donnée sur un profil déterminé vienne à patiner dans des circonstances spéciales : verglas, brouillard, corps gras tombés sur les rails etc....

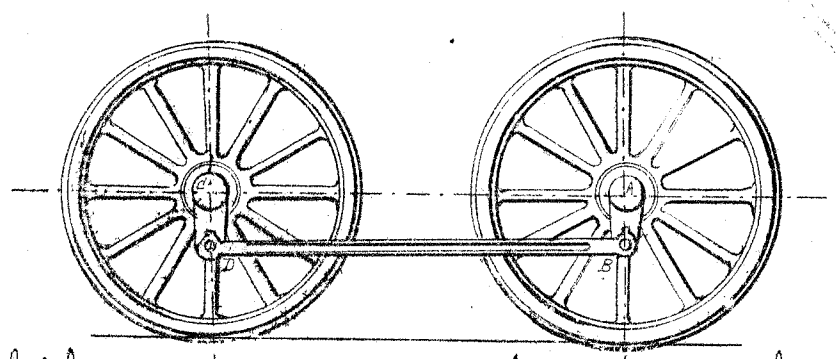
Par un temps sec, le coefficient d'adhérence atteint $\frac{1}{5}$; par les temps brumeux $\frac{1}{8}$; quand le rail est gras, comme cela se présente souvent dans les souterrains $\frac{1}{10}$. En France, on admet généralement dans les calculs le coefficient $\frac{1}{7}$.

La vitesse influe aussi sur l'adhérence en tend à la diminuer d'une manière sensible.

Accouplement des essieux. — La limite de l'effort de traction imposé par l'adhérence est, comme nous venons de le voir, proportionnée au poids adhérent.

Il y a évidemment intérêt à augmenter cette limite, et, par conséquent, à accroître la charge sur l'essieu moteur, mais la voie ne supporterait pas un accroissement indéfini de la charge sur un essieu ; pendant longtemps on ne dépassa pas 14, 15 ou 16 tonnes ; toutefois, on tend à relever cette limite et on étudie, par exemple, en ce moment sur la Compagnie du Nord, les moyens d'admettre le maximum de 20 tonnes comme charge par essieu. L'adhérence se trouverait encore ainsi bien limitée, puisque l'effort maximum de traction ne pourrait pas dépasser 1/7 de 20 tonnes, c'est-à-dire à peine 3000 kilogs. Aussi a-t-on cherché, depuis longtemps, à augmenter le poids adhérent en augmentant le nombre des essieux actionnés par le moteur.

On établit entre l'essieu moteur et 1, 2 ou 3 autres essieux, un accouplement. Les roues des essieux accouplés doivent être de même diamètre que les roues motrices. Elles sont munies de deux manivelles AB, CD, de même longueur et dont les boutons sont réunis de chaque côté de la machine par une bielle d'accouplement BD.



Les roues accouplées reçoivent par l'intermédiaire des bielles d'accouplement le mouvement imprimé à l'essieu moteur ; elles roulent ou patinent en même temps que l'essieu moteur.

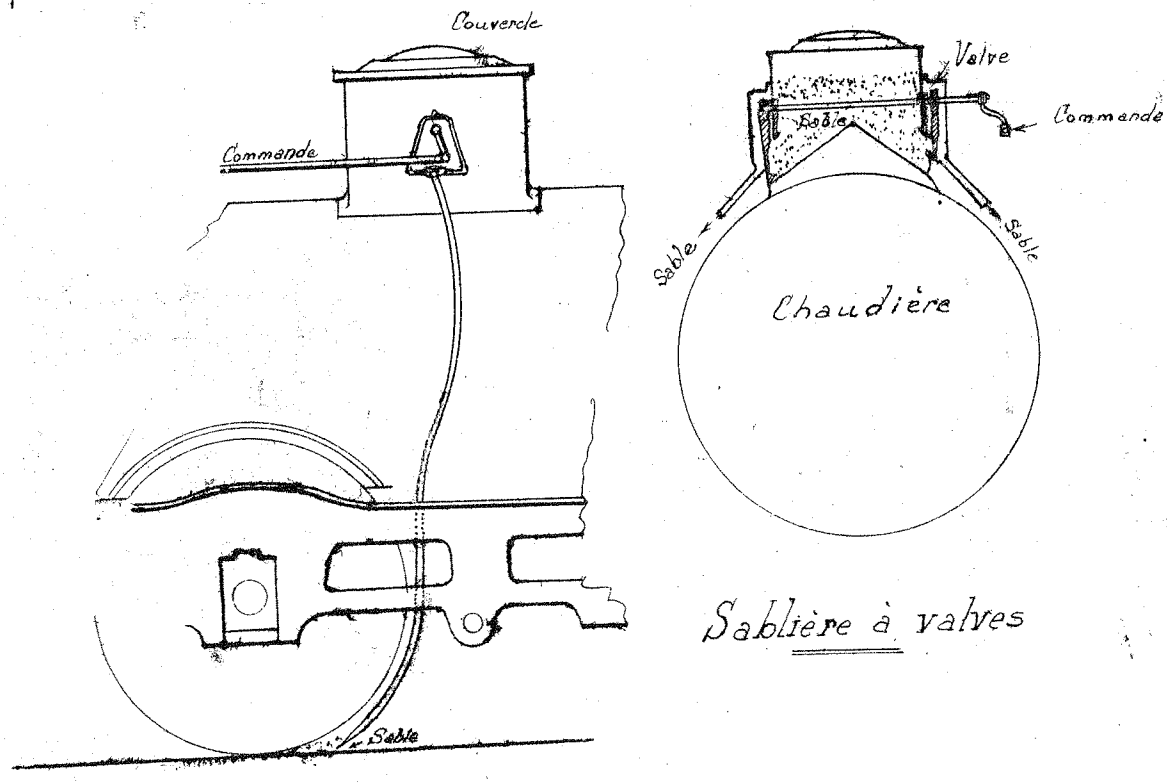
Le poids adhérent se trouvant augmenté de la charge supportée par les roues accouplées, on peut ainsi arriver à utiliser comme poids adhérent, le poids total de la machine, en même celui des approvisionnements en eau en charbon (machine tender).

On a cru pendant longtemps, que les accouplements ne fonctionneraient pas bien aux grandes vitesses, en l'on avait conservé pour les marches express, des locomotives à essieux indépendants, L'expérience a montré, que les bielles d'accouplement résistent aux rotations les plus rapides des roues en actuellement, elles sont couramment employées dans tous les systèmes de locomotives à grande vitesse; exemples :

Machine Compound à grande vitesse de la Compagnie du Nord:
poids total $64^T 400$ — poids adhérent $32^T 300$

Machine Compound à marchandises:
poids total $59^T 280$ — poids adhérent $42^T 800$

Moyens d'augmenter le coefficient d'adhérence — On peut encore accroître l'adhérence, dans des circonstances spéciales, en

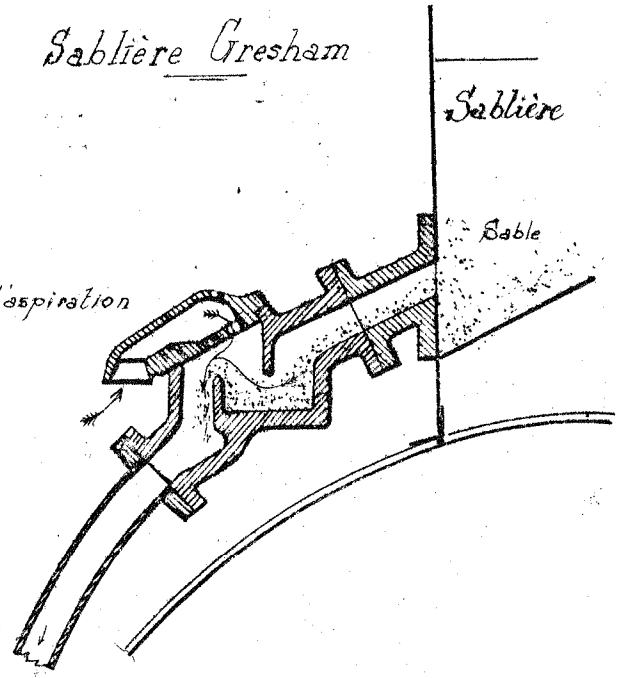


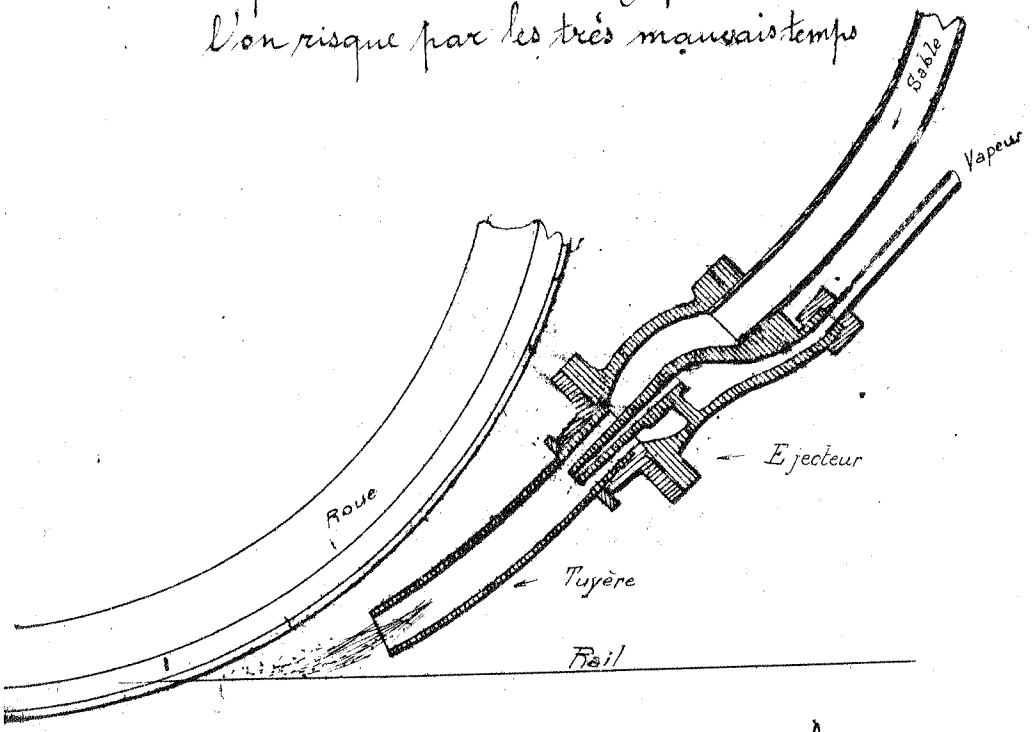
Sablière à valves

augmentant la valeur du coefficient f".

Le moyen le plus ordinairement employé est celui du sable, qui est emmagasiné sur la machine dans un récipient appelé sablière, et qui peut être, à la volonté du mécanicien, projeté sur les rails un peu en avant des roues motrices. Ce moyen très simple présente cependant quelques inconvénients.

Le sable coule parfois inégalement en forme des paquets qui, bien qu'écrasés par les roues motrices, gênent le roulement des roues suivantes, en augmentent la résistance du train. De plus, le sable tombe à quelque distance en avant des roues motrices, de sorte que le vent peut l'emporter avant qu'il ait été atteint par la roue. Enfin, la dépense de sable est assez forte et l'on risque par les très mauvais temps d'épuiser l'approvisionnement avant la fin du parcours. On évite une grande partie de ces inconvénients par l'emploi de la sablière Gresham. Un petit éjecteur à vapeur est installé en avant de la roue motrice. Le jet de vapeur, en s'échappant par la tuyère centrale, entraîne,





faire une aspiration dans un tuyau qui aboutit à une boîte d'aspiration montée sous la sablière. Quand le jet de vapeur fonctionne, l'air entraîne le sable qui est lancé entre les roues et le rail.

Une faible quantité de sable suffit pour rétablir l'adhérence en cas de besoin; on évite ainsi un excès de consommation en le sable est projeté à l'endroit même où il est utile.

L'emploi de cet appareil exige quelques précautions. Le sable doit être sec et fin, et il faut éviter qu'il ne devienne humide par la vapeur qui doit passer dans les éjecteurs. Dans ce but, on a, depuis quelque temps, substitué avec succès à la vapeur l'emploi de l'air comprimé.

Procédé Riggenbach. — Sur un rail bien mouillé, par une grande pluie par exemple, l'adhérence est à peu près aussi bonne que sur un rail sec. On a donc eu l'idée de substituer à l'action du sable, un lavage complet des rails au moyen d'eau prise au tender et lancée par un jet de vapeur à l'aide de tuyaux placés vers l'avant de la locomotive.

Ce procédé, appelé système Riggenbach a l'avantage d'éviter des surcroits de résistance et de supprimer l'usure anormale causée par le sable, mais, par contre, il entraîne une consommation importante d'eau,

Il a été employé surtout sur certaines lignes à fortes rampes traversant de nombreux tunnels.

On a essayé d'autres artifices pour augmenter l'adhérence. Sur les chemins de fer Bavarois, on a installé un essieu moteur, auxiliaire dont la charge sur les fusées peut être augmentée à volonté. Cet essieu peut être relevé ou abaissé au moyen de deux cylindres placés extérieurement aux longerons, et il est actionné par une machine qui ne fonctionne que lors des démarrages ou sur les fortes rampes.

Variation de l'adhérence. — L'adhérence est variable, non seulement d'après l'état des surfaces en contact, mais encore par tour de roues, d'après la charge supportée à chaque instant par le ou les essieux moteurs.

Cette charge, qui est fixe lorsque la machine est au repos, se trouve en effet modifiée en marche par les variations dues :

1° à l'obliquité des bielles motrices motrices, et, par suite, à la réaction de la tête de piston sur les glissières ;

2° à l'inclinaison des cylindres ;

3° au déplacement de l'eau de la chaudière et à la consommation de la machine ;

4° aux dénivellations de la voie et à l'action des ressorts.

Tous ces divers causes, la charge statique de l'essieu d'avant d'une locomotive peut se trouver momentanément doublée ou diminuée de moitié en marche. L'adhérence en est évidemment très sensiblement modifiée, à moins cependant que la machine n'ait tous ses essieux accouplés, car dans ce cas, le poids total adhérent reste toujours égal au poids de la machine.

Relation entre les volumes des cylindres et l'adhérence, le diamètre des roues et la vitesse ; limite des diamètres des roues. Dans l'expression $F = \alpha p d^2 l$, $d^2 l$ représente le volume des cylindres ; il doit être suffisant pour que la vapeur admise pendant la course presque entière des pistons produise un effort de traction aux jantes des roues motrices au moins égal à l'adhérence qui correspond à l'état le plus favorable des rails. Une exagération du volume des cylindres aurait l'inconvénient de favoriser le patinage.

Le diamètre des roues doit être fixé, non seulement d'après la valeur de l'effort de traction à obtenir, mais encore d'après le nombre de tours de roues par seconde à ne pas dépasser, afin d'éviter une usure exagérée des pièces en mouvement.

L'allure de l'essieu moteur correspond à 2, 3 ou 4 tours par seconde en courante. Des expériences faites par la Compagnie des chemins de fer P.-L.-M. ont montré que des locomotives de types divers faisaient sans trop de fatigue 300 à 350 tours par minute, soit 5 à 6 tours par seconde, ce qui correspond à des vitesses de 120 à 140 kilomètres à l'heure pour des roues de 2m130 ; c'est le plus grand diamètre des roues généralement admis.

En admettant le minimum de 2 tours par seconde en une vitesse de 25 kilomètres à l'heure, vitesse à laquelle marchent souvent les trains de marchandises, on trouvera pour le diamètre des roues :

$$\pi D = \frac{25.000}{3.600} = 1m12$$

Pratiquement, on ne descend guère au-dessous de 1m20, que l'on peut considérer comme la limite inférieure du diamètre des roues motrices.

L'équation $F = \frac{\pi p d^2 l}{D}$ montre que si D augmente, il faut pour obtenir un même effort de traction F avec une même pression p, augmenter $d^2 l$ ou inversement. Il y a donc là une sérieuse difficulté pour la traction des trains, à la fois rapides et lourds, que les Compagnies sont conduites à mettre actuellement en marche.

En résumé, pour les machines à grande vitesse à 1 ou 2 essieux moteurs, on adopte, en général, des essieux dont le diamètre est de 2m05 ; 2m10 ou 2m20. Ce maximum est quelquefois dépassé pour les roues à essieux indépendants (machines anglaises) mais, même pour ces dernières, on n'a jamais dépassé 2m50.

Les machines destinées à traîner des trains omnibus ou des trains de marchandises rapides, ont des diamètres de roues variant entre 1m50 et 1m80 ; pour les machines à marchandises à 4 essieux accouplés, le diamètre descend à 1m20.

En ce qui concerne les dimensions du cylindre, la condition qui serait préférable, au point de vue de la condensation, serait de faire $d = l$. Comme il est souvent gêné par l'espace, on adopte

généralement $l = 1{,}25\, d$, ou encore $1{,}40\, d$. Par exemple, pour $d = 500$, diamètre maximum voulu pour les machines à simple expansion, on aura $l = 625$. Dans d'autres cas, pour $d = 460$ on aura $l = 660$. En supposant $l = 1{,}25\, d$ et $a = 0{,}65$, on trouve :

$$F = 0{,}8125\, \frac{p\, d^2}{D}$$

F effort de traction étant connu, on détermine d^2.

Si on trouve pour d un diamètre trop grand, il reste, comme dernière ressource, à agir sur p. Or p est la pression dans la chaudière, c'est-à-dire le timbre. Sur les premières locomotives, le timbre au dessus duquel ne pouvait être élevée la pression était de 6 kilos ; le timbre a été élevé à 7, 8, 9 kilos ; depuis quelques années, on a atteint 11 et 12 kilos, et dans les dernières machines construites, on a admis 16 kilos. Des pressions aussi élevées ne sont d'ailleurs, au point de vue économique, avantageuses qu'autant que la vapeur subit une double expansion, condition réalisée dans les machines Compound.

Démarrage. — On appelle démarrage la période de mise en marche du train, c'est-à-dire la période pendant laquelle la vitesse du train, partant de 0 s'accroît pour atteindre la vitesse de régime, cette dernière étant fixée par la nature du train.

La résistance propre du train n'est pas plus forte au moment du démarrage, elle est, au contraire, à son minimum puisque, comme nous l'avons vu, elle croît avec la vitesse.

Si l'effort à donner au démarrage est plus grand, c'est uniquement dans le but de fournir au train l'accélération nécessaire.

La valeur de cet effort dépendra essentiellement du temps que l'on voudra consacrer au démarrage, c'est-à-dire du temps que mettra le train à passer de la vitesse 0 à la vitesse de régime.

Soit V cette vitesse (en mètres par seconde)

Soit t le temps du démarrage.

Pour faire passer le train de la vitesse 0 à la vitesse V, il faut dépenser une quantité de travail égale à $\frac{1}{2} m V^2$ ou $\frac{1}{2} \frac{P}{g} V^2$ (P étant le poids du train).

Soit F l'effort total pendant le démarrage et R la résistance du train, à la vitesse moyenne d'accélération.

Le travail de la résultante $F-R$ est égal à $(F-R).s$, si on appelle s le chemin parcouru pendant le temps t.

On a donc $\frac{1}{2} \frac{P}{g} V^2 = (F-R)s$ d'après le théorème des forces vives. Le mouvement étant uniformément accéléré, on a: $s = \frac{1}{2} \gamma t^2$

d'où : $$F - R = \frac{P}{g} \frac{V^2}{\gamma t^2}$$

Donc l'excès d'effort à donner pendant la période de démarrage est proportionnel au carré de la vitesse et inversement proportionnel au carré du temps.

Chaudière

La locomotive comprend trois parties : la chaudière, le châssis, le mécanisme.

Dès l'origine, on a recherché pour la chaudière de locomotive, tous les perfectionnements qui pouvaient tendre à obtenir une pression de vapeur très importante avec un appareil de dimensions assez restreintes, pour pouvoir être installé sur un véhicule suffisamment court pour circuler aisément sur la voie.

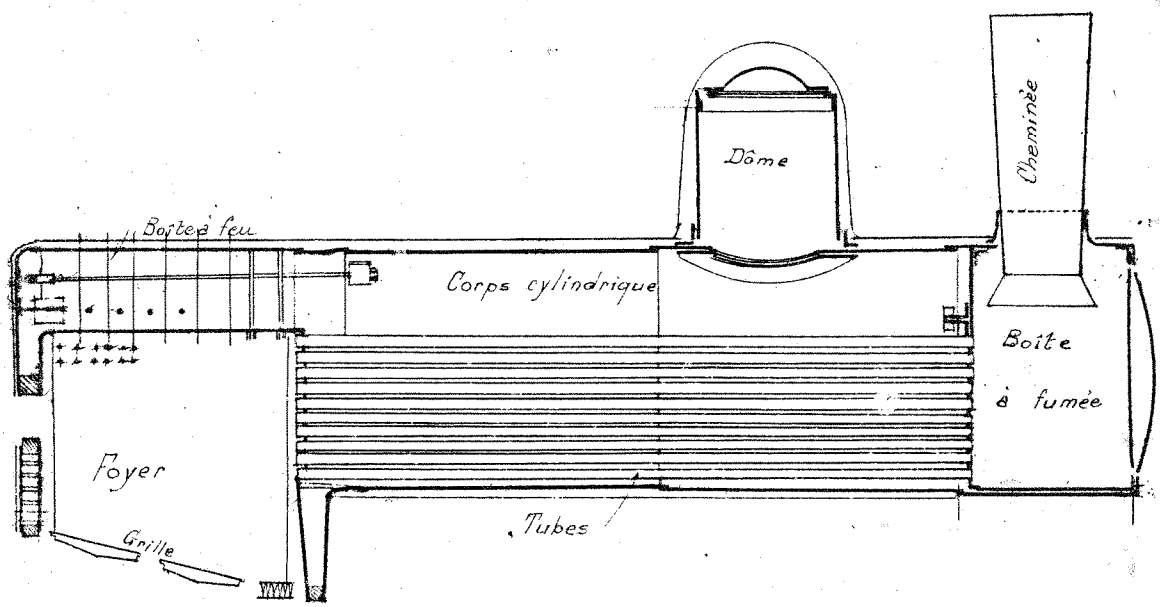
Les deux dispositions qui ont été adoptées et qui ont permis de résoudre le problème, sont la chaudière tubulaire et l'application du tirage forcé.

Les parties principales de la chaudière de la locomotive sont : le foyer, les tubes, la boîte à feu, le corps cylindrique, la boîte à fumée.

Le foyer est une sorte de caisse intérieure formée de 4 parois à peu près verticales et d'un ciel horizontal, en portant, à sa

partie inférieure, la grille. Cette caisse est sur toutes ses faces entourée par l'eau contenue dans la partie de la chaudière appelée boîte à feu. C'est sur la grille du foyer, dans une série de tubes complètement entourés d'eau, traversent ainsi la masse d'eau contenue dans le corps cylindrique de la chaudière et se rendent dans la partie avant appelée boîte à fumée, d'où ils sont évacués par la cheminée. Ces gaz sont appelés dans la boîte à fumée et rejetés dans la cheminée au moyen d'un appel d'air énergique produit par la vapeur qui s'échappe des cylindres et qui est dirigé dans une tuyère placée dans la boîte à fumée, au-dessous et dans l'axe de la cheminée. Cette tuyère est habituellement dénommée échappement.

Nous allons examiner successivement comment est constituée



Coupe longitudinale d'une chaudière de locomotive

chacune des parties de la chaudière.

Foyer. — Le foyer est ordinairement composé de trois parties : la plaque d'arrière percée d'une ouverture dite porte du foyer, pour le chargement du combustible ; la plaque d'avant ou plaque tubulaire de foyer percée d'un certain nombre de trous pour la fixation des tubes à fumée ; et enfin la plaque de pourtour qui forme le

ciel en les deux parois latérales, en qui réunit entre elles les deux précédentes.

La plaque supérieure du foyer, ou ciel est presque toujours plate. Les deux plaques latérales sont sensiblement verticales, mais présentent cependant quelquefois une forme un peu différente de façon à produire un rétrécissement du foyer à la base.

Le foyer est en cuivre, métal choisi à cause de sa conductibilité, bien que l'on soit conduit avec ce métal à donner aux plaques un surcroît d'épaisseur 13 à 17 m/m en même 25 à 30 pour la plaque tubulaire. En Amérique, on construit beaucoup de foyers en tôle d'acier de 8 à 9 m/m en 12 m/m pour la plaque tubulaire, ce qui produit une grande économie de poids en d'argent. En France, ce système ne s'est pas encore répandu.

Les différentes plaques qui constituent le foyer sont assemblées par des coutures maintenues par des rivets en fer. Ces derniers, plus résistants que les rivets en cuivre, présentent l'inconvénient de s'altérer au contact du cuivre de la plaque, si les eaux sont de mauvaise qualité ; au bout de quelques années, il se produit une usure assez accentuée des têtes de ces rivets.

Le ciel du foyer doit toujours être recouvert par l'eau contenue dans la chaudière ; les règlements fixent comme minimum une hauteur de 10 centimètres. Si le ciel était chauffé à découvert, la résistance du cuivre diminuerait rapidement et on aurait une déchirure du ciel, ce qui peut entraîner un accident très grave, et, à défaut d'accident amènerait une altération de la tôle de cuivre et une avarie grave du foyer.

Pour éviter les accidents de ce genre, on munit le ciel de plombs fusibles ; on fait dans le ciel du foyer deux trous dans lesquels on place des écrous percés d'un trou rempli de plomb. Lorsque, par suite de l'insuffisance d'eau sur le ciel, celui-ci s'échauffe, le

plomb fond en l'eau s'échappe par l'ouverture, ce qui tend à éteindre le feu. D'autre part, le mécanicien averti immédiatement du danger, prend ses mesures pour éteindre complètement son feu.

Boîte à feu. — La boîte à feu est la partie arrière de la chaudière qui contient et enveloppe le foyer ; elle est constituée de tôles de fer ou d'acier. La tôle d'avant a une forme très complexe, car elle sert à faire la liaison entre la boîte à feu et le corps cylindrique. Elle porte une ouverture dont le pourtour relevé en forme de collerette vient se juxtaposer aux viroles du corps cylindrique.

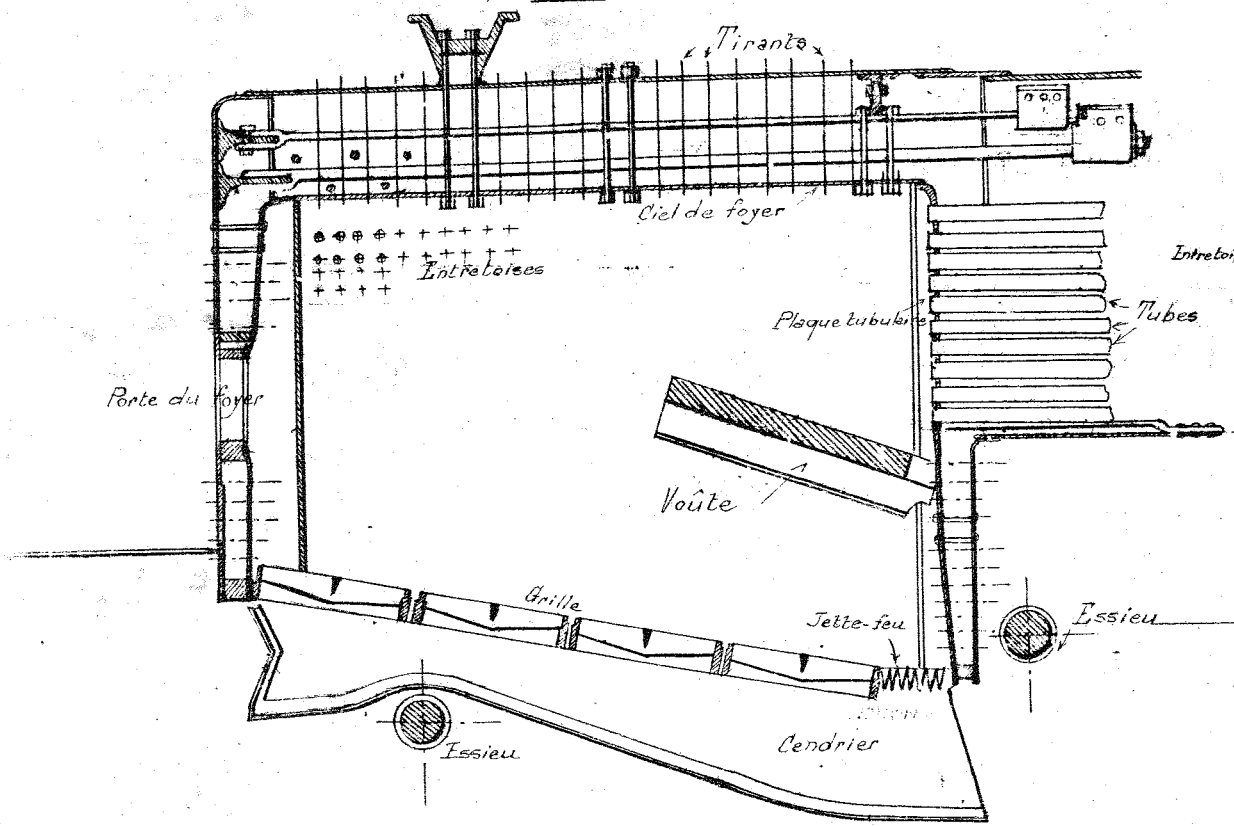
La plaque arrière de boîte à feu porte une ouverture correspondant à la porte du foyer et qui doit, dans le montage se trouver précisément en face de l'ouverture de la plaque arrière du foyer.

Les parois du foyer et de la boîte à feu se trouvent à leur partie inférieure séparées l'une de l'autre par le cadre du foyer ; ce cadre est une pièce en fer, à section carrée, de 80 m/m environ d'épaisseur. Cette épaisseur règle l'écartement entre les deux parois et, par conséquent, l'importance de la lame d'eau contenue entre elles. Il y a intérêt à ce que cette lame d'eau ne soit pas trop mince, pour éviter de surchauffer la plaque du foyer.

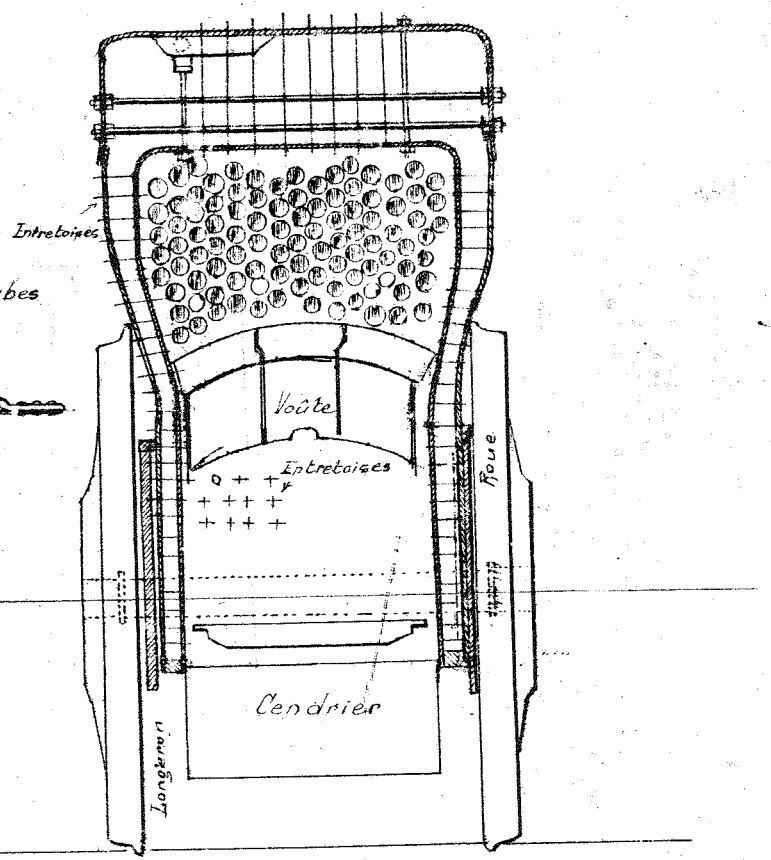
Pour éviter que les parois du foyer et de la boîte à feu se séparent sous la pression intérieure de la chaudière, il est nécessaire de les entretoiser. Les entretoises sont, en général, en cuivre ; elles sont filetées et se vissent dans des trous taraudés dans les parois de la boîte à feu et du foyer. Leur diamètre varie de 20 à 25 m/m et quelquefois plus. Leur longueur dépend de l'écartement des parois extérieures à assembler ; il faut y ajouter 0 m 30 pour laisser de chaque côté l'excédent de matière nécessaire au rivetage. Elles sont placées, en moyenne, tous les 100 m/m. Pour une chaudière timbrée à 10 kilos, chacune d'elles supporte donc un effort de 100 cm² × 10 kilos = 1.000 kilogs.

Foyer

Coupe longitudinale



Coupe par la boîte à feu

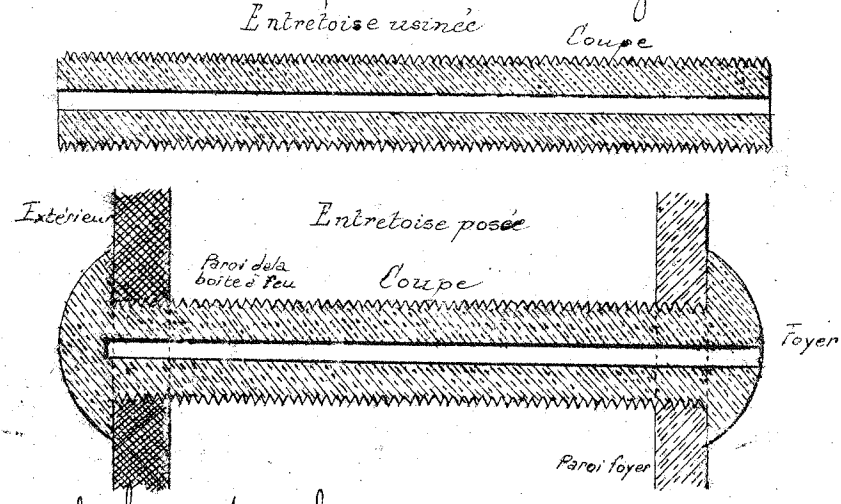


Quand la pression augmente, on diminue l'écartement des entretoises, mais on peut aussi chercher à faire les entretoises avec un métal moins altérable et plus résistant que le cuivre. On emploie depuis quelques années sur le Nord, des entretoises en bronze manganésé qui donnent de bons résultats.

Les ruptures d'entretoises sont assez fréquentes ; elles paraissent dues à la flexion de l'entretoise sous l'action de la montée et de la descente du foyer occasionnées par la dilatation (qui pour le foyer est plus grande que pour la boîte à feu). Pour diminuer ces ruptures, il y a intérêt à ne pas augmenter trop le diamètre des entretoises.

La rupture d'une entretoise entraîne facilement une déformation des tôles. Si plusieurs entretoises voisines viennent à se rompre, on peut craindre une déchirure de la tôle.

Pour permettre aux agents de reconnaître facilement les entretoises rompues, on perce généralement de part en part d'un trou de faible diamètre. Lorsque l'entretoise est rompue, la vapeur passe par l'ouverture intérieure de l'entretoise et s'échappe dans le foyer par le trou pratiqué au centre de la tête de l'entretoise ; le mécanicien est ainsi immédiatement avisé qu'une entretoise est rompue et doit en demander le remplacement dès sa rentrée au dépôt.



A l'emplacement de la porte du foyer, les parois arrières du foyer et de la boîte à feu sont maintenues par un cadre, généralement de forme ovale, dont les dimensions intérieures sont habituellement de 300 m/m sur 400. L'épaisseur du cadre est

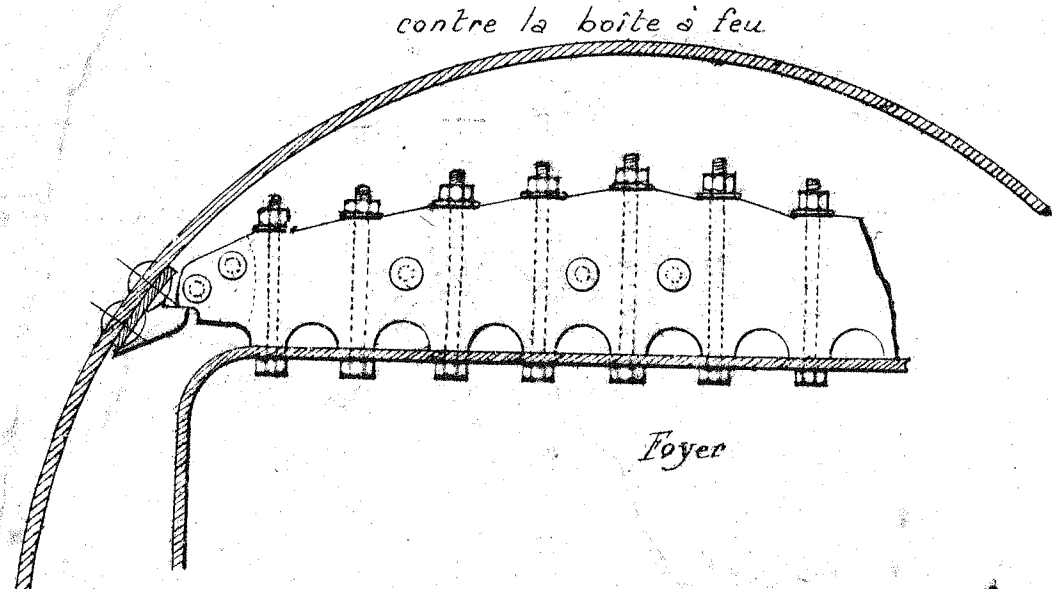
exactement celle de l'intervalle à maintenir entre les deux parois.

Les parois latérales, les parois d'avant en d'arrière sont maintenues entre elles par les entretoises, mais plusieurs dispositions différentes sont prises pour le maintien du ciel de foyer. Les pièces utilisées à cet effet sont, en général, désignées sous le nom d'armatures.

Le système d'armatures dépend du type de la boîte à feu qui peut être, soit ronde, soit carrée. Dans une boîte à feu ronde la partie supérieure forme en quelque sorte le prolongement de la partie supérieure du corps cylindrique, ce qui est favorable pour résister à la pression. On se contente alors de relier par des tirants horizontaux, les deux parties des parois correspondantes à la naissance de la demi-virole supérieure.

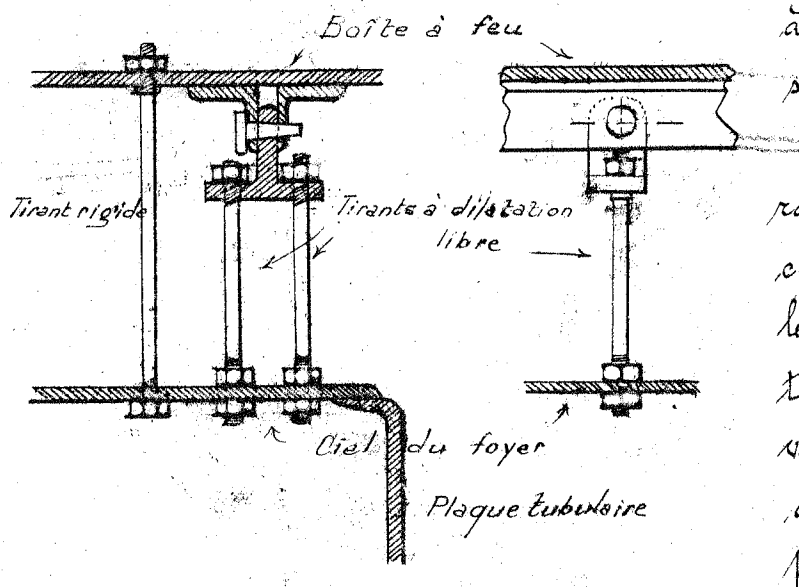
Quant au ciel, on le consolide par des poutrelles en fer appelées fermes, auxquelles on donne la forme d'un solide d'égale résistance. Ces poutrelles sont formées de deux tôles entretoisées entre elles et munies d'épaulements qui s'appuient directement sur le ciel en dans lesquels passent des boulons d'armatures qui relient le ciel solidaire des armatures. Ces armatures ou fermes se placent sur le ciel transversalement ou longitudinalement.

Ferme transversale reposant sur des consoles rivées contre la boîte à feu



Lorsqu'elles sont transversales, elles se terminent par des tasseaux qui viennent reposer sur les supports attachés à la voûte de la boîte à feu soulageant ainsi le ciel du foyer. On peut aussi supporter les armatures par des biellettes attachées au ciel de la boîte à feu.

Lorsque le ciel de la boîte à feu est plan (*foyer Belpaire*), on entretoise le ciel de boîte à feu avec le ciel de foyer à l'aide de tirants verticaux en fer ou en acier, dont les extrémités sont renflées en filetées. Les tirants se vissent dans les trous taraudés, dans le ciel de la boîte à feu et dans celui du foyer, et on les maintient à l'aide d'écrous fortement serrés.



La rigidité de ces tirants présente quelques inconvénients parce que sous les efforts dus à la dilatation, les tôles du ciel peuvent avoir une tendance à se déformer. On a essayé, pour remédier à cet inconvénient, des tirants à dilatation libre formés de deux parties qui peuvent prendre un certain jeu l'une par rapport à l'autre.

Corps cylindrique. — Le corps cylindrique est formé d'une série de viroles généralement au nombre de trois. L'une d'elles est découpée dans sa partie supérieure pour former une ouverture sur laquelle est placé le dôme.

Le but du dôme est de permettre de prendre la vapeur en un point où elle est le plus sèche. Généralement le dôme est surmonté d'une cuvette sur laquelle sont placées les soupapes de sûreté.

Le corps cylindrique est fermé à l'avant par la plaque

tubulaire de boîte à fumée, en il se prolonge par une virole qui forme la boîte à fumée, c'est-à-dire l'enceinte où viennent se réunir les gaz de la combustion avant d'être chassés dans la cheminée par l'échappement. Le diamètre du corps cylindrique est fonction de la puissance que l'on veut donner à la machine, mais il ne peut dépasser une certaine limite qui est fixée par les conditions générales d'établissement de la machine et par le gabarit. Sur les machines à grande vitesse à roues de plus de deux mètres, il doit être compris entre les roues dont l'écartement est fixé à 1 m. 365.

Pour augmenter ce diamètre, il faut surélever la chaudière, mais là encore, on est limité par la hauteur de la cheminée au-dessus du rail qui ne doit pas dépasser 4 m. 300.

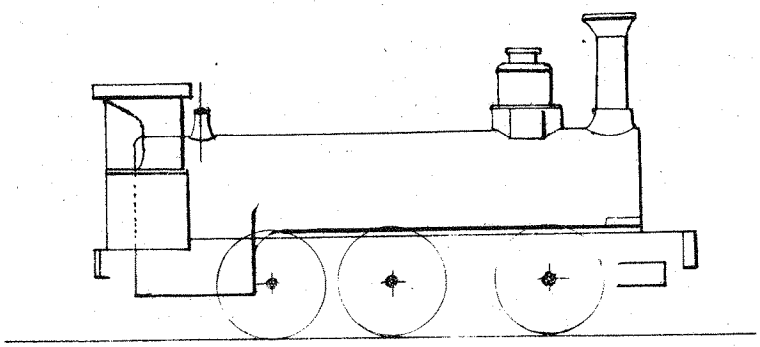
Sur les machines à marchandises dont les roues sont plus petites, 1 m 30 de diamètre par exemple, on a plus de latitude pour donner un plus grand développement à la chaudière ; on atteint 1 m 600 de diamètre, tandis que le diamètre du corps cylindrique des machines à voyageurs dépasse 1 m 400.

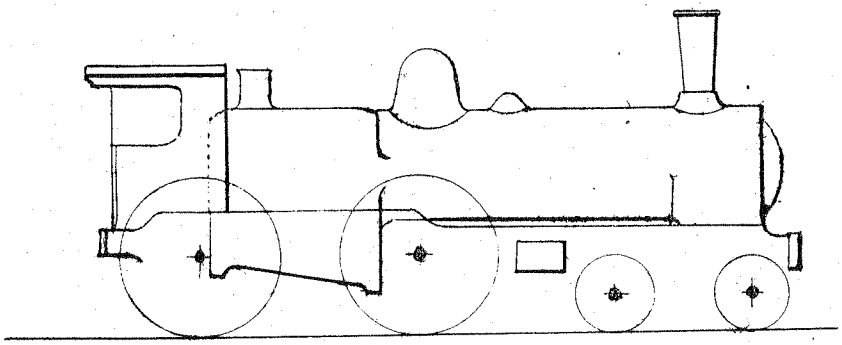
En Amérique, les chaudières sont beaucoup plus élevées au-dessus du rail ; l'axe en est souvent à 2 m 70. Il s'ensuit que, même pour des machines à voyageurs, le diamètre du corps cylindrique peut atteindre 1 m 60 ; pour les machines à marchandises, il peut aller jusqu'à 2 mètres.

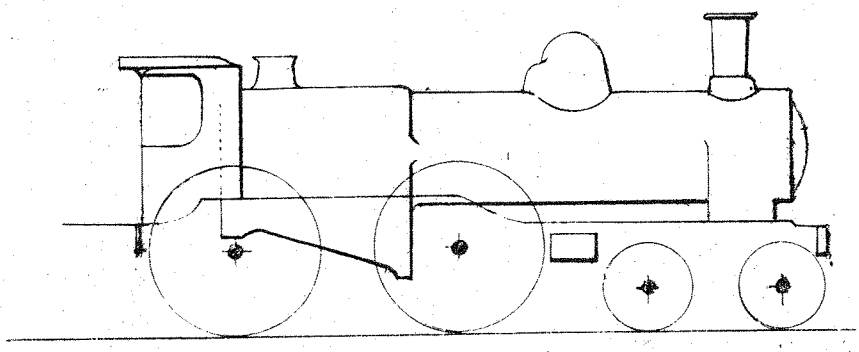
Position relative du foyer et des essieux. — La boîte à feu descend plus bas que le corps cylindrique ; cette saillie de la boîte à feu vers le bas est plus ou moins grande, suivant que le foyer est profond ou aplati. Dans tous les cas, la nécessité de loger cette partie inférieure de la boîte à feu peut entraîner une modification dans l'établissement de la machine en ce qui concerne l'écartement des essieux.

Prenons par exemple, le cas d'une machine à 3 essieux.

Si la chaudière est à foyer profond en que la machine soit destinée à des services peu rapides, on place les essieux sous le corps cylindrique et on dispose le foyer en porte à faux à l'arrière (type 1). La stabilité n'est pas satisfaisante ; l'essieu d'arrière est trop chargé, celui d'avant ne l'est pas assez ; pour corriger ce défaut, on place les cylindres très en avant ou même dans certains cas, on surcharge la traverse d'avant. On obtient une meilleure stabilité et on évite le porte à faux en plaçant le foyer entre les deux essieux accouplés arrière (type 2) ; dans ce cas, l'essieu d'arrière est quelquefois insuffisamment chargé et l'essieu d'avant l'est, au contraire, trop. On peut corriger ce défaut en remplaçant l'essieu d'avant par un bogie. Cette disposition ne permet pas de donner au foyer une longueur bien considérable, car cette longueur ne peut dépasser celle qui est admise pour les bielles d'accouplement.







Si l'on veut allonger le foyer sans écarter les essieux outre mesure, on est amené à renoncer au foyer profond et à faire passer le cadre par dessus l'essieu d'arrière

(type 3). En surélevant l'axe de la chaudière en en inclinant, d'autre part, le cadre du foyer, vers le bas à l'avant, on donne au foyer une profondeur suffisante pour assurer une bonne combustion. C'est le type du foyer Belpaire qui est actuellement très répandu.

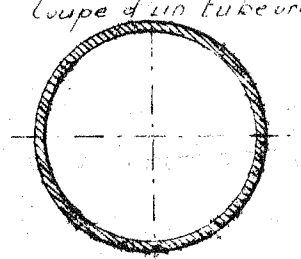
Comme on ne peut allonger indéfiniment le foyer, on peut encore l'élargir, pour accroître la puissance de la chaudière. L'écartement des longerons étant limité, on est alors obligé de remonter la chaudière et de placer le cadre au dessus des longerons.

Cette disposition est adoptée sur quelques machines européennes et sur nombre de machines américaines. On a même, dans certains cas, fait déborder le cadre au-dessus des roues.

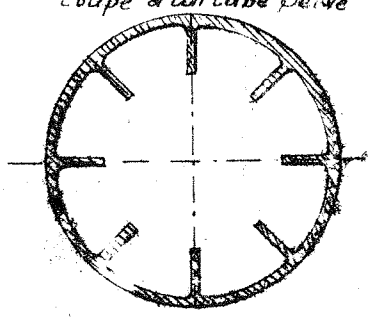
Tubes — Les gaz chauds passent du foyer dans la boîte à fumée en traversant l'eau enfermée dans le corps cylindrique à travers des tubes en laiton ou en acier.

La longueur des tubes dépend de l'écartement des deux plaques : plaque tubulaire et plaque de boîte à fumée, et leur nombre varie avec le diamètre qu'on leur donne. Il y a, dans une certaine mesure, intérêt le nombre de tubes, de façon à augmenter la surface de chauffe ; d'autre part, on ne peut pas trop rapprocher les tubes les uns des autres sans craindre de compromettre la solidité de la plaque tubulaire. Enfin les tubes doivent être de diamètre suffisant pour permettre le passage des gaz et ne pas se boucher trop facilement par la suie qui peut s'y déposer.

Coupe d'un tube ordinaire



Coupe d'un tube Serve



Jadis, les tubes se faisaient toujours en laiton ; depuis une vingtaine d'années, on a eu tendance à substituer partout les tubes en acier sans soudure aux tubes en laiton. Depuis quelques années

on a employé un nouveau type de tubes appelés tubes Serve qui présentent à l'intérieur des ailettes venues de laminage avec le tube ayant à l'intérieur une saillie de 11 à 12 m/m, on augmente la surface de chauffe en contact avec les gaz chauds. L'expérience a montré que les tubes à ailettes permettent d'obtenir une même production de vapeur que les tubes lisses beaucoup plus longs, et, par conséquent, d'accroître la puissance des machines, sans augmenter sensiblement leur poids. On doit faire le ramonage de ces tubes Serve avec un jet de vapeur, alors qu'on passe simplement une tringle dans les tubes lisses.

Des essais faits sur la Compagnie du Nord ont montré que les tubes Serve donnent, par rapport aux tubes lisses, une augmentation moyenne de vaporisation, par kilogramme de combustible, de 4,5 % avec le tirage naturel, et de 21 %, avec 30 m/m de dépression dans la boîte à fumée.

Le diamètre des tubes lisses varie de 45 à 55 m/m; le diamètre des tubes Serve a habituellement 65 ou 70 m/m.

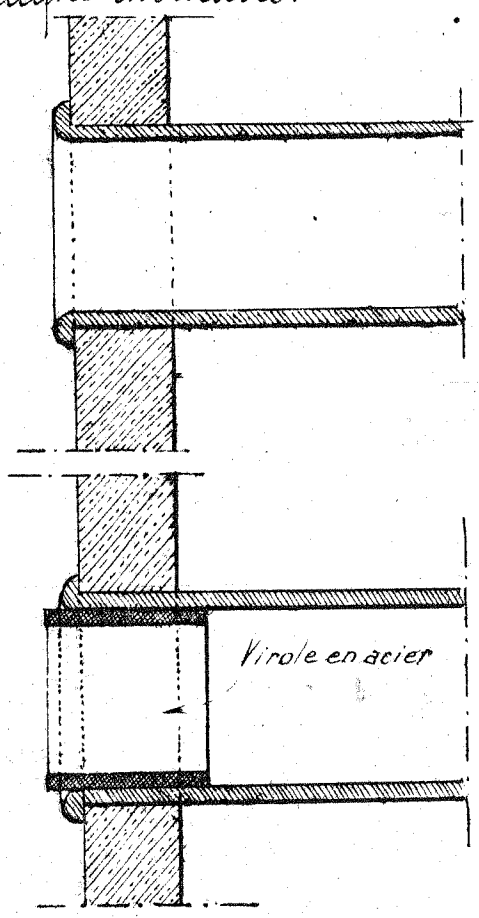
Le nombre des tubes est, proportionnellement, pour les tubes lisses, de 180 à 200, et pour les tubes Serve d'environ 100. Malgré cette réduction du nombre des tubes, la surface de chauffe obtenue avec les tubes Serve est beaucoup plus considérable. On peut citer, à titre d'exemple, les machines à grande vitesse du Nord sur lesquelles on a fait des essais comparatifs. Les dimensions des tubes et la surface de chauffe sont résumées dans le tableau ci-dessous:

Machines à grande vitesse (longueur des tubes 3m,500)

	Tubes lisses	Tubes Serve
Diamètre intérieur	45	70
Nombre	201	96
Surface de chauffe	88,38	129
Section de passage	0,251	0,290
Surface des tubes baignée par l'eau	100	74,23
Surface de la grille	2,31	2,31

Les tubes sont maintenus en place, par simple serrage, dans les trous des plaques tubes tubulaires. Le diamètre des trous de la plaque de boîte à fumée est un peu plus grand que celui des trous de la plaque de foyer en l'extrémité du tube côté foyer est, à cet effet, un peu rétréci.

Quand le tube est mis en place, on effectue un serrage à l'aide d'un "dudgeon", appareil qui appuie la paroi du tube contre la paroi du trou, de façon à les faire bien coller l'une contre l'autre et à éviter le suintement par le pourtour du tube. Malgré tout le soin apporté à ce travail, il arrive assez fréquemment, en cours de route, qu'un ou plusieurs tubes se lâchent, et qu'il se produise une fuite sur le pourtour de ces tubes sous l'effet d'une dilatation exagérée ; on est alors obligé de les dudgeonner de nouveau. Ces pertes aux tubes sont le plus souvent la conséquence d'une mauvaise conduite du feu et d'un refroidissement brusque de la plaque tubulaire.



Le serrage des tubes dans la plaque, ou mandrinage, ou dudgeonnage demande un peu plus de soins avec les tubes Serve qu'avec les tubes lisses.

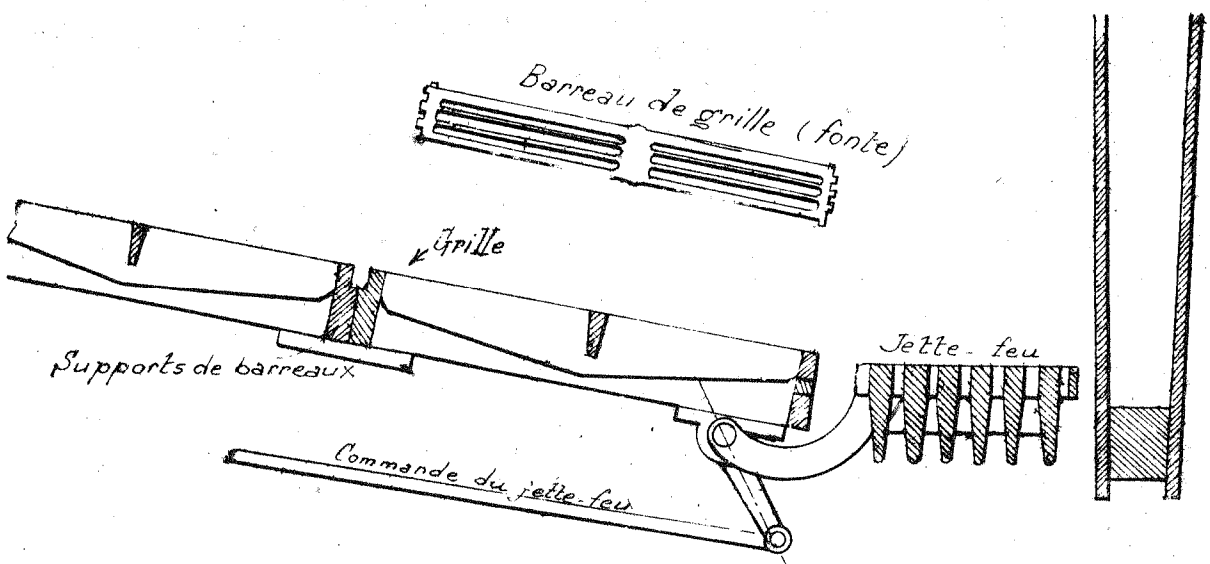
Pour assurer plus complètement leur fixité dans la plaque, on a recours fréquemment au bordage des tubes, cette opération consiste à rabattre le bord extrême du tube, de façon à former un bourrelet circulaire sur la plaque tubulaire.

On emploie aussi quelquefois des viroles en acier de forme légèrement conique, qui sont introduites dans

l'ouverture du tube pour le maintenir, mais elles ont l'inconvénient de diminuer la section de passage des gaz.

Grille — La grille est formée par des barreaux en fer ou en acier supportés au moyen de sommiers qui reposent eux-mêmes sur des tasseaux fixés sur la face inférieure du cadre de foyer. La grille peut être horizontale ou légèrement inclinée vers l'avant.

Les barreaux sont posés longitudinalement; toutefois la grille présente vers l'avant une partie mobile appelée *jette-feu*, formée de barreaux transversaux reliés à deux supports à bascule qui permettent, soit de maintenir cette partie de la grille dans



le prolongement des autres barreaux, soit de les faire basculer pour créer une ouverture par laquelle on peut faire tomber le charbon amassé sur la grille.

Le jette-feu sert, pour les nettoyages courants de la grille et, dans les cas exceptionnels, pour jeter le feu, lorsqu'on constate un commencement de fusion des plombs.

Les dimensions de la grille sont très limitées, surtout en largeur lorsqu'on est obligé de faire descendre le foyer entre les roues en les longerons.

Dans les machines dont la boîte à feu descend entre les

les essieux, la surface de grille peut varier entre 1 m² 90 et 2 m² 30.

Dans les machines où la boîte à feu est placée au-dessus de l'essieu d'arrière, la surface de grille varie entre 2 m 70 & 3 m².

Enfin, dans les machines où la boîte à feu est au dessus des roues, la surface de grille peut atteindre 7 à 8 m².

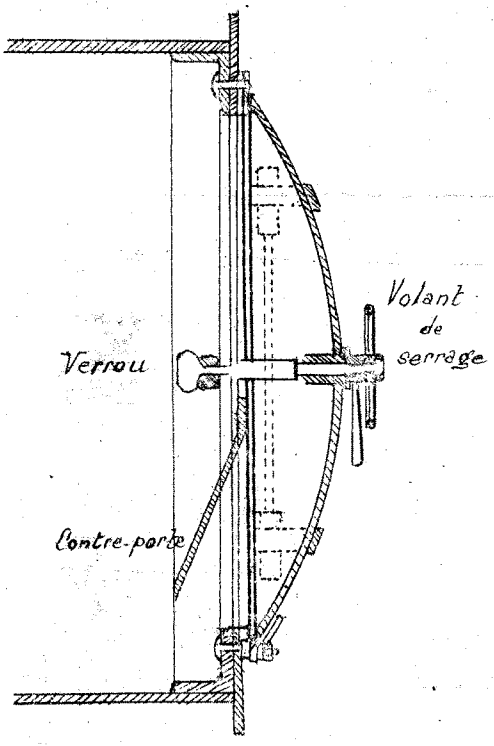
Surface de chauffe. — Une surface de chauffe de 1 m², baignée d'un côté par l'eau de la chaudière et de l'autre côté en contact avec les gaz chauds de la combustion, laisse passer pendant chaque minute une quantité de chaleur limitée et par suite, ne peut vaporiser pendant chaque minute qu'une quantité d'eau limitée qui dépend des températures de l'eau et des gaz. Ainsi, un mètre carré du foyer qui est en contact direct avec les gaz très chauds, vaporise une bien plus grande quantité d'eau qu'un mètre carré pris plus loin dans les tubes, dans une partie où les gaz qui passent sont déjà refroidis.

Des expériences ont été faites sur le Nord, pour mettre ces faits en évidence. La chaudière avait été divisée en plusieurs compartiments et on a mesuré pour chacun d'eux la puissance de vaporisation. On a trouvé que pour 100 de vapeur produite, on avait :

46,4 %	pour la	surface de chauffe directe ;
32,2 %	pour le	1er compartiment ;
13,3 %	"	2e "
7 %	"	3e "
4 %	"	4e "

On appelle surface de chauffe directe, celle du foyer, et surface de chauffe indirecte, celle des tubes.

Boîte à fumée. — Les tubes rejettent les gaz chauds dans la boîte à fumée où ils sont appelés par le tirage naturel de la cheminée ou mieux par l'aspiration énergique due à la vapeur



~~dus à la vapeur~~ d'échappement du moteur.

La porte de la boîte à fumée doit fermer hermétiquement parce que les rentrées d'air pourraient nuire au tirage en proscrivant l'inflammation des escarbilles accumulées dans la boîte. Actuellement, on ferme généralement les boîtes à fumée par une porte ronde à un seul vantail muni d'une vis de serrage qui tend à faire coller cette porte ronde sur tout son pourtour.

En France, toute boîte à fumée doit être munie d'une grille à flammèches dont les barreaux sont séparés de 10 m/m au maximum pour arrêter les fragments de charbon incandescents qui, projetés au dehors de la cheminée, peuvent provoquer des incendies au passage des trains.

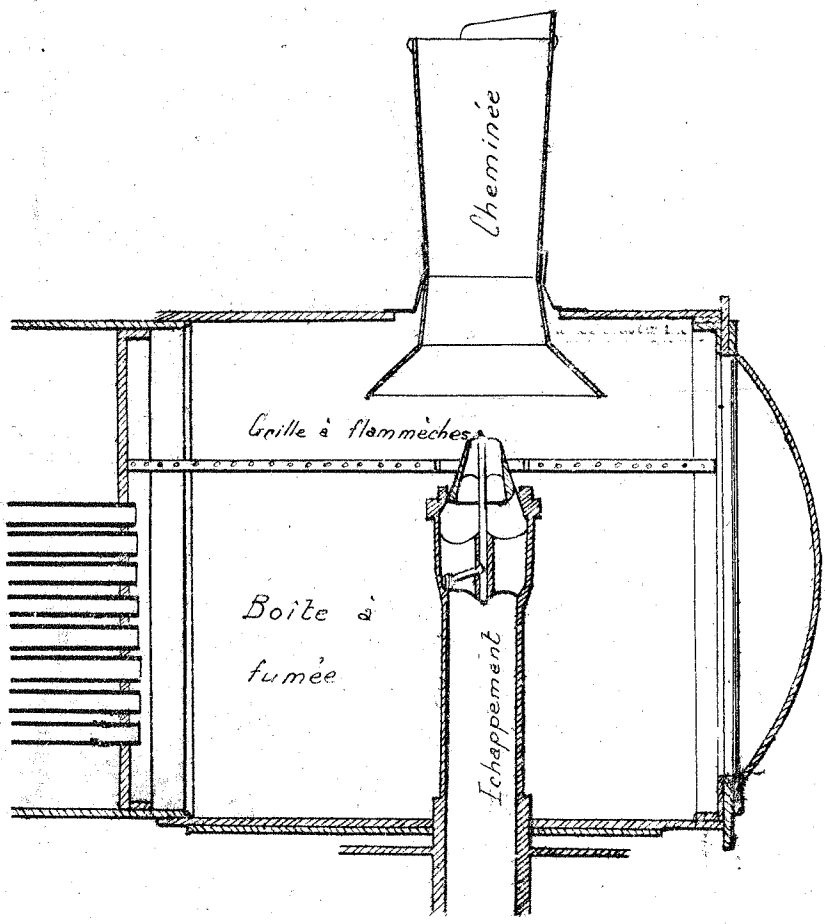
La tendance actuelle est d'augmenter la capacité des boîtes à fumée, de façon à éviter leur encombrement par les escarbilles qui y sont entraînées en cours de route.

Cheminée. — La cheminée de la locomotive est forcément courte, surtout dans les locomotives à chaudière puissante, surélevée, car il faut respecter le gabarit ; c'est un véritable éjecteur servant à produire le tirage par entraînement des gaz sous l'action du jet de l'échappement.

Les cheminées sont cylindriques ou évasées.

Les avantages comparatifs de ces deux dispositions, de même que le diamètre initial à donner à la base de la cheminée, sont encore imparfaitement déterminés.

Les cheminées se prolongent très souvent à l'intérieur de la boîte à fumée par un tronc de cône dont la grande base est à la partie inférieure. L'existence de ce cône sous lequel débouche la tuyère semble favoriser le tirage.



Nature des métaux

Les métaux employés dans la construction des chaudières sont les suivants :

Corps cylindrique, boîte à feu et dôme : fer ou acier doux ;

Foyer : cuivre ou acier ;

Entretoises de foyer : cuivre ou bronze ;

Tirants de ciel, rivets : fer ou acier ; Tubes : laiton ou acier ; Cadre : fer forgé ou acier moulé.

Jusqu'en 1890, toutes les chaudières étaient en tôle de fer. Depuis cette époque, presque toutes les Compagnies arrivent à employer de préférence les tôles d'acier.

En Amérique, on emploie depuis longtemps l'acier pour les chaudières, et on substitue également l'acier au cuivre pour la construction des foyers.

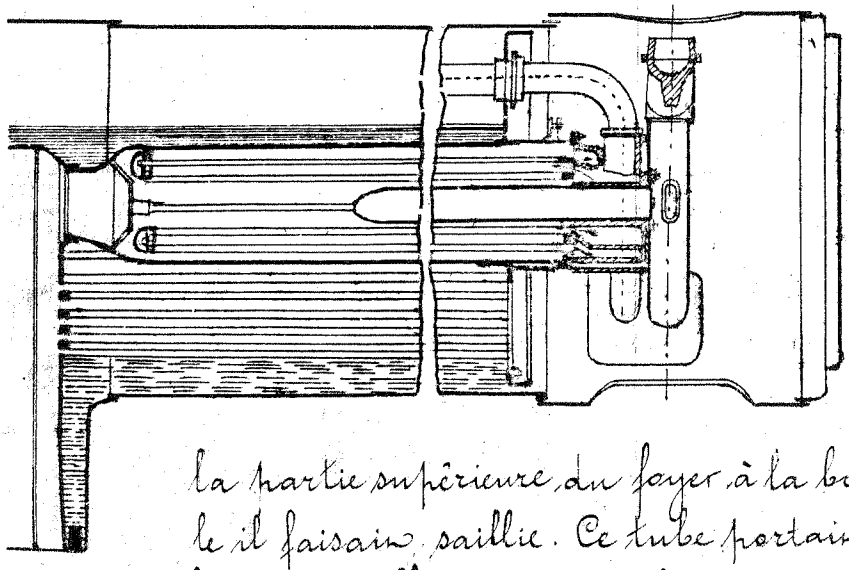
Les foyers en acier, jusqu'ici peu répandus en Europe, sont moins coûteux, mais ils sont plus sensibles à l'action des changements brusques de température et demandent plus de soins dans l'entretien.

Installations complémentaires sur les chaudières

Nous venons de donner la description des parties essentielles de la chaudière, mais l'utilisation des chaudières est complétée par l'addition de différents appareils destinés, soit à améliorer la production, soit à surveiller l'utilisation de la vapeur, soit à alimenter la chaudière.

En premier lieu, il faut citer : les surchauffeurs de vapeur, les voûtes installées dans le foyer, l'échappement ou le souffleur ; en second lieu : le régulateur, les soupapes de sûreté, le sifflet, l'indicateur de niveau d'eau ; en troisième lieu, les injecteurs et les pompes.

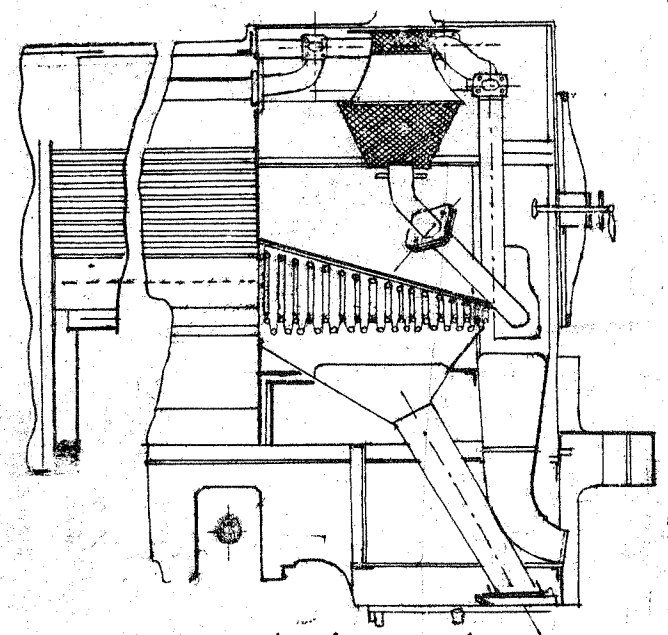
Surchauffeurs de vapeur. — La surchauffe en transformant la vapeur en une sorte de gaz parfait, contribue à diminuer son coefficient de conductibilité ou de transmissibilité de la chaleur aux parois du cylindre. Si elle ne suffit pas à empêcher les condensations, elle les retarde, les diminue et procure ainsi une notable économie de combustible.



Surchauffeur Schmidt (1er type) — Appliqué en 1898 à 2 locomotives à 4 roues accouplées, ce surchauffeur était logé dans un gros tube de 0,45 de diamètre, qui reliait la partie supérieure du foyer à la boîte à fumée dans laquelle il faisait saillie. Ce tube portait à son extrémité vers la boîte à fumée, 2 collecteurs annulaires, l'un de vapeur saturée alimenté par la chaudière, l'autre de vapeur surchauffée, ali-

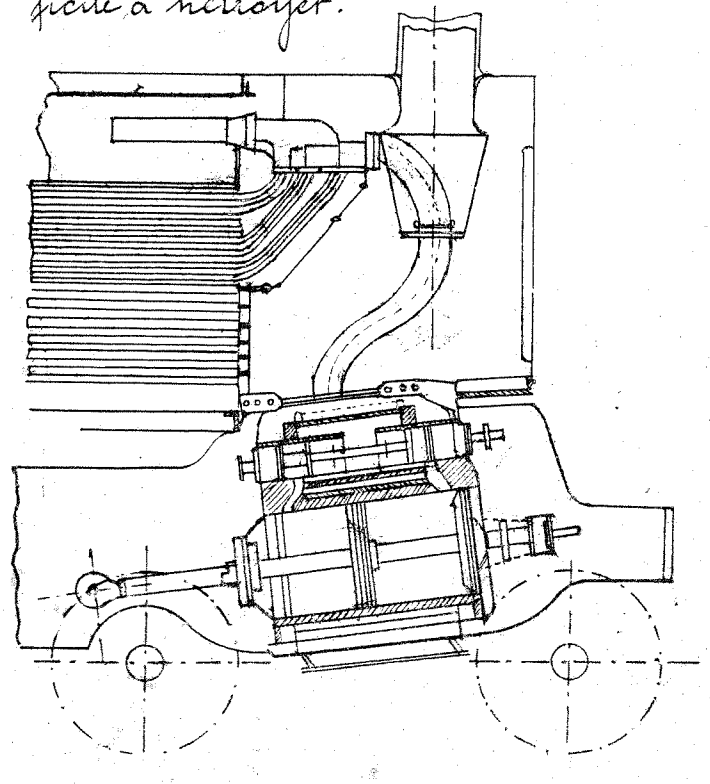
mentant les cylindres. Ces 2 collecteurs étaient mis en communication par le surchauffeur proprement dit, constitué par des tubes en U presque aussi longs que le tube enveloppe dans lequel ils étaient placés, de manière à former un faisceau annulaire. Ces tubes étaient formés de parties droites vissées dans une calotte en acier moulé. Un noyau cylindrique placé dans l'axe du faisceau obligeait les gaz chauds à circuler dans le voisinage des éléments surchauffeurs. Enfin, ces gaz s'échappaient dans la boîte à fumée par des ouvertures latérales pratiquées dans la partie en saillie du gros tube en qu'un registre annulaire permettait de fermer plus ou moins. Quoique ce gros tube fût d'un plus petit diamètre vers le foyer, l'arrière des éléments surchauffeurs se brûlait rapidement en les joints des petits tubes dans les calottes laissaient beaucoup à désirer. De plus, l'appareil se remplissait d'escarbilles difficiles à retirer et qui en empêchaient le bon fonctionnement.

Surchauffeur Schmidt (2e type). — Pour mettre le surchauffeur à l'abri des coups de feu, M. Schmidt le transporta dans la boîte à fumée. Le gros tube est conservé, mais il est placé à la partie inférieure du corps cylindrique et son diamètre est réduit à 0 m 30, car il ne sert plus qu'à amener les gaz chauds. 2 collecteurs de vapeur de forme allongée, disposés suivant des



génératrices de la boîte à fumée sont placés l'un à gauche, l'autre à droite de la cheminée. Ils sont réunis par une soixantaine de tubes surchauffeurs de 0,30 de diamètre disposés concentriquement à

l'enveloppe de la boîte à fumée. L'un des collecteurs est divisé par une cloison transversale médiane en deux compartiments. Celui d'arrière communique avec la chaudière, et l'autre avec les cylindres. La vapeur saturée admise dans le compartiment arrière parcourt d'abord dans un sens la moitié des tubes surchauffeurs pour se rendre dans l'autre collecteur, puis ainsi surchauffée, elle revient dans le compartiment avant du 1er collecteur en parcourant dans l'autre sens la seconde moitié des tubes surchauffeurs. Une enveloppe générale qui recouvre tout le faisceau oblige les gaz amenés par le gros tube à chauffer les petits tubes. Le réglage de la surchauffe est obtenu à l'aide d'un registre permettant d'ouvrir plus ou moins les ouvertures par lesquelles les gaz s'échappent de l'enveloppe générale dans la boîte à fumée. L'emploi de ce surchauffeur est général en Allemagne. Des inconvénients résident dans la difficulté de tenir étanche le joint du tube adducteur avec la plaque tubulaire de foyer et dans les sertissages des petits tubes sur les collecteurs. De plus, ce surchauffeur encombre la boîte à fumée dans il masque la plaque tubulaire, et il est difficile à nettoyer.

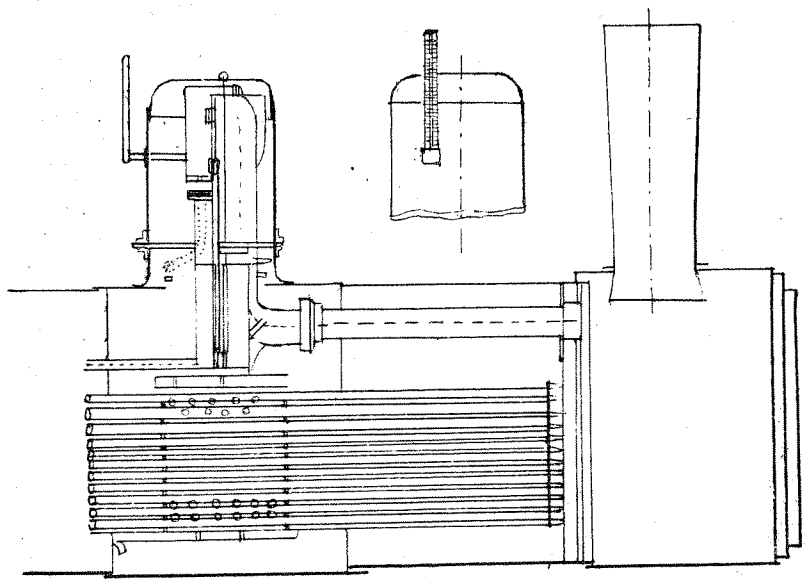


Surchauffeur Schmidt

(3e type). — Dans ce 3e type on est revenu à l'emploi des tubes en U mais en les répartissant dans 20 à 25 tubes à fumée de gros diamètre (127 à 130 m/m) formant les 3 rangées supérieures du faisceau tubulaire. Dans chacun de ces tubes, il y a deux tubes en U. Ceux-ci sont tous infléchis à l'avant pour aboutir

à 2 collecteurs l'un de vapeur saturée l'autre de vapeur surchauffée qu'ils font communiquer entre eux. Cette partie, infléchie des tubes est enfermée dans une boîte métallique dont le plafond est constitué par les collecteurs et dont la paroi antérieure est formée de persiennes mobiles permettant de régler l'arrivée des gaz chauds par les tubes. Les tubes surchauffeurs sont sensiblement moins longs que les tubes à fumée, ce qui les expose moins aux coups de feu. Avec ce système, on obtient couramment pour la température de la vapeur, 300 à 350°. C'est le type le plus répandu en Belgique. Les surchauffeurs Kotkin, Cole et Schnectady ne sont que trois variantes du précédent.

Surchauffeur Pielock. — C'est un type complètement différent des précédents.



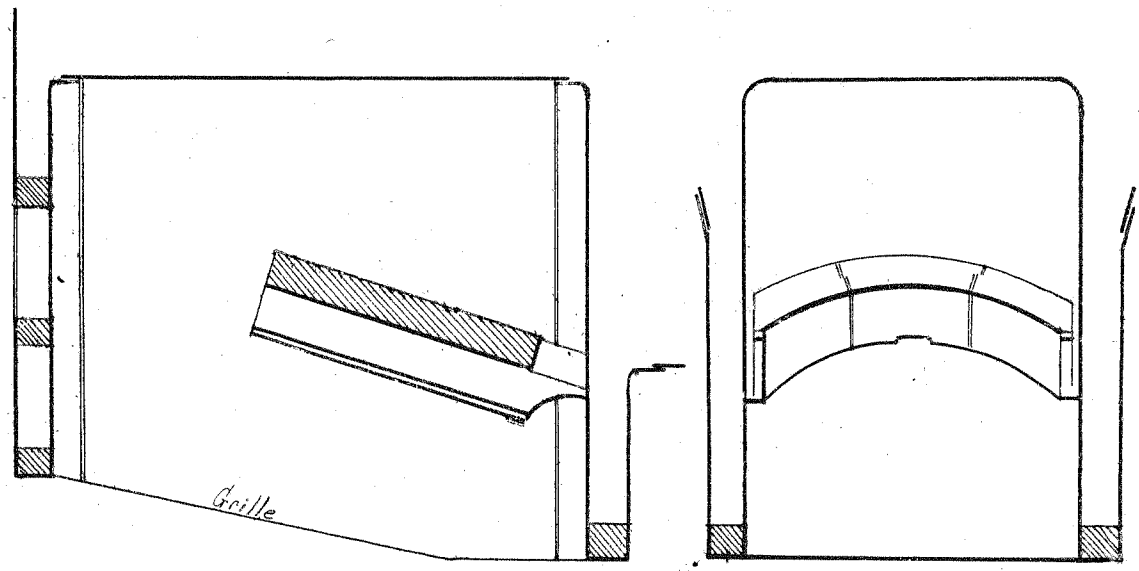
Il se compose d'une caisse étanche placée dans le corps cylindrique. Deux des faces opposées sont traversées par tout le faisceau tubulaire. Cette caisse est surmontée de 2 tuyaux verticaux dont l'un débouche librement dans le dôme, tandis que l'autre, qui porte le régulateur conduit la vapeur au cylindre. Des chicanes en tôle mince obligent la vapeur à suivre dans le surchauffeur un trajet sinusoïdal.

De nombreux essais ont été faits en Allemagne, en Belgique en Amérique et quelques uns en France. Les résultats sont assez dis

cordants, mais, d'une façon générale, on peut admettre en faveur de la surchauffe, une économie de 15 à 20 % d'eau sur les machines à vapeur saturée, Compound ou non et une économie de charbon qui est d'environ 15 % par rapport aux machines à simple expansion et de 5 % par rapport aux Compound. On a de plus observé que les locomotives à vapeur surchauffée se faisaient remarquer par un démarrage plus rapide que celui des Compound et par un fonctionnement plus doux et enfin qu'elles pouvaient donner des coups de collier plus intenses que les locomotives à vapeur saturée.

Voûtes — L'usage d'une voûte en briques dans les foyers de locomotives, général en Angleterre depuis longtemps, s'est répandu beaucoup en France, depuis plusieurs années déjà.

Cette voûte est placée un peu au-dessous du faisceau tubulaire. Elle est inclinée vers l'avant en tiers, au maximum, la moitié



Voute en briques réfractaires

de la longueur du foyer. Elle a pour but d'assurer une meilleure combustion, en permettant à l'air de se mélanger plus intimement au gaz, en une meilleure utilisation de la chaleur, en obligeant les produits gazeux à revenir vers l'arrière, au lieu de s'engager

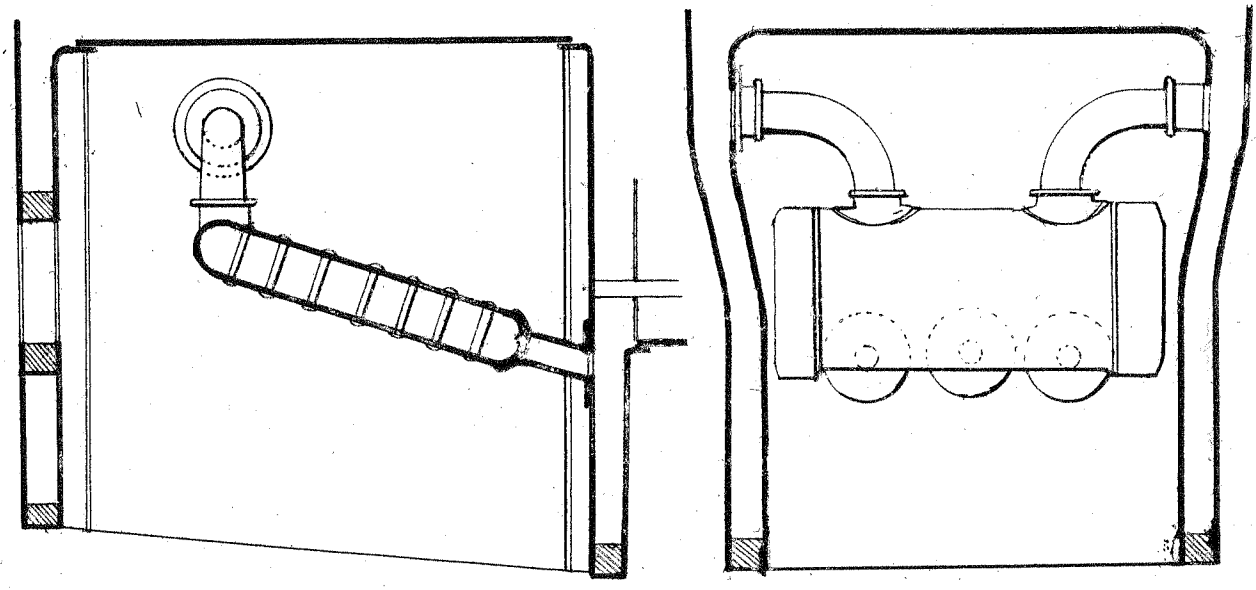
directement dans les tubes.

En outre, la voûte en briques emmagasine de la chaleur et la restitue par rayonnement, elle préserve la plaque tubulaire des coups d'air froid qui provoquent des pertes aux tubes, et elle ralentit le refroidissement lorsqu'on met la machine en stationnement.

Les voûtes se construisent en briques de dimensions courantes, ou mieux en briques spéciales moulées d'après la forme du foyer ; l'économie de combustible réalisée par l'addition d'une voûte peut être évaluée à 5 ou 7 %.

Bouilleur TenBrinck. — Bien avant l'emploi de la voûte en briques, la Compagnie d'Orléans avait généralisé sur ses locomotives, l'usage d'un bouilleur dans le foyer.

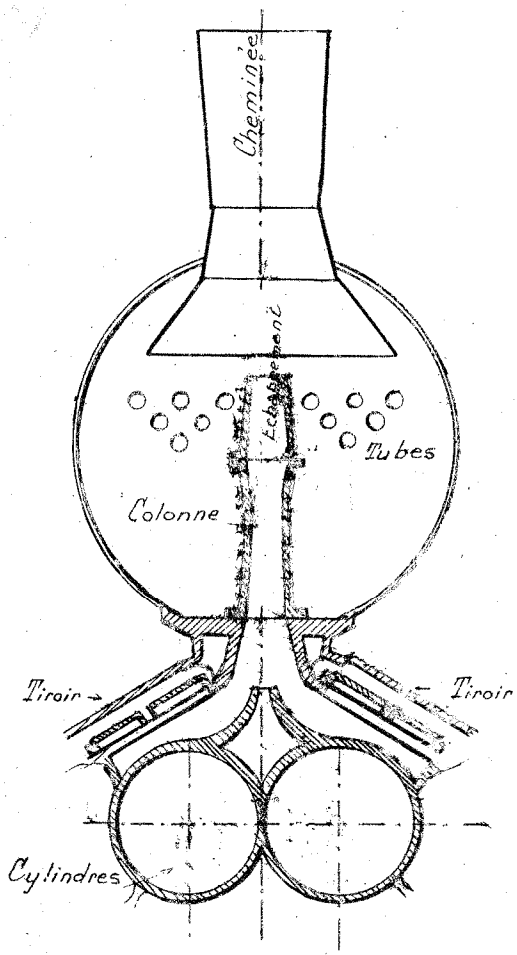
Ces bouilleurs tiennent la place d'une voûte en briques, en ont la forme d'une caisse constituée par deux feuilles parallèles en cuivre réunies par des bords emboutis ou par des entretoises. Cette caisse communique avec la chaudière par deux ou trois tubulures inférieures et par deux tubulures supérieures.



L'eau fortement chauffée dans le bouilleur s'élève par les tubulures supérieures ; il se produit une circulation active et, d'autre

parce le bouilleur produit l'effet d'une voûte, mais d'un poids et d'un prix élevés il nécessite des réparations fréquentes; c'est ce qui en limite la généralisation.

Echappement. — On désigne souvent sous le nom d'échappement, l'ensemble des appareils qui servent à faire rejeter, par la cheminée, la vapeur ayant agi dans les cylindres.



L'échappement est habituellement constitué par une colonne en fonte ou en cuivre installée dans la boîte à fumée. A la partie inférieure de cette colonne aboutissent les tubulures d'échappement des cylindres, en la partie supérieure se termine par une tête, ou tuyère par laquelle s'échappe la vapeur. Le centre de la tuyère d'échappement doit être exactement sous l'axe de la cheminée; le sommet de la tuyère ne doit pas s'élever trop haut dans la boîte à fumée, il ne doit pas dépasser que très peu le niveau de la rangée supérieure des tubes.

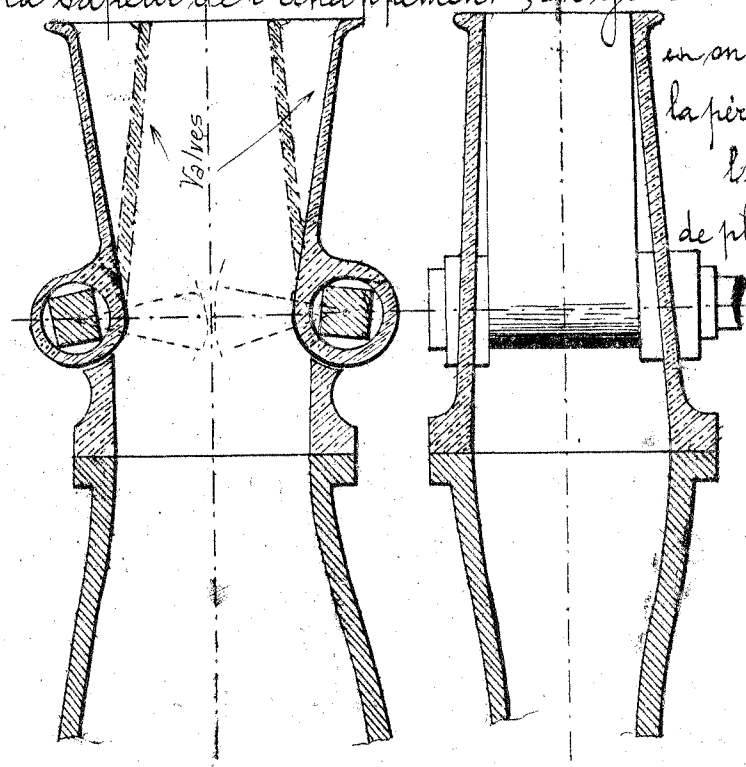
Le but de l'échappement est de créer une dépression dans la boîte à fumée et, par suite, d'activer la combustion du charbon sur la grille. L'échappement sera plus ou moins actif selon que la quantité de vapeur rejetée par les cylindres à chaque tour de roues, sera plus ou moins grande, et surtout à une plus ou moins haute pression.

D'autre part, pour une même quantité de vapeur à une même pression, l'effet de l'échappement sera plus ou moins grand, suivant

que l'orifice de la tuyère sera plus étroit ou plus large.

En général, plus le travail à demander à la locomotive est considérable, plus la quantité de vapeur dépensée dans les cylindres est grande, et plus l'échappement est actif ; toutefois, cet excès de tirage au moment où la machine doit donner son plus grand effort n'étant pas toujours nécessaire on a recours à différents dispositifs pour réaliser ce que l'on appelle l'échappement variable.

Le type le plus répandu en France présente une tuyère limitée par deux valves mobiles qui s'ouvrent ou se ferment symétriquement à la volonté du mécanicien. Ce dernier peut donc activer la combustion en serrant l'échappement, c'est-à-dire en réduisant la section de la tuyère et en augmentant la vitesse du jet de vapeur qui entraîne les gaz du foyer. Mais le système comporte un inconvénient. Si l'on réduit trop la section de passage ouverte à la vapeur de l'échappement, on gêne l'expulsion de cette vapeur, on augmente la contre pression pendant la période d'échappement ; on retarde ainsi à l'utilisation de la vapeur dans les cylindres de plus, on provoque des entraînements de combustible dans la boîte à fumée.

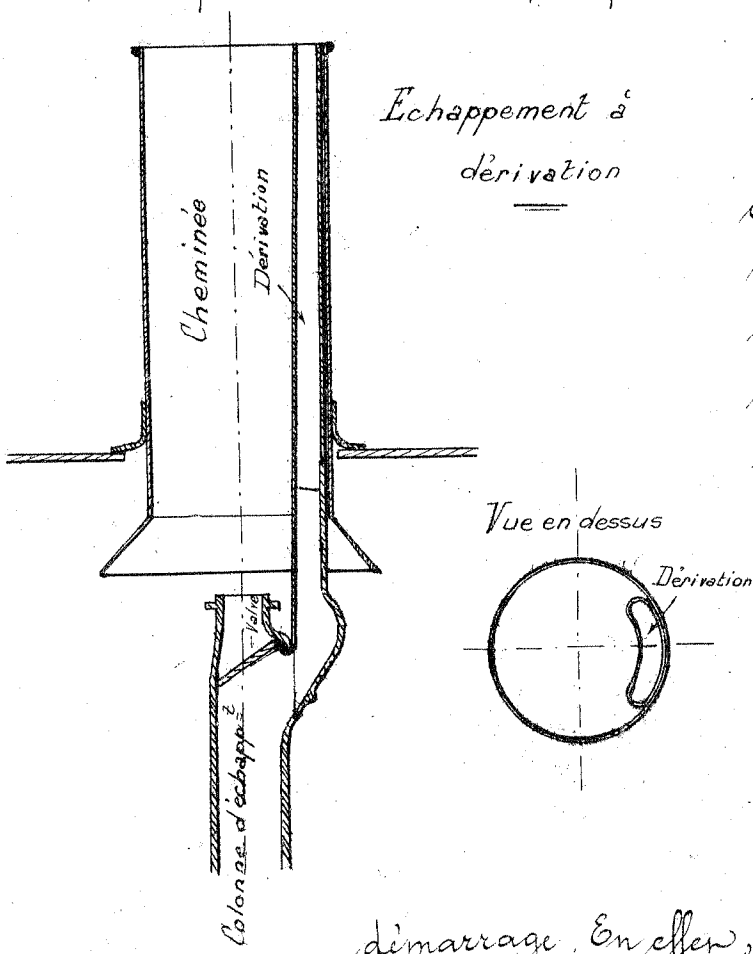


Echappement variable à valve

On donne quelquefois à la tuyère d'échappement une forme annulaire ; la vapeur sort par un anneau compris entre deux tuyères concentriques et les gaz sont aspirés à l'intérieur et à l'extérieur de la

nappe de vapeur.

On emploie quelquefois aussi l'échappement à dérivation ; c'est un échappement généralement de forme annulaire, dans on règle l'ouverture pour un tirage énergique, mais en dessous de la tête d'échappement, on fait partir de la colonne d'échappement un tuyau de dérivation qui s'élève à l'intérieur de la cheminée en par lequel, sous l'action d'une valve, on peut faire échapper tout ou partie de la vapeur sans la faire passer par l'ouverture circulaire de la tête d'échappement et par suite sans produire aucun effet pour le tirage.



Échappement à dérivation

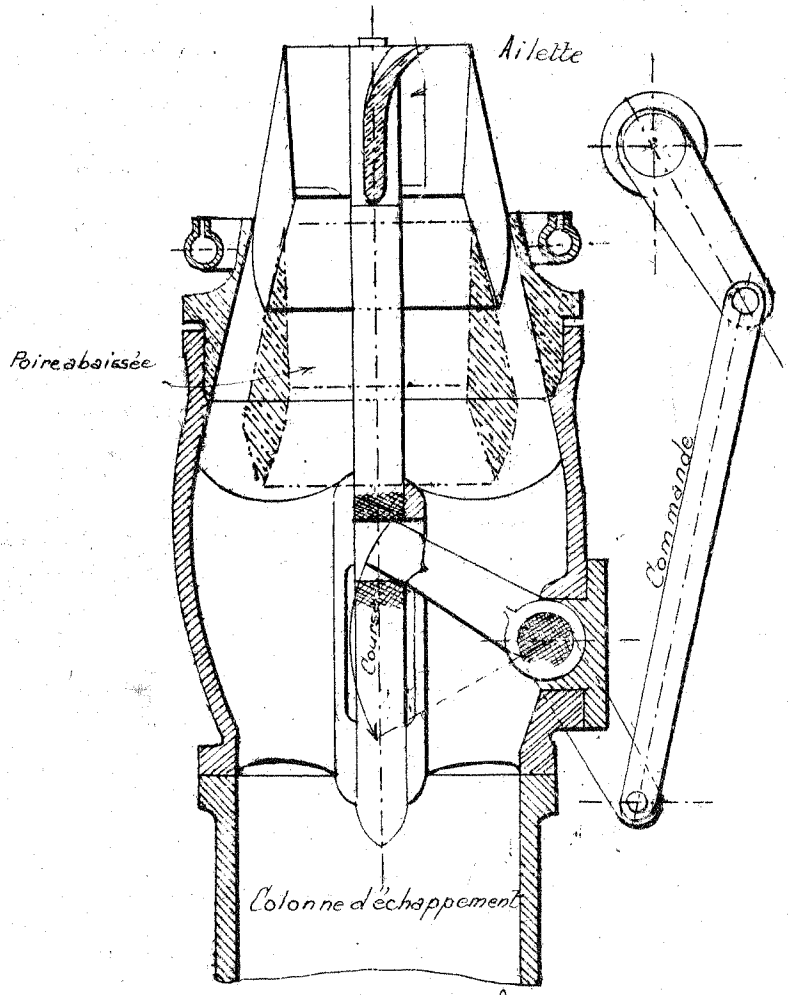
Cet échappement à dérivation constitue donc un véritable échappement variable, (~~mais l'intensité de l'échappement variable~~), mais l'intensité de l'échappement est réglée, non plus par les dimensions de la tuyère d'échappement, mais bien par la quantité de vapeur que l'on fait passer par cette tuyère.

L'échappement à dérivation présente un grand avantage au moment du démarrage. En effet, lorsqu'un train démarre, l'admission dans les cylindres étant considérable, la vapeur qui est rejetée par les cylindres produit dans l'échappement un tirage très énergique qui est, à ce moment, presque toujours nuisible à la conduite du feu en produisant un entraînement inutile de com-

buotible à travers les tubes.

On peut citer enfin, l'échappement hélicoïdal ou échappement à poire, employé depuis quelque temps sur les machines du Nord.

C'est un échappement circulaire qui peut être obstrué dans sa partie centrale par une pièce présentant vaguement la forme d'une poire, et dont la hauteur dans la colonne d'échappement peut être réglée à la volonté du mécanicien. La poire laisse entre elle et l'orifice de la colonne d'échappement une ouverture annulaire qu'on peut faire varier depuis sa valeur maxima jusqu'à zéro.



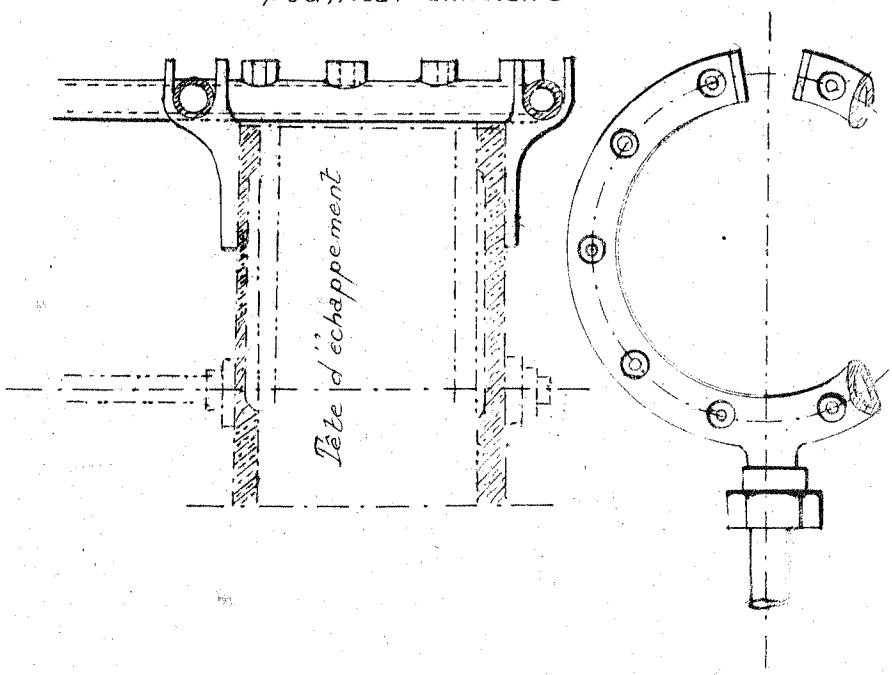
Dans sa position la plus élevée, l'ouverture annulaire est, en effet, complètement fermée. La poire elle-même est percée d'ouvertures qui livrent passage à la vapeur d'échappement. Quand l'échappement est serré à fond, la vapeur ne passe que par les ouvertures de la poire ; quand, au contraire, l'échappement est desserré, la vapeur passe, en outre, par l'ouverture annulaire.

Mais le point le plus intéressant de cet appareil est la disposition des ouvertures pratiquées dans la poire ; elles sont séparées les unes des autres par des cloisons affectant une forme héli-

coïdale. Le passage dans ces ouvertures hélicoïdales imprime au courant de vapeur un mouvement de tourbillon tel, que la vapeur balaie en quelque sorte, la cheminée sur l'ensemble de la section, ce qui amène une dépression à la fois plus forte et plus uniforme dans la boîte à fumée.

Souffleur. — Si l'échappement est un moyen très efficace pour activer le tirage pendant la marche normale de la machine, son effet est annulé dès que la machine est arrêtée ou même dès que l'admission de vapeur dans les cylindres est interrompue. Or, il est nécessaire de pouvoir activer le feu pendant les stationnements, avant le départ, et aussi lorsque la machine avance, par la gravité, dans les descentes.

Souffleur annulaire



Le souffleur n'est autre chose qu'un tuyau débouchant à la base de la cheminée et permettant d'y envoyer un jet de vapeur pris directement dans la chaudière. Il est habituellement constitué par un anneau percé de trous placé immédiatement au-dessus de la tuyère d'échappement, dans l'axe de la cheminée.

On emploie aussi des souffleurs qui lancent un jet unique suivant cet axe, mais le souffleur en anneau est préférable, parce qu'il projette une série de petits jets qui produisent un tirage

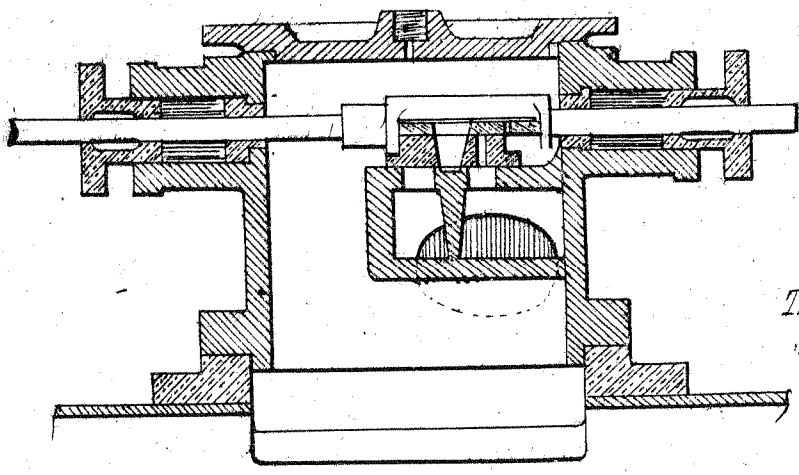
plus régulier et moins bruyant.

Le souffleur est aussi utilisé, dans les stationnements, comme appareil fumivore ; il suffit de l'ouvrir pour faire disparaître la production de fumée noirâtre qui salit les gares et incommode les voyageurs, pendant le stationnement des machines sous les halles.

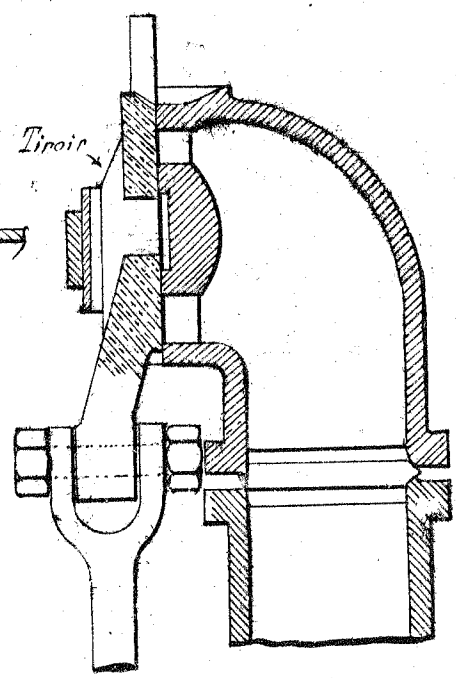
Régulateurs. — L'appareil qui sert à prendre la vapeur dans la chaudière pour l'amener aux cylindres s'appelle régulateur.

Le régulateur est placé généralement à la partie supérieure du corps cylindrique et est destiné à offrir, à la volonté du mécanicien, un passage plus ou moins grand pour la vapeur se rendant aux cylindres par les tuyaux d'admission.

Régulateur à deux tiroirs avec contre-tige



Régulateur à un tiroir placé dans le dôme



Le régulateur est constitué le plus souvent par un tiroir en bronze ; ce tiroir, placé à l'intérieur de la chaudière, peut être déplacé sur une table dans laquelle est pratiquée une lumière de 90 à 100 cm². La pression de la vapeur dans la chaudière fait coller le tiroir sur cette table. Ce tiroir est commandé par une tringle et une manette placées sur la plate-forme du mécanicien. Suivant la position que l'on fait occuper à la manette, le tiroir ferme

la lumière en ne laisse pas de passage à la vapeur, ou bien il découvre plus ou moins cette lumière.

Assez fréquemment le régulateur est composé de deux tiroirs superposés. Quand on manœuvre la manette du régulateur, on déplace d'abord un petit tiroir qui découvre une ouverture de petites dimensions 9 cm² au plus ; en continuant la manœuvre, on entraîne le grand tiroir. Cette disposition permet d'éviter les à-coups dans les démarrages et dans les manœuvres.

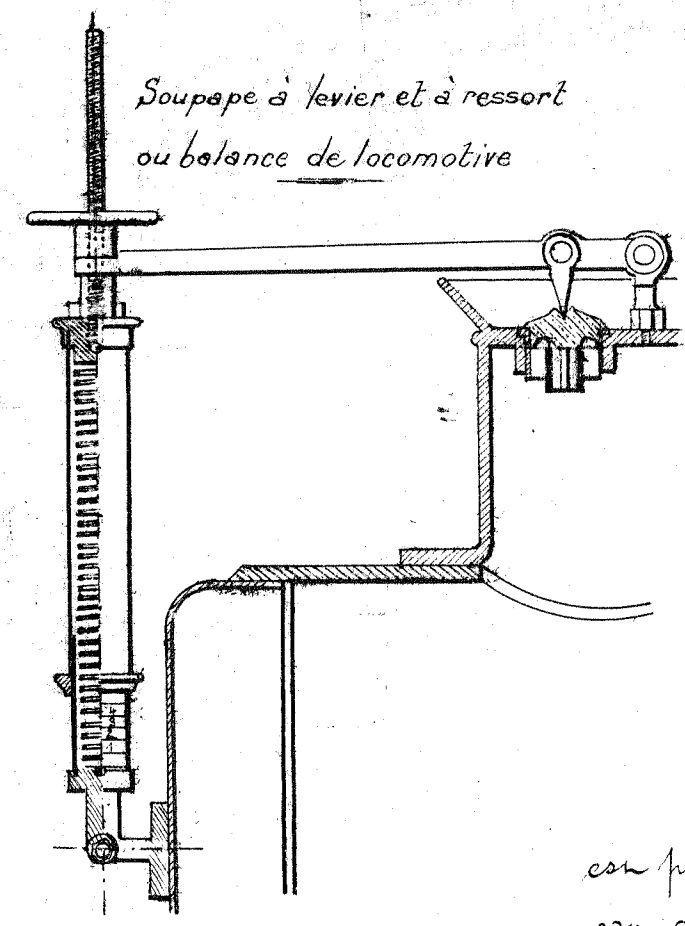
Les régulateurs peuvent être extérieurs ou intérieurs. Quand ils sont extérieurs, ils sont montés dans une boîte en fonte placée sur la chaudière. Le régulateur est facile à visiter. Cette disposition est commode ; mais on lui reproche de faire passer les tuyaux d'admission de vapeur à l'extérieur de la chaudière, ce qui est cause d'une perte de chaleur par condensation.

Les régulateurs intérieurs sont placés dans le dôme avec tuyaux à l'intérieur de la chaudière ; ils sont préférables au point de vue de la condensation.

Soupapes de sûreté. — Les soupapes de sûreté sont destinées à se lever dès que la pression effective de la vapeur, par centimètre carré dans la chaudière, dépasse le chiffre indiqué sur le timbre. La soupape repose sur un siège étroit, sur lequel elle doit s'adapter bien exactement, afin de ne pas laisser fuir inutilement la vapeur. Elle est chargée par une force qui est, en kilogrammes, le produit de la multiplication du chiffre du timbre par le chiffre de centimètres carrés représentant la section d'ouverture que ferme la soupape.

Pratiquement, on charge cette soupape par l'intermédiaire d'un ressort à boudin agissant à l'extrémité d'un levier articulé sur un point fixe. Cet appareil est souvent désigné

Soupape à levier et à ressort ou balance de locomotive

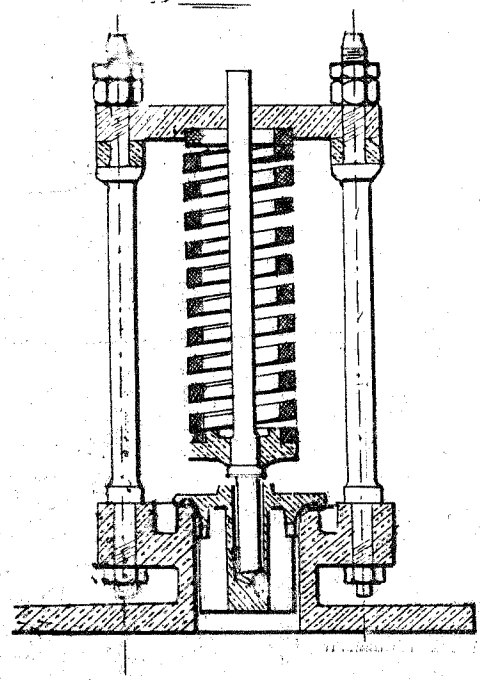


sous le nom de balance. Cette soupape a l'inconvénient de ne se lever que fort peu en la section de passage est souvent insuffisante pour donner l'assurance que la pression ne s'élèvera pas au-dessus du timbre. Le ressort est enfermé dans un tube en laiton, gradué dont les divisions correspondent aux diverses tensions que l'on peut donner au ressort à l'aide de l'écrou de réglage.

En stationnement prolongé, il est prescrit de desserrer les écrous de façon que les soupapes se lèvent à une pression inférieure à celle du timbre.

On emploie aussi un autre système de soupape appelée soupape Adam's ou à charge directe.

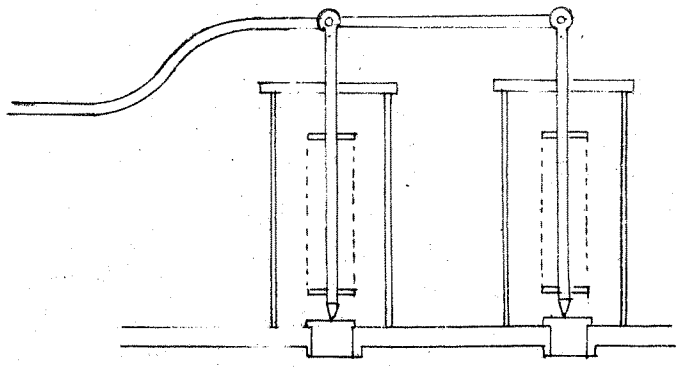
Soupape Adams



Cette soupape est maintenue directement sur son siège par un ressort à boudin ; elle présente dans la partie qui repose sur le siège une petite gorge

Dès que la soupape quitte son siège, la vapeur agit sur cette gorge et la soulève davantage ; aussi cette soupape débite-t-elle beaucoup de vapeur, même avec un diamètre assez réduit.

Pour éviter que les soupapes ne puissent être collées par des dépôts de tartre, on en place deux l'une près de l'autre. Les tiges des ressorts de ces deux soupapes sont reliés par une tringle formant levier en à portée du mécanicien ce qui permet de faire manœuvrer, de temps en temps, ces soupapes à la main afin de s'assurer de leur libre fonctionnement.

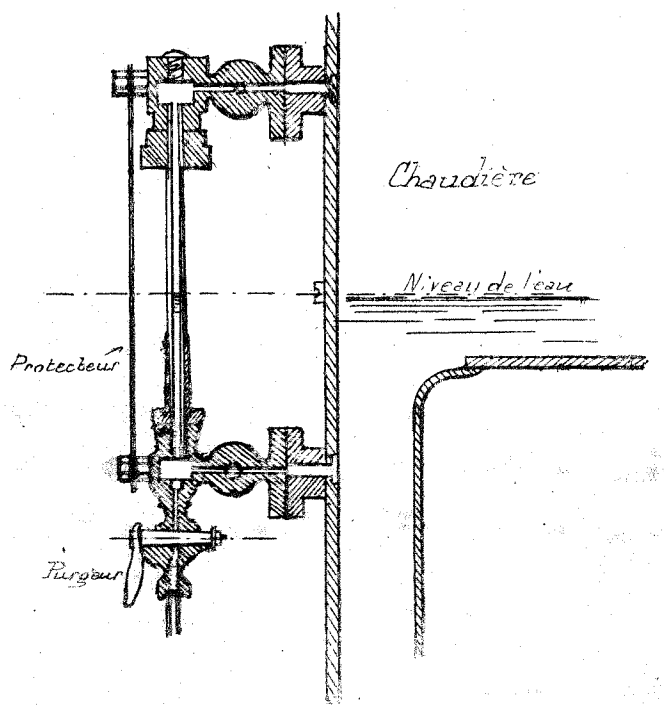


Montage de deux soupapes

Il est facile de voir d'ailleurs que ce levier ne peut pas permettre de surcharger les soupapes, car si l'on cherche, en appuyant sur le levier, à charger l'une des soupapes, on décharge l'autre du même coup.

Sifflet. — Le sifflet est constitué par une cloche en bronze contre laquelle vient se briser un jet de vapeur qui la fait vibrer. Des vibrations se communiquent à l'air et produisent un son rauque et strident, variable suivant les dimensions de la cloche et la pression de la vapeur.

Tube de niveau d'eau. — C'est un tube de verre emprisonné dans deux cages qui en mettent les deux extrémités en communication avec la chaudière, et qui sert à faire connaître le niveau de l'eau dans cette chaudière.



En cas de rupture du tube, des robinets permettent d'interrompre toute communication avec la chaudière. L'éclatement d'un tube est souvent la cause d'accidents sérieux ; on tâche

d'en éviter le risque en employant des protège-tubes qui sont formés de plaques de verre très épaisses qui forment une sorte de cage autour du tube à niveau d'eau et destinée à arrêter la projection des éclats au moment de la rupture. En cas de rupture de tube, le mécanicien doit procéder à son remplacement, mais, en attendant, il peut se rendre compte du niveau de l'eau dans sa chaudière à l'aide de 3 robinets de jauge, placés à des niveaux un peu différents ; en les ouvrant, le mécanicien se rend compte s'ils laissent échapper de la vapeur seule ou un mélange d'eau et de vapeur.

Alimentation. — L'introduction de l'eau dans la chaudière, pour en maintenir convenablement le niveau se fait à l'aide de pompes ou d'injecteurs. Les pompes sont de plus en plus abandonnées, et on emploie presque uniquement les injecteurs. On peut diviser les injecteurs en deux catégories : *injecteurs aspirants* et *injecteurs en charge*.

Les premiers aspirent l'eau dans la bâche du tender et la refoulent dans la chaudière, tandis que les seconds reçoivent directement l'eau en charge et ne font que la refouler.

L'eau est amenée du tender à la locomotive par un accouplement flexible qui est, soit une rotule métallique avec garniture en caoutchouc, soit un tuyau en caoutchouc armé d'un fil de fer en hélice. A l'origine des prises d'eau sur le tender, existe une soupape, qu'il est prudent de fermer, chaque fois que l'on cesse d'alimenter, pour éviter que le tender se vide en cas de fuite ou de rupture du tuyau d'accouplement.

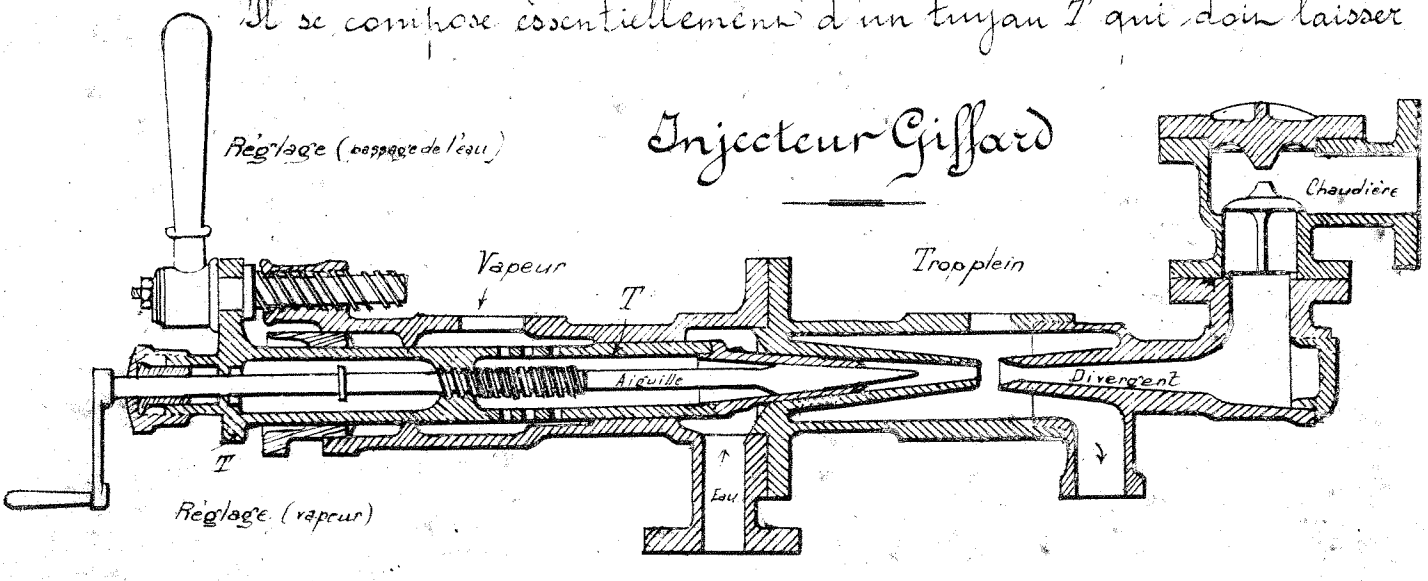
On monte habituellement deux injecteurs placés le plus souvent l'un à droite, l'autre à gauche de la machine

chaque injecteur reçoit les tuyaux d'arrivée d'eau du tender, le tuyau d'amenée de la vapeur prise dans la chaudière, et enfin le tuyau de refoulement d'eau dans la chaudière. Ce dernier aboutit à une pièce fixée sur la chaudière et qu'on appelle la chapelle de refoulement; cette chapelle doit être munie d'une soupape se fermant d'elle même. Un robinet permet d'isoler de la chaudière cette soupape automatique

Le principe des injecteurs a été expliqué dans le cours des machines.

Bien que les types d'injecteurs soient assez différents, la plupart d'entre eux comportent les mêmes organes essentiels. Le type primitif encore très employé est le Giffard.

Il se compose essentiellement d'un tuyau T qui doit laisser

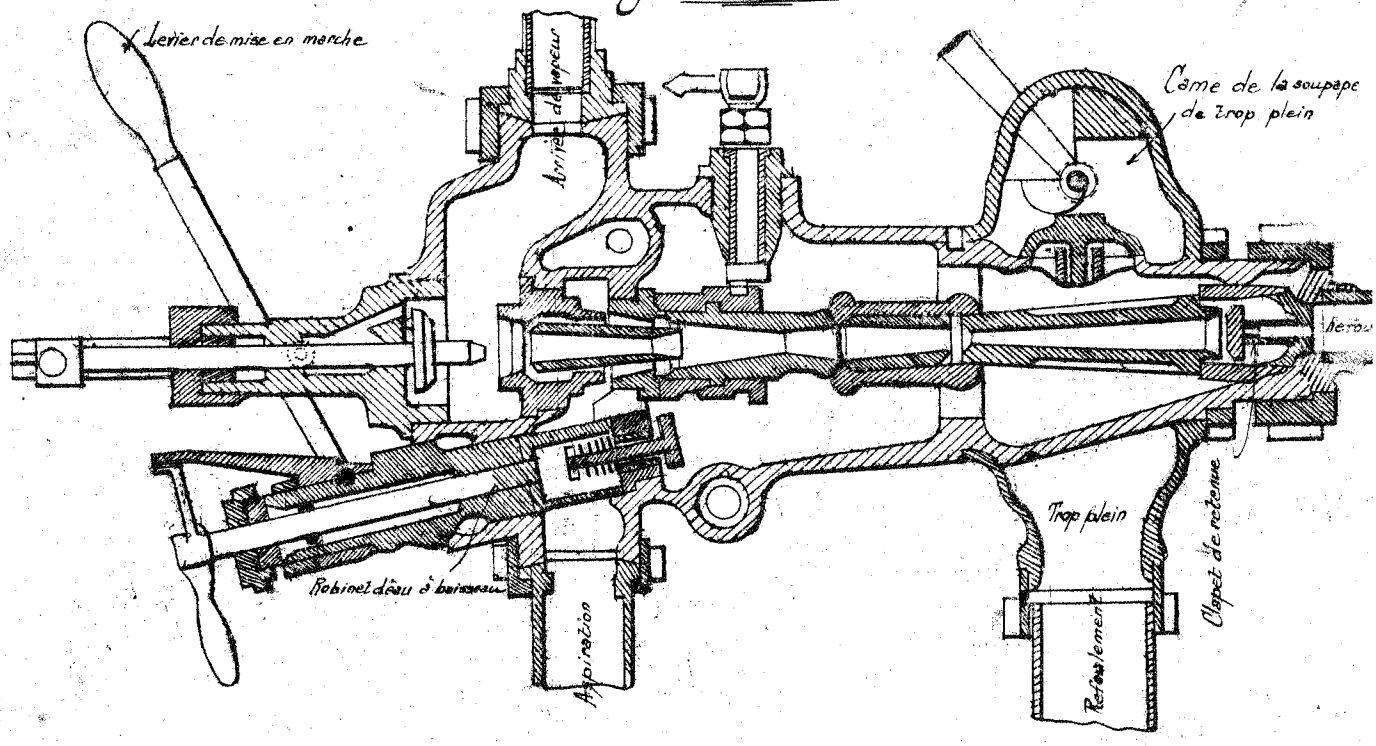


passer, avec une grande vitesse, un jet de vapeur venant de la chaudière; ce jet arrive dans la chambre, ou cheminée, où accède également l'arrivée de l'eau. Le jet d'eau et de vapeur, qui s'échappe de la chambre, traverse le trop plein et pénètre dans le divergent où la vitesse diminue, en même temps que la pression augmente. Une aiguille se déplaçant dans le tuyau T permet de donner à la vapeur un débouché plus ou moins grand.

Pour amorcer, on ouvre le trop plein, l'arrivée d'eau, puis l'arrivée de vapeur. Si l'eau continue à couler par le trop plein,

on agit sur l'aiguille pour régler l'arrivée de la vapeur.

Injecteur Sellers



L'injecteur Sellers a l'avantage de supprimer l'aiguille. L'amorçage de l'injecteur se fait automatiquement. La vapeur sort non seulement par la tuyère, mais forme une petite nappe autour de cette tuyère.

Quand on commence à manœuvrer le levier, la vapeur de cette petite nappe peut seule passer. Elle produit l'amorçage et l'on peut alors, sans crainte, continuer le mouvement du levier qui ouvre la tuyère.

L'injecteur Friedman et Vaccezzani a beaucoup d'analogie avec le précédent.

L'injecteur Sellers peut fonctionner jusqu'à la pression de 21 k avec de l'eau à 18° jusqu'à 16 k avec de l'eau à 35° et jusqu'à 12 k avec de l'eau à 43° (résultats d'essais récents faits en Amérique).

Pour une pression et une température de l'eau données, le débit

des injecteurs peut être réglé au moyen du robinet d'arrivée d'eau et l'écart entre les débits maximum et minimum est d'autant plus grand que la température de l'eau est plus basse. Ainsi, à 14 k de pression et avec de l'eau à 18°, le débit maximum d'un Sellers est de 15.300 l. et le débit minimum de 7000 l. par heure. A la même pression, mais avec de l'eau à 35°, les chiffres deviennent 13.000 & 9000. Au-dessous des limites minima, l'injecteur se désamorce. Cette variation de débit permet d'alimenter la chaudière d'une façon continue pendant de longs parcours, ce qui est à la fois économique et favorable à la conservation des chaudières.

Le rendement mécanique d'un injecteur est mesuré par le rapport du poids d'eau débité au poids de vapeur employée. Ce rendement diminue quand la pression augmente. Avec de l'eau à 18° le débit est par kilogramme de vapeur :

de 6 l. 7 à la pression de 21 k.,
» 10 l. 7 » 14 k.,
» 15 l. » 7 k.,

Ce débit peut se calculer approximativement par la formule $D = 28\, d^2 \sqrt{n}$. d représente en millimètres le diamètre minimum du cône divergent A', n la pression de la vapeur en atmosphères et D le débit en litres par heure.

Les injecteurs en charge, c'est-à-dire placés au-dessous du niveau le plus bas de l'eau dans le tender, sont moins sujets aux ratés en fonctionnant avec de l'eau ayant jusqu'à 70° de température. Entre l'injecteur et la chaudière, il y a deux clapets automatiques de retenue, l'un à la sortie de l'injecteur, l'autre dans la boîte d'introduction appliquée sur la chaudière. Cette boîte, placée sur le côté du corps cylindrique dans les anciennes machines est maintenant presque toujours appliqué sur la face arrière du foyer afin d'éviter l'arrivée d'eau froide dans le faisceau tubulaire.

Les qualités que l'on recherche pour les injecteurs de locomotives sont :
facilité de manœuvre en sûreté de l'amorçage essentielle pour les chauffeurs; fonctionnement avec de l'eau chaude, ce qui permet de réaliser des économies par le réchauffage.

On doit chercher à avoir un injecteur répondant exactement comme débit à la consommation normale de la machine en rampe ; toutefois on installe 2 injecteurs par machine.

Il y a lieu de noter qu'on est toujours amené à fermer et à réamorcer très fréquemment les injecteurs, car l'introduction de l'eau fait baisser la pression. On doit donc supprimer l'injection dans les moments difficiles et au contraire alimenter pendant la marche à régulateur fermé.

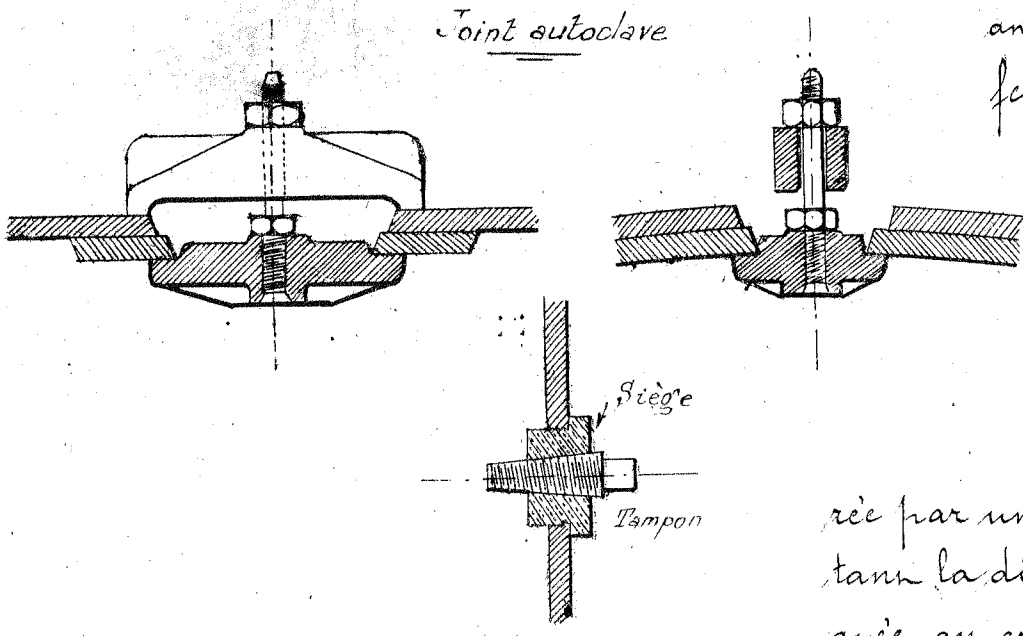
Enveloppe des chaudières. — Les chaudières de locomotives sont exposées à de violents courants d'air qui peuvent entraîner une déperdition de chaleur assez importante. On les enveloppe habituellement d'une simple tôle mince portée sur une carcasse en fer qui est disposée de façon à laisser, entre l'enveloppe et la chaudière, une couche d'air assez mince, et c'est cette couche d'air qui ralentit la transmission de la chaleur au dehors.

Dans certains cas, on a essayé de protéger les chaudières en intercalant entre elles et leur enveloppe des substances isolantes: bois, feutre, etc... mais ces procédés sont peu employés.

Tampons et joints autoclaves. — On perce dans la chaudière à des endroits convenablement choisis, des ouvertures destinées à en permettre le nettoyage ; ces ouvertures se ferment à l'aide de tampons ou de joints autoclaves.

Les tampons sont de simples bouchons qui se vissent sur un siège en bronze vissé à demeure dans les tôles de la chaudière. Ils se placent sous le cadre du foyer et dans les

Joint autoclave



angles de boîte à feu.

Les joints autoclaves sont des ouvertures plus grandes, pratiquées dans la tôle et obturées par une pièce présentant la disposition indiquée au croquis ci-dessus.

Le nombre et la disposition de ces tampons autoclaves présentent une grande importance, au point de vue de l'entretien de la chaudière, car il est indispensable d'éviter les accumulations de tartre entre les parois et autour des entretoises et de procéder à des lavages très fréquents de la chaudière.

Les trous de tampons ou joints autoclaves doivent permettre d'atteindre les différents points de l'intérieur de la chaudière soit avec des jets d'eau, soit à l'aide de tringles dont on se sert pour concasser les dépots de tartre, en faciliter leur entraînement par l'eau.

Attache de la chaudière sur le châssis. — La chaudière repose sur le châssis par la boîte à fumée et par la boîte à feu, en passant aussi par des points intermédiaires.

La boîte à fumée est solidement boulonnée au châssis et passent aussi aux cylindres quand ceux-ci sont intérieurs, c'est-à-dire placés entre les longerons.

Quand la machine est en feu, la chaudière s'allonge sous l'effet de la dilatation. Il faut donc, puisque l'attache de la boîte à fumée est fixe, que l'arrière de la chaudière, c'est-

c'est-à-dire la boîte-à feu, puisse reculer sur les longerons afin d'éviter des tiraillements et des ruptures de tôles ; aussi n'y est-elle pas reliée par des boulons, mais par des agrafes. Celles-ci, tout en laissant à la boîte à feu, la possibilité de glisser de quelques millimètres sur le bâti, maintiennent la chaudière et l'empêchent de se séparer du châssis lors des trépidations dans la marche.

Le corps cylindrique est souvent supporté au milieu de sa longueur par une sorte de sellette faisant partie d'un cadre entretoisant les longerons. La chaudière s'appuie sur ces sellettes par deux agrafes lisses qui permettent la dilatation.

Ce mode de suspension des chaudières est loin d'être parfait, car les surfaces de glissement sur ces supports sont assez difficiles à entretenir ; si elles ne sont pas très bien graissées, elles se rouillent, les deux pièces en contact collent l'une sur l'autre, et la dilatation de la chaudière, ou bien ébranle les attaches des cylindres, ou bien, exerçant une poussée considérable sur les longerons, entraîne leur rupture.

On a tendance à chercher d'autres modes de suspension. En Amérique, le foyer est généralement suspendu par quatre bielles articulées, d'une part à des tourillons fixés sur la boîte à feu, et, d'autre part, à des axes fixés sur les longerons.

Châssis, suspension, roues.

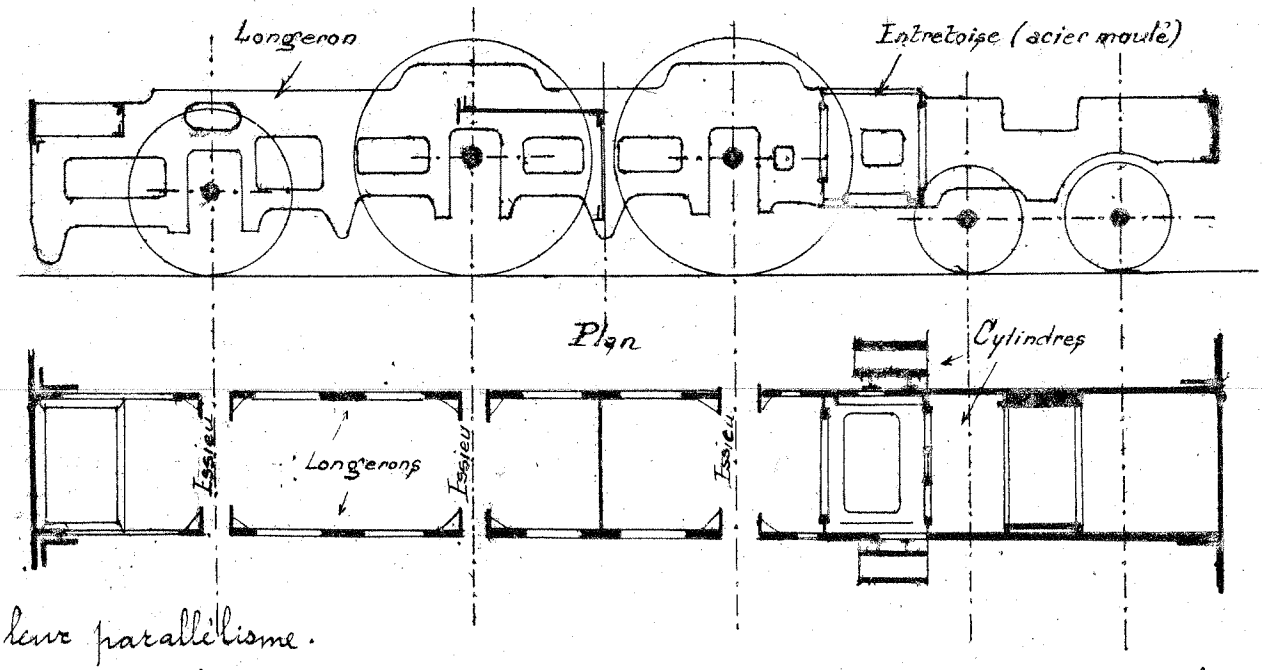
Châssis. — Le châssis est l'ensemble de la construction qui porte la chaudière et les cylindres, et qui repose sur les boîtes des essieux.

Le châssis est constitué de deux longerons, quelquefois trois, et même quatre, parallèles à l'axe de la machine, et reliés entre eux par les traverses extrêmes, et par des entretoises intermédiaires. Le châssis maintient les cylindres ainsi que les essieux moteurs

en porteurs ; il assure l'invariabilité de la distance des essieux en

Châssis de locomotive

Elévation



leur parallélisme.

Les longerons sont, ou intérieurs ou extérieurs aux roues. Ils doivent être rigoureusement parallèles. Ils se composent, chacun d'une tôle de fer ou d'acier de 25, 30, 32 m/m d'épaisseur. On découpe dans les longerons les ouvertures nécessaires pour le logement des boîtes à huile, en d'autres évidements qui ont pour but de les alléger.

En Amérique, les longerons sont souvent constitués par des barres de section rectangulaire ; le mécanisme est plus accessible, mais ces longerons sont moins rigides.

Les entretoises sont formées de tôle en cornières, rivées ou boulonnées aux longerons ; quelquefois, elles sont en acier moulé, ce qui donne plus de rigidité au châssis.

Les traverses d'avant ou d'arrière sont en tôle en cornières ; elles sont solidement reliées aux longerons en supportent la plateforme du mécanicien, ou le tablier de la machine.

Quand les longerons sont intérieurs, leur écartement est habituellement de 1 m 200; quand les longerons sont extérieurs, ce qui permet de donner plus de longueur aux fusées d'essieux, leur écartement atteint 1 m 700 à 1 m 800.

Dans les châssis à quatre longerons, les roues passent entre deux longerons parallèles.

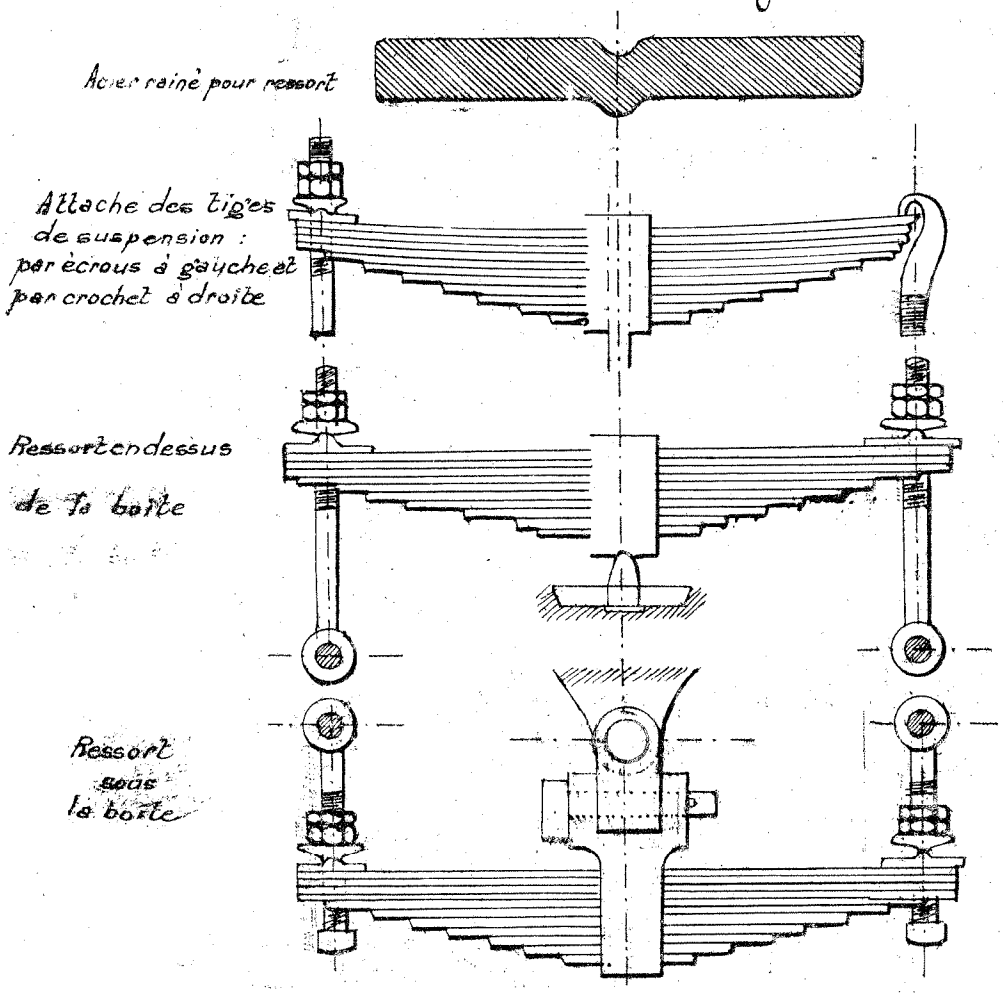
Suspension. — Le châssis de la locomotive et tous les organes qui y sont fixés reposent sur les boîtes à huile par l'intermédiaire de ressorts qui servent à atténuer l'action des chocs dûs aux inégalités de la voie.

Les ressorts de locomotives doivent être peu flexibles afin que le déplacement des boîtes dans les glissières des plaques de garde reste toujours très limité; s'il en était autrement, le centre de l'essieu moteur s'écarterait par trop de l'axe des cylindres et il en résulterait un déréglage préjudiciable à la distribution. De même, les essieux accouplés ne doivent pas subir de déplacement vertical trop grand à cause de l'obliquité que prendraient alors les bielles. C'est seulement grâce au jeu laissé aux boîtes dans leurs glissières et aux têtes de bielles d'accouplement sur leurs boulons que ce déplacement et que cette obliquité sont possibles, mais ils doivent rester faibles, sous peine d'entraîner des coïncements et même des ruptures de bielles

Ressorts. — Les ressorts de suspension de locomotives sont constitués d'une série de lames d'acier, attachées et superposées, emboîtées à l'aide de nervures et de gorges, dont la longueur décroît depuis la feuille supérieure appelée *feuille maîtresse*, et qui sont fortement serrées les unes sur les autres, par un étrier appelé bride que l'on pose à chaud.

Le poids de la machine se transmet sur les extrémités

des feuilles-maîtresses par des tiges de suspension.

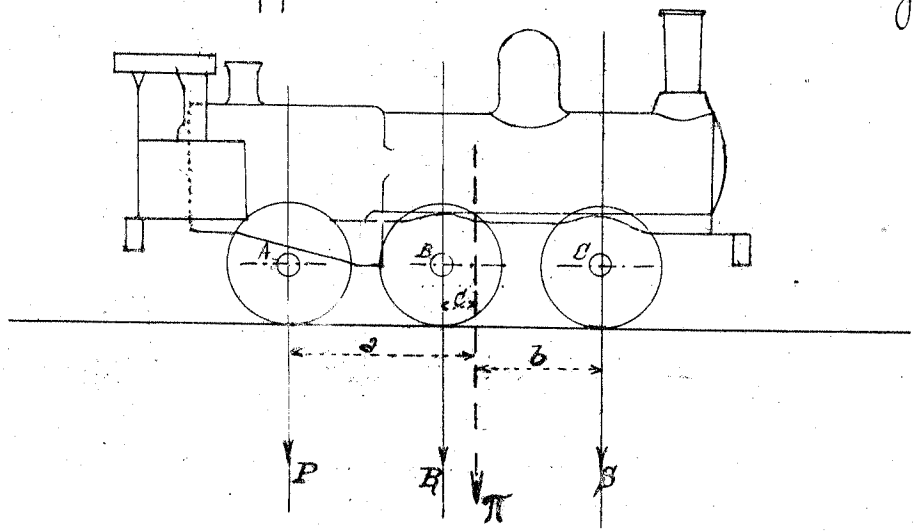


L'attache des tiges de suspension à la maîtresse-feuille se fait de diverses manières. La tige de suspension traverse un œil ovalisé percé dans les lames et les écrous de serrage s'appuient alors sur une sellette, ou bien elle se termine par un crochet qui saisit un bourrelet ménagé à l'extrémité de la maîtresse-feuille.

Suivant le type de machine, le ressort est au-dessus de la boîte de l'essieu ; la charge s'applique alors directement sur le dessus de la boîte, ou bien, pour les commodités de son installation, il est placé sous la boîte, à laquelle il se rattache par une pièce articulée ; les tiges de suspension agissent alors par pression.

Un ressort non monté présente une certaine flèche de fabrication ; si on le charge, la flèche diminue ; cette diminution est constante pour une charge déterminée, 5 à 12 m/m par tonne, suivant les types de ressorts. Si le poids peut être assez grand pour obtenir l'aplatissement complet, on atteint la charge limite ; au-delà, le ressort se courberait en sens inverse et perdrait tout ou partie de son élasticité.

Répartition du poids suspendu. — Supposons une machine à 3 essieux ; les essieux sont également chargés, le châssis est alors assimilable à une poutre horizontale reposant sur trois points A, B, C. Si nous déchargeons l'essieu du milieu, les essieux extrêmes A et C supporteront l'excédent de la charge, la



poutre se déformera.

Si, au contraire, l'un des essieux extrêmes, A par exemple, est complètement déchargé, le châssis s'inclinera vers l'arrière et le poids total reposera sur les deux essieux B et C. En desserrant les écrous de tige de suspension d'un ressort, on diminue la tension de ce ressort, et on réduit la charge sur l'essieu correspondant ; celle des deux autres essieux se trouve augmentée.

On peut donc faire varier, entre des limites assez éloignées, soit en serrant, soit en desserrant les écrous des tiges, le poids que supporte chacun des essieux.

Soit π le poids total de la machine ; P, R, S, le poids appliqué sur chacun des trois essieux ; a, b, c, la distance horizontale des essieux au centre de gravité de la machine ; on a les deux relations suivantes :

$$P + R + S = \pi \qquad Pa + Rc - Sb = 0$$

Si nous supposons $R = 0$, nous aurons $P' + S' = \pi$ et

$P'a - S'b = 0$, d'où $P' = \frac{b\pi}{a+b}$ et $S' = \frac{a\pi}{a+b}$; ce sont les valeurs limites de P et de S.

D'autre part, supposons $P = 0$, nous aurons :

$R'' + S'' = \pi$ et $R''c - S''b = 0$, d'où $R'' = \frac{b\pi}{b+c}$ et $S'' = \frac{c\pi}{b+c}$.

R'' et S'' sont les charges extrêmes de l'essieu du milieu en avant, quand le poids est nul à l'arrière.

Si nous revenons aux deux premières équations, nous constatons que nous avons deux équations à 3 inconnues d'où une indétermination.

Pour les résoudre, on est amené à faire une hypothèse ; or, dans la répartition du poids d'une machine, on s'est fixé d'avance le poids adhérent des roues motrices ; par exemple, on aura fixé à 15 tonnes, celui de l'essieu moteur R.

R étant connu, ainsi que la position du centre de gravité G, on en déduira la valeur de P et de S.

Réglage de la répartition à l'aide de bascules. — Les charges que l'on doit avoir sur chaque essieu étant déterminées comme ci-dessus, on effectue la répartition des poids à l'aide de bascules. Dans ce but, on place la machine de telle sorte que chaque paire de roues se trouve sur un plateau mobile que l'on équilibre par des poids. On desserre alors ou on serre les écrous de chacun des groupes de ressorts, de manière à obtenir sur chaque essieu le poids fixé par les calculs.

Cette répartition se modifie souvent au bout de peu de temps à la suite de l'affaiblissement des ressorts ou des déformations successives du châssis ; aussi, est-il bon de remettre assez fréquemment les machines sur les bascules pour vérifier à nouveau la répartition.

Il ne suffit pas que la charge soit bien répartie entre les essieux, il faut encore que la machine soit placée d'abord de niveau, c'est-à-dire de façon que l'axe de la chaudière soit horizontal en ensuite à hauteur convenable, c'est-à-dire de façon que les boîtes à graisse occupent dans leurs glissières une position moyenne.

On doit laisser entre le dessus des boîtes en le longeron, un jeu d'au moins 15 à 20 m/m ; on laissera également un jeu suffisant entre le dessous de la boîte en l'entretoise de plaque de garde afin qu'en marche, par suite des oscillations de la machine ou de la position inclinée qu'elle peut prendre, les boîtes ne viennent pas à toucher soit le longeron, soit les entretoises de plaque de garde.

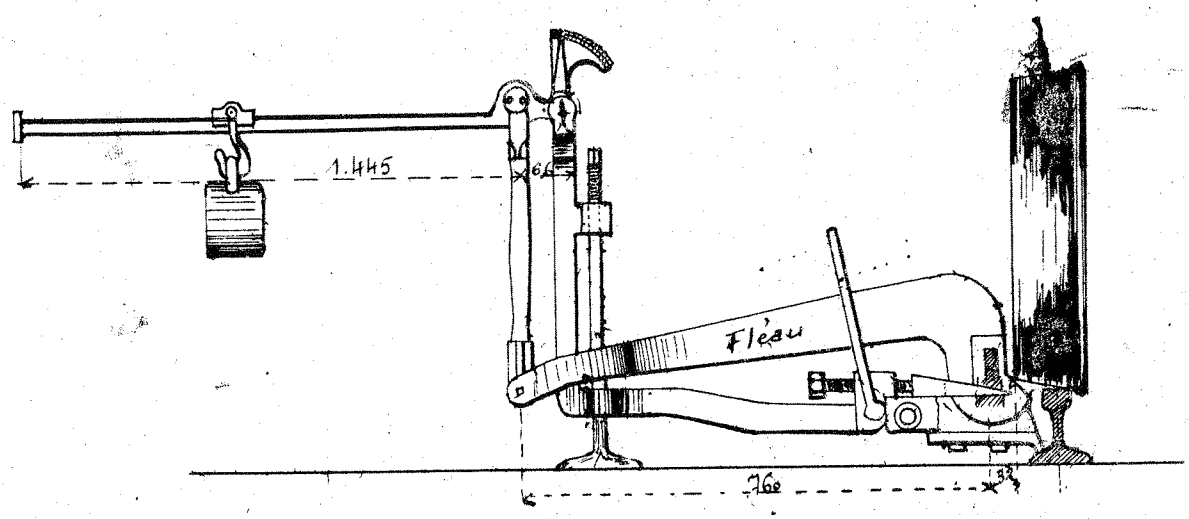
Les balances qui servent à régler la répartition du poids peuvent être des balances à plateaux, mais, depuis quelque temps, on emploie souvent, en particulier dans les dépôts de la Compagnie du Nord des balances du type "Ehrhart" qui sont très commodes en d'une installation plus facile que les balances à plateaux.

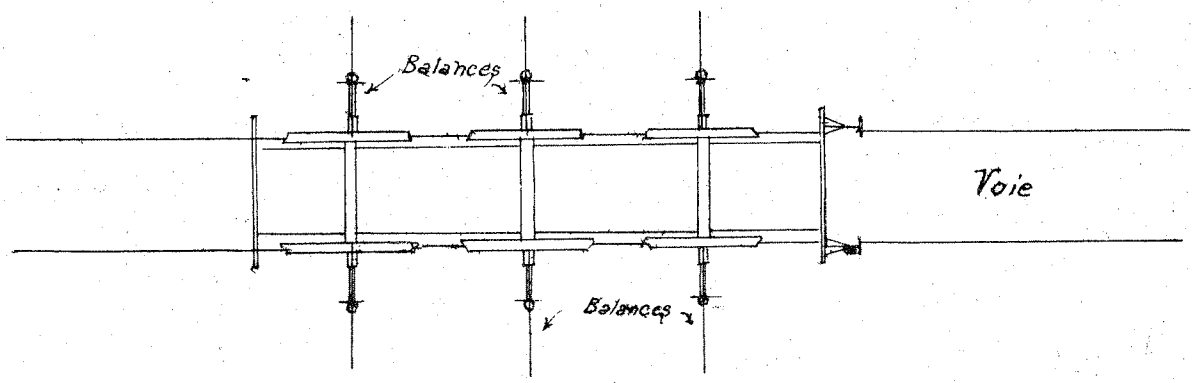
Le principe en le suivant :

Il suffit d'amener la machine sur une partie de voie bien droite en bien horizontale ; on place en face de chaque roue, une balance formée essentiellement d'un fléau dont une des extrémités vient se placer sous le bandage de la roue. Le petit bras du levier a 32 m/m seulement en le grand bras 760 m/m. L'extrémité du grand bras est reliée à un fléau supérieur qui porte à son autre extrémité les poids. Ces poids sont réglés de façon à compenser toute la charge qui porte sur la roue au point de contact avec le rail.

Lorsque les poids des balances affectées à chacune des roues sont réglés, la machine se trouve en quelque sorte suspendue

Balance Ehrhardt

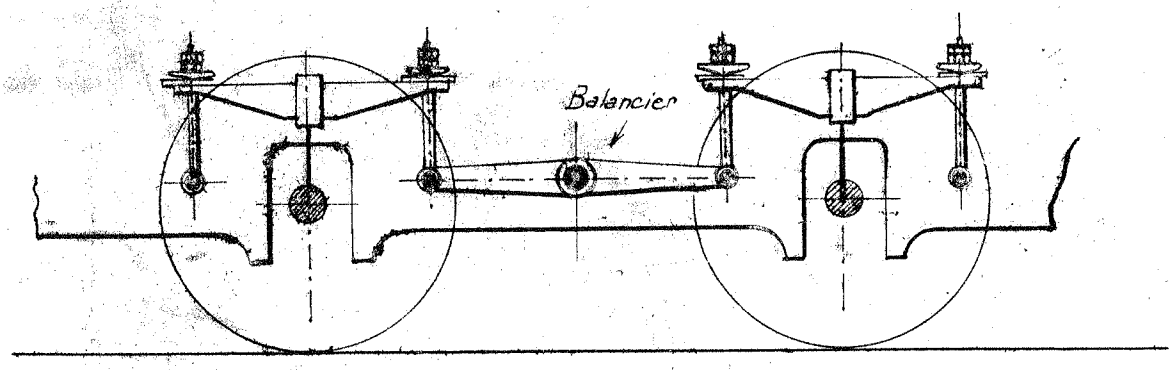


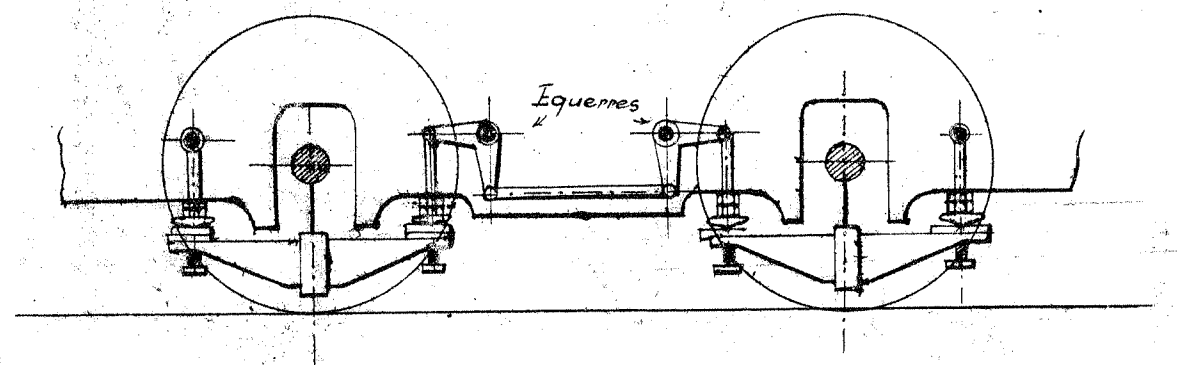


sur les extrémités des fléaux ; la lecture de la graduation à chaque balance, donne la répartition du poids.

Balanciers - compensateurs - La répartition du poids sur les essieux se modifie à chaque instant pendant la marche, suivant les inégalités de la voie ; il en résulte une surcharge de certains essieux aux dépens des autres qui se trouvent momentanément déchargés.

Pour obvier à ces inconvénients, on relie fréquemment les ressorts de suspension de deux essieux consécutifs par des balanciers. Le balancier est une sorte de fléau de balance mobile autour d'un axe fixé au longeron en supportant à chacune de ses extrémités la tige de suspension de l'un des ressorts entre lesquels doit s'établ-



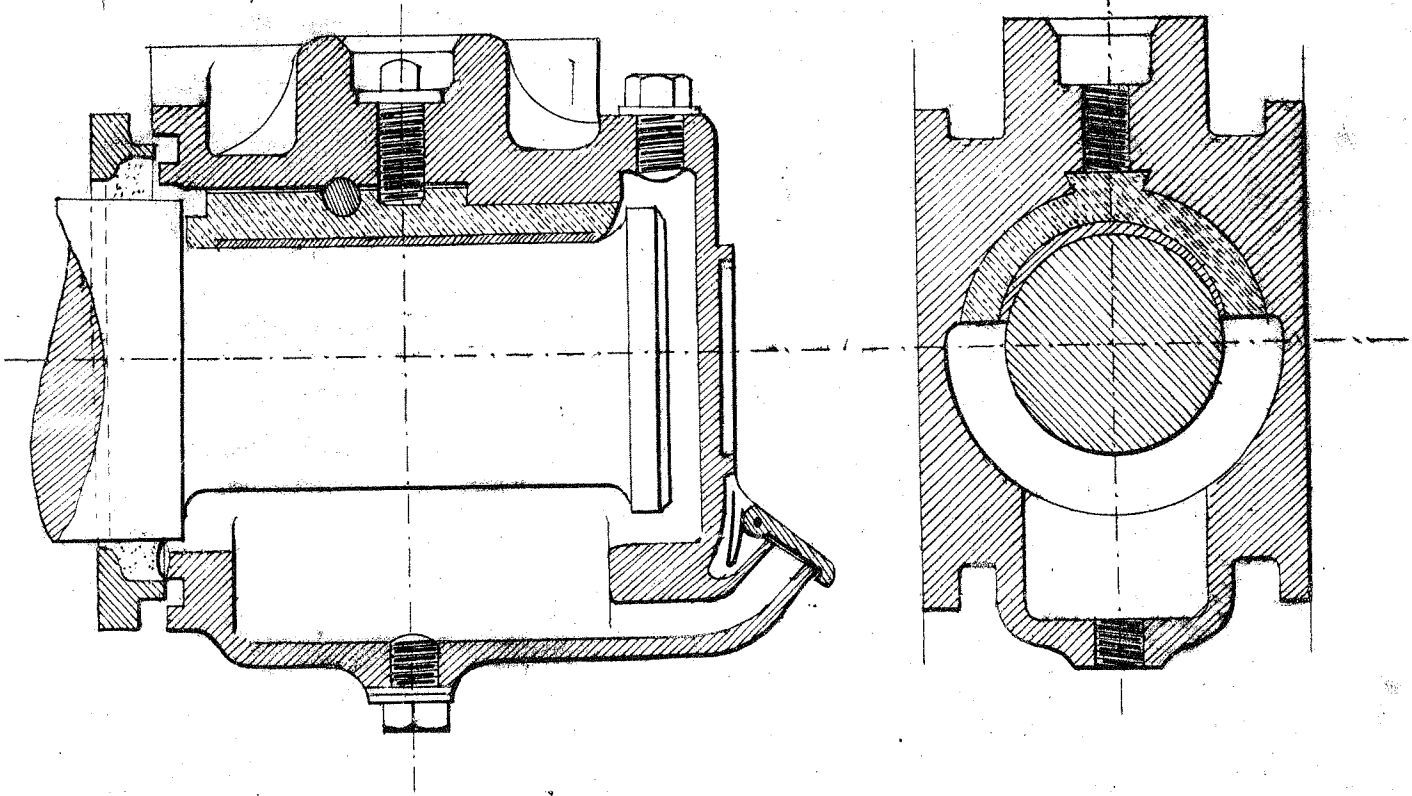


la compensation ; toute les fois que la charge de l'une des extrémités du balancier varie d'une certaine quantité, celle de l'autre extrémité varie d'une quantité proportionnelle. La modification du poids supporté par l'un des ressorts entraîne donc celle de l'autre ressort. Pour que la répartition s'effectue exactement suivant les valeurs calculées, il faut que les articulations des balanciers en des tiges de suspension soient parfaitement libres ; si ces articulations ne sont pas graissées, elles se grippent en s'usent, en, dans ces conditions, le balancier ne remplit pas son but, en devient même nuisible. Aussi, emploie-t-on couramment des balanciers reposant sur un couteau en acier.

On fait souvent, au lieu de balanciers, usage d'équerres affectant la disposition du croquis.

Boîtes :– Les essieux tournent dans des boîtes appelées boîtes à graisse, bien qu'actuellement l'emploi de l'huile pour le graissage soit généralisé. La boîte reçoit la pression du ressort en la transmet directement à la fusée par l'intermédiaire d'un coussinet en bronze souvent garni de métal blanc, dont la con-

position est habituellement : cuivre 10, étain 80, antimoine 10. Ce



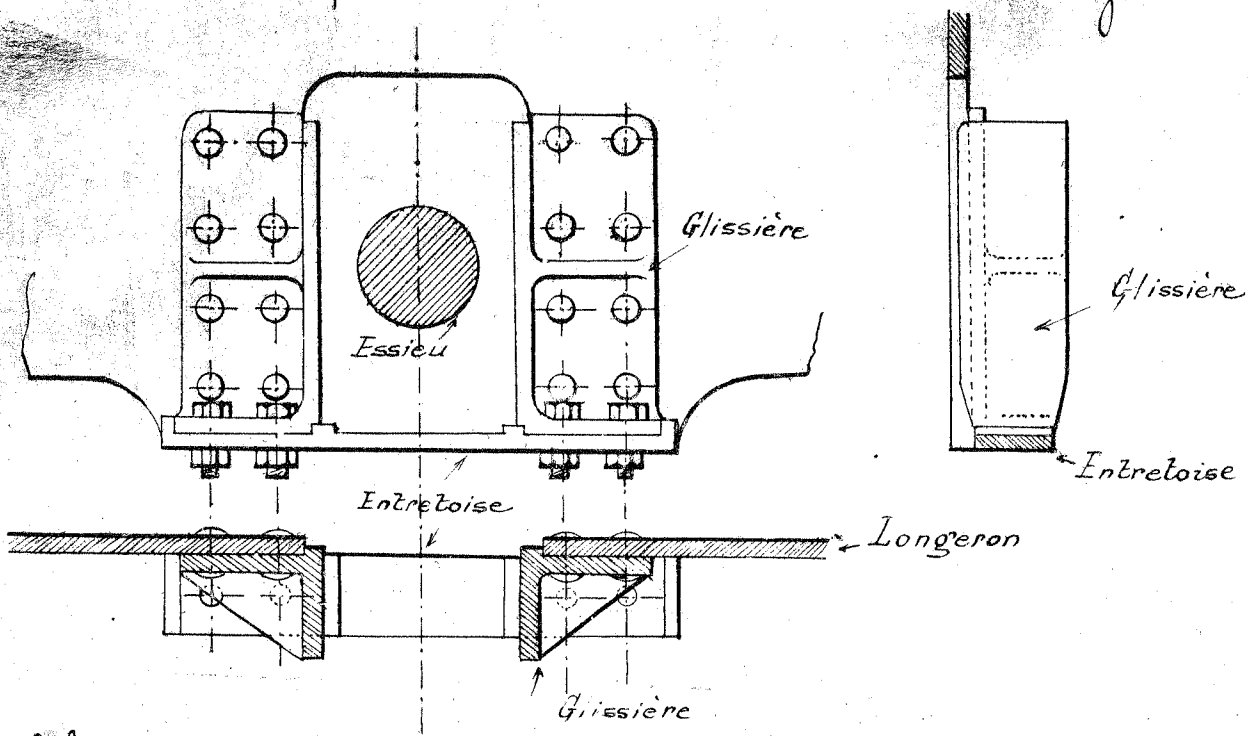
métal blanc a pour but de diminuer le coefficient de frottement.

Indépendamment de la charge verticale qu'ils transmettent les coussinets des essieux moteurs sont soumis à des efforts horizontaux provenant de la pression des bielles motrices ou de celle des bielles d'accouplement. La résultante de ces efforts tendrait à les faire tourner. Pour éviter ce mouvement, on garnit les boîtes d'un contre-coussinet en fonte.

Les boîtes sont intérieures ou extérieures suivant la disposition du châssis. Dans le premier cas elles sont forcément ouvertes de deux côtés ; dans le second, elles peuvent être ouvertes de deux côtés ou fermées à l'une de leurs extrémités comme le sont d'ailleurs les boîtes des wagons et des voitures.

Les boîtes sont maintenues entre deux glissières verticales fixées sur le longeron ; une entretoise réunit la partie inférieure des glissières une fois la boîte mise en place.

Les boîtes peuvent monter ou descendre dans les glissières ;



il faut laisser entre les glissières et la boîte le moins de jeu possible. Les joues latérales des boîtes s'opposent au déplacement transversal de l'essieu. Quand on veut laisser la possibilité d'un léger déplacement, on donne à la boîte un peu de jeu transversal sur les glissières, en général un millimètre en on laisse, d'autre part, au coussinet, un léger jeu d'environ 2 m/m, de façon qu'il puisse se déplacer transversalement sur la fusée.

Les boîtes sont en fer cémenté en trempé, quelquefois en acier moulé, le graissage se fait à l'aide de mèches ou de tampons graisseurs placés dans le dessous de la boîte.

Chasse-pierres. — Le chasse-pierres est une pièce de fer placée à l'avant des roues pour rejeter hors les rails les obstacles qui peuvent se présenter inopinément. Ils doivent affleurer assez près des rails pour être efficaces, mais suffisamment éloignés cependant pour ne jamais venir les toucher, quelle que soit l'usure des bandages, celle des coussinets, ou l'affaiblissement des ressorts. Ils doivent se rapprocher le plus possible des roues d'avant de façon à toujours les précéder au-dessus du rail, même dans les courbes.

Dispositions propres à faciliter le passage dans les courbes

Une locomotive à essieux rigides en à 3 ou 4 essieux s'inscrirait difficilement dans les courbes, en, étant donné sa position en tête du train, aurait tendance à dérailler si l'on n'employait des dispositions spéciales pour permettre un déplacement des essieux les uns par rapport aux autres.

Si tous les essieux de la machine sont rigides en parallèles entre eux, l'inscription ne peut se faire que par suite des jeux laissés intentionnellement pour permettre un déplacement transversal des essieux, ou encore des jeux résultant de l'imperfection de la construction, ou enfin de l'usure. Cette inscription est facilitée par le déplacement que peut permettre la flexibilité des longerons. Mais dès que l'empattement, c'est-à-dire la distance entre les points de contact des roues extrêmes, dépasse une certaine valeur, ou dès que le rayon de la courbe descend au-dessous d'une certaine limite, les jeux laissés en l'élasticité ne suffisent plus et l'on doit recourir à différents dispositifs spéciaux.

On peut d'abord chercher à réduire le plus possible l'empattement total de la machine, en rapprochant les uns des autres les différents essieux ; mais on diminue ainsi la stabilité de la machine en augmentant le porte à faux, soit à l'avant, soit à l'arrière.

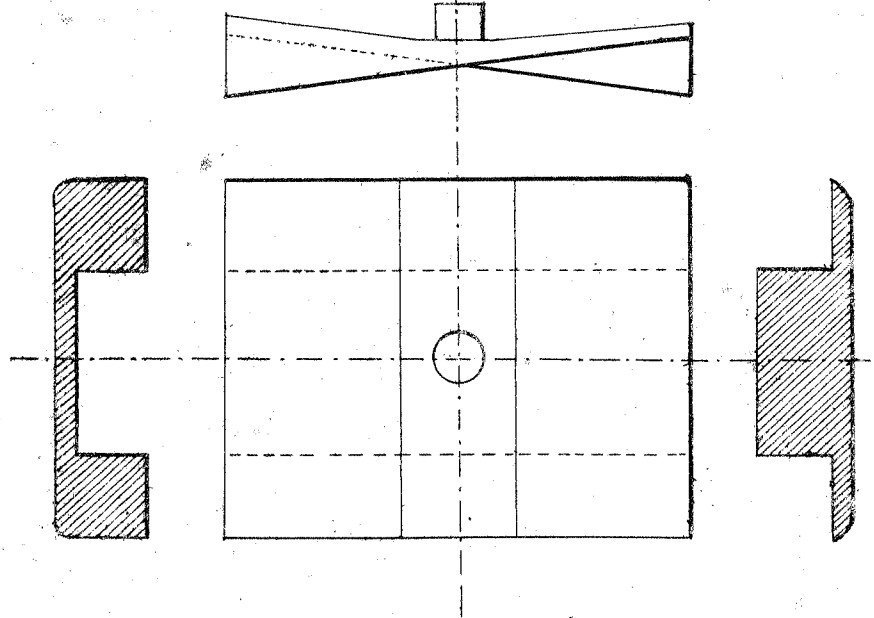
Pour donner plus de jeu dans la voie, on réduit parfois notablement l'épaisseur du boudin des roues du milieu. La suppression totale du boudin aurait l'inconvénient d'aggraver les conséquences d'un déraillement du premier essieu.

On peut donner aux essieux extrêmes, en spécialement à

l'essieu d'avant un certain jeu transversal ; pour cela on peut avoir recours comme nous l'avons dit à trois dispositions : jeu des fusées dans leurs coussinets ; jeu des coussinets dans leurs boîtes ; jeu des boîtes dans les glissières. On arrive ainsi à donner aux boîtes dites radiales un jeu atteignant jusqu'à 40 m/m. Mais, dès que le jeu total transversal à l'essieu d'avant prend une certaine importance, dès qu'il dépasse 10 m/m environ, on est obligé d'employer des dispositifs, dits de rappel, qui ont pour but de ramener automatiquement le système dans l'axe de la machine, lorsque celle-ci est sortie de la courbe.

Un dispositif de rappel assez employé consiste à faire poser les ressorts sur les boîtes par l'intermédiaire d'une pièce formée de deux plans inclinés. Si l'essieu se déplace dans le sens transversal, il soulève le ressort par l'intermédiaire du plan incliné ce, de ce fait, en augmente la tension. Sa charge tendra à le ramener dans sa position moyenne, dès que l'effort du rail extérieur de la courbe sur le boudin aura cessé de porter l'essieu vers l'intérieur de la courbe ; l'essieu reprendra donc sa position normale dès qu'on sera sorti de la courbe.

Plan incliné pour régler le déplacement transversal d'un essieu, pièce intermédiaire placée entre le ressort et le dessus de la boîte

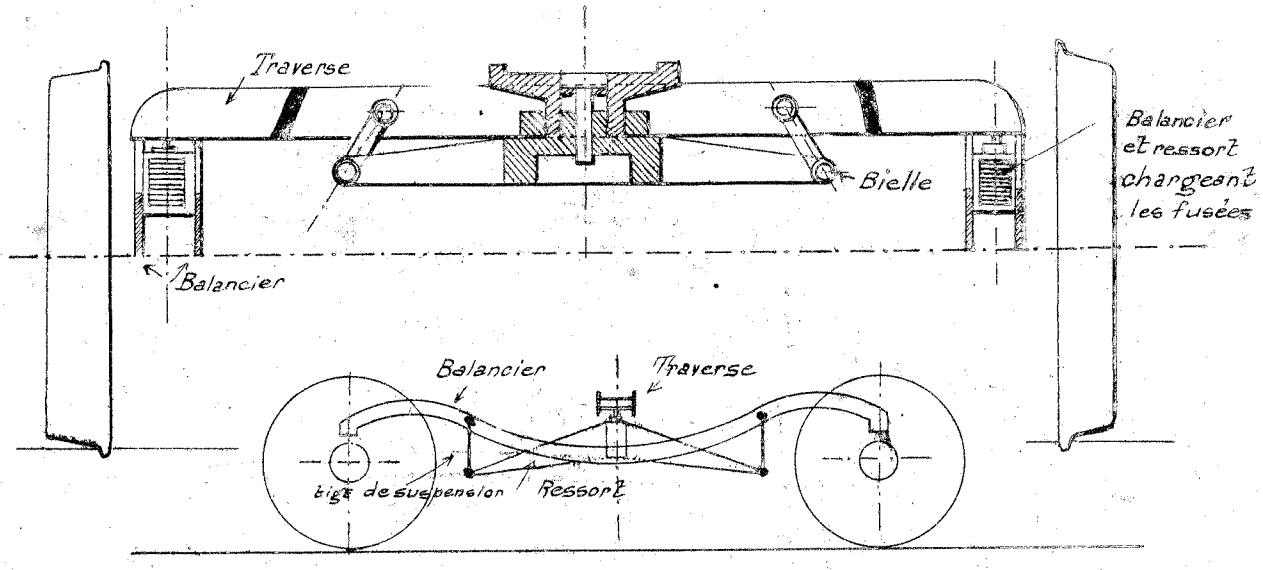


Ces plans inclinés ont une inclinaison de 10 à 20 %; il est essentiel qu'ils soient parfaitement graissés, sans quoi ils n'-

fonctionnent pas. Leur emploi est aujourd'hui moins fréquent qu'autrefois et l'on adopte de préférence des dispositifs qui permettent à l'essieu d'avant, non seulement de prendre un déplacement latéral, mais encore de prendre par rapport aux essieux de la machine, une position convergente ; c'est le principe du train articulé de Bissel dont nous avons parlé dans le chapitre consacré au matériel roulant.

On a attribué aux appareils Bissel placés à l'avant des machines la cause de déraillements, ce qui fait qu'en Europe on tend de plus en plus à généraliser à l'avant des machines l'emploi des bogies.

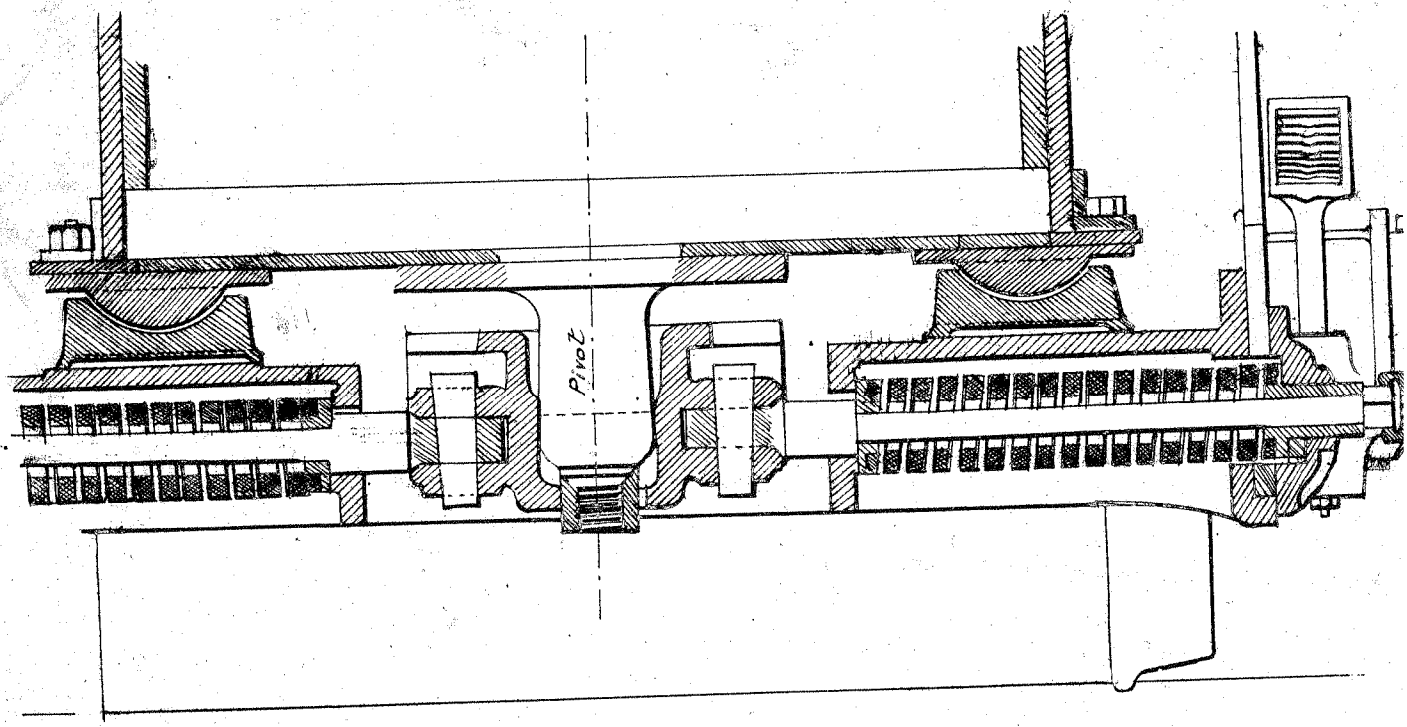
Dans les wagons en voitures à 2 bogies, il suffit que les 2 bogies



restent l'un en l'autre sur la ligne médiane de la voie, mais il n'en est pas de même pour les locomotives dont l'arrière est porté sur un train rigide à deux ou trois essieux de porte qu'à l'avant ; le plan médian de la locomotive s'écarte de la ligne médiane de la voie. Il faut donc, pour obtenir la flexibilité désirée dans le sens transversal, non seulement que le bogie tourne autour de son pivot, mais encore que le pivot puisse se déplacer transversalement en se maintenant autant que possible sur la ligne médiane de la voie.

Pour tout bogie ayant un déplacement latéral, il est nécessaire de prévoir un dispositif de rappel qui ramène le bogie à sa position moyenne dès que l'on revient en alignement droit.

En Amérique, on emploie beaucoup le bogie à suspension par bielles inclinées ou menottes ; le pivot sur lequel repose le poids de l'avant de la machine est suspendu par ces petites bielles inclinées à des traverses appartenant au châssis du bogie. Cette suspension par



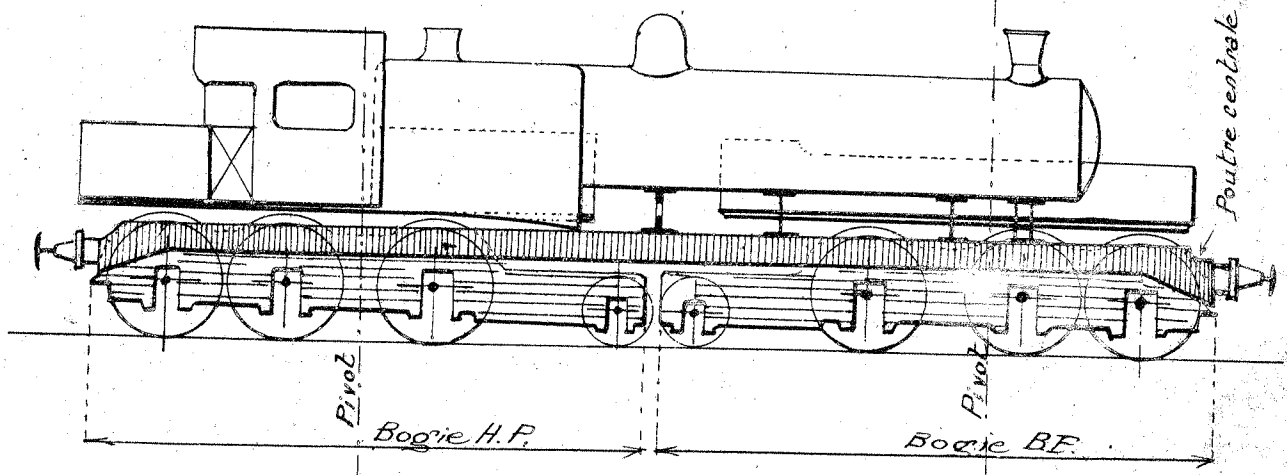
bielles permet les déplacements transversaux, et le système a tendance à revenir toujours dans la position moyenne.

En France, le rappel du bogie est généralement obtenu par des ressorts horizontaux pressant fortement contre la pièce porte-pivot.

La locomotive peut reposer sur le bogie, soit par une pièce sphérique, soit par une sorte de plateau annulaire : ces dispositions varient d'ailleurs suivant les Compagnies en suivant le poids que doit supporter le bogie.

Le bogie a l'inconvénient de limiter le poids adhérent de la machine, puisque tout le poids de la machine qui porte sur le bogie ne peut être utilisé pour l'adhérence. On a cherché cependant des dispositifs permettant de rendre adhérents les essieux des bogies.

La disposition la plus heureuse et la plus complète qui ait été adoptée dans ce sens est celle des machines à deux bogies moteurs, mises en service depuis peu de temps sur la Compagnie du Nord. Dans cette machine, toute la chaudière repose sur une poutre

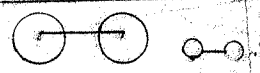


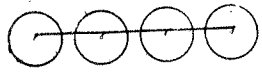
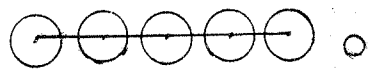
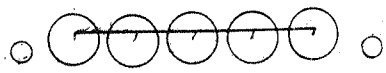
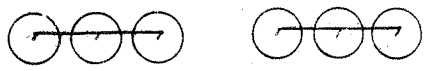
unique dirigée suivant l'axe de la voie en reposant sur les pivots de deux bogies. Avec cette disposition, qui est toujours appliquée pour les wagons à deux trains, les bogies n'ont pas besoin de se déplacer latéralement puisque les pivots restent toujours dans l'axe de la voie ; chaque bogie comporte trois essieux moteurs et un essieu porteur et s'inscrit dans les courbes dans des conditions analogues à celles d'une machine à 4 essieux ; la machine peut passer dans des courbes de 90 mètres de rayon.

On a résolu ainsi le problème de construire une machine de très grandes dimensions ayant un poids adhérent considérable (88 tonnes 900), mais ce poids se trouve réparti sur six essieux, de sorte que le poids adhérent par essieu, ne dépasse pas le maximum 16 tonnes (charge maxima admise jusque là sur le Nord).

La difficulté du problème consistait à établir la liaison nécessaire entre la chaudière portée sur la poutre fixe et les cylindres portés sur les bogies ; les bogies étant articulés par rapport à la poutre, il fallait nécessairement que les tuyaux amenant la vapeur de la chaudière aux cylindres ou des cylindres à l'échappement fussent articulés. On a trouvé, pour répondre à ce problème, des solutions très heureuses, et ces machines fonctionnent sur le Nord depuis quelque temps déjà et donnent les résultats les plus satisfaisants. Elles ont remorqué avec facilité des trains de marchandises de 1000 tonnes sur des profils très accidentés.

Pour terminer l'étude du véhicule, il paraît être intéressant de donner ici la notation employée par les Américains pour désigner d'un seul mot leurs types usuels de locomotives : celles-ci se distinguent principalement par les caractéristiques du véhicule. Ces termes, et en particulier ceux d'Atlantic, Pacific, Décapod, Consolidation et Mallet sont maintenant couramment utilisés en France et en Europe.

Notation	Disposition des roues	Observations
Américain		2 essieux accouplés, bogie à l'avant,
Atlantic		2 essieux accouplés, bogie à l'avant, essieu porteur à l'arrière
Mogul		3 essieux accouplés essieu porteur à l'avant
Prairie		3 essieux accouplés essieu porteur à l'avant et à l'arrière
Ten Wheel		3 essieux accouplés bogie à l'avant

Notation	Disposition des roues	Observations
Pacific.....		3 essieux accouplés bogie à l'avant essieu porteur à l'arrière
Consolidation...		4 essieux accouplés essieu porteur à l'avant
Mikado.....		4 essieux accouplés essieu porteur à l'avant et à l'arrière
Mastodon.....		4 essieux accouplés bogie à l'avant
Décapod.....		5 essieux accouplés essieu porteur à l'avant
Santa-Fé.....		5 essieux accouplés essieu porteur à l'avant et à l'arrière
Mallet.....		2 groupes de 3 essieux accouplés (*)

(*) à ne pas confondre avec le type Strord à 2 bogies moteurs qui a en plus 2 essieux porteurs :



Mécanisme

Tous les éléments constituant la machine à vapeur ont été décrits dans le cours des machines. Nous nous contenterons donc, tout en rappelant, au besoin, quelques principes, de signaler les dispositions adoptées le plus souvent pour les machines locomotives.

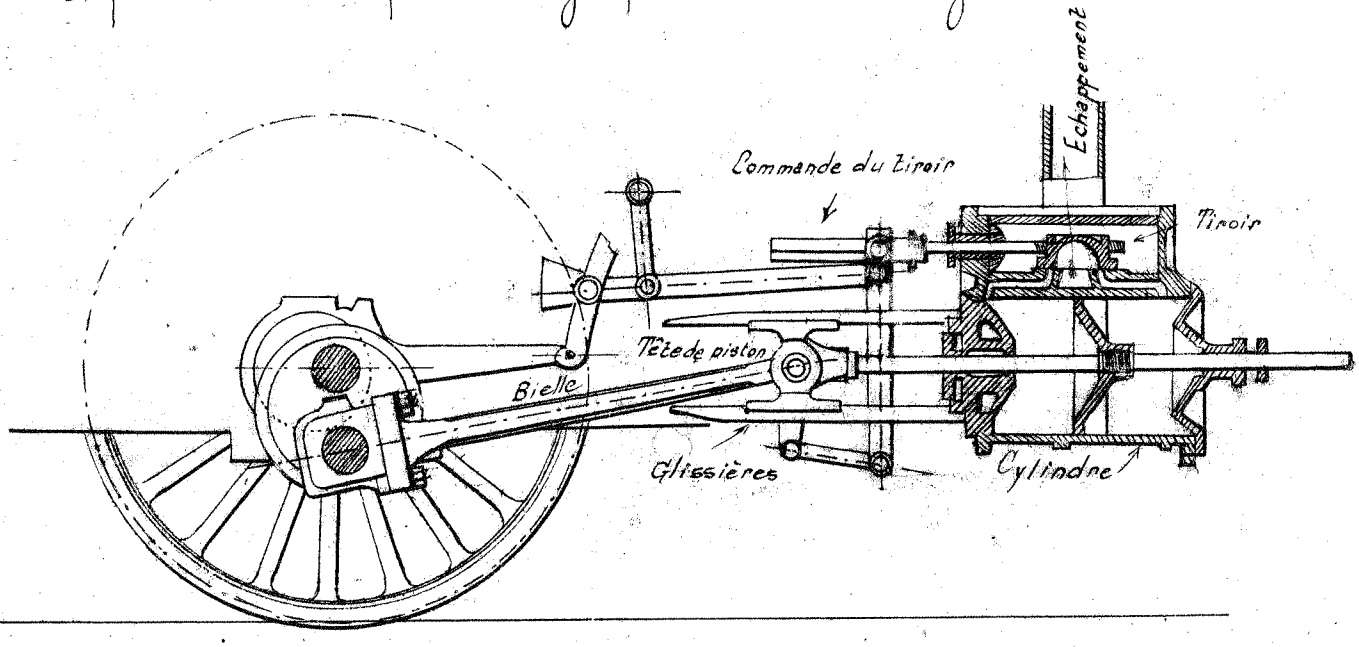
La locomotive comporte, en général, deux machines distinctes:

l'une attaquant les roues côté droit, l'autre les roues côté gauche.

Dans la très grande majorité des locomotives, la distribution est faite par tiroirs. C'est le cas que nous supposons dans l'étude qui va suivre.

Lorsque le régulateur est ouvert, la vapeur produite par la chaudière passe dans les tuyaux d'admission, et pénètre dans les boîtes à vapeur des cylindres.

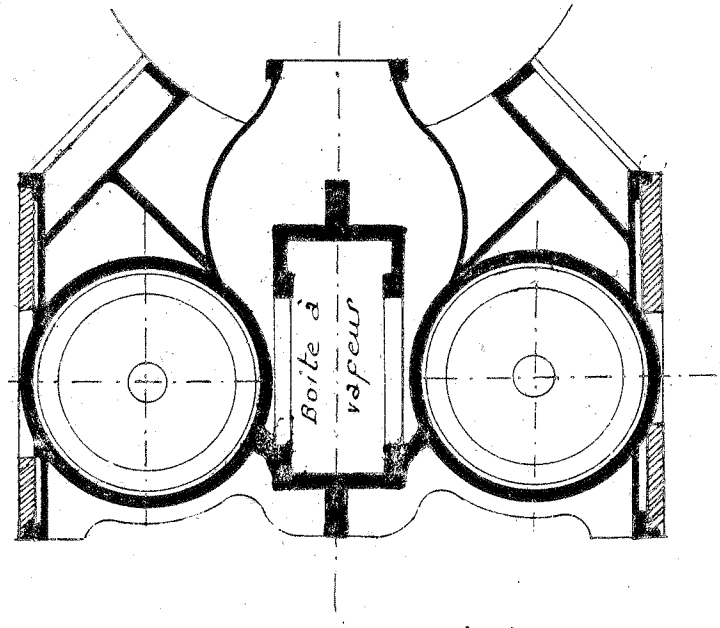
Le tiroir en se déplaçant sur la table des lumières met en communication le cylindre avec la boîte à vapeur; la vapeur admise, par exemple, dans la partie arrière du cylindre, chasse le piston vers l'avant, mais quand ce dernier a parcouru une partie de sa course, le tiroir ferme la lumière d'admission en emprisonnant, dans le cylindre, un certain volume de vapeur qui se détend en continuant à pousser le piston. Quand ce dernier est arrivé à peu près au fond du cylindre, la vapeur qui vient d'agir sur lui s'échappe dans l'atmosphère, par l'échappement, tandis que, en raison du mouvement du tiroir une certaine quantité de vapeur vierge pénètre dans le cylindre sur la



face opposée du piston pour le pousser vers l'arrière pendant la seconde moitié du tour de roue.

Le piston est muni d'une tige en acier qui sort du cylindre à travers une garniture ne laissant pas fuir la vapeur. Cette tige se meut en ligne droite comme le cylindre, et son mouvement se transmet à la bielle motrice reliée d'autre part aux boutons en tourillon de manivelle. Le mouvement se communique ainsi de la tige du piston à l'essieu moteur et ensuite aux essieux accouplés par l'intermédiaire des bielles d'accouplement.

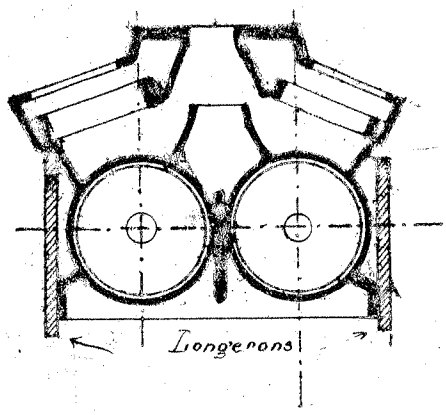
Cylindres. — Les cylindres sont en fonte et forment généralement une seule pièce avec leur boîte à vapeur ; ils sont fermés à l'avant et à l'arrière par un plateau également en fonte. Le plateau arrière est disposé de façon à laisser passer dans son centre la tige du piston dans une garniture étanche en chanvre ou plus souvent une garniture métallique. Le plateau d'avant est quelquefois également percé d'une ouverture pour laisser passer une contre-tige afin de soutenir davantage le piston et de diminuer l'usure que produit le frottement de ce dernier sur la partie inférieure du cylindre.



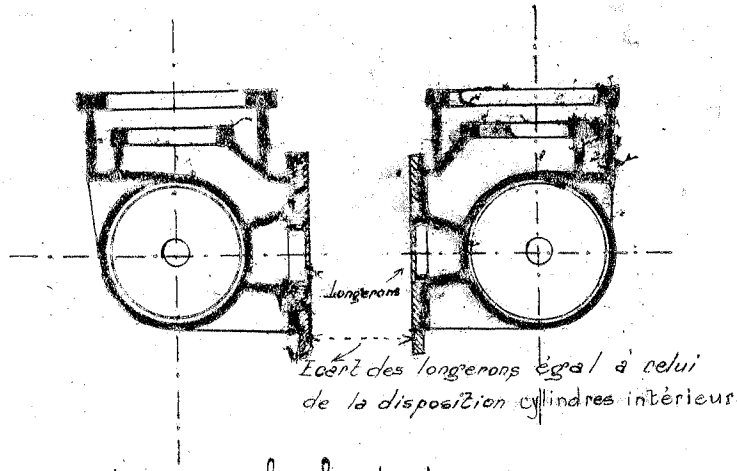
Les cylindres sont intérieurs ou extérieurs aux longerons. Quand ils sont intérieurs, ils sont, en général accouplés l'un à l'autre et les boîtes à vapeur sont verticales ; le plus souvent les deux cylindres n'ont qu'une seule boîte à vapeur dans laquelle se meuvent

les deux tiroirs. Le diamètre des cylindres intérieurs est limité par l'écartement des longerons ; souvent les tables de tiroirs sont verticales et les deux tiroirs se meuvent dans la boîte à vapeur comprise entre les deux cylindres. On peut, pour obtenir un diamètre plus grand des cylindres, mettre les boîtes horizontales au-dessus des cylindres ou encore inclinés à 45°. L'inconvénient des cylindres intérieurs est d'obliger à avoir des essieux moteurs coudés.

Cylindres intérieurs



Cylindres extérieurs



Quand les cylindres sont extérieurs la boîte à vapeur est généralement au-dessus du cylindre en disposée de manière que la table du tiroir soit horizontale ou encore inclinée à 45° environ. Quelquefois, tout en laissant le cylindre à l'extérieur, on met la boîte à l'intérieur des longerons.

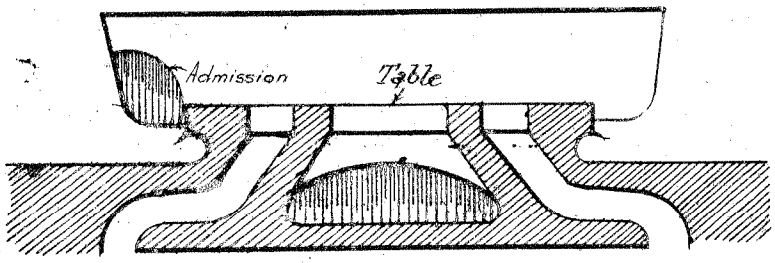
Dans l'étude de la disposition des tiroirs par rapport aux cylindres, il ne faut pas perdre de vue qu'il est très intéressant de pouvoir visiter aisément les tiroirs et les tables.

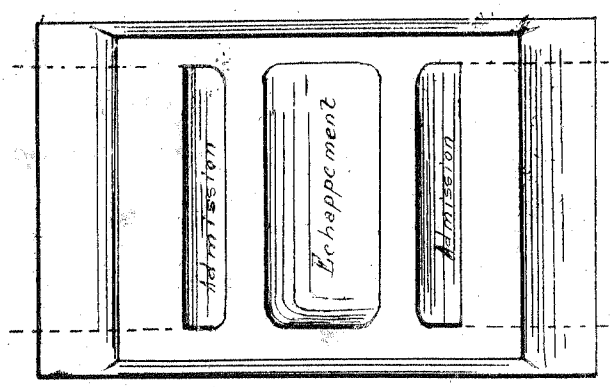
Pour plus de simplicité dans les explications qui vont suivre, nous ~~supposerons le~~ cylindre horizontal et la table du tiroir au-dessus du cylindre également horizontale.

Pistons. — Le piston doit glisser librement dans le cylindre, mais sans laisser fuire la vapeur ; on les garnit donc de segments, en

général deux, quelquefois trois. L'usure ou la rupture des segments sont une cause fréquente de mauvais fonctionnement des machines. On s'en aperçoit aisément par un déréglage de l'échappement et l'on doit faire de fréquentes visites pour remplacer les segments avariés.

Le tiroir présente une face plane de forme rectangulaire glissant sur une table qui fait partie du cylindre. La table présente trois lumières rectangulaires qui sont les débouchés de trois conduits; les deux lumières latérales correspondent aux conduites aboutissant aux extrémités du cylindre; la lumière du milieu communique avec l'extérieur par l'échappement.





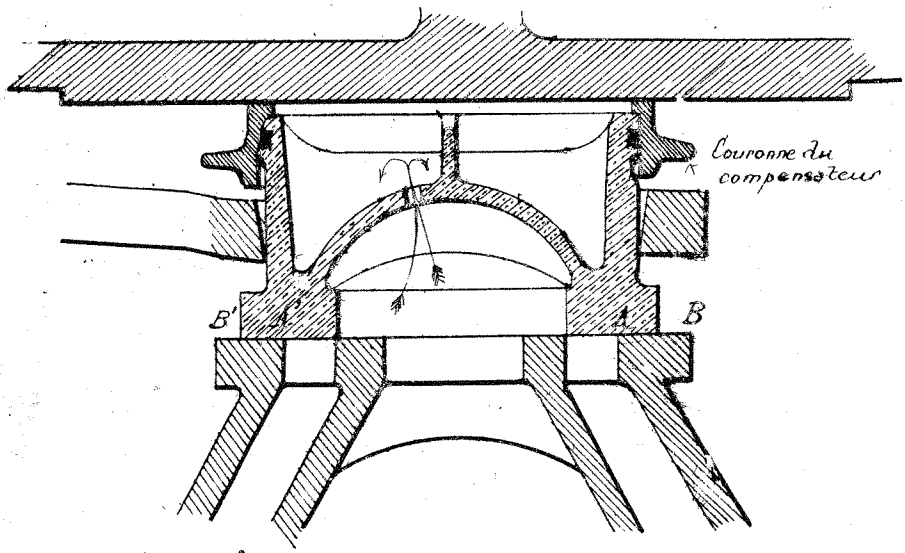
Plan de la table

Le tiroir est animé d'un mouvement de va et vient dans le sens perpendiculaire à la direction des lumières. Il est facile de voir qu'en écartant le tiroir de sa position moyenne, on peut mettre en communication alternativement l'avant et l'arrière du cylindre, soit avec la boîte à vapeur, c'est-à-dire avec la chaudière, soit avec l'échappement.

Dans sa position moyenne, le tiroir couvre les deux lumières d'admission, en dépassant de part et d'autre d'une certaine longueur AB, A'B', qu'on appelle le recouvrement extérieur. Si dans la même position, les bords intérieurs du tiroir dépassent

les bords intérieurs de la lumière, il y a recouvrement intérieur, mais dans bien des cas, ce recouvrement intérieur est nul ou même négatif.

Dans les locomotives, les tiroirs qui, on avait primitivement faits en fonte se font maintenant presque uniquement en bronze ; toutefois, pour rendre le frottement plus doux, la surface de frottement est souvent garnie de barrettes ou de macarons en métal blanc ; il est d'ailleurs préférable que ce soit le tiroir en bronze qui s'use plutôt que la table de tiroir qui est en fonte, car le tiroir est facile à remplacer, tandis que la table faisant corps avec le cylindre serait d'un remplacement plus onéreux.

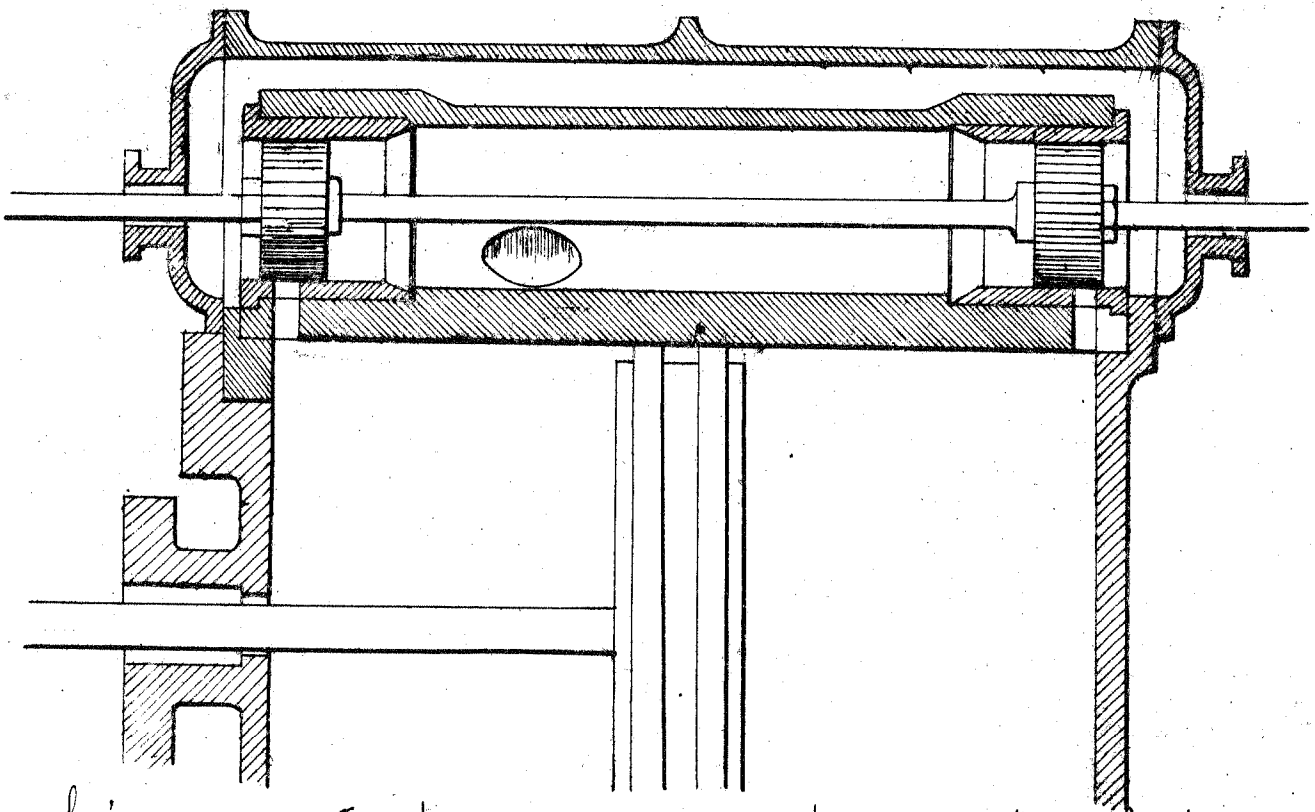


Pour diminuer la pression qui agit sur les tiroirs et, par suite, pour diminuer la rapidité d'usure, on peut avoir recours à des compensateurs. On appelle ainsi un appareil monté sur le dessus du tiroir, pouvant d'une garniture étanche en frottant sur une autre glace parallèle à celle des lumières, qui n'est autre que la face intérieure du plateau fermant la boîte à vapeur.

Le compensateur supprime l'effet de la pression de la vapeur sur une portion déterminée de la surface du tiroir.

On peut citer, comme cas particuliers de tiroirs équilibrés, les tiroirs cylindriques qui sont employés sur quelques types de

locomotives, en particulier sur l'Etat Français. Un tiroir cylindrique est composé simplement de deux pistons de même diamètre



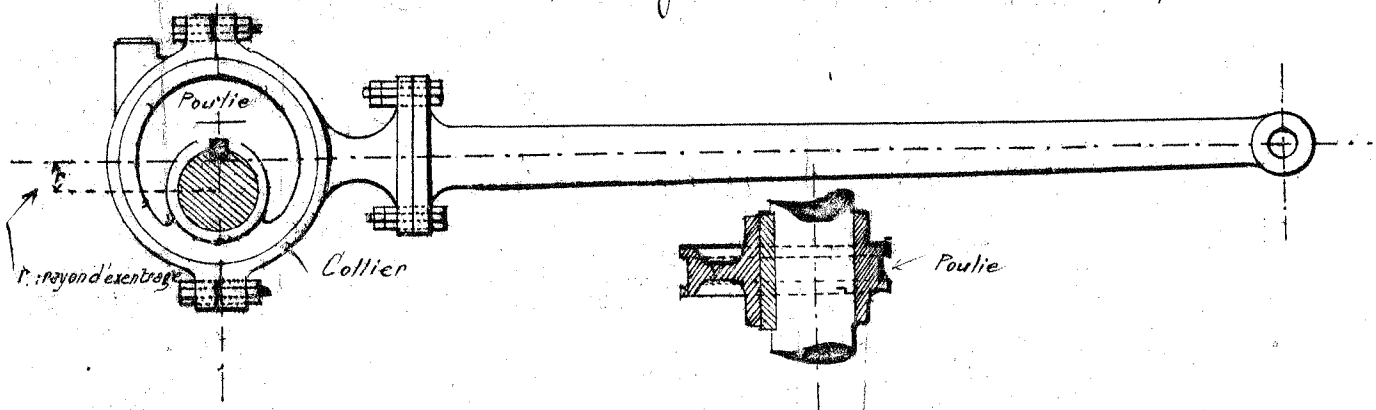
fixés sur une même tige en se mouvant dans un petit cylindre parallèle au cylindre à vapeur en constituant la boîte à tiroir. L'intérieur de ce petit cylindre est formé d'une chemise en fonte dure que l'on remplace facilement après usure ; son usure est d'ailleurs beaucoup moins rapide que celle des tables des tiroirs plans.

Sans être obligé de donner aux cylindres des tiroirs un grand diamètre, on arrive facilement à avoir des ouvertures dont le développement est plus long que celui des lumières des tiroirs plans, on réduit donc, à la fois, les pertes par frottement et les pertes dues au laminage de la vapeur.

Distribution. — Revenons au cas de la distribution par tiroirs plans, en supposant le cylindre horizontal et la table du tiroir également horizontale. Le piston est animé d'un mou-

vement de va en vient, dont l'amplitude est égale à peu près à la longueur du cylindre, et à deux fois la longueur de la manivelle motrice. Le tiroir est également animé d'un mouvement de va et vient dans le même sens que le piston, mais l'amplitude de ce mouvement est beaucoup plus faible que celle du mouvement du piston. Le mouvement du tiroir ne suit d'ailleurs pas celui du piston et est, au contraire, réglé de façon que le tiroir soit sensiblement au milieu de sa course, lorsque le piston est à fond de course, et réciproquement.

La commande du tiroir peut être faite par une manivelle, mais, en réalité, elle est presque toujours faite par un excentrique.



L'excentrique n'est pas, en principe, un mécanisme différent de la manivelle ; il ne s'en distingue que par le mode de construction qui ne modifie nullement la loi du mouvement. L'excentrique n'est autre chose qu'une manivelle ordinaire, dont le tourillon est grossi jusqu'à venir enfermer l'essieu ; alors on monte ce bouton de manivelle grossi sur le corps de l'essieu, sans être obligé de le couder. Cela forme une sorte de disque appelé "poulie d'excentrique" qui est entraînée par le mouvement de l'essieu, et dont le centre décrit autour de l'axe de l'essieu une circonférence ; le rayon r de cette circonférence est appelé rayon d'excentrage.

La poulie d'excentrique est entourée d'un collier qui glisse sur

elle en auquel est fixée la barre d'excentrique ; l'autre extrémité de cette barre est reliée à l'extrémité de la tige de tiroir qui est guidée en ligne droite et dont elle commande le mouvement.

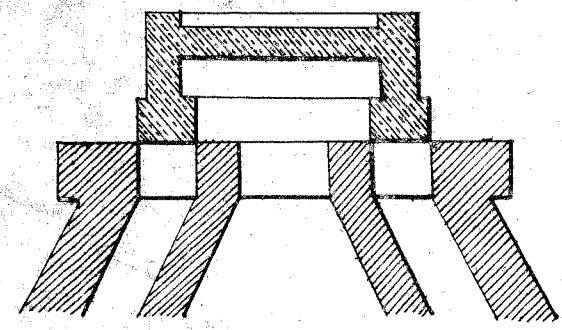
L'amplitude du mouvement rectiligne du tiroir est égal à 2r.

Si la machine devait toujours tourner dans le même sens, un seul excentrique suffirait pour chaque tiroir, mais nous verrons plus loin que, pour permettre à la machine de marcher dans les deux sens, on établit, pour chaque tiroir, deux excentriques dont l'un fonctionne pour la marche avant, et l'autre pour la marche arrière.

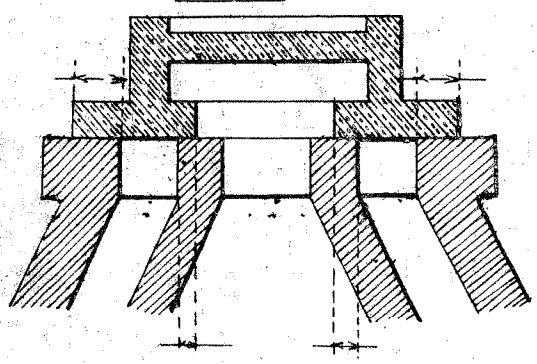
Sans entrer dans le détail de l'étude de la distribution, nous en rappellerons les différentes phases qu'il est facile de suivre en examinant, à chaque instant, la position relative du piston et du tiroir et les communications qui sont établies, pour chacune de ces positions, entre la partie avant et la partie arrière du cylindre d'une part, et l'admission et l'échappement, d'autre part. Supposons, tout d'abord, un tiroir ne présentant aucun recouvrement ; les pattes du tiroir ayant exactement la largeur des lumières d'admission. Dans sa position moyenne, le tiroir fermerait exactement ces lumières, mais, dès que ce tiroir serait écarté, soit vers l'avant, soit vers l'arrière de sa position moyenne, il ouvrirait les deux lumières d'admission, pour mettre en communication l'une d'elles avec la boîte à vapeur, et l'autre avec l'échappement ; ce serait le cas d'une distribution sans détente. Dans ce cas, la position moyenne du tiroir devrait correspondre exactement à la position du fond de course du piston, soit à l'avant, soit à l'arrière ; la manivelle commandant le tiroir devrait être montée exactement à 90° sur la manivelle motrice.

Avec un tiroir de ce type, nous voyons que la partie arrière du cylindre est, dès que le piston quitte le fond de course, en communication avec la boîte à vapeur, il y a admission sur la face arrière du piston. L'admission continue jusqu'à ce que le tiroir, après avoir fait sa course en avant soit revenu à sa position médiane, mais dès qu'il a dépassé cette position vers l'arrière, l'admission cesse en la partie arrière du cylindre est mise immédiatement en communication avec l'échappement. Nous aurions donc, avec un semblable tiroir, admission pendant toute la course avant du piston, puis, brusquement, échappement pendant toute la course arrière. Ce serait, pour une locomotive, une marche tout-à-fait mauvaise et, en pratique, les tiroirs ont toujours des recouvrements, dont l'importance est plus ou moins grande, suivant que l'on veut avoir une période de détente plus ou moins longue. La longueur de la détente est, en effet, fixée par le temps pendant lequel la patte du tiroir ferme complètement la lumière d'admission, c'est-à-dire par le temps qui s'écoule entre le moment où le bord extérieur du tiroir atteint le bord extérieur de la lumière et le moment où le bord intérieur du tiroir découvre le bord intérieur de la lumière pour mettre celle-ci en communication avec l'échappement.

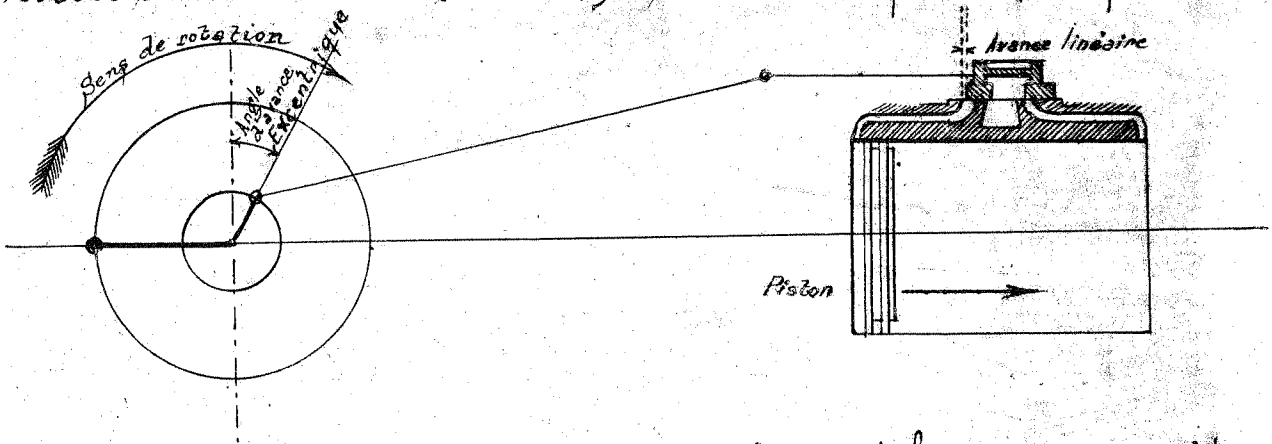
Tiroir sans recouvrements



Tiroir avec recouvrements



Angle de calage. — Supposons que la manivelle du tiroir soit calée exactement à 90° sur celle du piston ; la position

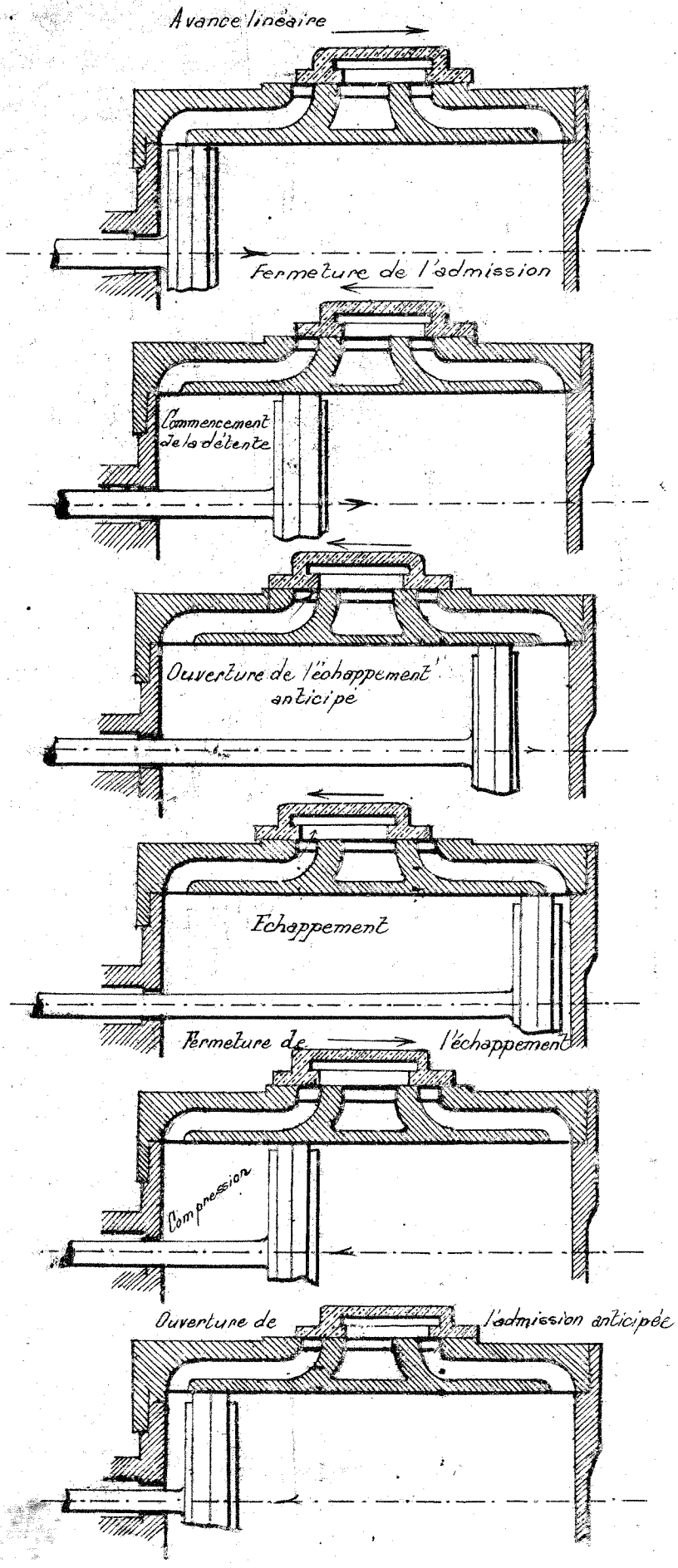


du fond de course du piston correspondrait à la position médiane du tiroir, or, pour que le piston quitte sa position de fond de course en qu'il y ait mouvement de ce piston vers l'avant, il faut qu'il y ait admission par la lumière d'arrière, il faut que l'orifice d'admission d'arrière commence à se démasquer, au plus tard lorsque le piston est à fond de course en que, pour la position de fond de course des pistons, le tiroir occupe, non sa position médiane, mais une position qui soit, sur sa position médiane, en avance d'une longueur égale à celle du recouvrement extérieur.

Pour donner au tiroir cette avance, il faut caler la manivelle de façon qu'elle fasse avec la manivelle du piston un angle supérieur à 90°.

On calcule même pratiquement cet angle de façon qu'à la position du tiroir correspondant au fond de course du piston, l'orifice soit légèrement ouvert pour l'introduction de la vapeur. La quantité dont l'orifice est ouvert à cet instant s'appelle avance linéaire à l'admission.

Supposons que le piston quittant le fond de course arrière, se déplace vers l'avant ; pendant la première période de cette course, le tiroir qui avait déjà, à l'origine, découvert la lumière



de gauche d'une longueur égale à l'avance linéaire à l'admission, continue à avancer en découvre de plus en plus la lumière d'arrière ; le tiroir passe par son point mort avant, puis revient à l'arrière en ferme la lumière. A ce moment finit la période d'admission en commence la période de détente ; pendant cette seconde période qui dure pendant tout le temps où la patte du tiroir passe sur la lumière arrière, la vapeur, se détendant, pousse le piston avec une pression décroissante ; à ce moment commence la troisième période, dite période d'échappement anticipé. La lumière d'arrière est mise en communication avec l'échappement

en, cependant le piston continue encore sa marche vers l'avant ; cette période est appelée échappement anticipé parce que cet échappement se produit avant que le piston ait commencé sa marche rétrograde. Il semble donc au premier abord qu'il commence trop tôt.

Lorsque le piston est arrivé à bout de course avant, la partie arrière du cylindre continue à être en communication avec l'échappement. La période d'échappement dure pendant tout le temps où le tiroir continue son mouvement vers l'arrière, dépasse son point mort arrière en venant ensuite en avant, commence à fermer de nouveau la lumière. A ce moment commence la période de compression qui dure pendant tout le temps où la patte du tiroir obstrue la lumière. Pendant cette période, la vapeur enfermée dans la partie arrière du cylindre ne pouvant s'échapper, est comprimée par le piston qui continue à se rapprocher du fond de course arrière. Cette période dure jusqu'au moment où le bord arrière du tiroir atteint le bord extérieur de la lumière. A ce moment, commence *l'admission anticipée*, c'est à dire la période pendant laquelle la partie arrière du cylindre se trouve en communication avec l'admission bien que le piston ne soit pas encore arrivé à son fond de course arrière. Cette admission anticipée correspond à l'avance linéaire dont nous avons parlé tout à l'heure.

En résumé, si on considère un seul côté du piston pour une course aller et retour, la distribution comporte les six phases suivantes :

Aller du piston { Admission
Détente
Echappement anticipé.

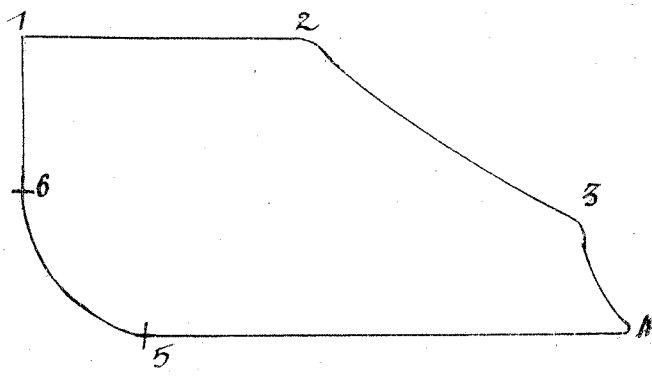
Retour du piston { Échappement / Compression / Admission anticipée

Si l'on considère l'autre face du piston, on trouve six phases analogues.

L'échappement anticipé et l'admission anticipée sont l'un et l'autre très utiles. L'échappement anticipé permet d'avoir, au moment où le piston repart de son fond de course, l'ouverture complète de la lumière d'échappement. L'admission anticipée a pour avantage d'exercer sur le piston, avant qu'il arrive à fond de course, une compression qui atténue les chocs, et, par suite, la fatigue du mécanisme.

Pour se rendre compte de la distribution d'une machine, on relève fréquemment des diagrammes à l'aide d'appareils dont la description a d'ailleurs été faite dans le cours des machines. Le diagramme indique la pression, dans l'une des deux parties du cylindre, pendant la course aller et retour du piston.

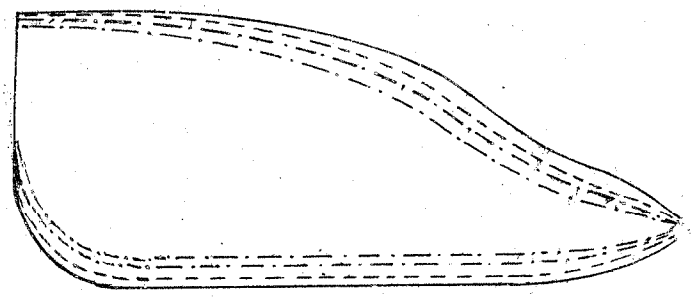
Quand on veut se rendre compte de la distribution dans un cylindre, on relève deux diagrammes, l'un pour la partie avant, l'autre pour la partie arrière du cylindre.



Dans le diagramme figuré ci-contre, la partie 1-2 correspond à l'admission; 2-3 à la détente; 3-4 à l'échappement anticipé; 4-5 à l'échappement; 5-6 à la compression; 6-1 à l'admission anticipée.

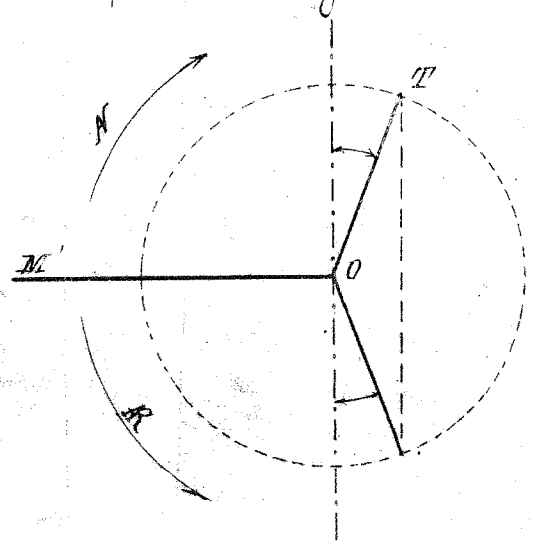
A très faible vitesse, la période d'admission correspond à une ligne horizontale, mais dès que la vitesse augmente, le

diagramme se trouve déformé par le fait du laminage de la vapeur. Pour que la pression même de la chaudière s'établisse dans le cylindre pendant toute l'admission, il faudrait que les conduits laissant le passage à la vapeur fussent suffisamment ouverts et que la marche du piston fût suffisamment lente. Pratiquement, lorsque le tiroir vient d'ouvrir ou va fermer la lumière, il ne démasque qu'une fente étroite. D'autre part, le piston marche souvent très vite ; la vapeur n'entre pas alors dans le cylindre en quantité suffisante pour y prendre la même pression que dans la boîte à tiroir, on dit qu'elle se lamine. De même, au moment où le tiroir ouvre l'échappement, la vapeur ne peut sortir instantanément du cylindre et la pression ne devient pas tout de suite égale à celle de l'atmosphère.



— Diagrammes à diverses vitesses —

Plus la vitesse augmente, plus le laminage de la vapeur a de l'importance ; il en résulte que pour une même distribution, à mesure que la vitesse augmente le diagramme se déforme, sa surface se contracte de plus en plus, le travail par coup de piston se trouve donc réduit. Ci-contre quelques exemples de diagrammes à différentes vitesses.

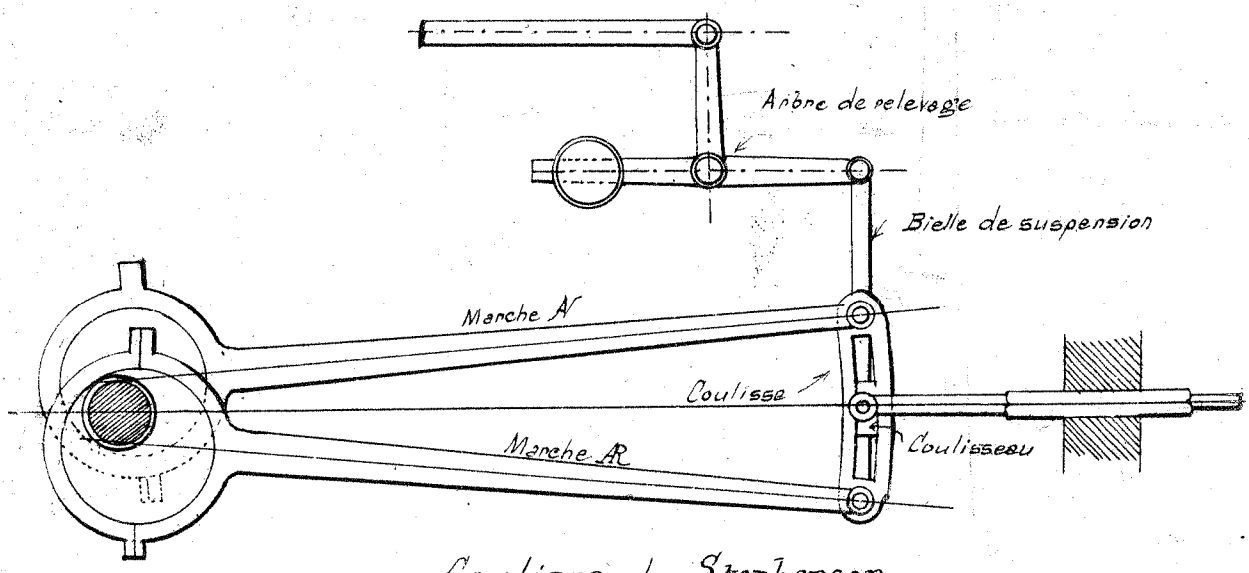


Marche arrière. — Pour avoir une machine tournant en arrière il suffirait de caler l'excentrique dans une position symétrique de celle occupée par l'excentrique pour la marche avant.

Si OT représente le rayon d'excen-

trique de marche avant, OT' symétrique de OT par rapport à la position de la manivelle OM donnera la direction du rayon d'excentrique de marche arrière.

Supposons que les deux excentriques OT et OT' existent en soient calés sur le même essieu moteur ; si nous pouvons à volonté relier la tige de commande du tiroir à l'un ou l'autre de ces deux excentriques, nous aurons réalisé la condition de pouvoir marcher soit à l'avant, soit à l'arrière. C'est ce qu'on a obtenu avec la coulisse de Stéphenson. Cette coulisse réunit les extrémités



— Coulisse de Stephenson —

des deux barres d'excentrique en le coulisseau articulé sur la tige du tiroir se déplace dans la coulisse en communique son mouvement au tiroir. La coulisse est suspendue en son milieu à une bielle commandée par un arbre de relevage.

Si nous plaçons la coulisse de façon que le coulisseau occupe la partie supérieure de la coulisse, il coïncidera avec l'extrémité de la barre d'excentrique de marche avant et le tiroir sera conduit par cette barre. Si, au contraire, on fait remonter la coulisse de façon à amener le coulisseau à la partie inférieure,

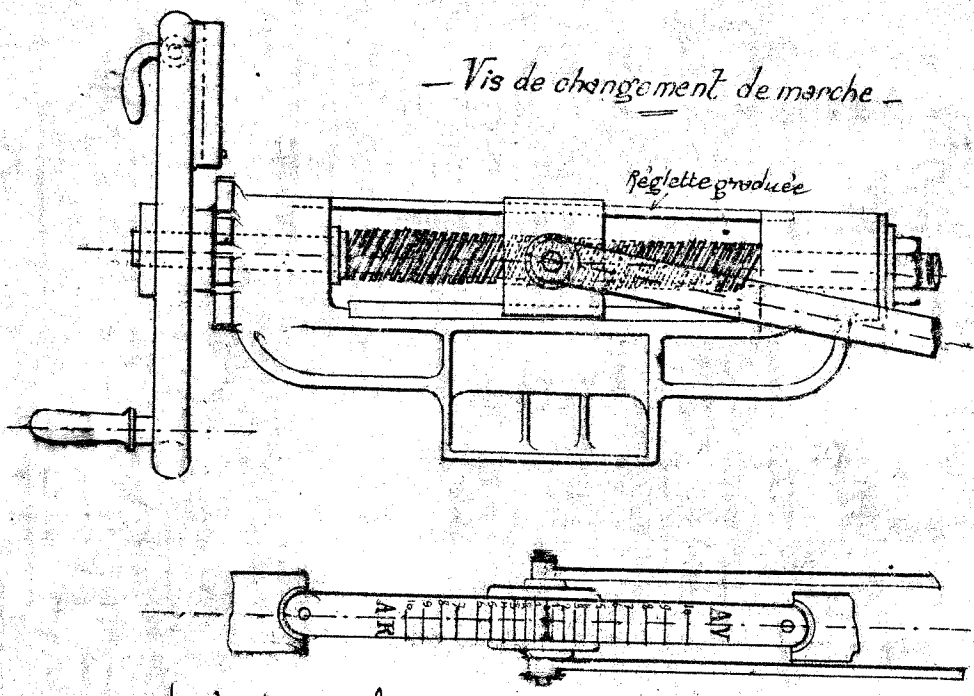
le tiroir sera commandé par la barre d'excentrique arrière.

La coulisse de Stephenson ne sera pas seulement comme appareil de changement de marche ; si, au lieu de placer l'arbre de relevage dans les positions extrêmes, on le fixe de façon à arrêter le coulisseau en un point intermédiaire de la coulisse, le tiroir prend un mouvement bien déterminé qui n'est ni celui de l'excentrique marche arrière, ni celui de l'excentrique marche avant, et, pour chacune des positions du coulisseau, le mouvement du tiroir est sensiblement celui que lui donnerait un excentrique intermédiaire d'angle de calage et de rayon déterminés ; c'est ce qu'on appelle l'excentrique fictif du tiroir.

Plus le coulisseau se rapproche du centre de la coulisse, plus le rayon d'excentrique fictif diminue et plus son angle d'avance augmente. Comme conséquence, à mesure que le coulisseau se rapproche du milieu de la coulisse, il donne des distributions dont la période d'admission est plus courte, et dont les périodes d'échappement anticipé et de compression sont plus longues. On réalise ainsi la condition d'avoir une distribution avec admission variable.

La coulisse de Stephenson donne des avances linéaires variables avec la position du coulisseau dans la coulisse. On s'en rend compte aisément, en mettant la manivelle au point mort et en agissant sur le changement de marche pour déplacer la coulisse, on voit le tiroir se déplacer légèrement sur la table en augmentant la petite ouverture de la lumière, ou avance linéaire, à mesure que le coulisseau se rapproche du centre de la coulisse.

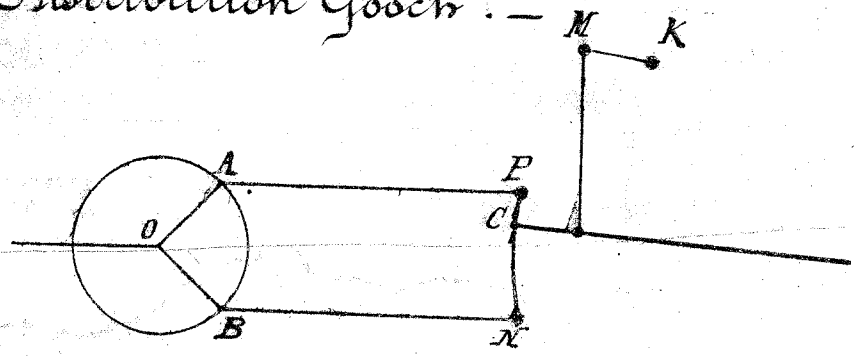
Le mécanisme qui permet au mécanicien de changer la marche et de fixer l'arbre de relevage dans chacune de ses positions, comprend le plus souvent un volant qui commande une vis de



changement de marche sur laquelle se déplace un écrou; un levier s'adapte sur cet écrou en se reliant au levier calé sur l'arbre de relevage. L'écrou porte un index qui se déplace sur une réglette graduée dont les indications renseignent le mécanicien sur la position du coulisseau, le sens de la marche et le degré d'admission. Les graduations de la réglette sont le plus souvent en centièmes de la course du piston.

On emploie sur les locomotives d'autres systèmes de coulisse que la coulisse Stephenson. On peut citer la coulisse de Gooch, celle d'Allan, et enfin la distribution Walschaert.

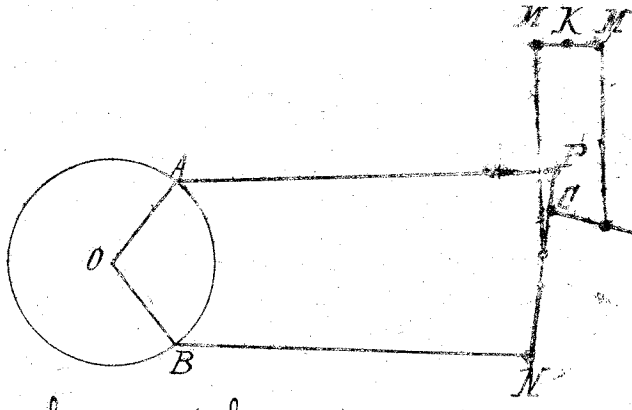
Distribution Gooch. —



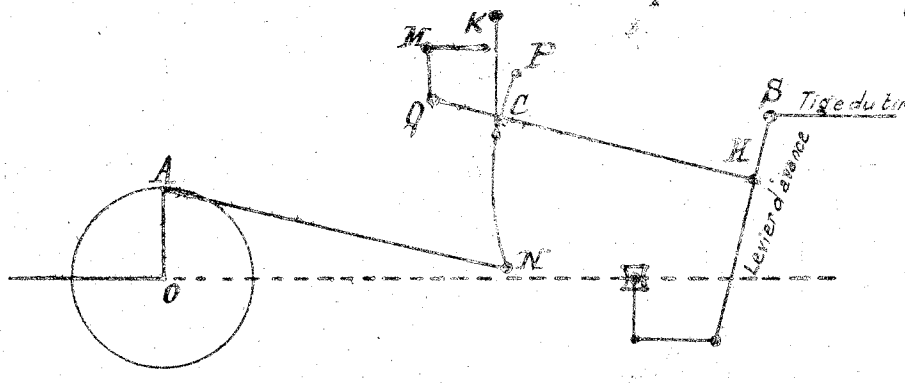
Dans la distribution Gooch, contrairement à ce qui se passe dans la distribution Stephenson, la coulisse est fixe et tourne sa concavité vers le tiroir. Le coulisseau est mobile et reçoit son mouvement d'une bielle suspendue à l'arbre de relevage. Le rayon de la coulisse est égal à la longueur de la bielle du coulisseau. Il en résulte que lorsque la manivelle motrice est au point mort, le déplacement de la coulisse sur le coulisseau ne modifie pas la

position du tiroir en que l'avance linéaire est la même pour tous les crans de marche. Cette distribution a l'inconvénient de se loger difficilement à l'intérieur des longerons.

Distribution Allan. — C'est une combinaison de deux distributions Stephenson et Gooch. La coulisse et le coulisseau se déplacent simultanément en à l'opposé par rotation autour de l'arbre de relevage K, ce qui permet d'avoir une coulisse rectiligne de construction plus facile que les précédentes. L'arbre de relevage est à peu près équilibré en l'amplitude de sa rotation est diminuée de moitié. Cette distribution ne peut guère se placer qu'à l'extérieur des longerons. Bien qu'elle ne réalise pas complètement la constance des avances, elle permet de s'en approcher cependant plus qu'avec la coulisse Stephenson.



Distribution Walschaert, ou Heusinger von Waldegg.



Dans cette distribution, le mouvement du tiroir est obtenu, d'une part par un excentrique calé à 90° en avant ou en arrière de la manivelle motrice en actionnant une coulisse suspendue par son milieu à un point fixe, d'autre part par un levier appelé levier d'avance, dont l'extrémité inférieure participe au mouvement de la crosse du piston. Ce levier d'avance, qui est

lui-même actionné par la coulisse au moyen du levier RH, conduit le tiroir par son extrémité supérieure S. La bielle du coulisseau est suspendue à l'arbre de relevage K par la bielle MQ. Le changement de marche s'obtient en plaçant le coulisseau sur la moitié inférieure ou supérieure de la coulisse. On obtient des avances constantes à tous les crans de marche en prenant pour rayon de la coulisse la longueur HC. Les avantages de cette distribution sont la simplicité et le faible poids des pièces qui la composent. Elle est évidemment toute indiquée lorsque la boîte à vapeur est placée au-dessus du cylindre. L'excentrique unique de cette distribution peut être remplacé par un bouton de manivelle dans le cas où elle est placée extérieurement.

Distributions spéciales. — Toutes les distributions dont il vient d'être question, présentent à divers degrés certains inconvénients : laminage de la vapeur, augmentation des périodes d'échappement anticipé et de compression quand on veut détendre davantage la vapeur, frottement important des tiroirs non équilibrés, manque d'étanchéité des tiroirs équilibrés, etc... Pour atténuer ces inconvénients, on a essayé sur les locomotives les distributions perfectionnées employées dans l'industrie, mais leur emploi ne s'est pas généralisé, à cause de leur assez grande complication. A l'Est cependant, on a appliqué à certaines machines la distribution Bonnefond qui comporte pour l'admission deux tiroirs plans séparés en place à la partie supérieure du cylindre, pour l'échappement un tiroir cylindrique à deux pistons placé à la partie inférieure. Les tiroirs d'admission fonctionnent par un déclic produit au moyen de diquets venant rencontrer des hélices de déclenchement portées par une tige spéciale dont la rotation fait varier le degré d'admission. La compression est toujours la même pour tous les trains

de marche : 10 % de la course du piston.

A l'Orléans d'autre part, on a essayé la distribution Durand-Sanzanchez qui comporte des distributeurs genre Corliss : deux pour l'admission, deux pour l'échappement. Ils sont actionnés par une coulisse de Gosch à 2 coulisseaux, l'un pour la commande des distributeurs d'admission, l'autre pour celle des distributeurs d'échappement. Enfin, on essaie depuis quelques années la distribution Lenz qui comporte 4 soupapes à double siège placées verticalement dans une même boîte à vapeur : au milieu 2 pour l'admission, aux extrémités 2 pour l'échappement. Ces soupapes sont chargées par des ressorts de rappel en portent des galets roulant sur une tige à cames susceptible d'être conduite par une distribution quelconque à excentriques, mais qui est effectivement conduite par un système spécial dû aussi à M. Lenz.

Action du régulateur et du changement de marche. — Ainsi que nous l'avons dit, on peut à l'aide du changement de marche, réduire la période d'admission ; en effet, plus on rapproche le changement de marche du zéro, c'est-à-dire du cran correspondant à la position du coulisseau au centre de la coulisse, plus on diminue la position de parcours du piston pendant laquelle se produit l'admission. Si, par exemple, dans sa position extrême le changement de marche donne une admission de 80 % du parcours du piston, on réduit cette admission à 70, 60, 50, etc... en ramenant le changement vers son point mort ; on peut donc régler cette admission de façon à obtenir un travail déterminé pour chaque coup de piston. Mais la variation de la période d'admission n'est pas la seule conséquence de cette manœuvre, les périodes d'échappement anticipé et de compression augmentent à mesure que la période d'admission diminue.

En se reportant au diagramme, on voit que l'accroissement

s'ajoute à la diminution de l'admission pour réduire le travail par coup de piston.

Au lieu d'agir sur le changement de marche, on peut diminuer le travail de la vapeur par coup de piston en agissant sur le régulateur ; si on n'ouvre à la vapeur de la chaudière qu'une étroite issue, on la lamine et la pression dans la boîte à vapeur est plus faible que dans la chaudière. Plus on ferme le régulateur, plus on lamine la vapeur et plus on réduit le travail moteur par coup de piston mais, dans ce cas, on n'agit pas sur l'échappement anticipé ni sur la compression.

Dans quelle mesure doit-on, pour réduire le travail par coup de piston, agir sur le changement de marche ou sur le régulateur ? C'est là affaire d'expérience, et il est difficile de donner une règle théorique. S'une des positions la plus convenable du changement de marche est celle qui donne l'admission pendant 20 % de la course. Avec une plus forte admission, la période de détente est trop courte, et la vapeur n'est pas bien utilisée, mais avec une admission plus faible on fait commencer trop tôt l'échappement anticipé et on produit une trop forte compression. En général, on se servira des deux procédés à la fois, et, en marche normale, on n'ouvrira pas le régulateur tout-à-fait en grand et on réglera le changement de marche de façon à produire une détente suffisante dans les cylindres.

Mise en marche. — La mise en marche d'une locomotive peut présenter, parfois, d'assez grandes difficultés.

Si la machine n'avait qu'un seul cylindre, il y aurait un grand nombre de positions où elle ne pourrait pas démarrer, soit parce que la manivelle serait voisine du point mort, soit parce que les deux lumières d'admission seraient couvertes par le tiroir. Il est donc indispensable d'avoir deux cylindres

dans les manivelles sont calées à 90° l'une par rapport à l'autre.

Au démarrage, si les deux cylindres reçoivent de la vapeur, les efforts qu'ils produisent s'ajoutent, mais, dans certains cas, un seul cylindre agit. L'effort le plus faible se produit lorsque l'une des manivelles vient de passer la position où le tiroir intercompt l'admission ; dans ce cas, un seul cylindre est moteur et sa manivelle n'est pas encore fort éloignée du point mort. Il arrive alors que la machine ne veuille pas démarrer ; on change le sens de la marche et, presque toujours, les conditions sont meilleures pour la marche arrière ; on fait donc faire à la machine un léger mouvement à l'arrière et on se trouve ensuite dans de meilleures conditions pour démarrer en avant. Quoi qu'il en soit, pour que le démarrage ait le plus de chance de se produire, il y a intérêt à se mettre dans le cas de l'admission la plus longue possible et, par conséquent, à démarrer avec le changement de marche à fond de course.

Marche à régulateur fermé. — Lorsqu'on ferme le régulateur, la machine continue à avancer, et si on se trouve, par exemple, sur une pente, on peut marcher longtemps. Le mouvement du piston et du tiroir se fait dans les mêmes conditions que si on admettait de la vapeur. Mais le mouvement du piston aspire les gaz qui se trouvent dans la boîte à vapeur et tend à les rejeter dans l'échappement ; il y a alors tendance à soulèvement du tiroir et le résultat est de faire passer, dans le cylindre, des gaz pris par l'échappement dans la boîte à fumée. Pendant la période correspondant à la détente, ces gaz se dilatent par suite de l'accroissement du volume ; au contraire, pendant la période de compression, ils s'échauffent, et dans ce cas, ils brûlent les matières de graissage, et risquent de dété-

rioter le cylindre. D'autre part, leur compression produit une résistance qui tend à arrêter la machine. Pour toutes ces raisons, il y a tout intérêt, en marche à régulateur fermé, à mettre le changement de marche à bout de course, de façon à réduire le plus possible la période de détente en celle de compression.

Machines Compound. — En raison de l'augmentation de la charge des trains, et du désir d'obtenir toujours plus de vitesse, on a été amené pour avoir des machines plus puissantes à en élever progressivement le timbre. Mais, dès que le timbre dépasse 10 kilos, il semble qu'on ait avantage à utiliser des machines à double expansion, c'est-à-dire à faire agir en détendre la vapeur successivement dans deux cylindres. La disposition la plus employée est celle de la machine Compound.

La vapeur venant de la chaudière est admise directement dans le cylindre à haute pression ou petit cylindre ; elle se détend, mais en s'échappant de ce cylindre, au lieu de passer directement dans l'atmosphère, elle passe dans un réservoir intermédiaire. C'est dans ce réservoir intermédiaire que le second cylindre, dit cylindre à basse pression ou encore grand cylindre, prend sa vapeur ; cette vapeur se détend à nouveau dans ce cylindre pour être rejetée enfin au dehors par l'échappement.

Les deux parties de la machine Compound, envisagées séparément, ne diffèrent ni l'une ni l'autre d'une machine à un seul cylindre, mais c'est la même vapeur qui les traverse successivement, c'est-à-dire que pendant le même temps (celui d'un tour de roue), elles reçoivent chacune le même poids de vapeur.

La pression de vapeur dans le réservoir intermédiaire doit toujours être un peu plus petite que dans le petit cylindre et un peu plus forte que dans le grand cylindre, puisqu'il doit y avoir écoulement du petit cylindre dans le réservoir et du

réservoir dans le grand cylindre ; c'est cette condition qui doit régler la durée de l'admission dans le grand cylindre.

Si l'on néglige la condensation qui se produit à l'admission au grand et au petit cylindre, et dont les effets se compensent à peu près, on arrive à cette conclusion que le volume offert à l'admission, dans le grand cylindre, doit être sensiblement le volume du petit cylindre. Une fois admise dans le grand cylindre, la vapeur doit ensuite s'y détendre de manière à doubler au moins le volume d'admission, ce qui conduit finalement à donner au grand cylindre un volume égal à deux fois ou deux fois et demie celui du petit.

Si l'on voulait trop augmenter la période d'admission dans le grand cylindre, on abaisserait la pression dans le réservoir intermédiaire ; on diminuerait le travail de la vapeur sur le grand piston et malgré l'augmentation de travail qui en résulterait pour le petit piston, le travail total se trouverait réduit.

On peut se demander quels sont les avantages que présente le système Compound sur le système à simple expansion.

Supposons une machine ayant pour cylindre unique, le cylindre à basse pression d'une Compound. Si on introduit dans ce cylindre le même volume de vapeur pris à la chaudière, on trouvera, au moment de l'échappement, la vapeur aussi détendue dans ce cylindre unique que dans l'ensemble des deux cylindres de la Compound. Par la même détente du même volume de vapeur, on recueillera le même travail ; il semble donc qu'il y ait concordance entre les deux systèmes, et cependant la consommation de vapeur est moindre dans la Compound que dans la machine à simple expansion.

Les machines Compound ont, en effet, plusieurs avantages spéciaux :

Pour obtenir dans le cylindre unique une grande détente de la vapeur, il faut augmenter fortement les périodes d'échappement anticipé et de compression en laminer la vapeur à l'admission, par suite de la faible ouverture des lumières. D'autre part, les espaces libres des cylindres doivent être, à chaque course, remplis de vapeur à la pression d'admission. Quand la pression à l'admission est élevée, on dépense ainsi beaucoup de vapeur. Dans la Compound, l'espace libre en relation avec la chaudière est beaucoup plus petit, parce que c'est celui du petit cylindre. Enfin la dépense de vapeur due aux condensations y est beaucoup plus faible que dans les machines à un seul cylindre. L'importance de la condensation est, en effet, fonction de la différence des températures auxquelles est portée la paroi des cylindres pendant la période d'admission et pendant la période d'échappement. Or, dans une Compound, la vapeur à 10 kil. par exemple entre dans le petit cylindre à 183°. Si elle en sort à 3 ou 4 kilos, la température sera, au moment de l'échappement, d'environ 144°, soit une chute de 43°. Dans le grand cylindre, la température subira également une chute de 40°. Si la vapeur passait dans un cylindre unique, les parois de ce cylindre subiraient une chute de 183 à 100°.

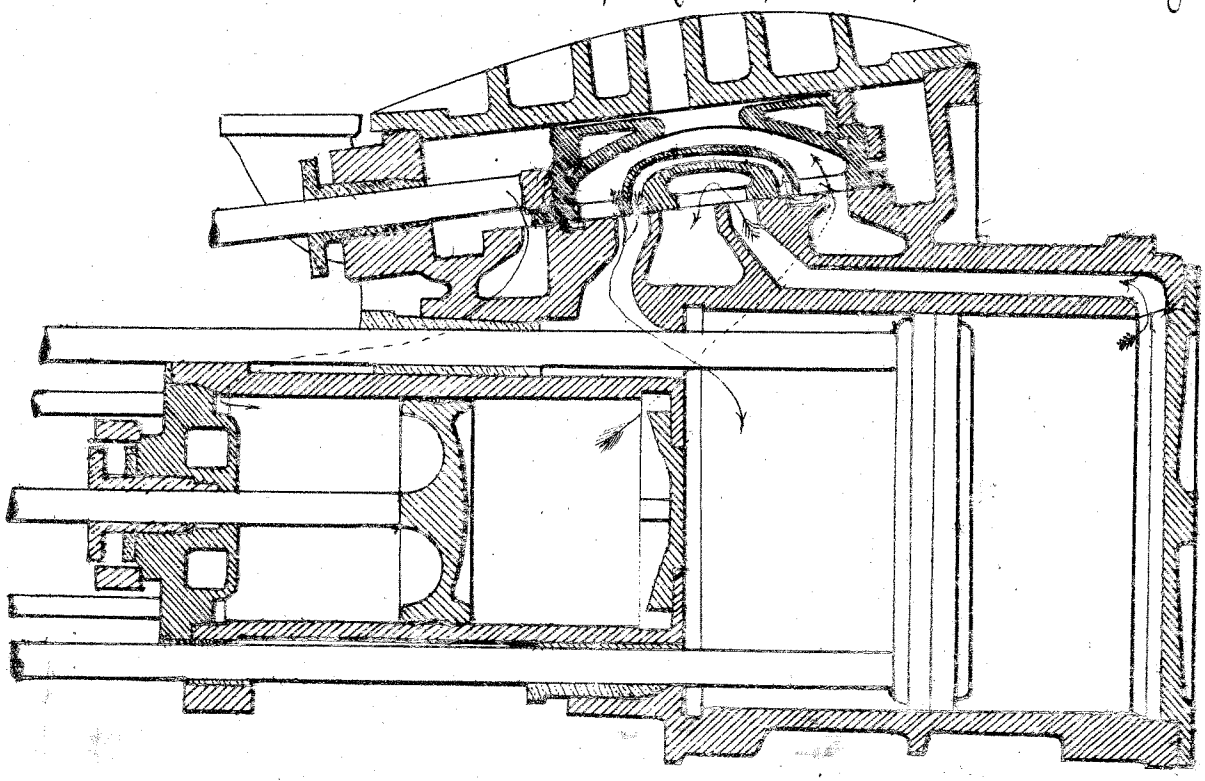
Enfin, dans les Compound, on a le grand avantage d'éviter la fatigue du mécanisme. Les fortes pressions causent un frottement considérable des tiroirs et, par suite, une usure rapide. Or, la pression qui s'exerce sur les tiroirs n'est que la différence entre la pression de la chaudière et celle du réservoir intermédiaire. D'autre part, dans chaque cylindre la détente est moins considérable que dans une machine à un seul cylindre. La variation de la pression, par suite de la force qui pousse le piston, est donc moindre pendant la période d'une

course ; les pièces de la machine sont moins fatiguées et l'effort moteur est plus régulier.

Différents types de locomotives Compound. – C'est en 1876 que M. Mallet fit construire la première machine Compound ; depuis cette époque, on en a construit un nombre considérable et de types assez différents.

La locomotive Compound peut n'avoir que deux cylindres, le cylindre à basse pression ayant un volume au moins double du cylindre à haute pression ; pour éviter un trop gros cylindre, souvent assez difficile à placer sur la locomotive, on peut diviser en deux le gros cylindre, en avoir une machine à trois cylindres, un cylindre à haute pression et deux cylindres à basse pression s'alimenter au même réservoir intermédiaire. Mais le plus souvent, les machines Compound sont à 4 cylindres formant deux groupes de deux cylindres, l'un à haute pression, l'autre à basse pression, chaque groupe attaquant un côté de la machine.

Une disposition particulière connue sous le nom de système Woolf, consiste à faire, de chaque groupe d'un petit et d'un grand



cylindres, une pièce unique commandée par un seul tiroir qui fait passer directement la vapeur du petit cylindre dans le grand, les 2 pistons sont commandés par la même tige. C'est le système Compound, mais le réservoir intermédiaire ne se compose que du conduit d'échappement du petit cylindre en de la boîte à vapeur du grand. Les deux cylindres sont généralement placés en tandem, en ne formant qu'une seule pièce avec une seule grande boîte à vapeur dans laquelle se déplace le tiroir unique.

L'inconvénient de ce système est, d'une part, le poids considérable du groupe de deux cylindres, et, d'autre part, les dimensions forcément restreintes du réservoir intermédiaire.

La disposition la plus employée consiste à avoir 4 cylindres avec distribution indépendante; souvent on place à l'intérieur des longerons les deux cylindres haute pression et à l'extérieur, les deux cylindres basse pression. De plus souvent, les deux cylindres à haute pression attaquent un essieu moteur et les deux cylindres basse pression attaquent un second essieu moteur; ces deux essieux moteurs sont reliés entre eux par des bielles d'accouplement. Dans presque toutes ces machines, on a conservé la distribution par tiroir avec coulisse Stephenson ou la distribution Walschaert. L'admission dans le cylindre haute pression ne descend guère au-dessous de 30 % et dans le cylindre basse pression au-dessous de 45 à 50 %.

Malgré ces admissions assez fortes auxquelles correspondent des périodes de compression assez courtes, la compression est souvent forte dans les cylindres à haute pression, puisque c'est la vapeur du réservoir intermédiaire qui est comprimée dans le petit cylindre; de plus, comme ces machines marchent à grande vitesse, les laminages de vapeur augmentent encore les compressions.

Pour les diminuer, on emploie souvent des tiroirs avec recouvrement intérieur négatif.

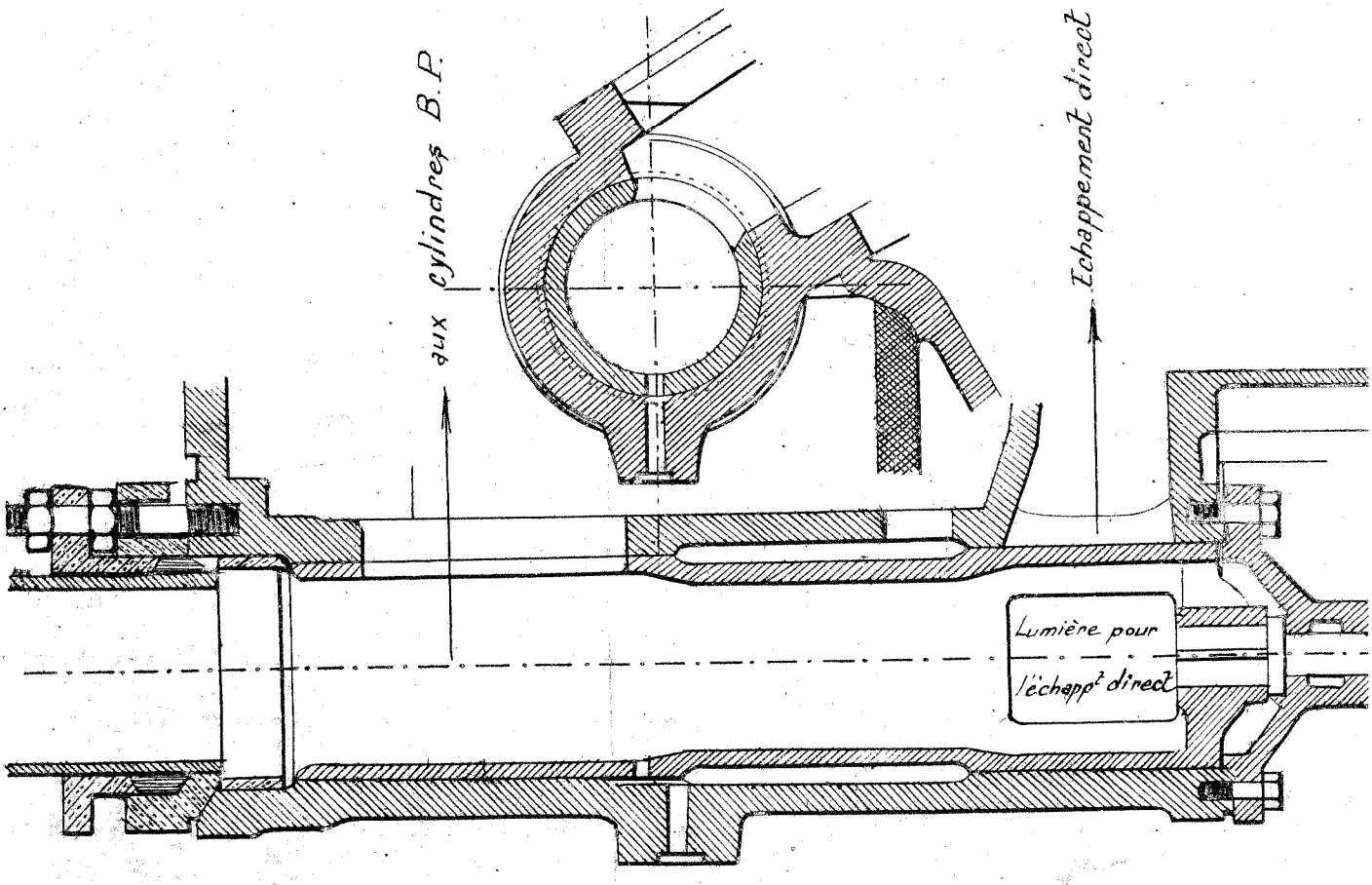
En principe, les distributions des cylindres à haute en à basse pression d'une locomotive Compound doivent être commandés par des mécanismes de relevage différents. En effet, l'admission ne doit guère varier dans les cylindres à basse pression, on doit seulement pouvoir l'augmenter un peu aux grandes vitesses pour compenser l'effet des laminages. Au contraire, aux cylindres haute pression, il y a intérêt à faire varier souvent la durée de la période d'admission, suivant le travail que l'on veut obtenir. Il faut donc que les deux relevages puissent être manœuvrés indépendamment et, d'autre part, il peut être intéressant, pour changer rapidement de marche, de les manœuvrer simultanément dans certains cas. On a donc cherché des appareils combinant les mécanismes de manière à permettre à volonté la manœuvre simultanée ou la manœuvre indépendante.

L'application du système Compound amène à employer certaines dispositions spéciales pour le démarrage. Cette mesure est indispensable pour les Compound à deux cylindres, car si la machine se trouve dans une mauvaise position, en ce qui concerne le cylindre à haute pression, le démarrage ne pourra d'aucune façon se produire. Les dispositifs employés consistent à séparer, au moment du démarrage, les deux cylindres en ouvrant un échappement auxiliaire au cylindre à haute pression, en en envoyant directement au grand cylindre de la vapeur prise à la chaudière. Les deux cylindres peuvent fonctionner ainsi comme des cylindres à simple expansion, lors du démarrage, par exemple.

Ce même dispositif est d'ailleurs employé pour la plupart

des machines à 4 cylindres. Il a le grand avantage d'éviter les démarrages manqués, en, en permettant de laisser fonctionner séparément les 4 cylindres, comme des machines à simple expansion, il permet de produire un effort considérable qui augmente beaucoup la rapidité de mise en marche des trains, en peut quelquefois même être utile pour le franchissement d'une partie de voie en rampe, dans des conditions spécialement difficiles.

La séparation des cylindres est obtenue par différentes dispositions ; sur les locomotives Compound du Chemin de fer du Nord, par exemple, c'est un robinet d'isolement cylindrique figuré sur le croquis ci-après et qui peut tourner d'un 1/4 de tour sur son axe sous l'effet d'un petit servo-moteur.



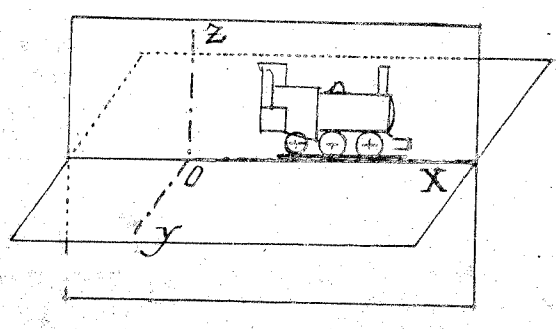
Suivant la position occupée par ce robinet, la vapeur sortant

du cylindre à haute pression se rend directement dans la tuyère d'échappement ou bien, le robinet fermant cet échappement direct, ouvre la communication avec la boîte à vapeur du grand cylindre.

La manœuvre du robinet se fait à l'aide d'un petit servo-moteur à vapeur ou à air comprimé. Comme elle sert à séparer les cylindres, il faut qu'elle soit complétée par l'ouverture de la prise de vapeur d'admission directe qui permet d'envoyer directement de la vapeur de la chaudière dans le réservoir intermédiaire d'où elle passe dans le grand cylindre. Toutefois, on fait passer la vapeur de la chaudière par un détendeur qui limite la pression à 6 kilos, pour ne pas produire un effort trop considérable sur la face du grand piston.

Mouvements parasites, contrepoids

Le mouvement d'un véhicule circulant à vitesse uniforme devrait consister en une translation parallèle à la voie, mais plusieurs causes interviennent pour troubler ce mouvement, ces causes influent plus particulièrement sur la locomotive : 1° parce que, comme premier véhicule, elle reçoit plus directement les réactions de la voie, et, 2° parce qu'elle est soumise à des causes particulières de perturbation provenant de l'action de la vapeur et de l'inertie des pièces du mécanisme animées de mouvements rapides.



Les divers mouvements qui troublent le mouvement de translation s'appellent les mouvements parasites ; ils peuvent être rapportés à trois axes rectangulaires :

OX parallèle au rail ;
OY horizontal en perpendiculaire au rail ;
OZ vertical.

On peut classer ces mouvements de la manière suivante :
1° Mouvement rectiligne alternatif suivant OX, appelé tangage ou recul ;
2° Mouvement oscillatoire ou de rotation alternatif autour de OZ, appelé lacet ;
3° Mouvement oscillatoire autour d'un parallèle à OX, appelé roulis ;
4° Mouvement oscillatoire autour d'un parallèle à OY, appelé galop ;
5° Mouvement rectiligne vertical suivant OZ, donnant un abaissement et un soulèvement successifs de la partie suspendue.

Ces mouvements peuvent exister simultanément ou séparément. Ils modifient peu la position du centre de gravité de la machine, à cause de sa vitesse et de sa masse ; cependant ils peuvent devenir dangereux si la périodicité des causes qui les produisent coincide avec leur période d'oscillation, ce qui en accroît progressivement les effets. Dans tous les cas, ils sont nuisibles à la conservation de la voie et de la machine et au bon roulement du train et il faut chercher à les atténuer.

Ces mouvements parasites sont dus à différentes causes de perturbation que nous allons passer rapidement en revue.

1° **Perturbations dues à l'état de la voie.** — Même sur une voie bien entretenue, il existe toujours quelques défectuosités : inégalité du bourrage des traverses, compressibilité de la plateforme, etc.. Par suite du fléchissement qui se produit ainsi en certains points et des dénivellations qui peuvent exister, la réaction des rails sur les roues variera d'intensité ; les diverses roues seront exposées à des réactions discordantes,

les ressorts fléchiront de façon différente et, de ce fait, la masse suspendue pourra prendre des mouvements de roulis, de galop, et d'oscillation verticale.

Parmi les particularités de la voie qui peuvent produire ces mouvements, on peut en citer qui sont absolument régulières, même avec une voie en parfait état : flexion des rails entre les traverses, affaissement à chaque joint des rails, passage des aiguilles, raccordement des courbes, etc...

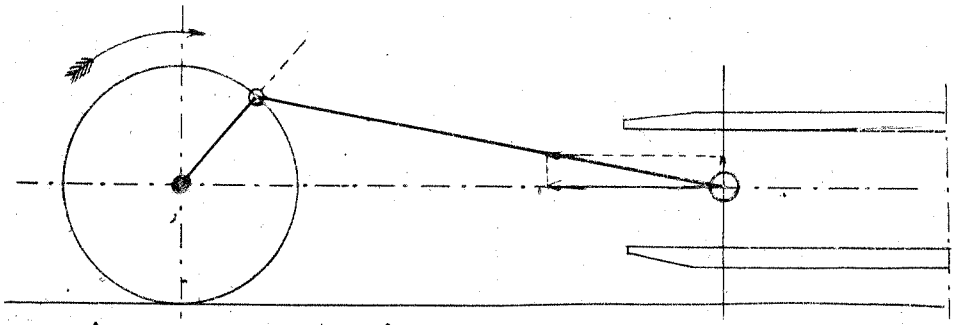
2° Perturbations dues à la construction ou à l'usure de pièces de la machine. — Il faut veiller à ce que le centre de gravité de la machine soit dans le plan médian, à ce qu'il soit à une hauteur convenable, et enfin à ce qu'il occupe une position longitudinale telle que l'on puisse obtenir une répartition judicieuse du poids ; si, par exemple l'essieu d'avant est trop chargé, on a des mouvements de galop et de lacet très accentués.

Certains défauts de montage : imperfection dans le parallélisme des longerons et des essieux, inégalité de flexibilité des ressorts, donneront lieu à des mouvements parasites ; l'usure inégale des bandages de roues d'un même essieu donnera lieu à des mouvements de lacet, etc...

3° Perturbations dues à l'action de la vapeur. — Ces perturbations sont dues principalement à l'inclinaison des cylindres et à l'obliquité des bielles. Si les cylindres sont inclinés, la vapeur exerce sur leurs fonds et, par suite, sur le corps de la machine, une pression qui tend tantôt à élever, tantôt à abaisser l'avant de la machine, ce qui occasionne un mouvement de galop d'autant plus accentué que l'inclinaison est plus grande. De plus, ces pressions étant inégales dans les deux cylindres, à chaque instant considéré, il en résulte un mouvement

de roulis. On a donc intérêt à avoir des cylindres horizontaux.

L'obliquité de la bielle occasionne une réaction de la crosse du piston sur les glissières, généralement dirigée vers le haut dans la marche avant, vers le bas dans la marche arrière. Ces forces verticales tendent à soulever l'avant de la machine en la faisant tourner autour de l'essieu moteur; leur bras de levier est variable,



car il correspond à la distance de la crosse à l'axe de l'essieu. La variabilité de l'intensité des forces et de leur bras de levier produit un mouvement de galop de grande importance.

Pour remédier à cette perturbation, on peut: 1°, allonger la bielle de façon à diminuer le maximum de réaction verticale sur les glissières;

2° rapprocher si possible, les glissières du centre de gravité de la machine pour transformer le mouvement de galop en mouvement vertical alternatif;

4° Perturbations dues à l'inertie des pièces du mécanisme. — On peut dans une machine distinguer:

1° les pièces qui ne sont animées que d'un mouvement de translation;

2° les pièces qui sont animées d'un mouvement de rotation: roues, manivelles motrices et d'accouplement;

3° les pièces animées d'un mouvement rectiligne alternatif, telles que le piston et sa crosse.

Il n'y a rien à faire pour les pièces animées d'un mouvement de translation.

Pour équilibrer les pièces tournantes, telles que les boutons de manivelles ou têtes de bielles, il suffit de placer un contre-poids au point diamétralement opposé au bouton de manivelle considéré. Il faudrait, en principe, ajouter une masse égale à la même distance de l'axe de l'essieu. On peut aussi mettre une masse plus faible à une distance plus grande. Il faut simplement que le produit PXR soit égal dans les deux cas.

L'établissement de contrepoids pour équilibrer les pièces tournantes ne présente donc pas de difficulté.

L'équilibre des pièces animées d'un mouvement rectiligne alternatif est beaucoup plus difficile à réaliser.

Les pistons et les bielles motrices tendent à faire osciller la machine en long parallèlement aux rails. Si l'on avait un seul cylindre installé dans l'axe de la machine, le mouvement alternatif du piston tendrait à donner à cette machine, un mouvement de recul ou de tangage, mais comme il existe deux cylindres dont les manivelles sont calées à 90° l'une sur l'autre, les mouvements imprimés par les pistons à droite et à gauche de la machine ne concordent pas, et il en résulte un mouvement de lacet ; plus les cylindres sont écartés de l'axe de la machine, plus le lacet sera accentué. On a donc intérêt, pour diminuer ce lacet, à adopter des cylindres intérieurs.

On peut aussi diminuer le mouvement de lacet en faisant, entre la machine et le tender, un attelage aussi rigide que possible.

Les perturbations dues au mouvement alternatif des pistons peuvent être compensées au moins en partie par l'addition de contrepoids sur les roues motrices.

Ces roues portent déjà un contrepoids pour équilibrer les pièces tournantes, en ajoutant un second contrepoids, on peut créer des efforts horizontaux qui détruisent ceux résultant du mouvement du piston. Pratiquement, d'ailleurs, on établit un seul contrepoids représentant la somme des deux contrepoids calculés, tant pour les pièces tournantes que pour les pièces à mouvements alternatifs.

Mais, si l'on donnait à ce contrepoids la valeur qu'il devrait avoir pour compenser exactement l'effort horizontal dû au mouvement du piston, on créerait un défaut presque aussi grave que celui qu'on a voulu supprimer. En effet, la force centrifuge due à ce nouveau contrepoids donne des composantes verticales qui ne sont pas équilibrées ; il en résulte des réactions qui, sans agir sur la masse suspendue, altèreront la charge qui pèse sur la voie, c'est-à-dire qu'à chaque tour de roue, il y aura alternativement un accroissement et une diminution de la charge sur le rail.

On est donc amené à adopter une solution mixte et à choisir judicieusement une solution intermédiaire entre le contrepoids qui équilibrerait seulement les pièces tournantes et celui qui réaliserait également l'équilibre horizontal des pièces en mouvement.

Tender

Les machines doivent emporter avec elles un approvisionnement d'eau et de charbon.

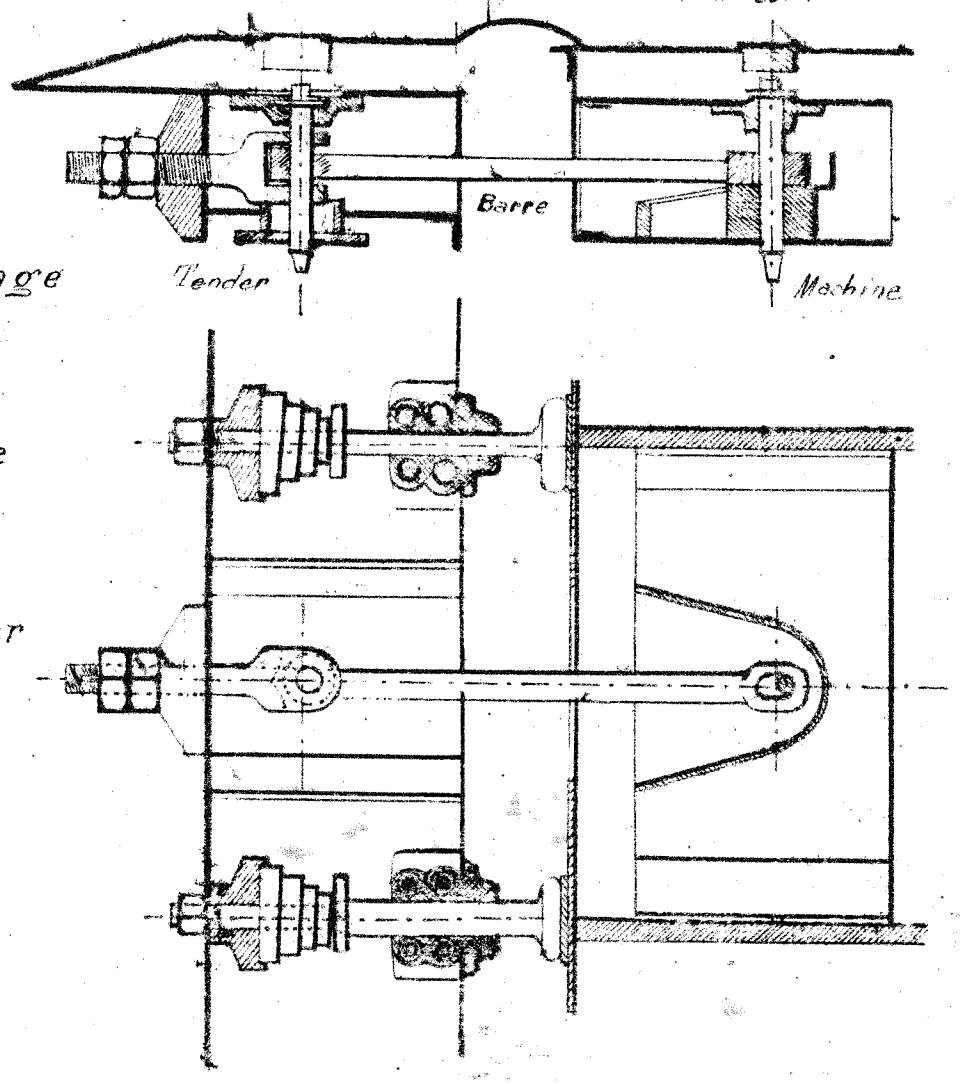
Pour les machines destinées à remorquer des trains de

voyageurs ou des trains directs de marchandises, il est essentiel de disposer d'un approvisionnement d'eau suffisant pour ne pas obliger à des arrêts trop fréquents pour renouveler l'approvisionnement.

Une telle machine consomme facilement 100 à 150 litres d'eau par kilomètre ; si l'on veut pouvoir faire des parcours importants, supérieurs par exemple à 100 kilomètres, sans arrêt, on est donc amené à emporter des approvisionnements d'eau de 12, 15 ou même parfois 20 mètres cubes.

L'approvisionnement de charbon doit être calculé de façon que la machine puisse faire à peu près une journée de service sans en charger de nouveau, car si l'eau peut être prise dans un assez grand nombre de gares de passage, le charbon ne peut être, en général, chargé que dans les dépôts où la machine a un stationnement de plusieurs heures.

Attelage de tender

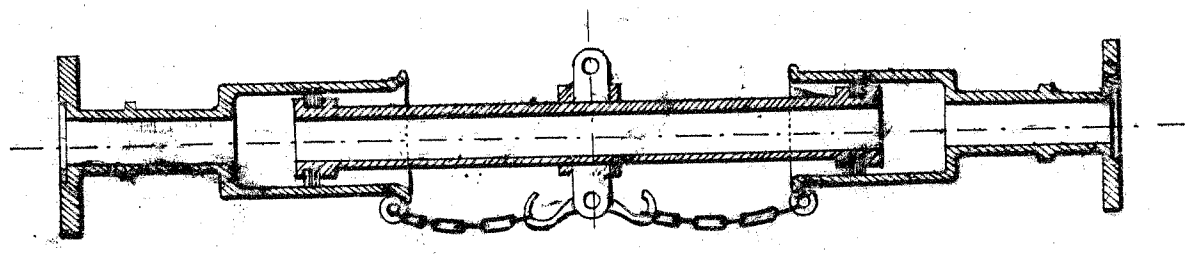


On se trouve donc obligé pour toutes les machines de train direct d'avoir un véhicule spécial destiné à transporter les approvisionnements ; ce véhicule s'appelle tender.

Le tender porte des caisses à eau et un emplacement convenable pour l'approvisionnement de charbon ; il doit être relié à la machine de telle façon que les planchers des deux véhicules soient au même niveau et forment après raccord une plateforme unique sur laquelle peuvent circuler le mécanicien et le chauffeur. Le raccord est fait à l'aide d'un couvre-joints en tôle appelé tablier mobile.

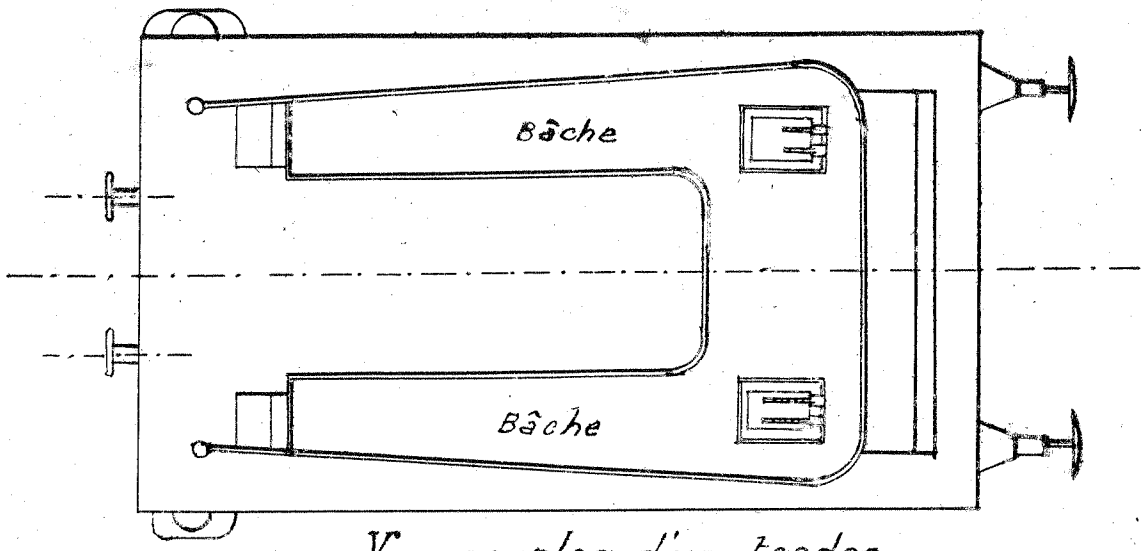
L'attelage entre la machine et le tender doit être très serré de façon à réduire les mouvements parasites de la machine ; il ne doit cependant pas être assez rigide pour gêner le passage dans les courbes. Cet attelage se compose le plus souvent d'une barre rigide représentée au croquis ci-dessous, et de deux tampons de choc.

Rotule métallique.



Le tender doit être, en outre, relié à la machine par deux rotules qui servent à joindre les deux parties d'un tuyau d'amenée d'eau aux injecteurs.

Les bâches du tender affectent le plus souvent la forme d'un fer à cheval indiqué ci-après. La capacité des tenders a beaucoup augmenté dans ces derniers temps ; il y a quelques années, la plupart des tenders portaient de 7 à 10 m³ d'eau et 3 tonnes de combustible, actuellement, on fait des tenders de 14, 15, 19 et



Vue en plan d'un tender

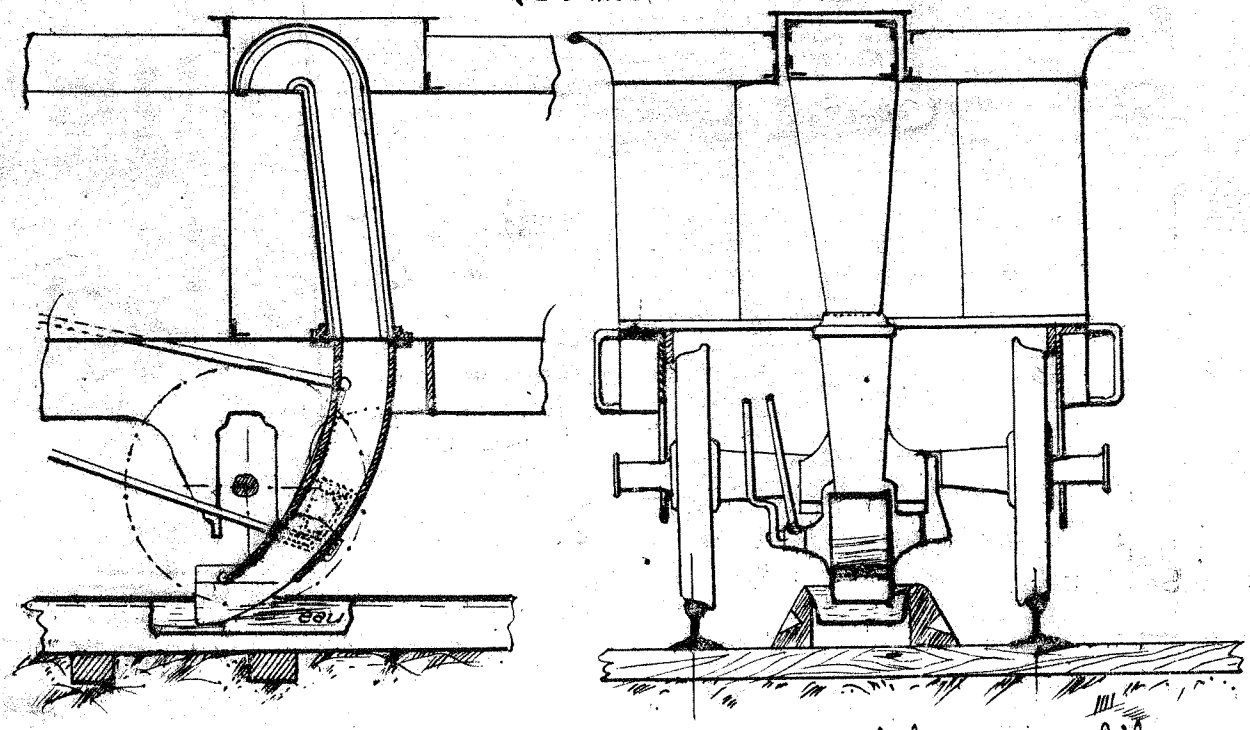
même 20 mètres cubes portant, en outre, au moins 4 tonnes de combustible. De ce fait, leur poids a beaucoup augmenté; les nouveaux tenders pèsent 54, 36 et même 72 tonnes.

Pour éviter les tenders d'aussi grande capacité en pour permettre, d'autre part, de faire aux trains rapides des parcours très longs sans arrêt, on a cherché le moyen de renouveler l'approvisionnement d'eau en marche. Le procédé le plus connu est celui de l'Ingénieur anglais *Ramsbottom*, dont le principe est le suivant: Dans une section de voie en palier et en alignement droit, on installe sur les traverses, entre les rails, une rigole en fonte ou en tôle, longue de plusieurs centaines de mètres; cette rigole est constamment tenue pleine d'eau. Le tender porte un tuyau terminé par un bec rectangulaire mobile qui peut venir plonger dans la rigole et peut être, au contraire, relevé quand l'appareil ne fonctionne pas. Afin d'éviter que ce bec ne puisse venir frapper les extrémités de la rigole, le fond de celle-ci se termine en pente douce et les rails se relèvent parallèlement à ce fond incliné.

Le tuyau est formé d'une partie évasée qui fait suite au bec plongeant dans la rigole; il se relève et se recourbe de façon à déverser l'eau dans les caisses du tender.

- Appareil Ramsbottom -

(bec mobile abaissé)



Pourvu que la vitesse soit, au moins, de 40 kilomètres à l'heure, l'eau pénètre dans le tuyau en remplissant les caisses. On peut compter que l'on peut embarquer environ 1 mètre cube d'eau sur un parcours de cent mètres.

Quoique ce procédé soit très ingénieux, il ne s'est guère répandu, parce que son installation est parfois difficile à cause de la grande longueur qu'il faut trouver en palier ou en alignement droit, parce qu'il présente certains inconvénients tels que projection d'eau sur le train, et enfin parce que son utilité est contestable ; on fait, en effet, déjà, avec des tenders ordinaires des parcours de 200 kilomètres sans arrêt. On peut se demander s'il est bien rationnel d'aller plus loin, car l'arrêt, après ce parcours est utile, non seulement pour renouveler l'approvisionnement d'eau, mais encore pour permettre la visite du mécanisme et le graissage des pièces du mouvement.

Réchauffage de l'eau du tender. — Il paraît avantageux d'introduire dans la chaudière non pas de l'eau froide, mais de l'eau élevée déjà à une certaine température. On peut y arriver

aisément en utilisant au chauffage de l'eau du tender une partie de la vapeur dont on dispose à certains moments en excédent.

Le mode de réchauffage est des plus simples ; il suffit de fermer le trop plein de l'injecteur et d'ouvrir la prise de vapeur ; la vapeur passe ainsi directement dans les bâches du tender. Toutefois, le réchauffage ne doit pas être poussé trop loin, car si l'eau était trop chaude, l'injecteur ne fonctionnerait plus. Il doit être employé surtout pour utiliser la vapeur lorsque l'on a momentanément un excès de pression, par exemple lorsque la machine est prête à partir et que le stationnement dans une gare est accidentellement prolongé.

Machines-tenders. — Si les tenders de grandes dimensions sont indispensables pour les trains directs, il n'en est pas de même pour les machines qui assurent des trains de banlieue à faible parcours et à arrêts fréquents, ni pour les machines de manœuvres ; aussi emploie-t-on fréquemment, pour ces services, des machines qui portent elles-mêmes leurs approvisionnements et qui sont désignées sous le nom de machines-tenders.

Les avantages des machines-tenders sont les suivants :

1° Elles peuvent marcher indifféremment dans les deux sens ;

2° Leur longueur est plus faible, ce qui permet de les tourner sur des plaques de moindres dimensions et même souvent sur les plaques tournantes qui servent au tournage des wagons ;

3° Le poids des approvisionnements s'ajoute à celui de la machine et permet d'utiliser une adhérence plus considérable ;

4° Le prix est moins élevé.

Elles présentent, d'autre part, plusieurs inconvénients :

1° Les approvisionnements en eau et en charbon sont forcément limités, quoique l'on soit arrivé, dans ces derniers temps, à

construire des machines tenders comportant 6 mètres cubes 500 d'eau en 3 tonnes de charbon.

2° Si l'on obtient un poids adhérent plus fort, par contre ce poids varie en diminuant à mesure que l'approvisionnement s'épuise.

3° La stabilité de la machine est moins grande en les machines-tenders ont toujours plus de tendance au mouvement de lacet que les machines ordinaires, puisque dans ces dernières l'attelage très serré entre la machine et le tender combat les oscillations de la machine.

Dépôts

On appelle dépôt l'ensemble des installations destinées au remisage et à l'entretien des machines-locomotives en service.

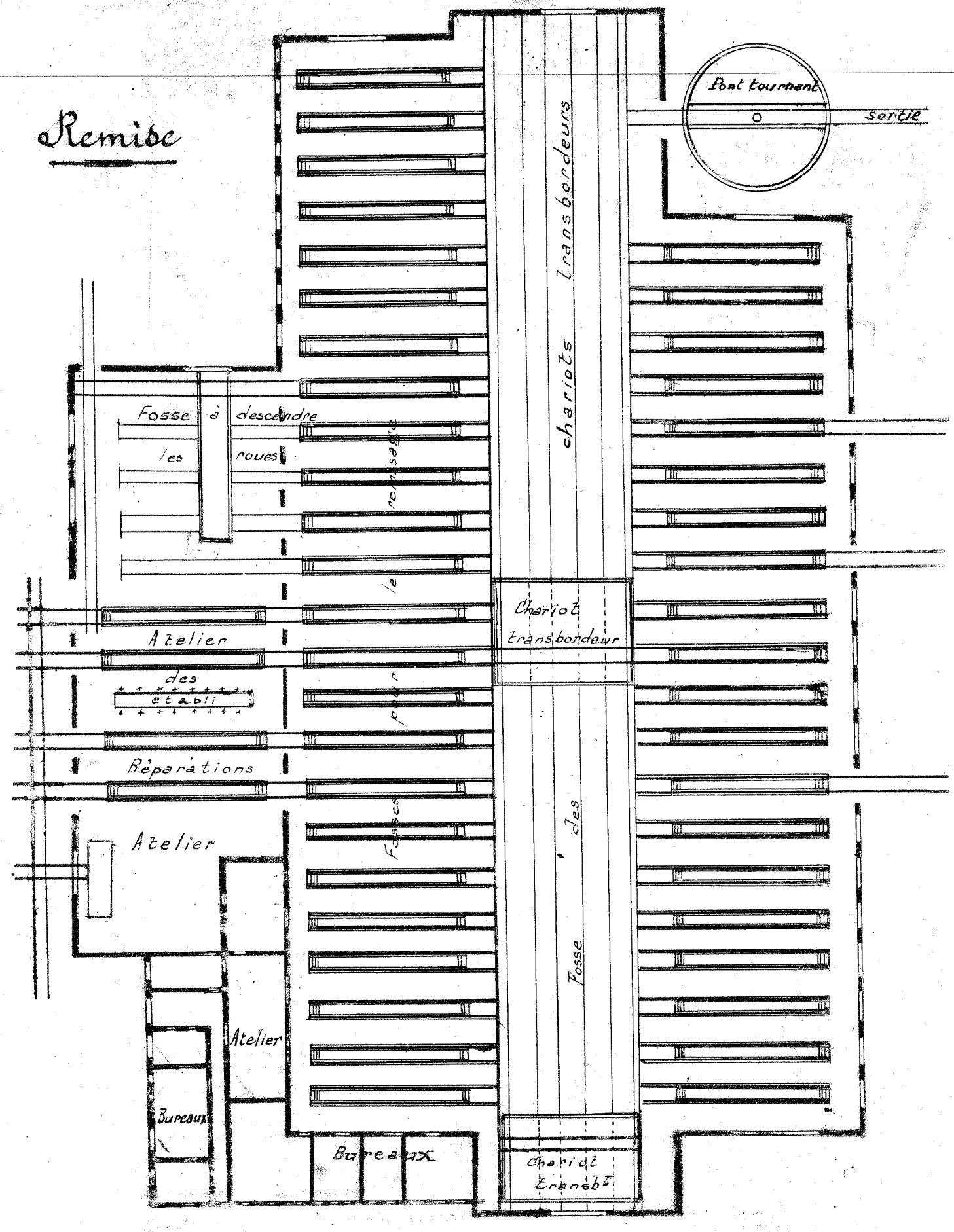
Le dépôt se compose essentiellement d'une remise, d'un atelier de réparations et de différents services accessoires destinés aux approvisionnements des machines ou au service du personnel.

Les remises affectent deux formes distinctes : la remise rectangulaire présentant au centre une grande fosse centrale dans laquelle se déplace un pont transbordeur, ou la rotonde formée d'un pont tournant central autour duquel sont installées des voies rayonnantes.

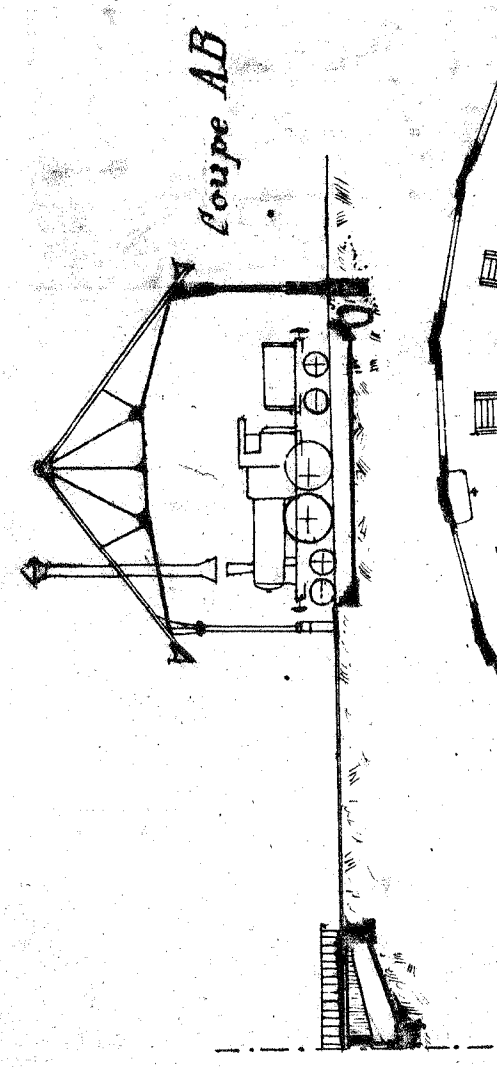
La rotonde peut être presque complète ou présenter la forme d'une demi-lune. Dans la plupart des cas, le pont tournant est à découvert. L'emplacement où stationnent les machines est seul couvert.

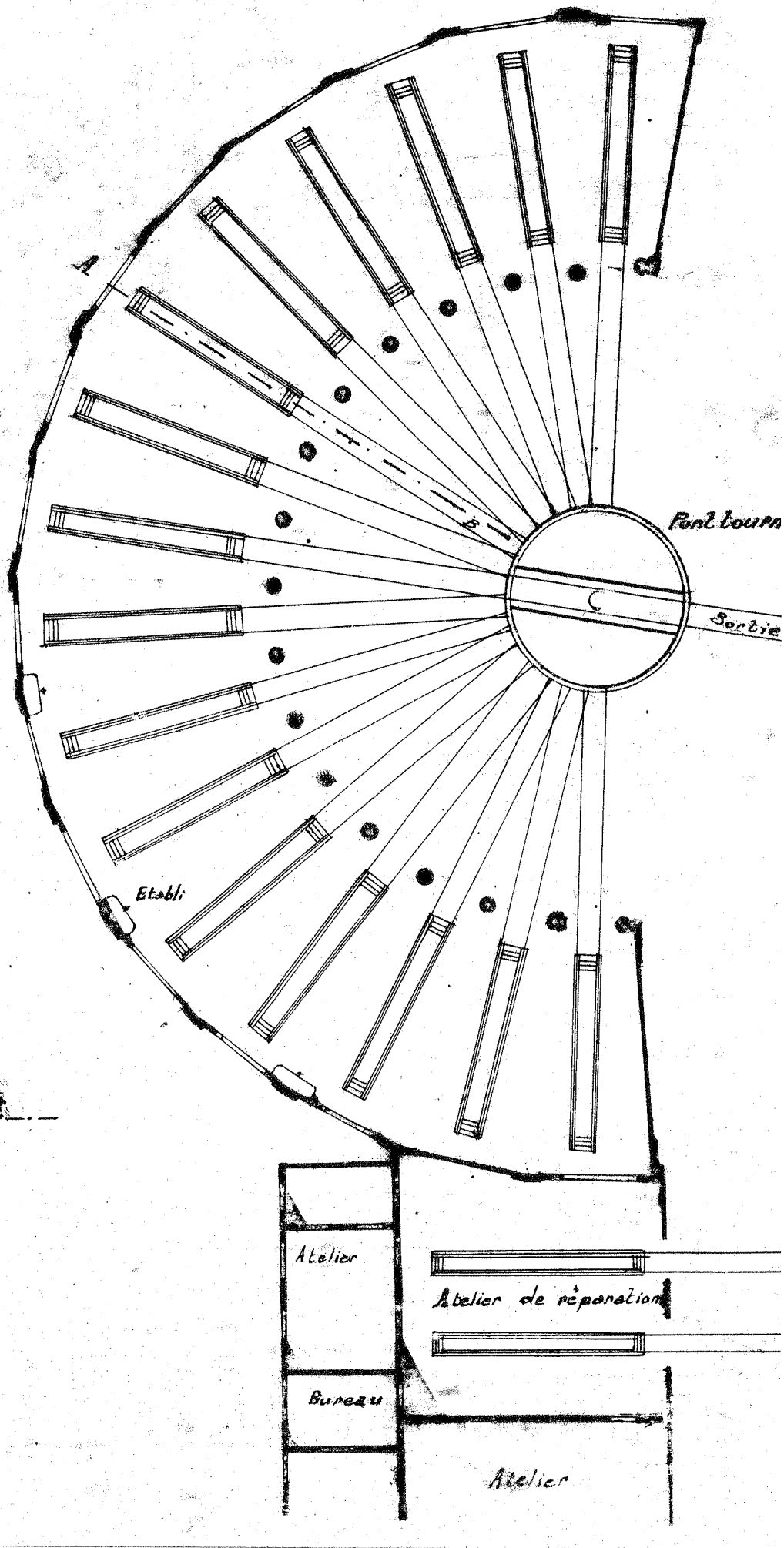
Le système de la rotonde est plus économique parce qu'il ne comporte qu'un pont tournant ; la remise comporte un transbordeur et ne dispense pas du pont tournant qui est nécessaire pour orienter la machine dans le sens voulu pour le train qu'elle doit assurer.

Remise


Pont tournant
sortie
Chariots Transbordeurs
Fosse à descendre les roues
le remisage
Chariot transbordeur
Atelier des établi
pour
Réparations
Fosses
Atelier
des
Fosse
Atelier
Bureaux
Bureaux
Chariot Transb.r

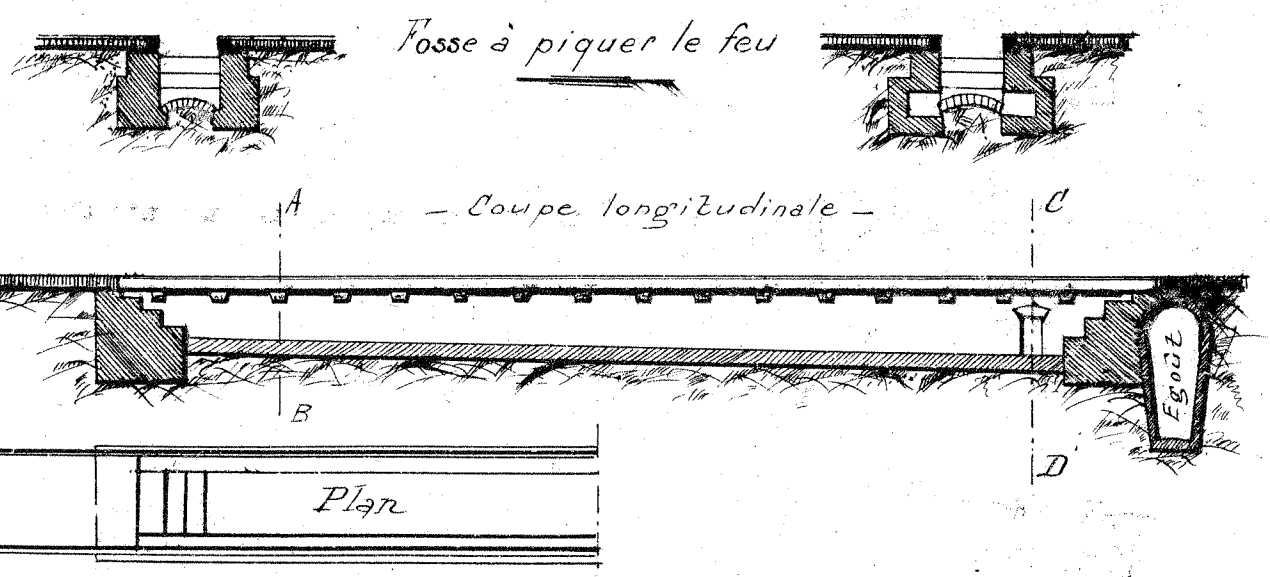
Rotonde


Coupe AB


A
B
C
Pont tourn
Sortie
Etabli
Atelier
Atelier de réparation
Bureau
Atelier

La rotonde présente l'inconvénient d'immobiliser les machines en cas d'avarie du pont tournant, tandis que dans la remise, il est facile d'avoir deux transbordeurs en deux sorties distinctes. D'autre part, dans l'emploi de la remise, on recueille l'avantage de faire toutes les manœuvres à couvert et de faciliter la surveillance.

Toutes les places réservées au garage des machines, soit dans une remise, soit dans une rotonde, doivent être munies d'une fosse, qui permet le passage sous la machine pour la visite du



mouvement et qui est aussi utilisée pour l'écoulement de l'eau de lavage des chaudières. A l'aplomb de chaque fosse, se trouve une cheminée sous laquelle doit être arrêtée la cheminée de la machine en stationnement.

On place, en général, dans toutes les remises et rotondes quelques établis pour permettre de faire, sur place, les petites réparations courantes.

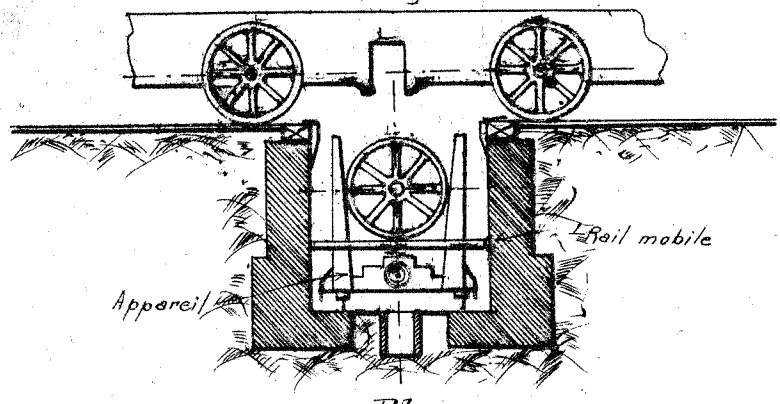
L'importance des ateliers en dépôt dépend essentiellement du nombre de machines affectées au dépôt. Dans les petits dépôts qui servent surtout au remisage des machines de passage, on

ne fait que des réparations très peu importantes ; dans les grands dépôts, on centralise, au contraire, les réparations de plus longue durée.

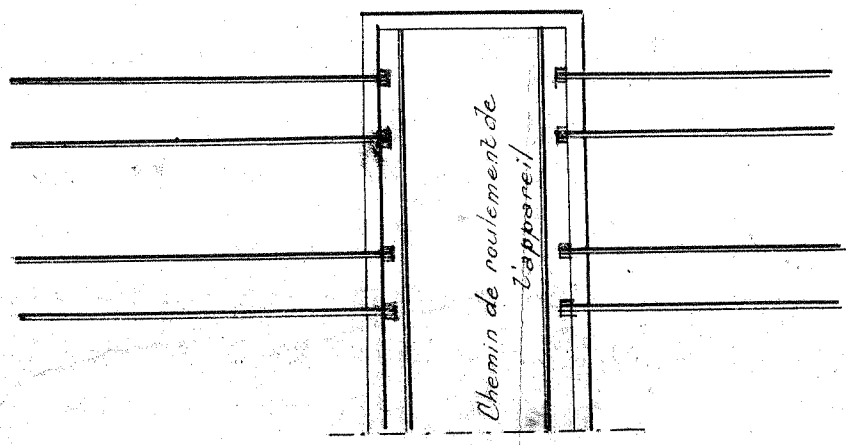
Dans presque toutes les Compagnies on fait, dans de grands ateliers centraux indépendants des dépôts, les grosses réparations qui exigent le démontage de la chaudière. On fait, au contraire, dans les ateliers de dépôt, les réparations qui ne comportent que l'entretien du mécanisme et le changement des essieux.

Pour faire le changement des essieux, il est nécessaire d'avoir des appareils de levage, qui sont le plus souvent de grands vérins mus à la main ou électriquement, mais on utilise aussi à cet effet une disposition très commode, la fosse à descendre les roues, qui permet la visite d'un essieu sans obliger à faire le levage complet de la machine ;

- Coupe -



- Plan -



La machine est placée de façon que l'essieu à visiter soit au-dessus de la fosse ; il est alors supporté par une sorte de monte-charges, appelé appareil à descendre les roues, à l'aide duquel on le descend dans le fond de la fosse, et on le remonte sur la voie contigue.

En dehors des remises et de l'atelier,

un dépôt de locomotives doit comprendre :

Un dortoir et réfectoire aussi confortable que possible pour les mécaniciens et chauffeurs des dépôts étrangers qui doivent y prendre leur repos ;

Des chantiers à combustible où l'on puisse faire des mélanges convenables donnant des qualités de combustibles appropriées aux différents services, avec des moyens de chargement aussi rapides que possible ;

Une sablière avec un four pour sécher le sable et un mode de chargement permettant de déverser rapidement le sable sec dans les sablières des machines ;

Des grues d'alimentation pour l'approvisionnement des tenders en eau ;

Un magasin de graissage ;

Une lampisterie pour la préparation des falots portés par les machines ;

Des bureaux pour les chefs, sous-chefs de dépôts, surveillants et employés ;

Enfin un emplacement où sont affichés en permanence les ordres de service qui doivent être portés à la connaissance des mécaniciens, ainsi que les tableaux réglant le travail de ces agents.

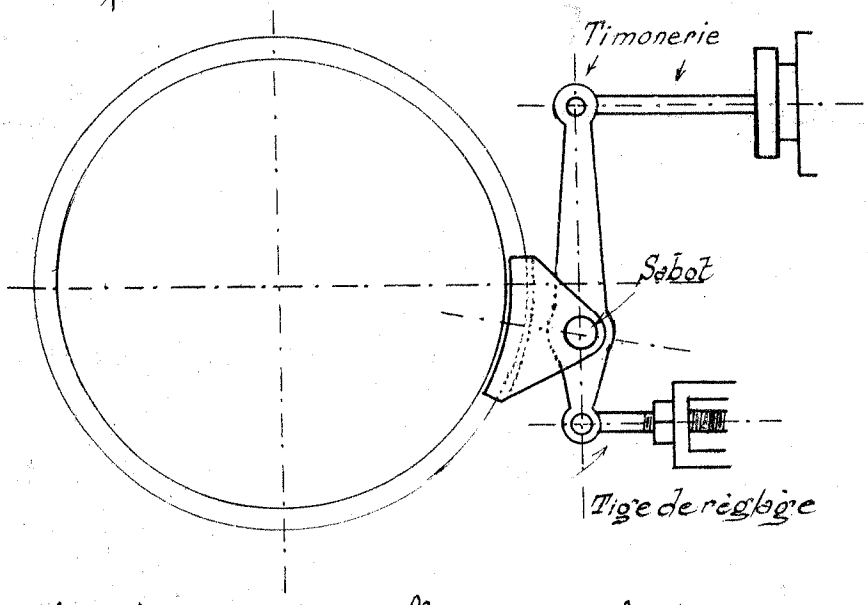
Freins

Il est absolument indispensable de munir les trains de freins puissants, dont le but est d'obtenir l'arrêt d'un train en cas de nécessité imprévue, en présence d'un signal ou d'un obstacle, ou les arrêts normaux aux stations, en de modérer,

en cas de besoin la vitesse sur les pentes.

On peut enrayer une roue soit à l'aide d'un sabot, soit à l'aide d'un patin.

Le principe du frein à patin consiste à faire reposer le véhicule sur un bloc de métal ou de bois qui glisse sur le rail. Ce frein présente un inconvénient capital qui tient à ce que le coefficient de frottement est d'autant plus faible que la vitesse est plus grande. En outre ce frein détériorerait la voie ; aussi n'est-il pas employé en a-t-on recours toujours aux freins à sabot.



Le sabot est une pièce frottante, appliquée sur la jante de la roue. L'application du sabot équivaut à l'application d'une force retardatrice proportionnelle à la pression exercée sur le sabot et au coefficient de frottement. Si on exerce sur le sabot une pression suffisamment forte, on empêche complètement la roue de tourner et celle-ci se déplace en glissant sur le rail ; on dit dans ce cas qu'il y a calage de la roue.

Il faut éviter ce calage des roues. Pour qu'il y ait roulement et non calage, il faut que la réaction tangentielle soit inférieure à l'adhérence ; il faut $T_1 \leqslant f'P$, P étant la charge sur le rail et f' le coefficient d'adhérence. Or $T_1 = T + f\varpi$, T étant la résistance avant l'application du frein, f le coefficient de frottement entre le sabot et la jante, ϖ l'effort exercé sur le sabot du frein. T est très petit par

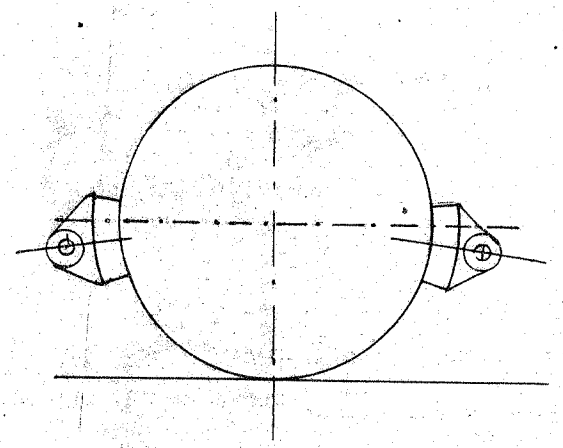
rapport à $f\omega$; on conclut donc qu'il faut $f\omega \leqslant f'P$.

Si ω est trop grand, il y a calage, le frein fonctionne alors comme un frein à patin et le frottement se produit au seul point de la jante en contact avec le rail. Ces deux surfaces en contact deviennent rapidement lisses par le glissement, l'effet du frein diminue, et, de plus, on produit sur les bandages une usure irrégulière qui occasionne les méplats et nuit ensuite au roulement de la roue.

Il faut donc mesurer l'effort à exercer sur les sabots de frein de façon à le rendre aussi grand que possible, tout en le laissant inférieur à la valeur qui correspond au calage de la roue. En pratique, si on sent que la roue se cale, on desserre un peu le frein de façon à rendre aux roues leur mouvement de rotation.

Les sabots de frein qui, jadis, étaient en bois, sont maintenant presque toujours en fonte ; ils sont suspendus au châssis de la voiture et actionnés par un système de transmission appelé timonerie.

Les sabots doivent être maintenus normalement à peu de distance de la jante de façon à pouvoir être serrés par un mouvement relativement faible de la timonerie ; ils sont habituellement à 8 ou 10 m/m de la jante. On applique presque toujours des sabots aux deux roues d'un même essieu de façon à éviter l'effort de torsion qu'aurait à supporter l'essieu si l'une des roues était freinée et pas l'autre. On munit souvent chaque roue de deux sabots, l'un à l'avant, l'autre à l'arrière, on a ainsi un serrage symétrique qui est favorable aux mouvements de la boîte dans les glissières, mais cette



disposition peut présenter un inconvénient, car les sabots peuvent avoir une tendance à soulever la roue et à amener plus facilement un calage.

Une timonerie de frein doit présenter dans ses articulations un certain jeu, car les sabots sont suspendus au bâti et doivent agir sur les roues. Or, ces deux parties de la machine ont des mouvements relatifs dûs à l'élasticité des ressorts ; de plus, il est nécessaire que la timonerie permette un réglage des sabots, il ne faut pas, en effet, que le mécanisme de commande arrive à bout de course avant que les sabots ne pressent sur les roues. A mesure que les sabots s'usent, il faut pouvoir les rapprocher des roues.

On distingue différentes catégories de freins :

1° *freins à levier* qui peuvent être manœuvrés par des agents circulant à pied à côté du véhicule. Ces freins ne sont utilisés que dans les manœuvres de gare ;

2° *freins à main* : la timonerie est mise en mouvement par une vis manœuvrée à l'aide d'un volant placé dans la caisse du véhicule ou dans une guérite disposée pour recevoir un garde-frein. Cet agent serre ou desserre le frein suivant les ordres qui lui sont donnés par le mécanicien à l'aide du sifflet. Comme il y a intérêt à obtenir un serrage aussi rapide que possible, on a eu l'idée d'employer le frein à contrepoids, en usage sur le Nord. Pour serrer ce frein, le garde-frein tire avec une corde sur un déclic qui fait tomber un contrepoids dont la chute serre le frein. Au moment du desserrage, l'agent remonte le contrepoids qui se trouve remis en place pour permettre un nouveau serrage rapide.

Les freins à main sont appliqués sur la machine, sur le tender, dans le fourgon et à quelques véhicules du train gardés par les garde-freins.

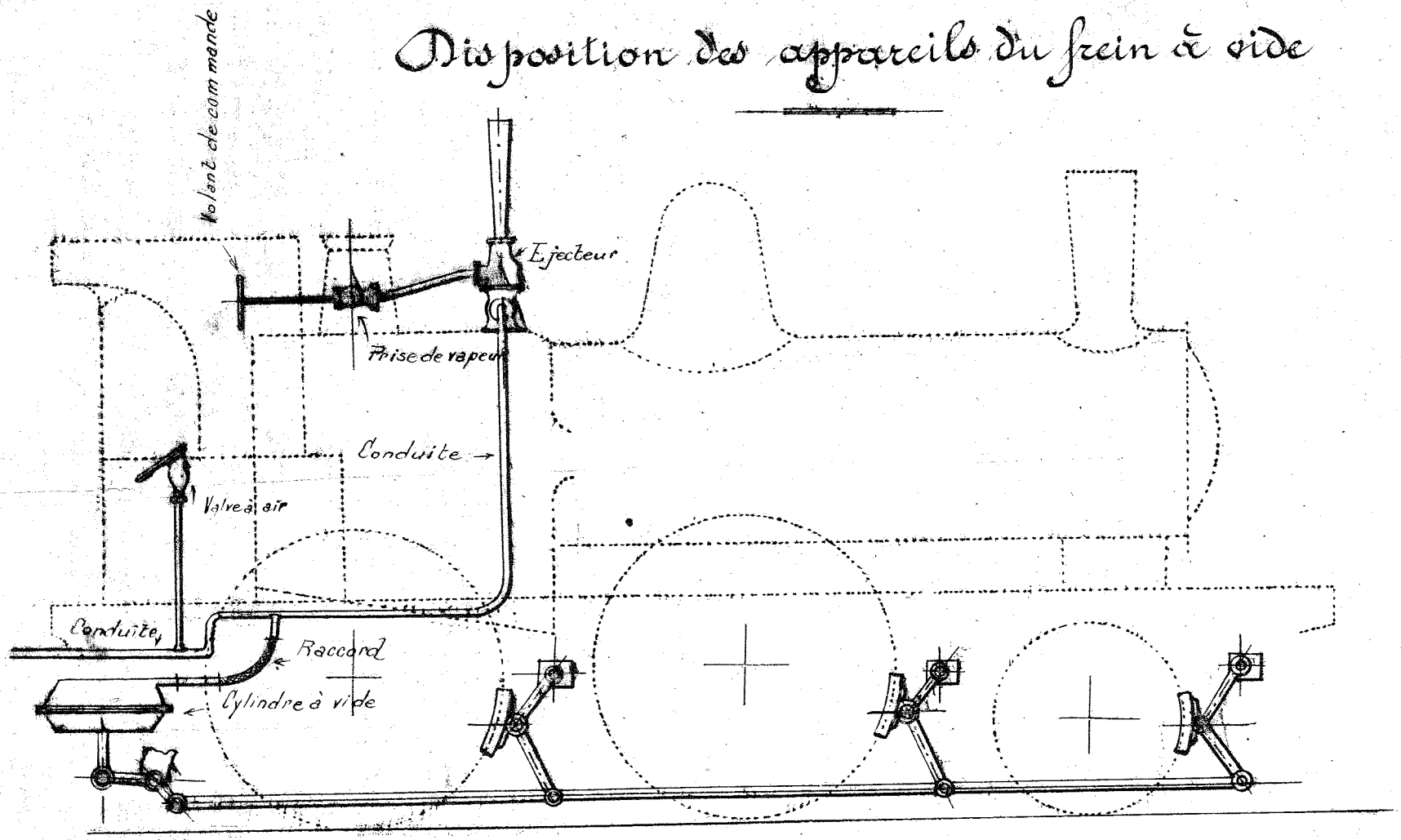
3e *Freins à vapeur* : les freins à vapeur sont appliqués à certaines locomotives, en plus spécialement aux locomotives de manœuvres. Leur disposition est très simple. La timonerie est reliée à un piston qui se meut dans un cylindre à vapeur. L'envoi de la vapeur sous le piston applique les freins ; un ressort, ou le poids des pièces de la timonerie, amène le desserrage dès qu'on a laissé échapper la vapeur.

4e *Freins continus* : les freins continus ont pour but de permettre le serrage de tous les freins par un seul agent. On peut ainsi freiner une très grande partie ou même la totalité du poids du train ; de plus, le serrage des freins n'est pas subordonné à l'attention et à la vigilance des garde-freins.

Le frein continu doit assurer un serrage simultané sur toute la longueur du train ; cette condition est essentielle pour les trains longs, car si l'on serrait une partie du train beaucoup plus rapidement que l'autre, on risquerait, par suite des réactions, de provoquer des ruptures d'attelages. Il faut assurer un serrage rapide, mais en même temps un serrage modérable, permettant au mécanicien de graduer l'effort sur les pentes. Enfin, le frein continu doit être, autant que possible automatique, c'est-à-dire se serrer de lui-même en cas d'avarie et spécialement en cas de rupture de la transmission entre deux véhicules. L'automaticité est une condition essentielle de sécurité ; lorsqu'elle est réalisée, les avaries de frein ne peuvent avoir d'autre conséquence que de provoquer un arrêt intempestif.

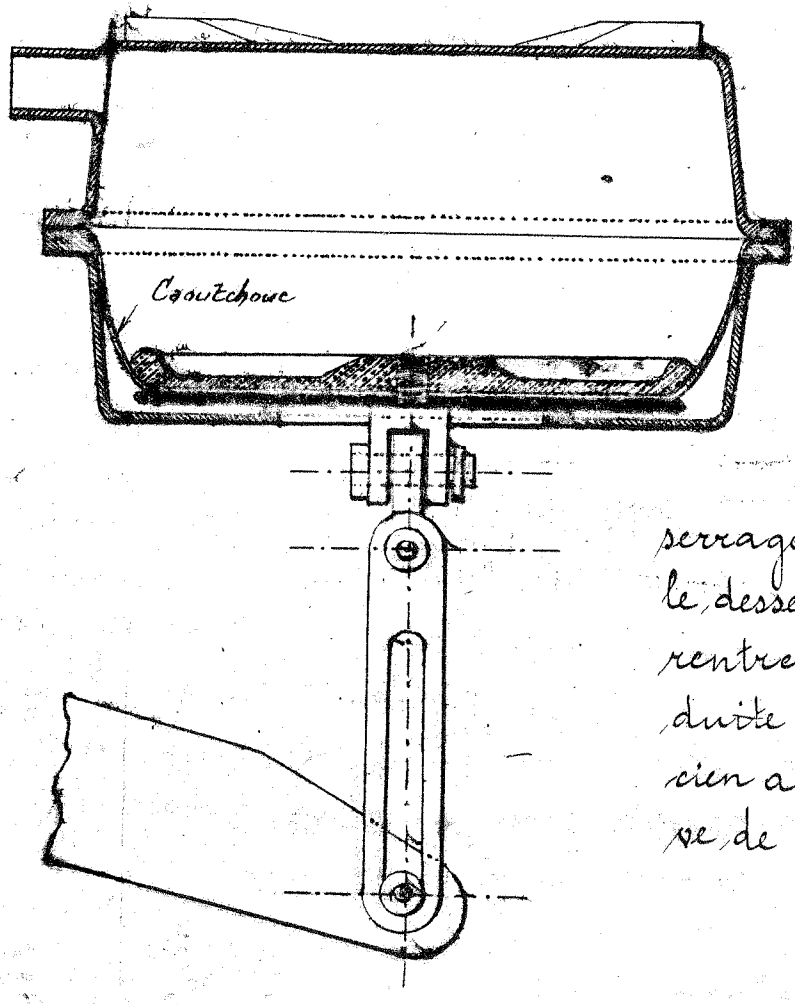
Frein à vide. — Le frein à vide a été pendant longtemps employé d'une façon générale à la Compagnie du Nord. Depuis quelques années il a été remplacé pour les trains de

Disposition des appareils du frein à vide



voyageurs par le frein Westinghouse, mais il est encore en usage pour un grand nombre de trains de marchandises. Son fonctionnement est très simple. Une double conduite d'air circule d'un bout à l'autre du train formée sous chaque véhicule de deux conduits métalliques et, entre les véhicules, de raccords flexibles qui, les reliant les uns aux autres, assurent la continuité de la conduite. Sur cette conduite se branche, sous chaque véhicule, un raccord qui le relie à une pièce appelée sac de frein à vide. Le sac de frein à vide est une sorte de double cuvette dans laquelle se déplace un disque métallique relié à ses bords par un diaphragme en toile en caoutchouc ; sur le centre de ce disque est fixée une tige reliée à la timonerie du frein. Sur la machine, un éjecteur, fonctionnant par l'envoi d'un jet de vapeur, dont la prise est sous la main du mécanicien, peut faire un vide relatif dans la conduite du train et, par suite, dans la partie supérieure des sacs de frein à vide ; la pression atmosphérique fait alors remonter les disques de diaphragmes en exerce sur la timonerie une traction qui donne le serrage des sabots. Pour amener le desserrage, il suffit de faire rentrer de l'air dans la conduite ; à cet effet le mécanicien a sous la main une valve de rentrée d'air qu'il

Cylindre à vide



suffit de soulever pour renvoyer dans la conduite la quantité d'air nécessaire au desserrage plus ou moins complet des sabots.

Le frein à vide présente de grands avantages au point de vue de la simplicité et de la facilité d'entretien, mais l'inconvénient principal est qu'en cas de rupture d'un boyau, le frein peut ne pas fonctionner sans que le mécanicien soit, en aucune façon, averti de cette avarie.

Frein à vide automatique. - Le fonctionnement de ce frein, en usage en Angleterre, est l'inverse du précédent ; on maintient constamment dans la conduite un vide relatif ; et pour serrer le frein on y fait rentrer l'air ; pour le desserrer, on refait le vide. En cas de rupture, l'air rentre dans la conduite et le frein se serre. Mais, si la canalisation n'est pas parfaite, il se produit des rentrées d'air qui causent des serrages intempestifs.

Frein à air comprimé. - Il y a différents systèmes de freins à air comprimé, mais le plus connu et le plus universellement employé est le frein Westinghouse. Ce frein a subi différentes modifications destinées à en perfectionner le fonctionnement. Nous décrirons ici le *frein Westinghouse à action rapide* qui est le plus perfectionné et dont le principe est le suivant :

Une conduite appelée conduite générale, formée de tuyaux métalliques, sous chaque véhicule, et de raccords flexibles entre les véhicules, règne sur toute la longueur du train. Cette conduite est constamment remplie d'air comprimé. Sous chaque véhicule se trouve un branchement qui part de la conduite générale et conduit l'air comprimé dans un réservoir appelé *réservoir auxiliaire*. Sous chaque véhicule également, se trouve un *cylindre à frein*, dans lequel

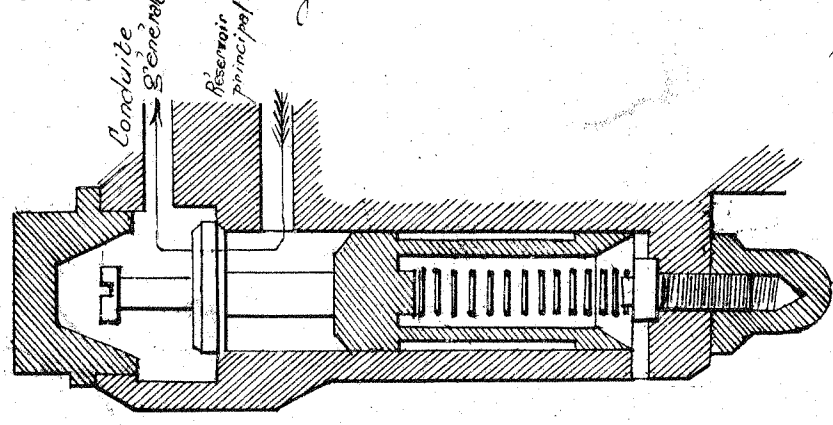
se meut un piston dont la tige est reliée à la timonerie du frein. Le serrage du frein est obtenu par l'envoi dans le cylindre à frein d'une certaine quantité d'air comprimé qui, appuyant sur le piston, assure le serrage des sabots. Pour serrer le frein, il suffit d'envoyer l'air comprimé du réservoir auxiliaire dans le cylindre à frein. Ce résultat est obtenu à l'aide d'un distributeur spécial appelé triple valve.

La triple valve est constituée essentiellement par un tiroir dont les deux positions donnent la communication du cylindre à frein, soit avec le réservoir auxiliaire dont il doit recevoir l'air comprimé, soit avec l'atmosphère pour permettre l'échappement de l'air comprimé. La tige de ce tiroir est commandée par un piston au-dessous duquel règne la pression de la conduite générale. Le jeu de la triple valve est obtenu par une dépression faite dans la conduite générale ou, au contraire, par un renvoi d'air comprimé dans cette conduite : si l'on fait dans la conduite générale une dépression, le piston de la triple valve baisse et déplace le tiroir ; si, au contraire, on recharge la conduite générale, on fait remonter le tiroir, on met le cylindre à frein en communication avec l'atmosphère et on desserre le frein. Toute la manœuvre de serrage ou de desserrage revient donc, soit à amener dans la conduite générale une dépression (serrage) soit, au contraire, à recharger cette conduite (desserrage) ; c'est ce que l'on fait à l'aide d'un appareil placé sur la machine et appelé robinet du mécanicien.

Sur la machine se trouve une pompe de compression actionnée par la vapeur et servant à maintenir une pression constante dans un réservoir appelé réservoir principal ; la pression dans le réservoir principal doit être maintenue à 6 ou 7 kilos, tandis que la pression dans la conduite générale est maintenue à 4 kilos.

Le robinet du mécanicien permet de faire une dépression dans la conduite générale en laissant échapper dans l'atmosphère une partie de l'air que contient cette conduite ; on obtient ainsi un serrage du frein ; d'autre part, il permet de faire passer une partie de l'air du réservoir principal dans la conduite générale ; en opérant ainsi, on recharge la conduite générale, et, par suite, on obtient le desserrage du frein.

En marche normale, la pression dans la conduite générale doit être maintenue à 4 kilos, celle du réservoir principal à 6 kilos, mais, il peut se produire, par suite de légères pertes, de petites dépressions dans la conduite générale, une communication permettant de maintenir toujours la conduite générale à la pression de 4 kilos. Une disposition spéciale permet de réaliser cette condition. L'air passe du réservoir principal dans la conduite générale en traversant dans le robinet du mécanicien une valve spéciale équilibrée par un ressort réglé de telle façon que la valve ne s'ouvre que si la pression dans la conduite générale n'atteint pas 4 kilogs.



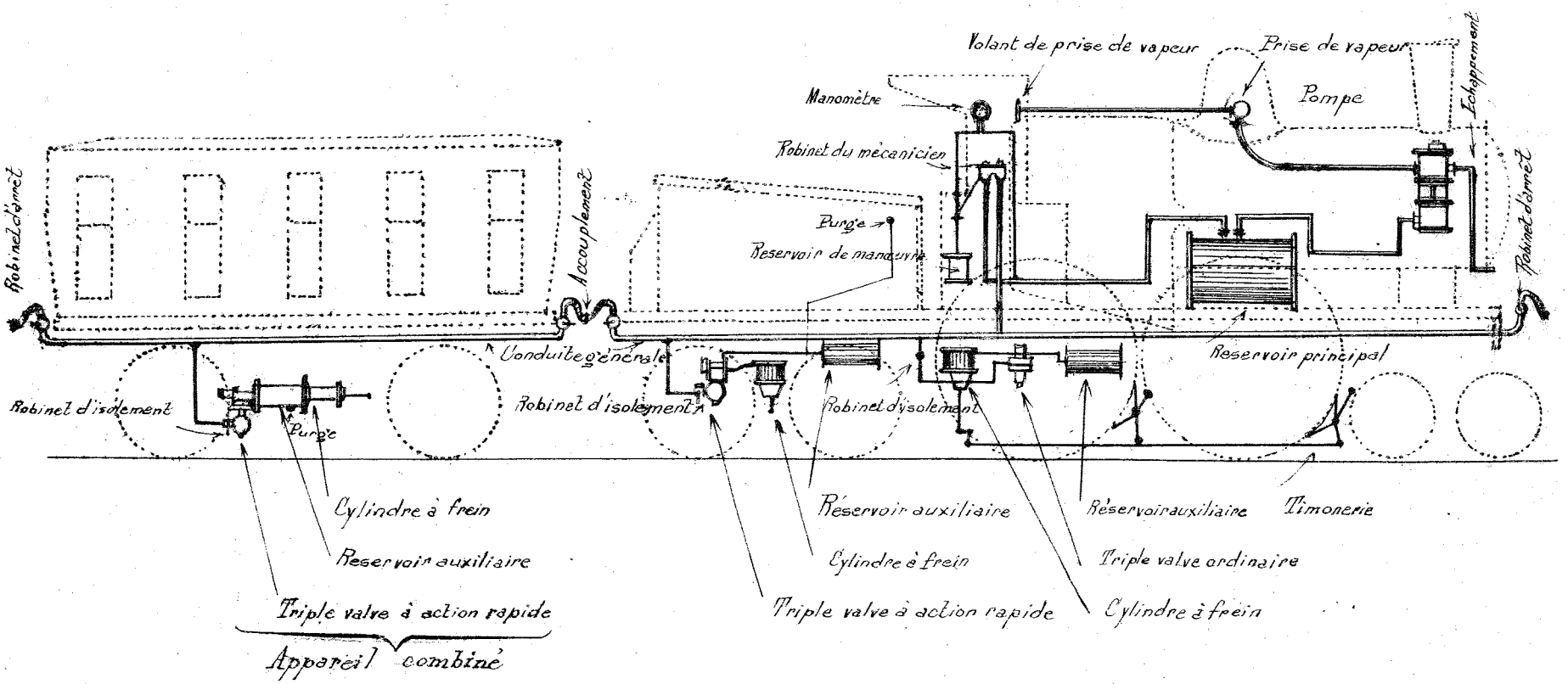
Un manomètre à 2 aiguilles placé sous les yeux du mécanicien indique, à chaque instant la pression dans le réservoir principal et celle dans la conduite générale.

Le croquis ci-dessus (page 525) montre la disposition générale des appareils sur une machine, un tender et une voiture.

Frein Westinghouse à action rapide

Disposition des appareils

Sur une voiture — Sur le tender — Sur la machine



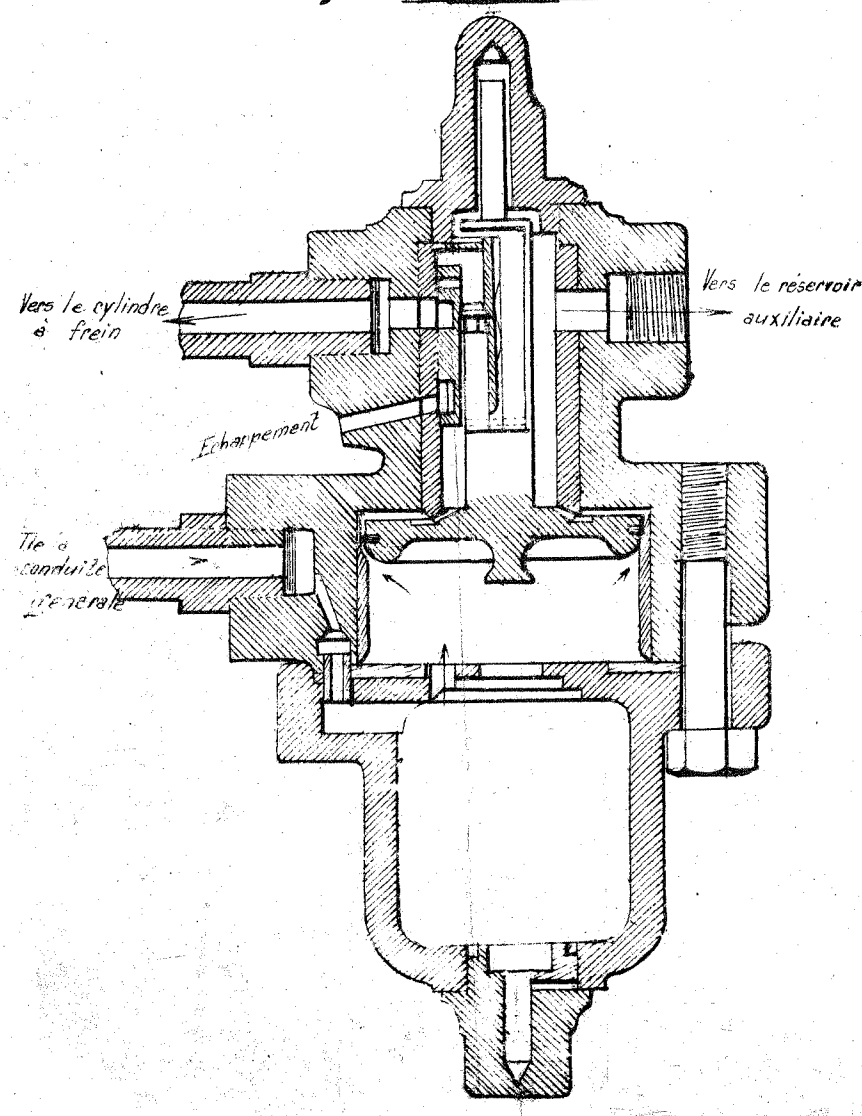
Dans la disposition représentée pour la voiture, la triple valve, le réservoir et le cylindre à frein ne forment qu'une seule pièce appelée "appareil combiné".

Description des organes du frein. — Nous allons décrire successivement chacun des organes principaux du frein Westinghouse, à savoir: la triple valve, le robinet du mécanicien et le compresseur.

Triple valve. — On distingue deux types de triples valves: la triple valve ordinaire, et la triple valve à action rapide.

La première est seule employée pour les locomotives; l'usage de la seconde est très répandu pour les voitures.

Triple valve ordinaire



Ainsi que nous l'avons déjà dit, la triple valve est constituée essentiellement par un tiroir commandant deux ouvertures, l'une donnant accès au cylindre, l'autre donnant accès dans l'atmosphère. Sur le dos du tiroir s'exerce la pression du réservoir auxiliaire. La tige du tiroir est commandée par

un piston qui se déplace dans un cylindre.

La partie inférieure du cylindre est en communication avec la conduite générale.

En marche normale, l'air comprimé de la conduite générale maintient le piston de la triple valve à fond de course, une rainure pratiquée dans la paroi du cylindre permet à l'air comprimé de passer de l'autre côté du piston pour maintenir la pression sur le dos du tiroir de la triple valve en dans le réservoir auxiliaire. Dans cette position, il n'y a pas d'air comprimé dans le cylindre à frein qui est en communication avec l'atmosphère. Si l'on vient à faire dans la conduite générale une dépression, le piston de la triple valve quitte son fond de course et ferme immédiatement la petite rainure par laquelle passait l'air comprimé ; par suite du mouvement du tiroir entraîné par le piston, une partie de l'air comprimé du réservoir auxiliaire passe dans le cylindre à frein et serre les freins.

Une disposition ingénieuse permet de graduer le serrage en faisant dans la conduite générale des dépressions faibles et successives. A cet effet, on a disposé à l'intérieur du tiroir de la triple valve, une petite valve qui peut ouvrir, à travers le tiroir, un passage à l'air comprimé sans que le tiroir se déplace. La commande du tiroir est telle que si le piston se déplace d'un faible mouvement, il n'entraîne pas de suite le tiroir, mais amène seulement l'ouverture de la petite valve contenue dans le tiroir.

Dans ces conditions, si l'on fait dans la conduite générale une dépression peu importante, le mouvement du piston de la triple valve ouvre d'abord la petite valve ; au bout d'un instant la pression de l'air dans le réservoir auxiliaire et la triple valve diminue par suite du passage d'une partie de cet air

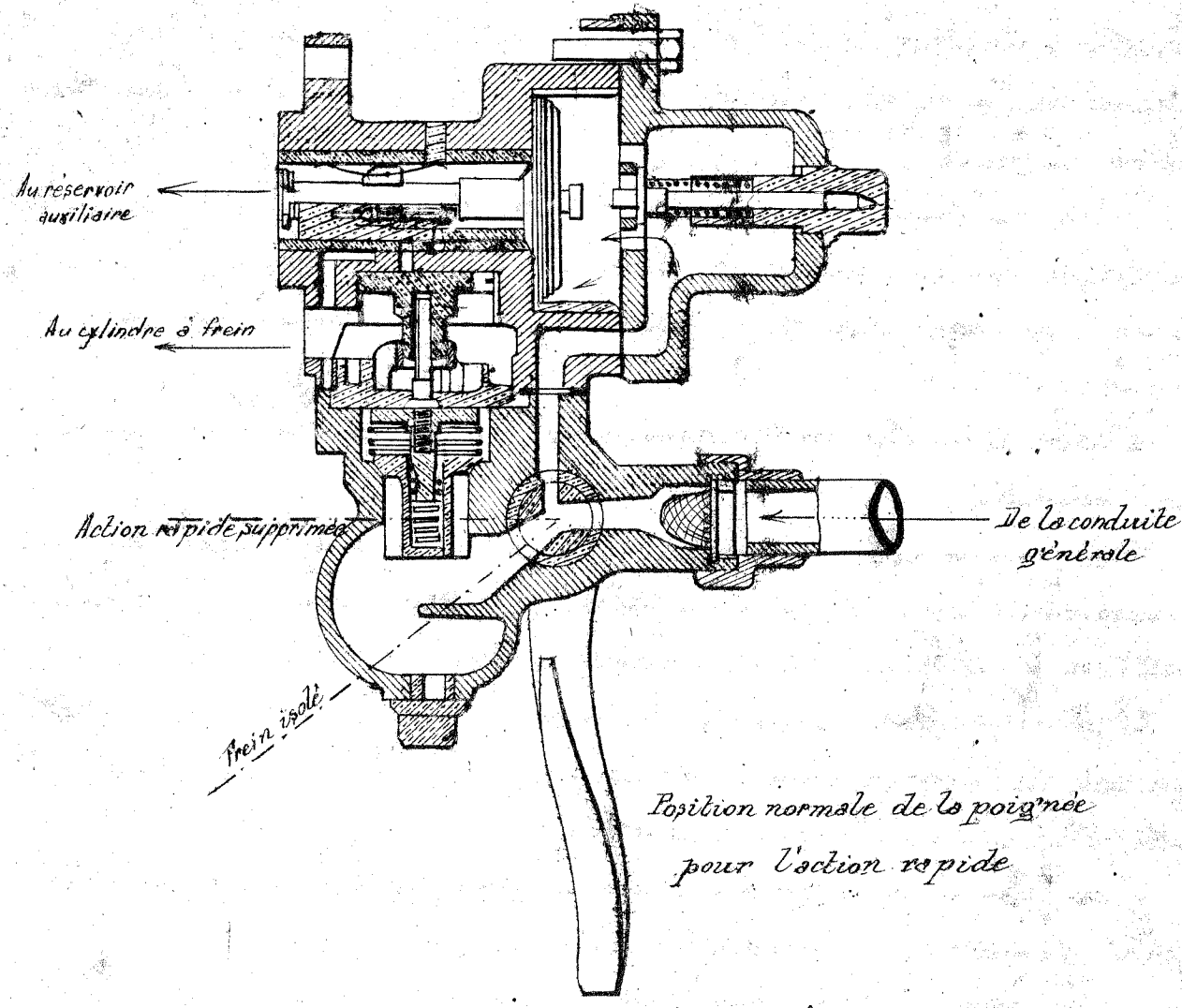
dans le cylindre à frein en fait équilibre à la pression de la conduite générale ; le piston s'arrête et la petite valve se ferme. Si le mécanicien veut accentuer le serrage, il fait une nouvelle dépression et ainsi de suite ; il peut donc obtenir un serrage plus ou moins rapide en faisant d'une façon judicieuse des dépressions successives dans la conduite générale. Pour obtenir, au contraire, un serrage rapide, on fait dans la conduite générale une dépression brusque et importante qui amène le piston à fond de course, entraîne le tiroir en découvre complètement la lumière qui permet le passage de l'air du réservoir auxiliaire dans le cylindre à frein.

Pour desserrer les freins, on fait, à l'aide du robinet du mécanicien, pénétrer l'air du réservoir principal dans la conduite générale et l'augmentation de pression qui en résulte dans celle-ci repousse, dans chaque triple valve, le piston à son fond de course supérieur et découvre la rainure par laquelle l'air pénètre dans le réservoir auxiliaire. Le jeu du tiroir a, dans ce mouvement, fermé la communication du cylindre à frein avec le réservoir auxiliaire et ouvert, au contraire, la communication de ce cylindre à frein avec l'échappement.

La triple valve à action rapide est plus compliquée. Pour un serrage, elle fonctionne exactement comme la triple valve ordinaire, mais par une disposition spéciale, lorsque l'on fait une dépression brusque, on amène le passage dans le cylindre à frein, non plus de l'air du réservoir auxiliaire, mais de l'air contenu dans la conduite générale. La partie supérieure est semblable à la triple valve ordinaire, avec cette différence que le cylindre est horizontal.

Lorsque l'on fait, dans la conduite générale, une dépression d'un kilo, le piston supérieur de la triple valve est porté brusquement vers son fond de course à droite.

Triple valve à action rapide



Dans ce mouvement, le tiroir de la triple valve découvre un orifice par lequel l'air du réservoir auxiliaire vient agir sur un piston secondaire qui s'abaisse en ouvre une soupape. Celle-ci établit une communication directe entre la conduite centrale et le cylindre à frein. On a ainsi le double avantage: 1° d'utiliser l'air qui reste dans la conduite générale pour agir directement sur le cylindre à frein; 2° de produire une rapide réduction de pression dans la conduite générale laquelle, transmise avec une vitesse extraordinaire de véhicule en véhicule, fait fonctionner simultanément tous les freins, même sur les plus longs trains.

Pour desserrer les freins, il suffit de renvoyer de l'air du réservoir principal dans la conduite générale en les différents organes de la triple valve à action rapide reprennent leur position normale.

Un robinet à trois voies permet de disposer la triple valve de façon qu'elle puisse fonctionner à l'action rapide, ou de façon, au contraire, à immobiliser le frottement à l'action rapide.

Robinet du mécanicien. — Le robinet du mécanicien doit permettre :

1° de charger d'air comprimé les appareils du train et de desserrer les freins en faisant passer dans la conduite générale une partie de l'air contenu dans le réservoir principal ;

2° d'alimenter pendant la marche normale la conduite générale de façon à compenser les fuites et à maintenir dans cette conduite une pression de 4 kilos.

3° de faire dans la conduite générale les dépressions convenables pour permettre le serrage des freins.

Le robinet présente une disposition permettant : de faire soit un serrage modéré servant à provoquer dans la conduite générale une dépression peu importante, soit, au contraire, un serrage rapide, en amenant brusquement dans la conduite une dépression d'au moins un kilo. Enfin, une autre position du robinet permet de couper toute communication de la conduite générale, soit avec l'atmosphère, soit avec le réservoir principal. Le robinet peut donc occuper 5 positions qui sont les suivantes :

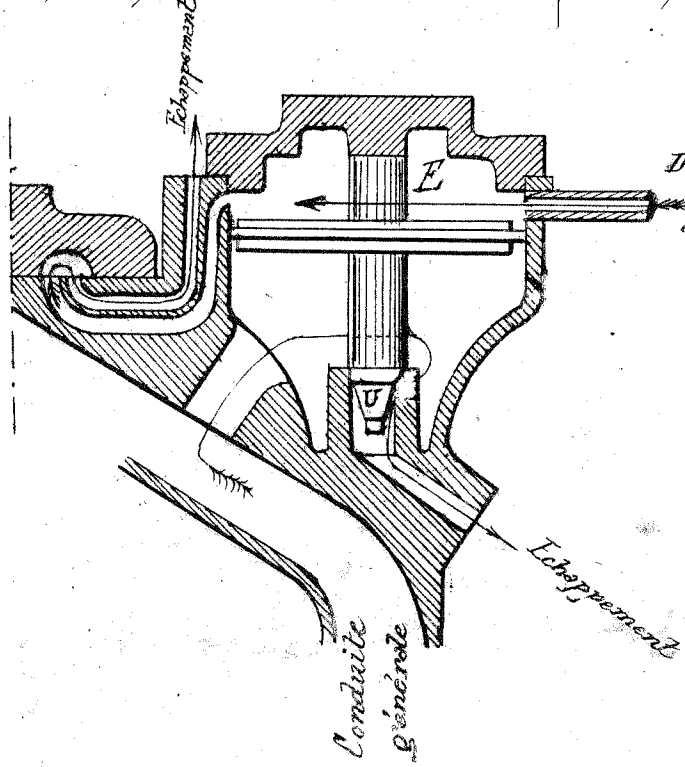
1° position — charge de la conduite et desserrage des freins ;

2° - d° - — position normale de marche ;

3e position — position neutre ;
4e position — serrage modéré ;
5e . d° . — serrage rapide.

Le robinet du dernier modèle présente une disposition automatique dite à décharge égalisatrice, dont le but est d'éviter les conséquences fâcheuses d'une manœuvre brusque ou maladroite du robinet. En effet, si, après avoir provoqué pour un serrage une évacuation assez rapide de l'air, on ferme brusquement l'échappement, l'air venant de l'arrière à l'avant du train peut produire un coup de bélier qui occasionne un desserrage des freins des véhicules de tête. Pour obtenir un fonctionnement régulier de tous les freins, il faut, dans les serrages modérés, que l'air soit évacué graduellement de la conduite générale et que l'échappement d'air soit fermé doucement.

La décharge égalisatrice est basée sur le principe suivant : dans les serrages ordinaires, le mécanicien n'évacue pas directement l'air de la conduite générale, mais il agit sur l'air contenu dans un petit réservoir de manœuvre relié à la chambre E du robinet (voir croquis ci-contre). Cette chambre E est séparée de la conduite générale par un petit piston égalisateur qui commande la valve d'échappement V. Une dépression produite dans la



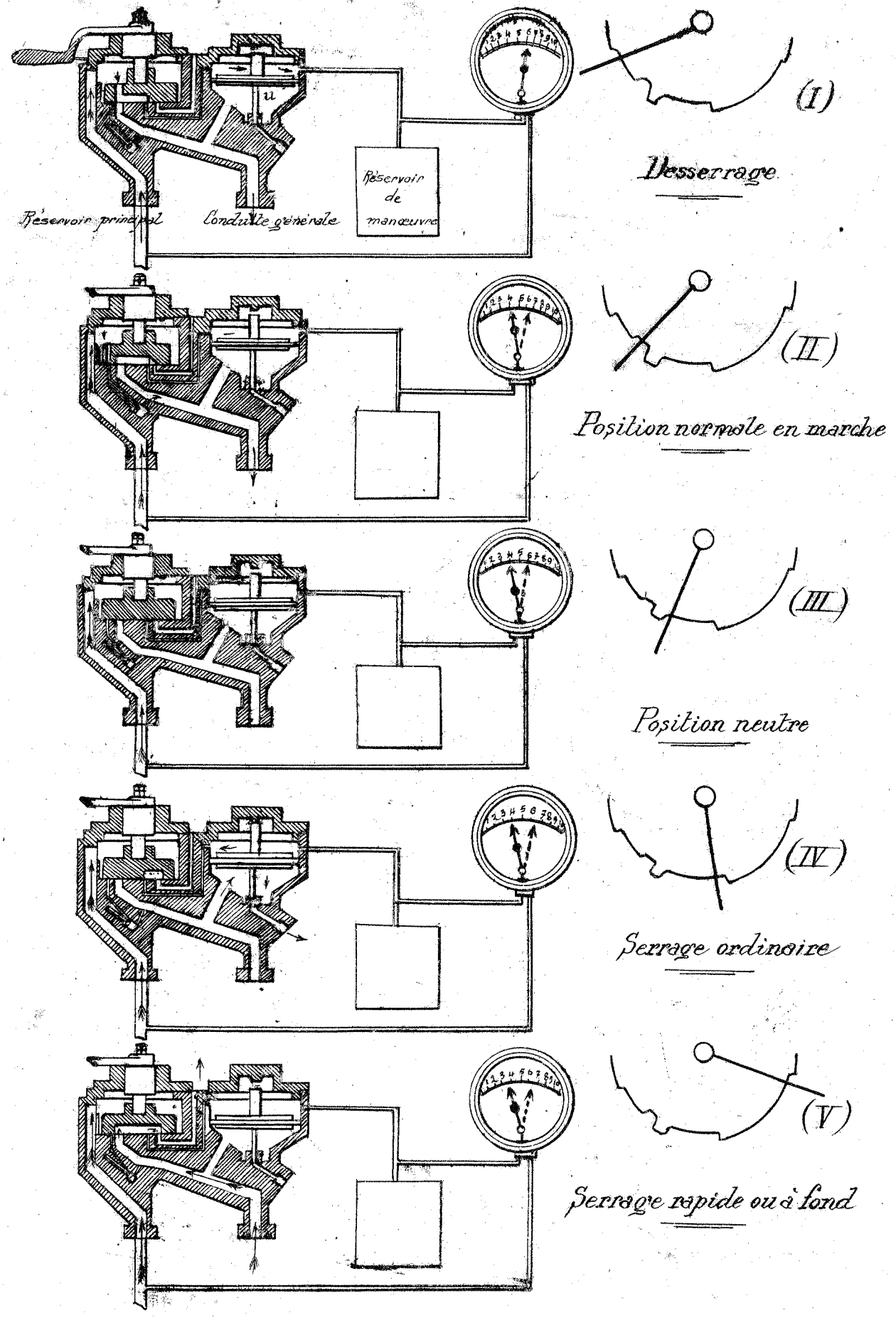
chambre E a pour effet de faire remonter le piston et de permettre l'échappement par la valve U d'une partie de l'air de la conduite générale jusqu'à ce qu'il y ait égalité de pression de part et d'autre du piston. Si le mécanicien ferme brusquement l'échappement du réservoir de manœuvre, la valve de décharge U ne se ferme pas brusquement, car elle est commandée par le piston égalisateur, qui ne descendra que graduellement ; on obtiendra ainsi une réduction de pression régulière sur toute la longueur du train.

Le robinet du mécanicien se compose essentiellement d'un corps contenant deux chambres : la chambre de la valve principale dont le mouvement est actionné directement par la poignée placée dans la main du mécanicien et la chambre de la valve égalisatrice.

Le robinet présente trois tubulures sur lesquelles sont fixés les tuyaux aboutissant, l'un au petit réservoir, le second au réservoir principal, et le troisième à la conduite générale.

La valve principale est une sorte de disque dont le mouvement est commandé par la poignée du robinet. Ce disque et la table sur laquelle il se déplace présentent des ouvertures et des cavités dont la position relative assure, suivant la position donnée à la poignée du robinet, des communications soit du réservoir principal à la conduite générale ou au petit réservoir, soit du petit réservoir ou de la conduite générale vers l'échappement. Les figures ci-après (la disposition des différentes ouvertures a été légèrement modifiée pour rendre l'observation plus facile) montrent d'une façon assez claire les différents mouvements de l'air comprimé correspondant aux 5 positions de la poignée du robinet.

1° pour charger la conduite et desserrer les freins, l'air


Réservoir principal
Conduite générale
Réservoir de manœuvre
(I)
Desserrage
(II)
Position normale en marche
(III)
Position neutre
(IV)
Serrage ordinaire
(V)
Serrage rapide ou à fond

comprimé du réservoir principal passe librement dans la conduite générale et dans le petit réservoir de manœuvre, la valve d'échappement V est fermée et le piston égalisateur se trouve équilibré. (Croquis I)

2e position normale de marche. L'air du réservoir principal n'entre pas librement dans la conduite générale, mais passe par la valve de retenue. Cette valve est maintenue par un ressort réglé de telle façon que la valve est fermée si la pression de la conduite générale atteint 4 kilos. Si, au contraire, la pression dans la conduite générale baisse au-dessous de 4 kilos, l'air du réservoir principal peut passer par la valve de retenue et pénètre dans la conduite générale de façon à y maintenir toujours cette pression de 4 kilos (croquis II)

3e position neutre. Tous les orifices de la valve principale ainsi que de son siège sont fermés, il n'y a plus aucune communication entre le réservoir principal, la conduite générale, le petit réservoir et l'échappement (croquis III).

4e position pour l'action graduée du frein, serrage ordinaire; l'air du petit réservoir de manœuvre et de la chambre E s'échappe dans l'atmosphère. Si ce fait, le piston égalisateur remonte et laisse échapper une partie de l'air de la conduite générale. Dès que l'échappement a été suffisant pour que la pression dans toute la conduite générale soit devenue égale à celle qui existe au-dessus du piston égalisateur, ce dernier retombe et ferme l'échappement.

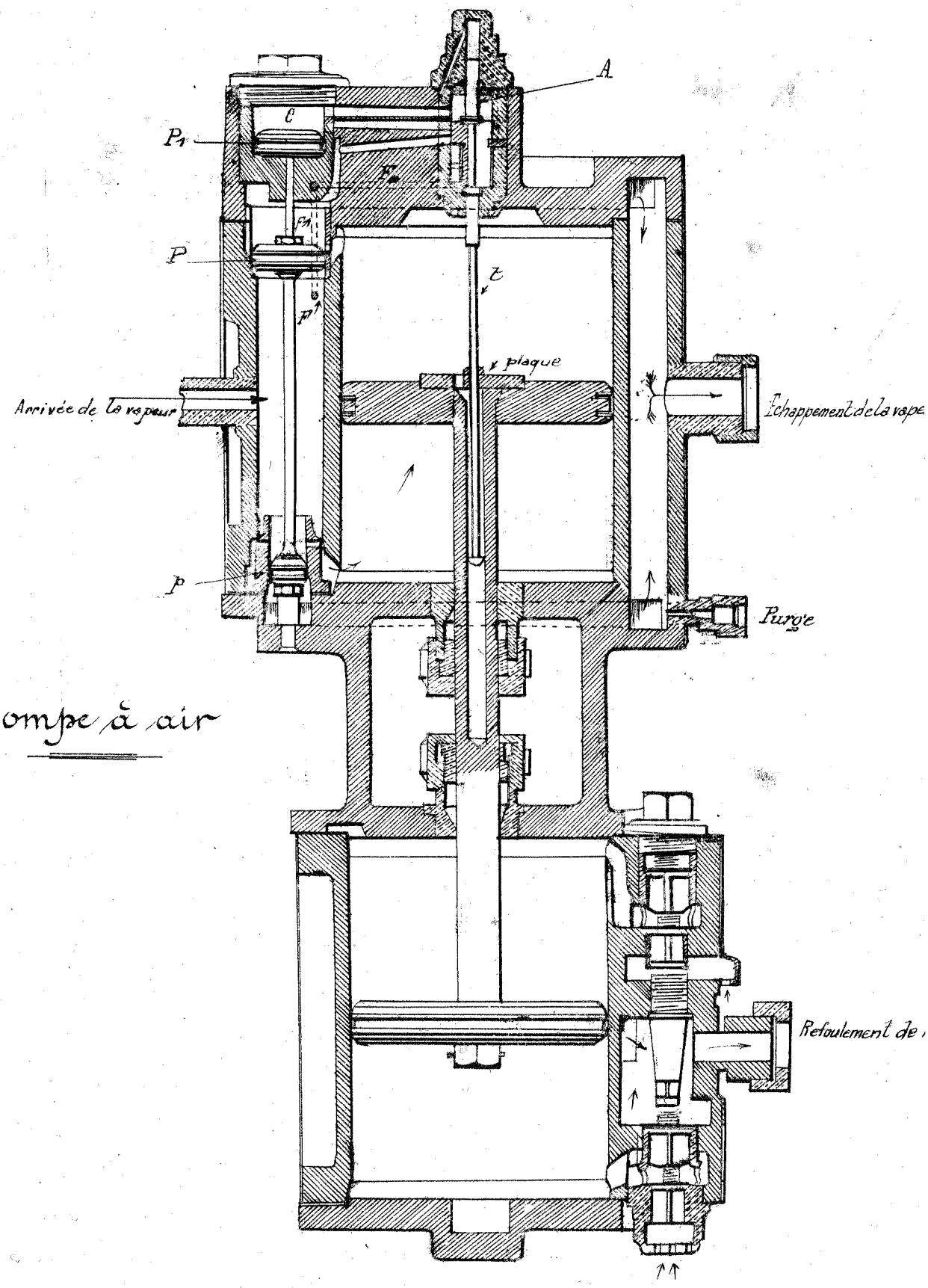
5e serrage rapide ou à fond. Une communication large et directe est établie entre la conduite générale et l'atmosphère; l'air de la conduite générale s'échappe très rapidement et amène le serrage rapide en provoquant le fonctionnement à l'action rapide des triples valves des voitures.

Compresseur. — Dans la pompe à air, le cylindre à air déposé à la partie inférieure ne présente rien de particulier. Le cylindre à vapeur comporte une distribution intéressante. La vapeur de la chaudière pénètre dans l'espace compris entre les deux pistons P, p, commandés par une même tige. Le piston supérieur étant plus grand que le piston inférieur, la pression tend à soulever l'ensemble lorsqu'il n'est pas retenu en bas par la pression plus grande du piston P_1 se mouvant dans un cylindre situé au-dessus. Ce dernier piston est maintenu baissé par la pression de la vapeur arrivant de la chambre A laquelle est toujours en communication à l'aide du conduit F avec l'espace compris entre les deux pistons P et p.

La position indiquée sur la figure correspond au passage de la vapeur par les orifices inférieurs pour soulever le piston principal. Au moment où ce piston achève sa course ascensionnelle, la plaque qu'il porte sur sa partie supérieure soulève la tige Z et avec elle le tiroir qui ferme la communication entre la chambre A et le cylindre C en ouvre en même temps l'orifice d'échappement dans l'atmosphère supprimant ainsi la pression sur la face supérieure du piston P_1 ; de ce fait l'ensemble des pistons Pp est soulevé, la vapeur entre alors dans la partie supérieure du cylindre principal tandis que la partie inférieure correspond avec l'échappement, le piston reprend donc sa course vers le bas, et ainsi de suite.

Le frein Westinghouse est automatique car toute avarie, toute rupture d'attelage, toute rupture de tuyau d'accouplement, toute perte se produisant à la conduite générale ou aux appareils des voitures a pour effet d'amener un serrage automatique des freins. De ce fait, le train est

Pompe à air


A
C
P_1
F_1
P
P_1
C
Y plaque
Arrivée de la vapeur
Echappement de la vape
p
Purge
Refoulement de

arrêté, en le personnel est averti de l'avarie, c'est évidemment là un avantage. Par contre, on a l'inconvénient de rester ainsi en détresse en pleine voie, il importe de pouvoir se remettre en marche sans trop de retard. A cet effet, des dispositifs spéciaux permettent, en cas d'avarie, de supprimer le frein, soit sur une voiture, soit sur une partie du train, soit même sur le train tout entier. Chaque voiture est munie d'un robinet d'isolement, robinet placé sur le branchement de la conduite générale, en donne la fermeture sépare de cette conduite l'ensemble des appareils de cette voiture, triple valve, réservoir auxiliaire, cylindre à frein. Suivant la disposition de ces appareils la position du robinet d'isolement peut être différente. Lorsqu'on emploie la triple valve à action rapide, c'est généralement le robinet destiné à permettre le fonctionnement à l'action rapide ou à l'action ordinaire qui est également utilisé comme robinet d'isolement. Ce robinet a ainsi 3 positions, sa position intermédiaire supprime toute communication avec la conduite générale.

Mais, lorsque la voiture est isolée, il faut encore, avant de remettre le train en marche, que les sabots de cette voiture soient desserrés et il faut avoir la certitude qu'ils ne resserreront pas en cours de route. A cet effet, une valve de purge dont la commande est placée sur le côté de chaque voiture permet de vider l'air comprimé qui se trouve dans les appareils de la voiture.

Enfin, à l'extrémité de chaque voiture, un robinet permet de fermer la conduite générale.

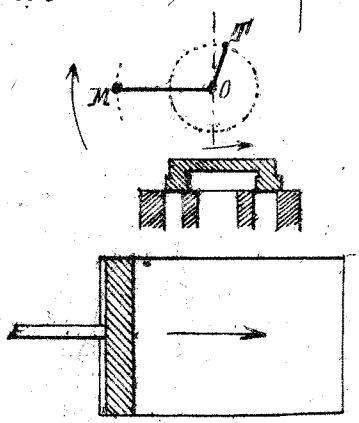
Si une avarie intéresse les appareils d'une voiture, on isole la voiture, et on en vide les appareils. Si l'avarie intéresse la conduite générale, on coupe cette conduite générale en

avant de la voiture où se trouve l'avarie, on supprime le frein sur toutes les voitures de queue en on vide le réservoir.

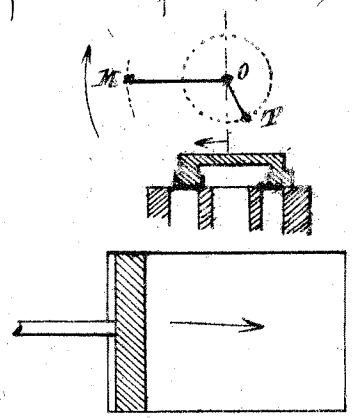
Contre-vapeur. - La contre-vapeur constitue un moyen puissant mis à la disposition du mécanicien pour enrayer la marche de son train.

Le principe de la contre-vapeur est d'employer la vapeur de la chaudière à exercer sur le piston un travail résistant au lieu du travail moteur qu'elle exerce pour la marche normale. Pour battre contre-vapeur, il suffit lorsque la machine avance vers l'avant de mettre le changement de marche dans la position de la marche arrière en d'ouvrir le régulateur.

Il est facile de se rendre compte de ce qui se passe dans le cylindre lorsqu'on bat contre-vapeur. Supposons que nous partions de la position du piston fond de course arrière. La manivelle motrice continuant à tourner dans le sens de la marche avant, changeons la marche de façon que le tiroir soit commandé par la barre d'excentrique d'arrière. Le tiroir qui, pour la marche avant devait avancer pour découvrir davantage la lumière vers l'admission va, au contraire, reculer vers l'arrière pour fermer la lumière d'admission en ouvrir ensuite l'échappement.



Marche ordinaire

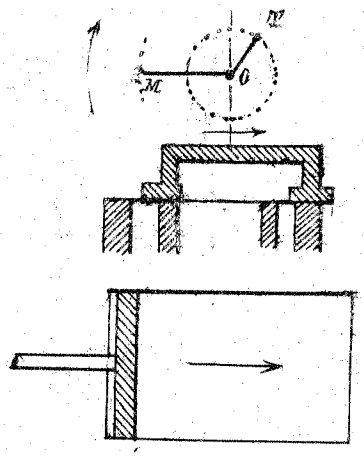


Marche à contre-vapeur

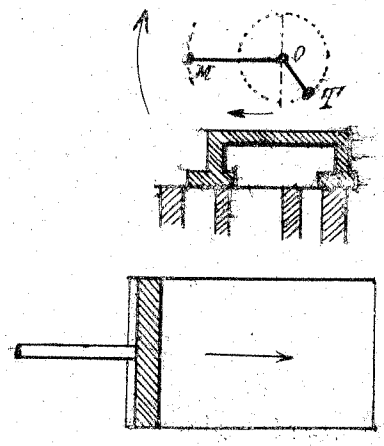
Supposons pour un moment le cas d'un tiroir sans recouvrement : si l'on bat contre-vapeur, on voit que, pendant toute

la course du piston de l'arrière vers l'avant du cylindre, la partie arrière du cylindre sera en communication avec l'échappement, et, au contraire, pendant la course rétrograde cette partie arrière du cylindre sera en communication avec l'admission. Pendant la course de l'arrière vers l'avant, le mouvement du piston aura donc pour effet d'aspirer l'air et les gaz qui sont dans l'échappement ; pendant sa course rétrograde, le piston rencontrera la vapeur arrivant par la lumière d'admission, vapeur à la pression de la chaudière qui tendra à s'opposer à son mouvement, et qu'il devra refouler vers la chaudière. La vapeur exercera donc sur le piston, pendant cette course rétrograde, un effort résistant égal à l'effort moteur qu'elle exercerait sur ce même piston pendant la course vers l'avant, s'il s'agissait de la marche normale.

Si l'on considère maintenant le tiroir à recouvrement, on peut suivre aisément ce qui se passe ; dans la partie arrière du cylindre, par exemple, pendant les différentes phases de la distribution.



Marche ordinaire



Marche à contre-vapeur

Au moment où le piston part de son fond de course arrière, la lumière d'arrière est ouverte, vers l'admission, d'une quantité égale à l'avance à l'admission, mais le mouvement du tiroir la ferme presque immédiatement ; il y a donc une première

période donnant une petite admission de vapeur dans le cylindre. Pendant la période suivante où la lumière est fermée, il y a détente de cette vapeur, il y a donc encore un effort moteur ; cette période correspond à la période de compression pour la marche normale. Vient ensuite la troisième période, qui commence au moment où le train découvre la lumière d'arrière vers l'échappement. Pendant cette période, la vapeur enfermée dans la partie arrière du cylindre se raréfie de plus en plus, il y a aspiration des gaz de l'échappement dans le cylindre. Pendant la course rétrograde du piston la quatrième période donne la communication du cylindre ; il y a aspiration des gaz de l'échappement dans le cylindre ; pendant la cinquième période, la lumière d'arrière est bouchée par le tiroir ; le piston comprime dans le cylindre les gaz qui y sont contenus. Enfin, dans la sixième période, la partie arrière du cylindre communique avec l'admission ; le piston repousse dans la chaudière les gaz contenus dans le cylindre en sorte pour avancer vaincre l'effort de la vapeur de la chaudière. Pendant cette sixième période s'exerce un travail résistant à pleine pression qui dure pendant une portion de la course du piston égale à la période d'admission à marche normale. Pour que ce travail résistant soit aussi considérable que possible, on a donc intérêt en marche à contre-vapeur à augmenter la sixième période en, dans ce but, à mettre la marche à bout de course.

Si la marche à contre-vapeur est un frein très puissant, elle peut aussi présenter certains inconvénients. En effet, le mouvement du piston a pour effet d'aspirer de l'air et des gaz chauds de la boîte à fumée pour les refouler dans la chaudière. L'introduction d'air dans la chaudière y fait monter la pression

qui atteint rapidement une valeur supérieure au timbre en tout à fait dangereuse. De plus, les gaz pris dans la boîte à fumée sont chauds et chargés de poussière et leur introduction dans les cylindres a pour effet de les sécher, de les rayer et de brûler les garnitures.

Pour éviter ces inconvénients, on emploie généralement, lorsqu'on veut battre contre vapeur, ce qu'on appelle l'injection d'eau, consistant en un tuyau partant de la chaudière et débouchant au bas de l'échappement. Ce tuyau permet d'envoyer dans la partie basse de l'échappement un mélange d'eau et de vapeur qu'on lance avant même de renverser la marche et qu'on laisse fonctionner pendant tout le temps où l'on bat contre-vapeur. De ce fait, le mouvement du piston pendant la marche à contre-vapeur aspire dans l'échappement non plus un mélange d'air et de gaz chauds, mais un mélange d'eau et de vapeur dont l'introduction dans la chaudière ne fait plus monter sensiblement la pression et qui a pour effet de laver les cylindres et les tables des tiroirs. On évite ainsi, presque complètement, les inconvénients signalés.

La contre-vapeur doit être employée dans deux cas différents, soit en cas de danger pour achever de réaliser plus rapidement l'arrêt, avant un obstacle ou un signal, soit, et c'est le cas le plus fréquent, pour éviter que le train ne prenne une accélération trop grande dans les pentes. L'effet de la contre-vapeur est d'ailleurs beaucoup plus puissant lorsqu'on n'a pas laissé prendre au train une vitesse trop grande ; on doit donc, de préférence, en user dès le commencement d'une descente et ne pas attendre pour cela que le train soit emballé.

Emploi du sable pour aider à réaliser les arrêts.

Lorsqu'un mécanicien doit réaliser un arrêt d'urgence, il

peut se servir d'abord de ses freins, puis de la contre-vapeur. On lui recommande aussi de se servir de la sablière. Le sable projeté sur le rail augmente le frottement et, par suite, la résistance du train, mais il a surtout pour effet, lorsque le rail est glissant, de retarder le moment où les roues sont calées et, à ce point de vue, l'usage du sable est une précaution indispensable dans les arrêts rapides.

Formule donnant la relation entre le poids freiné et l'espace nécessaire pour réaliser les arrêts. — Il est nécessaire que, dans un train, le poids freiné soit suffisant pour permettre au mécanicien de réaliser l'arrêt sur un parcours peu considérable. Plus il y aura de véhicules freinés, plus l'arrêt sera rapide; c'est pourquoi on a généralisé, pour les trains de voyageurs, l'emploi des freins continus avec lesquels on arrive à freiner presque la totalité du poids du train. Sur les trains de marchandises, il n'y a jamais qu'un nombre assez restreint de wagons munis du frein.

Pratiquement, on établit dans chaque Compagnie des tableaux indiquant le minimum de freins imposés pour une charge déterminée; mais, pour établir ces tableaux, il faut partir de données que l'on doit chercher par le calcul.

D'autre part, même pour les trains de voyageurs munis de freins continus, il est intéressant de se demander sur quel espace ils pourront réaliser l'arrêt. Les données du problème sont assez compliquées, car l'arrêt dépendra non seulement du poids freiné, mais encore de la nature des freins, de l'état des surfaces de frottement, des conditions atmosphériques. Quoi qu'il en soit, on peut, en faisant quelques hypothèses, arriver à une formule qui donne des résultats satisfaisants.

Elle peut être établie de la façon suivante :

Nous supposerons que le train marchant à une vitesse déterminée, on applique brusquement les freins, de façon à enrayer complètement les roues, c'est l'hypothèse la plus défavorable. Nous chercherons quel espace le train parcourra jusqu'au moment où la vitesse sera réduite à 0.

Soient :

P Poids total du train en kilogrammes (machine et tender compris)
v Vitesse en mètres par seconde ;
P' Poids des parties tournantes ; (on admet $P' = 0,16\,P$)
R Rayon de roulement ;
ω Vitesse angulaire de rotation ;
R' Rayon moyen de giration des parties tournantes (on admet $\frac{R'^2}{R^2} = 0,5$)
p Poids enrayable par les freins sur l'ensemble du train et de la machine ;
p' - d° - des parties tournantes (on admet $p' = 0,16\,p$)
f Coefficient de frottement des roues enrayées ;
f' Coefficient de résistance au roulement ;
K Résistance propre des organes de la machine ;
$\pm i$ Déclivité en millimètres par mètre (+ pentes, - rampes) ;
s Longueur sur laquelle est obtenu l'arrêt.

A la vitesse v, la puissance vive totale du train est : $\begin{cases} \frac{Pv^2}{2g} & \text{puissance vive de translation, plus} \\ \frac{P'}{2g}\,\omega^2 R'^2 & \text{puissance vive de rotation} \end{cases}$

soit :

$$\frac{Pv^2}{2g} + \frac{P'}{2g}\,\omega^2 R'^2$$

Or : $R'^2 = 0,5\,R^2$ et $v = \omega R$ d'où $\omega = \frac{v}{R}$

L'expression de la puissance vive devient donc :

$$\frac{Pv^2}{2g} + \frac{P'}{2g}\,v^2 \times 0,5 \quad \text{ou} \quad \frac{v^2}{2g}\,(P + 0,5\,P')$$

Si un poids p' des parties tournantes est supposé enrayé, la puissance vive n'est plus que : $\frac{v^2}{2g}\left[P + 0,5\,(P' - p')\right]$.

La force retardatrice qui agit sur le train se compose (en supposant les freins enrayés) de :

résistance au roulement ..... $(P-p)f'$
résistance au glissement du poids enrayé .. pf
résistance propre de la machine ..... K
composante de la pesanteur ..... $\pm \frac{Pi}{1000}$

$$\Big\} (P-p)f' + pf + K - \frac{Pi}{1000}$$

En appliquant le théorème des forces vives, depuis le moment où les freins sont mis en action jusqu'à l'arrêt, on aura, en appelant s l'espace parcouru en mètres pendant ce temps :

$$\frac{v^2}{2g}\left[P + 0{,}5(P'-p')\right] = s\left[(P-p)f' + pf + K \pm \frac{Pi}{1000}\right]$$

On admet $P' = 0{,}16\,P$ $\quad p' = 0{,}16\,p$, ce qui donne :

$$\frac{v^2}{2g}\left[1 + 0{,}08\left(1 - \frac{p}{P}\right)\right] = s\left[\left(1 - \frac{p}{P}\right)f' + f\frac{p}{P} + \frac{K}{P} \pm \frac{i}{1000}\right]$$

Si l'on prend comme donnée la distance sur laquelle on veut réaliser l'arrêt quand on marche à une vitesse déterminée, on tire de cette formule le coefficient de freinage $R = \frac{p}{P}$

$$R = \frac{p}{P} = \frac{1{,}08\,\frac{v^2}{2gs} \mp \frac{i}{1000} - f' - \frac{K}{P}}{f - f' + 0{,}08\,\frac{v^2}{2gs}} \qquad \text{(formule 1)}$$

On prend $f = 0{,}104$
f' est donné par $1000\,f' = 3 + 0{,}0012\,v^2$

} Résultats d'expérience, v étant la vitesse moyenne pendant la période d'arrêt.

On a ainsi les valeurs ci-dessous pour f' :

Vitesse de marche	f'
90	0,00543
80	0,00492
75	0,00468
[illegible]	0,00445

(4)

Vitesse de marche	f'
60	0, 00408
55	0, 00392
50	0, 00363
45	0, 00356
40	0, 00343
30	0, 00327
20	0, 00312

La valeur de $\frac{K}{P}$, calculée en considérant les machines actuelles et les poids des trains les plus lourds, peut être estimée à 0,0006 c'est-à-dire presque négligeable.

Au lieu de tirer de l'équation le coefficient de freinage on peut tirer la longueur d'arrêt s, et l'on a :

$$s = \frac{\frac{v^2}{2g}\left[1 + 0{,}08\left(\frac{P-p}{P}\right)\right]}{(f-f')\frac{p}{P} + f' + \frac{K}{P} \pm \frac{i}{1000}} \qquad \text{(formule 2)}$$



Il est important de ne pas oublier que l'équation de départ est établie en supposant les freins enrayés dès le début de la mise en action des appareils. En réalité, cet enrayage n'est pas toujours obtenu aussi rapidement, mais cette circonstance est plutôt favorable à l'arrêt du train. En effet, tant qu'il n'y a pas enrayage le frottement s'exerce entre les sabots des freins et les bandages des roues. Les surfaces en contact se renouvellent rapidement de sorte que le coefficient de frottement acquiert et conserve une valeur très forte. Si, au contraire, le glissement sur le rail dure un certain temps, la surface frottante du bandage se polit, forme facette, et le coefficient de frottement diminue rapidement.

En appliquant la formule 2 ci-dessus au cas d'un train de 300 tonnes, muni du frein Westinghouse, marchant à

100 kilomètres sur une voie en palier en remorqué par machine en tender pesant ensemble 108 tonnes, avec poids freinable de 374 tonnes on trouve $s = 415$ mètres :

Application de la formule 1

Cette formule donne le coefficient total de freinage $\frac{p}{P}$ pour le train complet (machine comprise).

Or, pour la machine la proportion du poids freiné au poids total de la machine est toujours plus forte que $\frac{p}{P}$

Il en résulte que l'on pourra prendre pour coefficient de freinage du train proprement dit, un chiffre inférieur à celui calculé par la formule 1 de sorte que si l'on appelle :

α ce nouveau coefficient ;

P_1 le poids du train proprement dit (machine non comprise),

M, le poids du moteur ;

β le coefficient de freinage du moteur ;

On pourra écrire d'une façon différente le coefficient $k = \frac{p}{P}$

$$k = \frac{p}{P} = \frac{\frac{\text{Poids freiné du moteur}}{\beta M} + \frac{\text{Poids freiné du train}}{\alpha P_1}}{(M + P_1)}$$

d'où :

$$\alpha = \frac{(k - \beta)M + P_1 k}{P_1}$$

C'est par les applications successives de cette formule (dans laquelle on attribue à M et P_1 successivement des valeurs connues, résultats de l'expérience) que l'on déduit, pour une série de machines données, les diverses valeurs de α d'après les diverses valeurs de k calculées successivement pour des pentes différentes (d'après la formule 1). Le coefficient β est évidemment connu puisqu'il résulte de la construction de la machine.

Il reste à noter que, pour chaque section de ligne, on

a déterminé, en ce qui concerne le profil, une rampe ou une pente moyenne d'après l'examen du profil détaillé de la ligne.

On a ainsi trouvé en adopté sur le Nord :

$\alpha = 1/20$ ——— 0 à 4 m/m .
$\alpha = 1/16$ ——— 5 à 6 m/m
$\alpha = 1/14$ ——— 7 , 8 . 9 "
$\alpha = 1/11$ ——— 10 , 11 , 12 "
$\alpha = 1/9$ ——— 13 , 14 , 15 "
$\alpha = 1/7$ ——— 16 , 17 , 18 "

Exploitation commerciale

L'exploitation commerciale d'une Cie de Chemins de Fer comprend l'ensemble des opérations qui ont pour but de développer le plus possible, sur les lignes de cette Compagnie les transports de voyageurs et de marchandises faisant produire à ces transports un bénéfice suffisant. Ce résultat est obtenu principalement par une bonne utilisation du matériel roulant et par l'offre au Public de prix de transport ou taxes et qui puissent être supportés par les voyageurs et les marchandises.

L'étude de l'Exploitation commerciale consistera donc à examiner la question des tarifs, c'est-à-dire des taxes que les Cies de Chemins de Fer sont autorisées à percevoir au Public pendant la durée de leur concession pour les indemniser des dépenses

que leur imposent les cahiers des charges. Après avoir défini les termes techniques couramment employés, nous passerons successivement en revue les points suivants.

A.— Historique des tarifs ;

B.— Homologation des tarifs ;

C.— Formes diverses des tarifs, établissement des barèmes ;

D.— Tarifs maxima du Cahier des Charges en G.V. Tarifs d'application.

E.— Tarifs du Cahier des Charges généraux et spéciaux G.V. Colis postaux.

F.— Tarifs du Cahier des Charges généraux et spéciaux P.V.

G.— Tarifs internationaux ;

H.— Factage, Camionnage ;

I.— Coefficients d'exploitation.

Définitions

1° *Le Cahier des Charges* est un document qui énumère les conditions imposées aux Compagnies pour jouir du monopole des transports par voie ferrée.

2° *Tarifs.*— Les tarifs indiquent les prix des transports à 1 kilomètre de distance, par voyageur, tête d'animal, ou tonne de marchandise. Mais en outre de ces tarifs kilométriques, il existe certains prix fermes appliqués entre deux points déterminés pour favoriser un courant de transport. Les gares intermédiaires situées sur l'itinéraire réunissant les 2 points bénéficient également de ces prix fermes. On distingue trois sortes de tarifs, savoir :

1° le tarif légal ou maximum déterminé par le Cahier des Charges et que la Compagnie ne peut dépasser.

2° le tarif général appliqué en fait par les Compagnies, en

donn... prix divisés en séries suivann la nature des marchandises pour presque tous inférieurs à ceux du tarif légal.

3° les tarifs spéciaux comportann des réductions variables sur les prix du tarif général, en accordann en échange certains avantages aux transporteurs.

Parmi les tarifs spéciaux, il convient de citer :

les tarifs communs en internationaux concernann les marchandises voyageann sur plusieurs réseaux ou passann par plusieurs pays en bénéficiann d'un seul tarif;

les tarifs de transit, appliqués aux produits qui ne font que traverser le pays en donn les Compagnies désirent obtenir le transport en appliquann un tarif inférieur à celui des Compagnies étrangères concurrentes.

Les tarifs sont établis suivann des barèmes en deux parties correspondants, indiquann la taxe à percevoir suivann le nombre de kilomètres parcourus.

Homologation. — Les tarifs de Chemins de Fer ne peuvent être appliqués qu'après homologation du Ministre des Travaux Publics. Il s'agit là d'une homologation administrative qui leur donne force de loi.

Le Comité consultatif des Chemins de fer placé près du Ministre des Travaux Publics pour donner son avis sur tout ce qui concerne l'exploitation, en présidé par lui, se compose de Présidents de commissions du Sénat, de la Chambre des députés, de fonctionnaires supérieurs du Ministère des Travaux Publics, de membres de Chambres et de Tribunaux de Commerce etc... nommés par décret.

Le Contrôle de l'État est chargé de la surveillance de l'Exploitation des Compagnies de Chemins de fer. Le Contrôle de l'Exploitation Commerciale d'un réseau est chargé de l'étude

des tarifs en de toutes les questions économiques en commerciales intéressant le réseau.

A. Historique des tarifs. — Au début des Chemins de fer, aucune règle ne présida à la confection des tarifs qui se composaient en majeure partie de prix fermes. De plus, tous les expéditeurs ne bénéficiaient pas des mêmes conditions. Par des tarifs dits d'abonnement les Compagnies accordaient des réductions variables suivant l'importance de l'établissement de l'expéditeur ou de la nature des transports. Ces tarifs étaient donc soumis au régime de la libre concurrence. L'article 48 du Cahier des Charges vint régulariser la question en stipulant que : « Tout traité particulier qui aurait pour effet d'accorder à « un ou plusieurs expéditeurs une réduction sur les tarifs « approuvés demeure absolument interdit ».

Subsistant seuls les traités particuliers intervenus entre le Gouvernement et la Compagnie dans l'intérêt des Services Publics en visant les transports des Ministères de la Guerre, de la Marine, des Finances et de l'Intérieur (prisonniers).

Toutefois les Compagnies pouvaient encore accorder des réductions aux indigents et traiter avec des correspondants pour la prise et la livraison à domicile, ainsi qu'avec les Compagnies de navigation pour la réexpédition par mer.

En 1860 le Comité Consultatif des Chemins de fer dût revenir sur la question en interdire formellement tout traité particulier.

Plusieurs commissions extra parlementaires furent ensuite instituées pour examiner les modifications et améliorations à apporter dans le Service des Chemins de fer, tant au point de vue technique que commercial.

La commission de 1877 se prononça notamment en faveur :

1° de la simplification des tarifs généraux par la diminution du nombre de séries.

2° de l'établissement d'une classification uniforme des marchandises P.V.

3° de l'application du même tarif kilométrique sur tous les réseaux

4° de la diminution des tarifs spéciaux ou d'une révision de ces tarifs en vue d'un classement méthodique.

5° de la multiplication des billets R.

A la suite des Conventions de 1883, les six grandes Compagnies pour déférer aux vœux du Gouvernement présentèrent des projets de Tarif général divisé en 6 séries dont les bases initiales étaient uniformes pour toutes les Compagnies.

Enfin, depuis 1895 la classification des marchandises est devenue uniforme pour toutes les Compagnies et toute addition ou modification ne peut y être apportée qu'après leur assentiment.

Les tarifs spéciaux ont également été considérablement modifiés et simplifiés. Leur nombre qui, en 1883 s'élevait à plus d'un mille, a été réduit à 30 pour chaque Compagnie, et les marchandises ne sont reprises qu'à un seul et même tarif.

Des réformes analogues ont été opérées pour le transport des marchandises G.V., et depuis 1882 on peut expédier en G.V. un colis quelconque de Lille à Nice ou à Bayonne sans avoir à rechercher d'autre élément que la distance par rails entre ces points ; il suffit ensuite de se reporter au barème prévu soit pour les denrées, soit pour les finances, soit pour les animaux, soit pour les marchandises diverses et l'on obtient ainsi la taxe applicable de bout en bout.

B Homologation des tarifs. — L'article 44 de l'ordonnance du 15 Novembre 1846 a posé ce principe :

« Qu'aucune taxe de quelque nature qu'elle soit ne « pourra être perçue par la Compagnie qu'en vertu d'une ho- « mologation du Ministre des Travaux Publics » Depuis cette époque le Cahier des Charges des grandes Compagnies a été révisé en un nouvel article vient compléter les prescriptions de l'ordonnance de 1846 en stipulant que :

« Dans le cas où la Compagnie jugerait convenable, soit « pour le parcours total, soit pour les parcours partiels de la « voie de fer d'abaisser avec ou sans conditions au-dessous des « limites déterminées par le tarif les taxes qu'elle est autorisée « à percevoir, les taxes abaissées ne pourront être relevées qu'a- « près un délai de 3 mois, au moins, pour les voyageurs et « d'un an pour les marchandises. Toute modification de tarif « proposée par la Compagnie sera annoncée un mois d'avance « par des affiches. La perception des tarifs modifiés ne pourra « avoir lieu qu'avec l'homologation de l'Administration su- « périeure conformément aux prescriptions de l'ordonnance du « 15 Novembre 1846. »

Les Compagnies peuvent donc abaisser les taxes qu'elles ont été autorisées à percevoir. Cette mesure est laissée à leur propre initiative. L'Administration supérieure peut cependant les inciter directement ou indirectement à apporter des changements aux prix en vigueur, mais là s'arrête son pouvoir.

Lorsque les Compagnies veulent apporter une modification à leurs tarifs elles sont tenues d'en demander préalablement l'autorisation au Ministre des Travaux Publics en lui fournissant tous les éléments de nature à justifier les motifs

l'étendue en le mérite de leur proposition.

Les Compagnies doivent, en même temps, communiquer leur proposition au Directeur du Contrôle Commercial des Chemins de fer, au Contrôleur général de l'Exploitation Commerciale de leur réseau ainsi qu'aux Préfets des Départements traversés par leurs lignes.

Enfin, les Compagnies sont dans l'obligation d'informer le Public au moyen d'affiches des changements soumis à l'approbation du Ministre, en cela, en vue de permettre aux intéressés de formuler leurs observations.

D'après l'Ordonnance de 1846, l'affichage doit durer un mois. Pendant ce délai qui, dans la pratique, est souvent de beaucoup dépassé, le Ministre fait instruire les propositions des Compagnies par le Contrôle et le Comité Consultatif.

Le Ministre se prononce ensuite et sa décision est notifiée à la Compagnie qui la fait publier au moyen de bandes apposées sur les affiches de proposition, ainsi qu'au Directeur du Contrôle Commercial et aux Préfets. Les Préfets se bornent à faire connaître les tarifs nouvellement homologués aux Chambres de Commerce ou aux Chambres Consultatives des Arts et Manufactures.

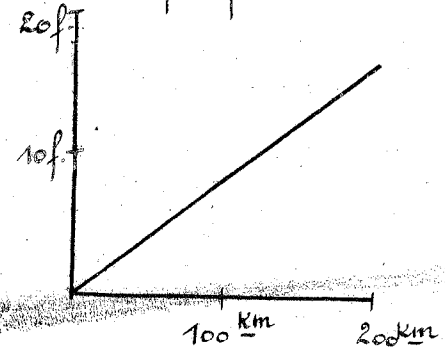
Les homologations de tarifs, de même que les propositions de tarifs sont insérées au Journal Officiel.

Les tarifs homologués sont applicables dans un délai maximum de 15 jours, s'il s'agit d'un tarif propre à chaque réseau ; dans un délai maximum d'un mois s'il s'agit d'un tarif commun à plusieurs Compagnies. Dans le cas où il s'agit d'un tarif commun à des Compagnies françaises ou étrangères, l'application ne peut avoir lieu qu'après accord entre lesdites Compagnies. Enfin pour les tarifs d'exportation, concernant les marchandises destinées à être exportées par les fron-

tières de terre ou de mer : l'application peut en être faite d'office 48 heures après leur notification à l'Administration supérieure, si, dans ce délai, aucune opposition n'a été formulée.

Après l'accomplissement des dernières formalités les tarifs ont force légale et sont obligatoires pour les Compagnies comme pour le Public.

C Formes diverses des tarifs et établissement des barèmes. — Les tarifs peuvent présenter deux formes distinctes : ils sont proportionnels ou différentiels.

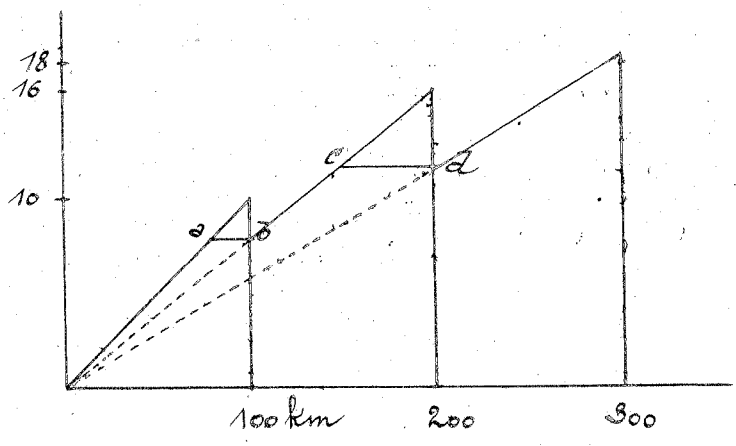


Si l'on convient de porter en abcisses les distances kilométriques et en ordonnées les prix de transport, les tarifs à base uniforme (on désigne sous le nom de base la taxe kilométrique) sont représentés par une ligne droite partant de l'origine et plus ou moins inclinée suivant la valeur de cette base.

Les prix de transports sont alors rigoureusement proportionnels aux distances kilométriques. Un tel système de tarif peut devenir prohibitif aux grandes distances en raison de l'élévation des prix de transports. Or, on considère que le prix de revient par kilomètre est plus réduit pour les longs parcours que pour les petites distances. On a donc été amené à offrir des bases plus réduites aux marchandises ayant de longs parcours à effectuer.

Si, par exemple, les marchandises ayant à faire un parcours maximum de 100 km paient 0f10 par km, on décide de ne faire payer que 0 f 08 par kilomètre pour un parcours de 100 km à 200 km ; 0 f 06 par km pour un parcours de 200 à 300 km.

Graphiquement ce système par une série d'obliques partant toutes de l'origine en formant des angles différents avec l'horizontale. Le graphique fait ressortir immédiatement qu'un transport à 99 km. paierait plus cher qu'un transport à 101 km. si l'on n'apportait un correctif qui consiste à fixer pour chaque coupure un maximum et à stipuler dans l'exemple choisi que pour les parcours inférieurs à 100 km. les transports paieront 0f.10 par km. sans que la taxe totale puisse dépasser 8 francs, etc... ce qui se traduit sur le graphique par les horizontales ab, cd.



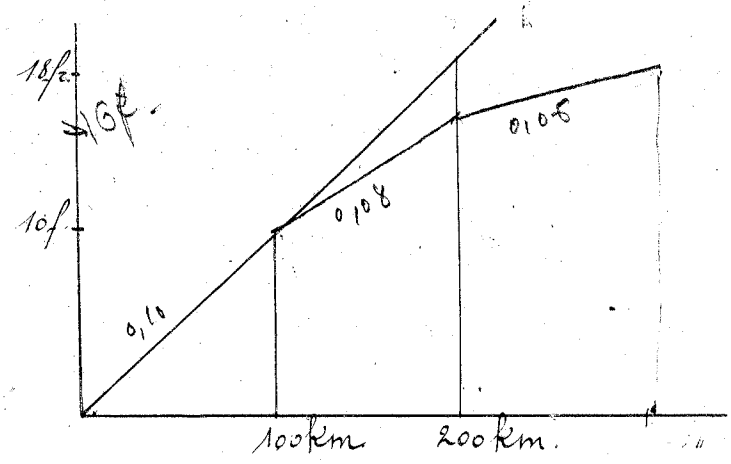
La forme que prend dans ces conditions la ligne représentative du tarif lui a fait donner le nom de tarifs à échelons. Ces tarifs tendent de plus en plus à disparaître.

Pour éviter les paliers ab, cd, on fait usage des tarifs belges établis sur le principe suivant : Pour les premiers 100 km, par exemple, toutes les marchandises paient la même base kilométrique, qu'elles parcourent 100 km., ou qu'elles aillent au-delà, 0f10 par exemple.

De 100 à 200 km. les marchandises ne paient que 0f08 par kilomètre par exemple. A partir de 200 km les marchandises ne paieront plus que 0f06 par km, par exemple, en sorte que le prix de transport par tonne pour 260 km. par exemple sera

100 km.	à 0,10	10 fr.
100 km	à 0,08	8 fr.
60 km	à 0,06	3 fr 60
	Total	21.60

Les tarifs belges sont représentés ci-contre :



D Tarifs maxima du Cahier des Charges - Tarifs d'application - Les prix que les Compagnies sont autorisées à percevoir au Public se divisent en deux parties :

1° le droit de péage qui correspond aux charges du capital de 1er établissement et aux frais d'entretien de la voie ferrée.

2° le prix de transport proprement dit qui correspond aux charges d'acquisition et d'entretien du matériel roulant, aux frais de traction et d'exploitation.

Dans la pratique le Public ne connaît que le prix de transport total, c'est-à-dire la somme qu'il doit débourser.

Les différents tarifs du Cahier des charges qui sont des maxima ne pouvant être dépassés sous aucun prétexte n'ont en fait jamais été appliqués car les Compagnies usant du droit que leur confère l'article 48 du Cahier des charges ont préféré diminuer certaines taxes. Pour cela elles ont divisé en P.T. les marchandises en un certain nombre de séries variables suivant les réseaux et auxquelles s'appliquent des tarifs dits généraux. Le caractère de ceux-ci c'est d'être substitués après l'homologation à ceux prévus au cahier des charges et d'être applicables

toutes les fois que l'expéditeur ne demande pas l'application d'un autre tarif. Ils conférent à la marchandise qui les paie, tous les droits, toutes les conditions de délais, toutes les garanties qui résultent du Cahier des charges ou du droit commun.

D'autre part, les Compagnies ont établi d'autres tarifs à prix encore plus réduits appelés tarifs spéciaux. Ceux-ci constituent pour ainsi dire une convention particulière entre la Compagnie et le Public. La Compagnie offre ses tarifs au Public à certaines conditions moins onéreuses pour elles que celles du Cahier des Charges. Ces tarifs ne sont appliqués que sur la demande de l'expéditeur. C'est dans la confection de ces tarifs que l'on a fait la plus large application des tarifs différentiels. Les conditions des tarifs spéciaux sont habituellement les suivantes :

Expédition par wagon complet ou paiement comme tel.

Augmentation des délais de transport du cahier des charges.

Manutention à la charge du Public, etc...

Nous allons examiner successivement pour la G. V. et la P. V. les tarifs maxima et le mode actuel de taxation des transports.

E Grande Vitesse — Prix maxima du Cahier des Charges — Tarifs généraux & spéciaux —

Les prix maxima sont les suivants : *Prix par tête et par kilomètre*

		Péage	Transport	Total
Voyageurs	1ere classe	0,067	0,033	0,100
	2eme d°	0,050	0,025	0,075
	3eme d°	0,037	0,018	0,055
Chiens		0,010	0,005	0,015

	Péage	Transport	Total
Bœufs vaches, taureaux, chevaux, mulets bêtes de train.	0, 140	0,060	0,200
Moutons, brebis, agneaux, chèvres	0,020	0,020	0,040
Veaux, porcs.	0,050	0,030	0,080

Prix par tonne et par Kilom.

Huitres, poissons frais, denrées excédents de bagages, marchandises	0.200	0,160	0,360

Prix par pièce et par Kilom.

Voiture à 1 fond	0,300	0 200	0,500
- d°- 2 fonds	0,360	0,280	0,640
Corricolo (trains express)	0,600	0,400	1,000
- d°- (- d°- omnibus)	0,180	0,120	0,300

Ces prix ci dessus ne comprennent pas l'impôt dont sont passibles, au profit de l'Etat, les transports remis aux Compagnies. A titre d'exemple voici les différentes étapes des prix des billets de voyageurs :

	1ere classe	2ème classe	3e classe
Bases du Cahier des Charges	0, 10	0,075	0,055
Impôt de 1855 :			
Principal	0, 010	0, 0075	0,0055
2 décimes	0,001	0,00075	0,00055
	0,001	0,00075	0,00055
Total de 1855 à 1871	0 112	0,084	0,0616
Impôt de 1871 :			
10 % sur le tout	0,0112	0,0084	0,00616
Total de 1871 à 1892 :	0,1232	0,0924	0,06776

Modifications de 1892 :	1ère classe	2ème classe	3ème classe
		0,075 × 0,009 =	0,055 × 0,008 =
Impôt ancien principal	0,100	0,0675	0,0444
	0,010	0,00675	0,00444
Doubles décimes	0,001	0,000675	0,000444
	0,001	0,000675	0,000444
	0,112	0,0756	0,04928

La loi de 1892 mit fin à la surtaxe votée en 1871, au lendemain de la guerre, et, de plus, supprima en totalité l'impôt sur le transport des marchandises et des bestiaux. L'Impôt de 12% ne subsiste donc plus que sur le transport des voyageurs, finances, excédents de bagages.

Pour les militaires et marins, les bases sont les suivantes:

	5 grands réseaux	réseau d'Etat
I.....	0,028	0,02548
II.....	0,021	0,0189
III.....	0,0154	0,01232

Toutes ces bases se trouvent reprises aux Conditions d'application des tarifs généraux G.V. qui fournissent également toutes indications utiles concernant le Service des Voyageurs, bagages, colis messageries. Il y a lieu de noter que jusqu'à 10 k^gs les articles de messagerie, quelle que soit leur nature sont taxés d'une manière uniforme. A partir de 50 k^gs les Denrées bénéficient de taxes plus avantageuses.

Il existe de plus, en grande vitesse, des tarifs spéciaux offrant à des conditions spéciales des prix moins élevés que ceux des tarifs généraux. Ces tarifs spéciaux sont numérotés de : 1 à 30 lorsqu'ils ne concernent qu'un seul réseau
101 à 128 " sont communs à plusieurs réseaux français
200 et suivants - d° - français et étrangers

300 en suivant lorsqu'ils concernent plusieurs réseaux français et étrangers et s'appliquent à des envois destinés à l'exportation.

Tout envoi effectué en G. V. doit acquitter en plus des frais de transport :

0,35 de timbre
0,10 d'enregistrement.

Colis postaux. — On appelle colis postaux, des colis, avec ou sans valeur déclarée, dont le poids ne dépasse pas 3, 5 ou 10 kilogs et qui satisfont aux conditions d'emballage déterminées par les lois et règlements. Ces colis sont acheminés et remis aussi rapidement que les colis messageries et peuvent pour certains pays être expédiés contre remboursement. Organisé d'abord dans l'intérieur de certains Etats, le Service des colis postaux a été introduit pour la première fois dans les Conventions de l'Union Postale par un acte signé à Paris le 3 Novembre 1880. La Convention actuellement en vigueur dans les relations internationales a été signée à Washington le 15 juin 1897.

Pour la France Continentale, la Corse, l'Algérie, la Tunisie, le Service est exécuté au nom et sous le Contrôle de l'Administration des Postes, par les Compagnies de Chemins de Fer et de Navigation chargées du transport des correspondances. En dehors du rayon d'action des Compagnies et d'accord avec elles, l'Administration a aussi désigné un certain nombre de bureaux de postes éloignés des voies ferrées pour recevoir et distribuer les colis. Il existe en outre un service spécial de colis postaux dits "de Paris pour Paris".

Taxes principales. L'affranchissement des colis postaux est obligatoire au départ; les colis postaux ordinaires circulant

dans la France Continentale, ou seulement en Algérie ou à l'intérieur de la Corse — soit de gare à gare, soit de bureau à bureau par la voie de terre exclusivement, soit entre deux ports Corses ou entre deux ports Algériens — sont décrits par l'expéditeur sur des bulletins vendus aux prix suivants :

	Jusqu'à 3 kgs	au-dessus de 3 jusqu'à 5 kgs	au-dessus de 5 jusqu'à 10 kgs
Colis expédiés de gare à gare ou de bureau à bureau	0,60	0,80	1,25
Colis livrables à domicile	0,85	1,05	1,50
Colis de Paris pour Paris, factage compris	0,25	0,25	0,40

F. Petite Vitesse — Prix maxima du Cahier des Charges — Tarifs généraux et spéciaux — Comme pour le transports en Grande Vitesse, nous examinerons successivement d'abord le tarif maximum du Cahier des Charges puis le tarif général et enfin les tarifs spéciaux.

Les droits de péage et les prix de transport que les Compagnies sont autorisées à percevoir par le Cahier des Charges sont les suivants pour les marchandises transportées en P.V. qui sont divisées en 4 classes.

Par tonne et par kilomètre

	Prix de péage	Prix de transport	Prix Etaux
1ère classe spiritueux, huile, bois de menuiserie, de teinture et autres bois exotiques produits chimiques non dénommés, œufs, viandes fraîches, gibier, sucre, café, drogues, épicerie, tissus, denrées coloniales, objets manufacturés, armes.	0,09	0,07	0,16

Par tonne et par kilomètre

	Prix		
	Péage	Transport	Totaux
2e classe. — Blé, grains, farines, légumes farineux, riz, maïs, châtaignes et autres denrées alimentaires, chaux et plâtre, charbon de bois, bois à brûler, dit de corde, perches, chevrons, planches, madriers, bois de charpente, marbres en bloc, albâtre, bitume, cotons, laines, vins, vinaigres, boissons, bière, levures sèches, coke, fer, cuivre, plomb et autres métaux ouvrés ou non, fonte moulée	0,08	0,06	0,14
3e classe. — Pierres de taille, produits de carrière, minerais autres que le minerai de fer, fonte brute, sel, moellons, meulières, argile, briques et ardoises	0,06	0,04	0,10
4e classe. — Houilles, marbres, cendres, fumier, engrais, pierres à chaux et à plâtre, pavés et matériaux pour la construction et la réparation des routes, minerai de fer, cailloux et sables. — pour le parcours de 0 à 100 km. sans que la taxe puisse être supérieure à 5 fr.	0,05	0,03	0,08
p. le parcours de 101 à 300 sans que la taxe puisse être sup. à 12 f	0,03	0,02	0,05
au-delà de 300 km	0,025	0,015	0,04

Les voitures et le matériel roulant font l'objet de taxes spéciales. Le cahier des charges ne désigne donc expressément qu'un certain nombre de catégories de marchandises, les animaux, denrées, marchandises et autres objets non désignés dans ce tarif ont été en vertu du cahier des charges rangés pour les droits à percevoir dans les classes avec lesquelles ils ont le plus d'analogie. Actuellement, la nomenclature

des diverses marchandises que les Compagnies peuvent avoir à transporter forment ce qu'on appelle la classification générale des marchandises.

Depuis 1895, cette classification est uniforme pour les grands réseaux français ; elle comprend environ 3.850 dénominations de marchandises. On est parvenu à ne pas étendre davantage cette liste au moyen des "assimilations" qui, provisoirement réglées par les Compagnies, sont soumises à l'Administration par les "définitions" et les "spécifications".

Conditions générales d'application des tarifs généraux et spéciaux P.V. — Comme pour la G.V. les conditions générales d'application prévoient les dispositions générales relatives aux transports en P.V., taxés aux prix prévus aux tarifs généraux et aux tarifs spéciaux si pour ces derniers aucune clause restrictive ne figure aux conditions d'application des tarifs spéciaux.

Tarifs généraux. — Les marchandises sont rangées en 6 séries correspondant aux 11 classes du cahier des charges avec prix correspondants.

Les Frais accessoires sont les suivants :

Enregistrement : 0 fr. 10 par expédition ;

Manutention : 1 fr. 50 par tonne pour les marchandises transportées sans condition de tonnage se décomposant comme il suit :

frais de gare au départ	0,35	Prix par tonne applicable par fraction indivisible de 10 kilogs.
frais de chargement - d° -	0,40	
frais de gare à l'arrivée	0,35	
frais de déchargement d°	0,40	

1 fr. par tonne pour les marchandises transportées par

wagon complet, se décomposant comme il suit :

frais de gare au départ	0,20	Prix par tonne applicable par fraction indivisible de 10 Kgs
frais de chargement - d°	0,30	
frais de gare à l'arrivée	0,20	
frais de déchargement	0,30	

Lorsque la manutention est faite par le Public les frais de chargement et de déchargement ne sont pas ajoutés.

Transmission et transbordement. - 1° entre deux Compagnies où l'échange du matériel est possible 0f40 par tonne à partager par moitié entre les deux Compagnies soit 0,20 pour chacune d'elles. Pour les tarifs communs applicables de bout en bout (Lille à Bordeaux par exemple) on n'ajoute pas les frais de transmission, mais simplement les frais de gare au départ.

2° entre deux réseaux où l'échange du matériel est impossible, 0,70 par tonne se décomposant comme il suit :

0f40 de frais de gare à partager entre les deux réseaux ;

0f30 de frais de transbordement pour le réseau qui a effectué la manutention.

Pesage. - En dehors du pesage que la Compagnie fait pour établir la taxe, toute opération supplémentaire de pesage doit être l'objet d'une taxation, sauf si ce second pesage (demandé par l'expéditeur ou le destinataire) fait ressortir une erreur.

Des chapitres spéciaux réglent les frais de transport des voitures, animaux, du matériel roulant et les frais de stationnement des wagons dont la manutention est faite par les particuliers.

Les principales dispositions générales des tarifs généraux sont les suivantes :

a. Minimum de distances à 6 Km.

b.- Fractions de poids ne sont comptées que par 1/100e de tonne ; ainsi une expédition de 465 Kgs sera taxée sur 470 Kgs.

c.- Toute expédition doit être remise avec une déclaration d'expédition comportant les noms et adresse de l'expéditeur, du destinataire, la nature de la marchandise, poids, etc...

Fausses déclarations.- La Compagnie peut, soit au départ, soit à l'arrivée exiger l'ouverture des colis pour vérifier l'exactitude des déclarations. Procès verbal est dressé de cette opération s'il y a eu constatation de fraude.

d.- Un récépissé est remis à l'expéditeur et au destinataire établissant pour le premier l'expédition de la marchandise, et pour le second la propriété de celle-ci.

e.- Délais de transport, de livraison et d'enlèvement des marchandises, et envoi des avis d'arrivée.

f.- Camionnage d'office.- En vue d'éviter les encombrements des halles, les Compagnies peuvent faire transporter d'office au domicile du destinataire ou dans un Magasin Public les marchandises qui seraient laissées sur les quais.

g.- Désinfection des wagons.- Tout wagon ayant servi au transport des animaux doit être désinfecté. Les frais de désinfection sont à la charge de l'expéditeur, ou du destinataire suivant que l'envoi est en port payé ou en port dû.

Conditions générales d'application des tarifs spéciaux.- Indépendamment des clauses insérées dans les conditions d'application des tarifs généraux, il existe un certain nombre de conditions communes à tous les tarifs spéciaux : ordinaires, d'exportation, de transit, communs ou non communs. Les plus importantes sont les suivantes :

La demande de tarif peut être faite par l'une des for

mules : tarif spécial, tarif réduit, tarif le plus réduit avec ou sans indication d'itinéraire. Elle entraîne pour le transporteur l'obligation d'appliquer, sur l'ensemble du parcours, la taxe la plus réduite correspondant à l'itinéraire indiqué ou à défaut à l'itinéraire le plus économique.

D'une manière générale, en à moins d'indications contraires dans les tarifs, les chemins de fer peuvent prolonger de 5 jours, au-delà des délais réglementaires la durée des transports effectués aux conditions des tarifs spéciaux. Des prescriptions communes sont également édictées en ce qui concerne le chargement et le déchargement, le plus souvent faits par le commerce, et au sujet des diverses formalités à remplir pour la demande et la fourniture des wagons.

Enfin, une disposition très intéressante a trait aux transports d'exportation et de transit, c'est-à-dire provenant de l'intérieur du territoire et allant à un port de mer ou à une frontière de terre ou ne faisant que transiter par le territoire français.

Tarifs spéciaux. — Les tarifs spéciaux intérieurs sont numérotés aujourd'hui d'une manière identique sur tous les réseaux de la manière suivante :

T. V. N° 1 Animaux vivants
— 2 Céréales, farines, graines, légumes secs, pâtes alimentaires pommes de terre.
— 3 Denrées, fruits, légumes, produits d. laiterie.
— 4 Eau de mer sel gemme, sel marin.
— 5 Betteraves, sucres, mélasses, dextrine, glucose, sirops.
— 6 Boissons.
— 7 Combustibles minéraux.
— 8 - d° - végétaux

G. 18.	N° 9	Bois de construction.
—	10	Chaux, ciments, plâtre.
—	11	Matériaux de construction.
—	12	Pierres en terres servant aux arts en métiers.
—	13	Minerais.
—	14	Produits métallurgiques.
—	15	Matières résineuses en bitumeuses, huiles minérales.
—	16	Corps gras en leurs dérivés.
—	17	Matières tinctoriales.
—	18	Produits chimiques.
—	19	Papiers, cartons, matières servant à leur fabrication.
—	20	Tissus en textiles.
—	21	Produits céramiques, verrerie.
—	22	Amendements, engrais.
—	23	Arbres, arbustes vivants, foins, fourrages, pailles.
—	24	Mobiliers, objets manufacturés
—	25	Emballages vides.
—	26	Emballages vides en retour.
—	27	Dépouilles d'animaux, produits accessoires.
—	28	Matériel d'entrepreneur de fêtes, de chemins de fer, de tramways.
—	29	Réglementations diverses ; objets de poids en de dimensions exceptionnels, embranchements particuliers, conditions de soudure des tarifs, formalités en douane etc. etc...
—	30	Exportation.

Les marchandises inscrites dans les tarifs communs prennent

place dans ceux de ces tarifs dont les numéros correspondent au N° du tarif intérieur dans lequel elles sont rangées. La correspondance s'établit ainsi qu'il suit.

G. V. N°s 1 - 2 - 3 etc... — Tarifs intérieurs

—— 101 - 102 - 103 etc. — Tarifs communs entre les Chemins de fer français pour les transports.

—— 201 - 202 - 203 etc. — Tarifs communs avec les Chemins de fer étrangers et les Cies de navigation.

—— 301 - 302 - 303 etc. — Tarifs communs entre les Chemins de fer français pour l'exportation et le transit.

—— 401 - 402 - 403 etc. — Tarifs d'exportation et de transit communs avec les Chemins de fer étrangers et les Cies de navigation.

Transports internationaux. — Pour les transports internationaux, les obligations des transporteurs vis-à-vis du Public sont réglées par la Convention internationale de Berne conclue en 1890 entre la France et divers pays repris ci-après :

Allemagne, Autriche & Hongrie, Danemark, Italie, Luxembourg, Pays-Bas, Roumanie, Russie, Suède.

Ainsi donc, au moyen d'une lettre de voiture internationale, on peut donc expédier directement de France une marchandise sur chacun des pays précités. On agit en fait comme s'il s'agissait d'une expédition en tarif commun dans l'intérieur de la France, mais il faut joindre aux titres des déclarations en douane en nombre suffisant pour permettre les vérifications à l'entrée des pays étrangers.

Bien que l'Angleterre et l'Espagne ne figurent pas à cette Convention, il existe des tarifs franco-anglais et franco-

espagnols régis par des Conventions spéciales.

H Factage & Camionnage. — Le factage et le camionnage consistent à transporter les marchandises du domicile de l'expéditeur à la gare de départ ou de la gare d'arrivée au domicile du destinataire. Le factage se rapporte à la grande vitesse et le camionnage à la petite vitesse.

D'après l'article 52 du Cahier des Charges, ces opérations sont obligatoires à l'arrivée, mais ne le sont pas au départ. En fait, quand dans une localité ce service existe pour les marchandises à l'arrivée, il fonctionne aussi pour les marchandises au départ. Les tarifs à percevoir sont approuvés par le Ministre, mais le factage et le camionnage ne sont pas obligatoires pour le Public qui peut prendre s'il lui plaît, les marchandises en gare.

Seuls, les cercueils, les voitures, les animaux et les marchandises dont la manutention incombe au Public, ne doivent pas être acceptées livrables à domicile.

I Coefficient d'exploitation. — Le Coefficient d'Exploitation est le rapport de la dépense d'exploitation à la recette brute pendant la même année.

Les dépenses sont très variables car elles sont fonction du service que le Chemin de fer accomplit, et par suite de la recette sans cependant lui être proportionnelle. Cela tient à ce que certains éléments de la dépense sont fixes (entretien des terrassements, surveillance de la voie etc., tandis que d'autres dépendent de l'activité de la circulation : usures des rails, dépenses de traction etc.). Le procédé le plus simple consiste à représenter graphiquement les deux éléments. On porte en abscisses les produits bruts kilométriques et en ordonnées les

Tableau Statistique

— Année

Réseaux	Nombre de kilomètres exploités (chiffres du Ministère)	Nombre de Gares Stations et Haltes	Nombre et Recette de 1ère classe — Nombre	1ère classe — Recette	2me classe — Nombre	2me classe — Recette	3me cla — Nombre
Nord	3.769 K	740	2.722.609 V	14.355.370 f	9.982.604 V	24.548.203 f	82.845.257 V
Est	4.939	897	2.462.765	8.186.503	19.039.633	18.921.209	53.866.504
Ouest ...	5.908	1.091	8.408.744	12.081.759	14.992.006	30.639.180	54.376.195
Orléans..	7.705	1206	1.289.229	12.325.134	3.676.810	14.948.554	45.372.888
P.L.M....	9.510	1.740	3.351.604	34.715.230	7.734.866	35.188.847	70.614.342
Midi	3.822	678	688.879	5.761.249	1916.886	8.140.436	22.370.626
Etat	2.967	556	169.037	994.306	956.278	3.000.841	14.180.522
Totaux	38.620 K	6908	19.092.867	88.419.551	85278.333	135.387.270	343.626.334

Réseaux	Petite Vitesse — Tonnage	Petite Vitesse — Recette totale	Produit moyen par tonne et par kilomètre	Composition d — Locomotives	Voitures à voyageurs
Nord	39.187.713 T	152.062.196 f	0f03.615	1.879	4.656
Est	28.801.073	133.485.726	0,03.96	1.620	3.846
Ouest ...	14.795.645	83.993.322	0,0479	1.759	4.635
Orléans..	17.839.594	139.580.995	0,0452	1.782	3.931
P.L.M....	28.250.436	276.109.279	0,0438	3.108	6.770
Midi	11.233.548	72.274.487	0,0450	945	2.474
Etat ...	5.485.712	30.528.034	0,0479	648	1.769
Totaux	143.093.721	888.033.639		11.741	28.081

(*) Non compris la Grande & la Petite Ceinture de Paris

des Chemins de fer français (*)

1908

Voyageurs			Tonnage des Messageries en Denrées	Recettes diverses de la G.V.				
de	Totaux							
Recette	Nombre	Recette		Messageries et Denrées	Bagages et Chiens	Colis postaux	Voitures et Bestiaux	Totaux
50.823.337 f	95.531.670 v	89.726.910 f	427.603	15.883.620 f	3.127.766 f	5.149.015 f	1.594.576 f	25.754.977 f
43.044.668	73.368.952	70.152.380	410.212	11.327.707	2.665.721	6.647.409	1.875.337	22.516.174
43.825.928	104.774.945	86.546.867	365.719	13.643.809	3.079.877	6.494.146	1.567.940	24.785.772
59.459.072	50.338.927	86.732.760	443.366	20.246.951	3.101.585	10.144.650	1.077.290	34.870.476
90.452.289	81.700.812	160.350.366	730.108	35.306.824	8.038.156	17.317.556	7.260.192	67.922.728
34.685.762	24.963.391	48.587.447	188.028	9.806.812	1.849.937	* compris dans les messageries	419.259	12.076.008
15.809.454	15 305.837	19 804.001	121.229	4.645.113	803.727	1.805.906	672.075	7.926.821
338.100.570	447.997534	561.907.331	2686.265	110.860.836	22.966.769	47.558.682	14.466.669	195.852.956

Matériel roulant		Coefficient d'Exploitation	Produit net par kilomètre	Effectif du personnel		
Fourgons Trucks Ecuries	Wagons à bestiaux et à Marchandises	rapport de la dépense à la recette		Hommes	Femme	Total
3.527	66.336	0.576	30.837	46.974	4.227	51.200
2.100	43.838	0,589	18.943	43.949	2.798	46.747
34.711		0,645	12.704	47.087	4.516	51.603
39.648		0,539	17.247	41.103	5.240	46.343
97.501		0,531	25.265	76.986	7.183	84.169
1.847	25.764	0,499	16.406	20.233	3.542	23.775
1.730	13.590	0,807	3.838	12.263	2.298	14.561
330.592				288.594	29.804	318.398

dépenses correspondantes. Les courbes ainsi tracées ne sont pas concordantes pour tous les réseaux, mais, en général, elles affectent une courbe parabolique.

M. Picard a donné la formule $D = 4.500 f. + 0,40 R$ dans laquelle D représente la dépense kilométrique moyenne en R la recette brute correspondante, impôt réduit.

M. Ricour a donné en se basant sur les résultats de 1883 la formule $D = 6.125 f. + 0,39 R$.

Le tableau ci-contre (pages 570-571) donne pour les chiffres de recettes, de dépenses des grands réseaux français, ainsi que les coefficients d'exploitation correspondants. Ce tableau reprend également l'effectif du personnel et la composition du matériel roulant.

Chemins de Fer à Voie étroite et Tramways

Loi du 11 juin 1880. — Les chemins de fer à voie étroite et tramways sont actuellement régis en France par la loi du 11 juin 1880. Cette loi établit une distinction entre les chemins de fer d'intérêt local qui sont tracés en tout ou partie en dehors des routes existantes sur une plateforme spéciale, et les tramways établis sur les voies publiques.

Chemins de fer d'intérêt local. — Suivant que les chemins à établir empruntent le territoire d'une seule commune, ou celui de plusieurs communes d'un même département, c'est le Conseil municipal ou le Conseil général qui établit le projet de tracé et arrête le mode et les conditions de construction, ainsi que les traités destinés à en assurer l'exploitation, en se conformant aux clauses et conditions du cahier des charges type approuvé par le Conseil d'Etat.

Les projets de Chemins de fer d'intérêt local communaux ou départementaux ainsi arrêtés sont soumis à l'examen du Conseil général, des Ponts & Chaussées et du Conseil d'Etat. Le projet émanant d'un conseil municipal est en outre accompagné de l'avis du Conseil Général.

L'utilité publique est déclarée et l'exécution est autorisée par une loi. L'autorisation obtenue, le Conseil municipal ou Général délibère sur les projets d'exécution.

L'acte de concession détermine les droits de péage et les prix de transport que le concessionnaire est autorisé à percevoir.

L'Etat peut s'engager à subventionner la concession dans des limites déterminées, à la condition qu'une partie au moins équivalente sera payée par la commune ou le département avec ou sans le concours des intéressés.

Dans le cas où le produit brut de la ligne devient suffisant pour couvrir les dépenses d'exploitation et 6 % par an du capital de son établissement, la moitié du surplus de la recette est partagée entre l'Etat, le département ou la commune, et les autres intéressés dans la proportion des avances faites par chacun d'eux jusqu'à concurrence du complet remboursement de ces avances sans intérêts.

Tramways. — La concession doit être accordée :

a. — par le Conseil Général lorsque la voie ferrée est établie entièrement sur le territoire de la commune et sur un chemin vicinal ordinaire ou sur un chemin rural.

b. — par le Conseil Général, au nom du Département, lorsque la voie ferrée, sans emprunter une route nationale, doit être établie en tout ou partie, soit sur une route départementale, soit sur un Chemin de grande communication ou d'intérêt commun, ou doit s'étendre sur le territoire de plusieurs communes.

c. — par l'Etat, lorsque la ligne doit être établie, en tout ou partie, sur une voie dépendant du domaine public de l'Etat.

La concession ne peut être donnée qu'après une enquête dans laquelle les conseils municipaux ou généraux sont entendus, s'il ne leur appartient pas de statuer sur la concession.

L'utilité publique est déclarée et l'exécution est autorisée par Décret délibéré en Conseil d'Etat, sur le rapport du Ministre des Travaux Publics, après avis du Ministre de l'Intérieur.

Pour les tramways desservis par des locomotives et destinés au transport des marchandises en même temps qu'au transport

des voyageurs, l'Etat peut s'engager à servir une subvention dans des conditions analogues à celles spécifiées pour les Chemins de fer d'intérêt local.

Loi nouvelle (à l'étude). – Un projet de loi, actuellement soumis aux Chambres supprimera la distinction créée arbitrairement entre Chemins de fer d'intérêt local et tramways.

Les autorités départementales ou municipales, suivant le cas, auront qualité pour prescrire les études des projets et accorder les concessions. Les Ministres intéressés seront consultés avant la mise à l'enquête.

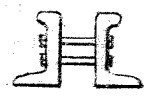
Le principe d'une subvention de l'Etat, pour les lignes comportant un service de petite vitesse, sera maintenu, mais avec une formule plus simple. Lorsque l'Etat aura participé aux dépenses d'une ligne, il participera dans la même proportion aux bénéfices, avant comme après l'expiration de la concession.

Voies. – Qu'il s'agisse de Chemins de fer d'intérêt local ou de tramways, les Chemins de fer à voie étroite permettent de réaliser économiquement l'installation des lignes rurales d'intérêt local. Les terrassements sont en général peu importants, la voie étant établie autant que faire se peut sur les accotements des routes nationales et départementales, ou sur les trottoirs qui bordent presque toujours ces routes.

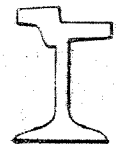
Par mesure d'économie, on emploie parfois des rails très légers (25 k.). Ce sont le plus souvent des rails à patin. Sur les routes ou dans les rues pavées il faut employer des rails à ornière, soit des rails à gorge :



ou des rails jumelés Système Haarmann :



Les Américains préfèrent le rail à gradins :



L'écartement de 1 mètre (entre les bords intérieurs des rails) est celui qui est le plus employé lorsque l'importance des lignes ne comporte pas la voie normale, ou bien, lorsque le rayon des courbes doit être inférieur à 300 mètres. C'est avec cette voie de 1 mètre qu'ont été construits la plupart des chemins de fer secondaires de l'Europe et de l'Amérique du Sud, ainsi que la grande majorité des chemins de fer coloniaux. Le rayon minimum des courbes généralement admis pour cette voie est de 100 mètres. Les rails qui pèsent de 25 à 50 k. au mètre courant se posent sur des traverses en bois ou en métal.

La voie de 0m75 (ou 0m76 dans certains pays étrangers) a reçu de moins nombreuses applications que la voie de 1m. Établie avec des rails d'un poids raisonnable elle a cependant rendu de grands services sur certains points : le réseau des Chemins de fer de Bosnie-Herzégovine (700 kilomètres environ) a été entièrement établi avec la voie de 0m76 en rails de 15 822 kilogs donnant passage à un matériel roulant très confortable, comportant même des wagons-lits. Le rayon minimum des courbes pour cette voie peut être fixé à 75 mètres et abaissé même jusqu'à 50 mètres.

La voie de 0m60 est employée sur un assez grand nombre de lignes en Europe, dans les États de l'Amérique du Sud et dans les colonies. La construction de ces voies est des plus économiques, car elles peuvent suivre presque toutes les sinuosités du terrain, les courbes pouvant sans inconvénient s'abaisser jusqu'à 20 mètres et même au-dessous. Mais, en général, ces voies, établies avec des rails dont le poids varie de 5 à 15 kilogs, ne permettent pas de transporter des tonnages importants ni de faire de la vitesse. Les réseaux des places fortes, établies par l'Artillerie française avec

des rails de 12 kilogs ont permis de démontrer que la voie de 0m60 pouvait rendre les plus grands services, lorsqu'elle est convenablement construite (voie démontable du Colonel Péchot).

Matériel roulant pour chemins de fer d'intérêt local et tramways. — Le matériel roulant utilisé sur les Chemins de fer d'intérêt local et les tramways diffère assez profondément suivant qu'il s'agit de lignes assurant exclusivement un service de voyageurs, ou de lignes assurant en même temps un service de voyageurs et de marchandises.

Sur les dernières, on a généralement recours à des locomotives ou tracteurs indépendants des voitures de remorque, et on constitue ainsi de véritables trains de plusieurs véhicules, les wagons remorqués présentant des poids morts de 2 à 3 tonnes.

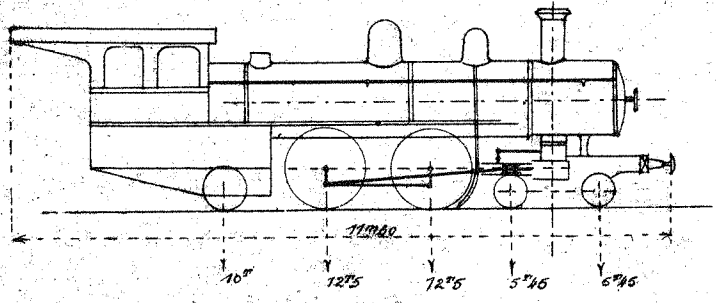
Sur les autres, on cherche à assurer un service de plus grande fréquence avec des trains très légers, réduits presque toujours à une unique voiture automotrice, ou à une automotrice attelée à une ou deux voitures de remorque.

Locomotives à voie étroite. — Dans les Chemins de fer à voie étroite, les locomotives doivent répondre à des besoins particuliers : elles doivent pouvoir remorquer des trains relativement lourds sur de très fortes rampes, combinées avec des courbes de très petit rayon; de plus, les rails employés étant généralement faibles, par raison d'économie, la charge des machines par essieu doit être limitée à de faibles valeurs. On se trouve ainsi amené à multiplier le nombre des essieux et à augmenter l'empattement total, ce qui ne devient souvent acceptable qu'à la condition d'adopter des dispositifs permettant la convergence de certains essieux des locomotives.

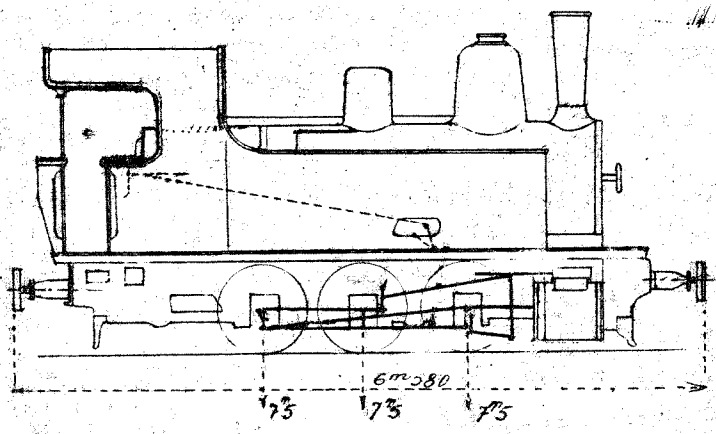
On trouve donc dans les locomotives à voie étroite des dispositifs divers (systèmes Hagans, pour voies de 0m60, Klose,

Klien-Linder, Krauss pour voies de 0 m 75) qui permettent la convergence de certains essieux tout en maintenant leur accouplement avec les essieux fixes. Les machines à 4 cylindres des types Mallet et Fairlie permettent de réaliser les mêmes desiderata par des moyens différents. (*)

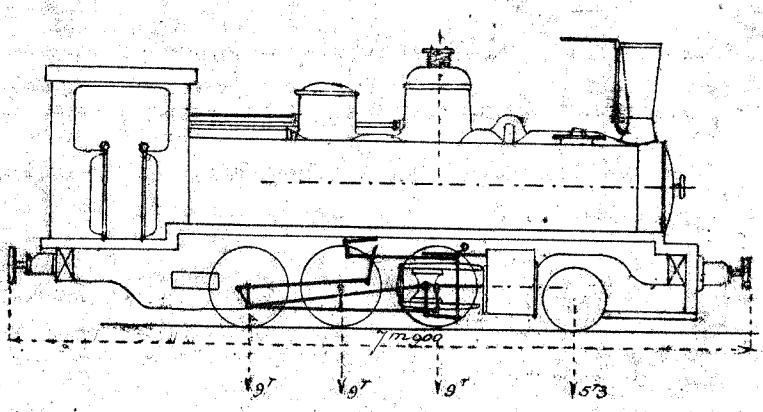
Locomotives à 2 essieux couplés. — Pour les raisons exposées plus haut, les locomotives à voie étroite à 2 essieux couplés (ou bissel à l'avant) n'ont eu que peu d'applications, mais on peut reconstruire ces machines avec bogie ou essieu porteur en l'on doit citer le type Atlantic à 2 essieux couplés de 1 m 40 de diamètre, avec bogie à l'avant et 3e essieu (porteur) à l'arrière, du poids total de 74 tonnes, dont 12 T 5 sur chacun des deux essieux moteurs, utilisé sur les Chemins de fer de la colonie du Cap, à voie de 1 mètre pour remorquer des trains rapides de voyageurs, avec un effort théorique de traction de 7250 kilogs (la charge de 12 T 5 par essieu moteur n'a pu être admise qu'à cause du poids exceptionnel de la voie : rails de 30 k.).



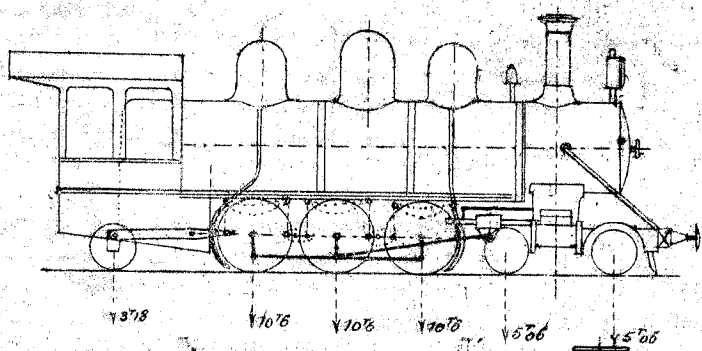
Locomotives à 3 essieux couplés. — Dans le cas où les voies ne permettent pas d'atteindre ces charges par essieu en où cependant l'effort de traction doit être élevé, on a recours aux locomotives à 3 essieux couplés. Pour les voies de 1 mètre, c'est le cas des locomotives-tende



(*) Le type Mallet est caractérisé par l'emploi d'un avant-train moteur précédant un groupe fixe d'essieux également moteurs. Le pivot de l'avant-train mo

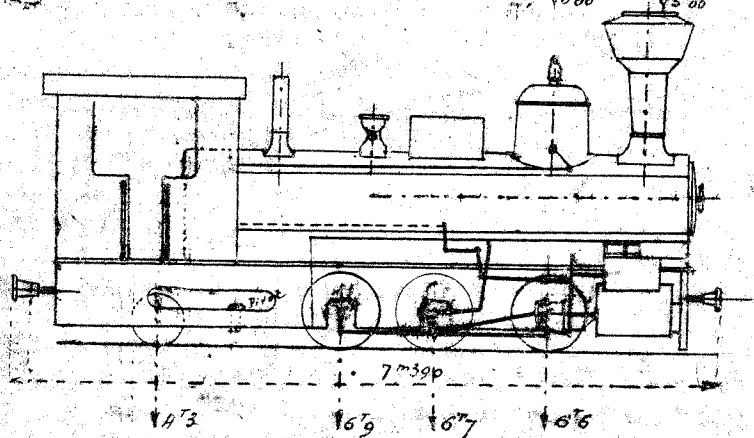


à adhérence totale (9t1 par essieu), des Chemins de fer économiques du Sud-Ouest de la France, des locomotives-tenders à 3 essieux couplés (9t par essieu) en à bissel à l'avant (type Mogul), des Chemins de fer du Sud de la France, des locomotives tender Américaines à 3 essieux couplés, à bogie à l'avant en à essieu porteur à l'arrière.

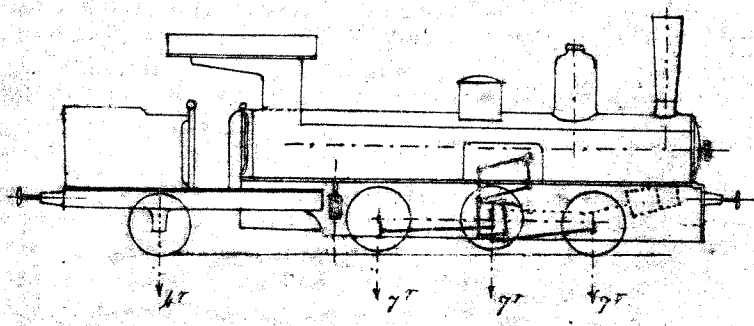


En ce qui concerne les voies de 0m75, c'est le cas :

a.- de la locomotive tender, système Krauss à 3/4 essieux couplés, utilisée sur les Chemins de fer de l'Etat Autrichien (voie de 0m76) ; en dans laquelle les trois essieux couplés, portant 6t9 par essieu, sans suivis d'un essieu porteur radial formant avec le 3ème essieu moteur un truck mobile avec pivot (d'où, déplacement latéral favorisant le passage dans les courbes)



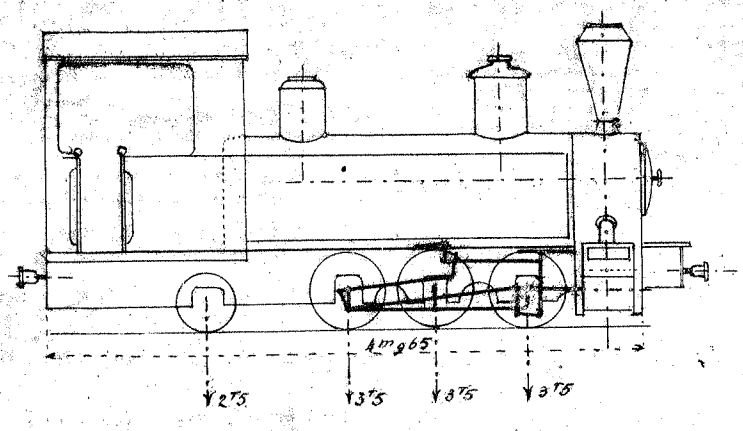
b.- de la locomotive tender analogue, à 3/4 essieux couplés, des Chemins de f



est situé en arrière de celui-ci, entre les cylindres du train fixe. Les machines du type Fairlie ont deux corps de chaudières réunis par un foyer commun, et comportent deux trucks moteurs articulés par rapport aux longerons de la machine.

de Bosnie-Herzégovine, caractérisée par l'emploi du système Klose qui permet, par un artifice spécial, la convergence des 1er en 3e essieux moteurs (7T par essieu moteur, effort théorique de traction 5000 k.)

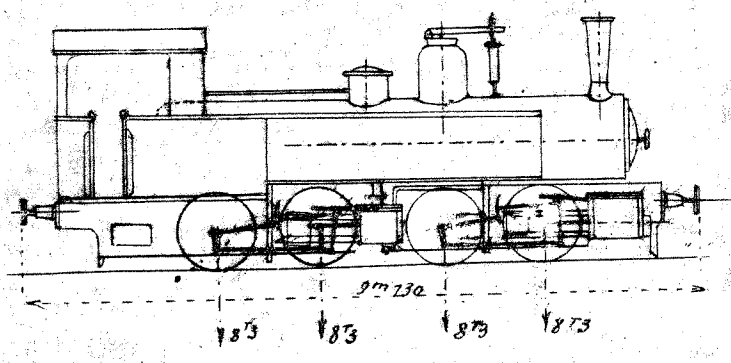
En ce qui concerne les voies de 0m60, c'est le cas de la locomotive-tender à 3/4 essieux couplés des tramways du Tarn, dans laquelle un essieu porteur radial fait suite aux trois essieux couplés (3T5 par essieu moteur; remorque 15T en palier en 24T sur des rampes de 50 m/m.).



Locomotives à 4 essieux couplés. - Parmi les locomotives à 4 essieux couplés, dans lesquelles on réduit encore davantage le poids par essieu, on peut citer:

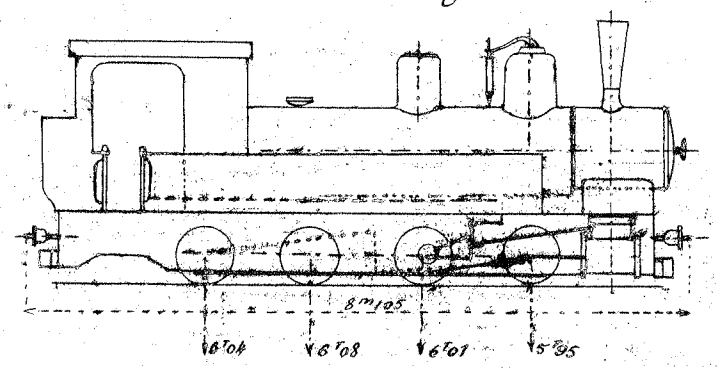
1° pour la voie de 1m, la locomotive de construction américaine type Consolidation, utilisée en Espagne, près de Bilbao, portant 8T65 par essieu moteur, avec 4T5 sur un bissel (5e essieu) placé à l'avant, et qui peut remorquer des trains de marchandises de 160 tonnes sur des rampes de 25 m/m combinées avec des courbes de 120 m. de rayon (effort théorique de traction: 10.700 k.).

La locomotive-tender compound, système Mallet, à adhérence totale, des Chemins de fer départementaux (réseau de la Corse), les cylindres à haute pres-



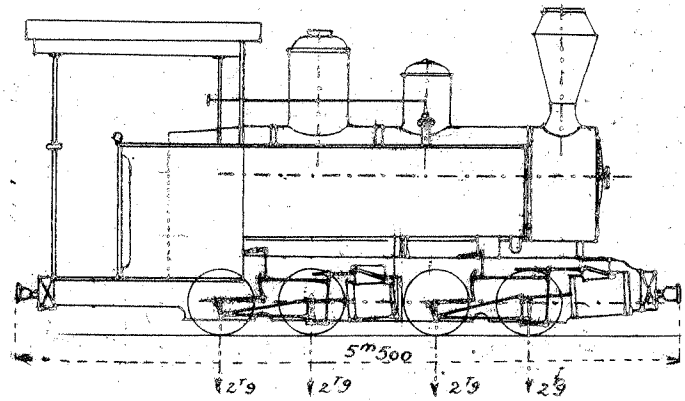
sion, attaquent les essieux du train fixe, les cylindres à basse pression commandant les essieux du train mobile.

2° pour la voie de 0m75, la locomotive-tender à 4 essieux couplés, à adhérence totale, système Klien Lindner, utilisée en Hongrie sur des lignes présentant de longues rampes de 25 m/m combinées avec des courbes de 100 m. de rayon en dans laquelle les 2 essieux moteurs extrêmes sont rendus

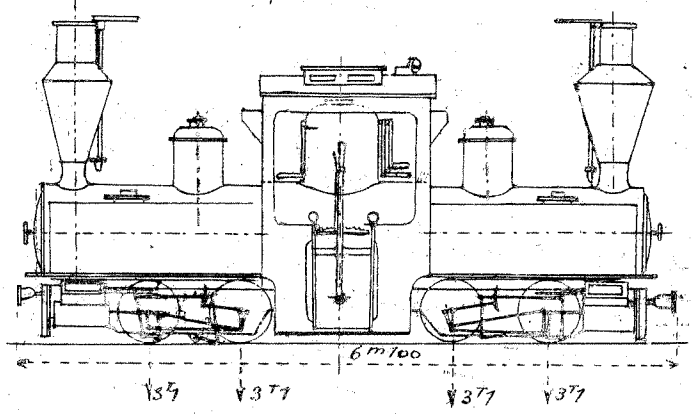


convergents par un système de rotules; la charge par essieu est de 6T et l'effort théorique de traction est de 6.700 kilogs.

3° pour la voie de 0m60, la locomotive-tender, compound à 4 essieux couplés des tramways du Calvados qui reproduit, pour la voie de 0m60 les dispositions du type Rallet déjà envisagé pour la voie de 0m75 (réseau de la Corse) et qui passe aisément dans



des courbes de 20 m. de rayon. Le poids par essieu est de 2T9; l'effort théorique de traction est de 2080 Kgs dans le fonctionnement en compound et peut atteindre 4100 Kgs dans la marche à simple expansion au moment des démarrages.



La locomotive-tender, à 4 essieux couplés, de l'Artillerie française établie en collaboration par le Colonel Pichon et M. Bourdon

(professeur à l'École Centrale) d'après le type Fairlie. Les deux bogies moteurs sont indépendants et articulés par rapport aux longerons, de sorte que la machine passe très aisément dans des courbes de 20 m. de rayon. L'effort théorique de traction est de 24.00 k.; poids maximum par essieu: 3T1. Elle peut remorquer 300T à la vitesse de 20 km. à l'heure en palier, 43T sur des rampes de 50 m/m et 8T sur des rampes de 80 m/m. Elle a été combinée pour que, même sur des rampes de 100 m/m, le ciel du foyer soit toujours baigné dans l'eau. Cette machine rend de grands services sur les réseaux à voie de 0m60 dont sont pourvues les places fortes de l'Est (Belfort, Epinal, Toul et Verdun). On peut remplir les soutes à eau en cours de route au moyen de tuyaux et d'éjecteurs à vapeur permettant d'aspirer l'eau dans des rivières voisines de la voie.

Automotrices. — Sur les lignes d'intérêt local (Chemins de fer ou tramways) assurant exclusivement un service de voyageurs, il y a intérêt à faire assurer le service par des voitures automotrices à moteur léger et faible poids mort, auxquelles on ajoute parfois une ou deux remorques, mais qui ne constituent pas des trains à proprement parler, et qui peuvent circuler à plus grande fréquence.

Les voitures automotrices que nous allons passer en revue, peuvent donc s'appliquer soit à des tramways urbains ou interurbains, soit à des chemins de fer d'intérêt général, à voie étroite ou non. Sur les grands réseaux, ces voitures peuvent en effet avoir un emploi rationnel et économique:

1° pour l'exploitation des lignes secondaires, sur lesquelles le nombre des voyageurs à transporter est trop faible pour justifier la mise en marche de trains relativement fréquents;

2° pour l'exploitation des lignes principales autour de grands

centres, dans les périodes de la journée à trafic réduit, où il peut y avoir économie à substituer des véhicules indépendants à des trains ordinaires même légers.

Nous incorporerons donc dans ce chapitre l'étude des automotrices dans leurs applications aux chemins de fer d'intérêt général.

Abstraction faite des motrices électriques à conducteur continu qui ont trouvé de larges applications dans les tramways et les chemins de fer d'intérêt local, mais dont l'emploi est relativement réduit sur les grands réseaux ; c'est au moteur à vapeur à vaporisation rapide qu'on donne la préférence. Viennent ensuite les automotrices à essence de pétrole (à moteurs à explosion) avec parfois l'adjuvant d'une transmission électrique entre le moteur et le différentiel (voitures pétrolèo-électriques). Les automotrices à alcool sont dans la période d'essai. Quant aux automotrices à accumulateurs, en raison de leur poids mort élevé, elles ne conviennent guère ni pour les fortes rampes, ni pour les grandes vitesses et sont d'un emploi onéreux, même en réalisant la récupération dans les descentes.

Automotrices électriques. - La traction électrique s'adapte tout particulièrement à des voitures rendues individuellement automobiles ; le poids des voyageurs donne l'adhérence suffisante aux roues motrices. Sur les lignes à profil peu accidenté, un seul des essieux reçoit le mouvement d'un moteur. Lorsque les rampes dépassent 5 m/m par mètre, on attaque chacun des 2 essieux par un électro-moteur. Dans les tramways urbains, pour obtenir une vitesse moyenne de 12 km. à l'heure en dépit des nombreux arrêts, il faut disposer de démarrages rapides. On a recours à des moteurs capables de développer 25 chevaux dans les démarrages en produisant 15 à 20 chevaux en marche

courante. Les voitures des lignes moyennes emportent en général 50 voyageurs en pèsent une dizaine de tonnes en ordre de marche (un type plus réduit comporte 30 à 32 places en pèse 6 tonnes); elles sont établies sur des trucks à 2 essieux ayant un empattement restreint (1m 80 à 2m 50); l'empattement de 1m 80 permet de passer dans des courbes dont le rayon descend à 16 mètres. Sur les voies secondaires ou métropolitaines, on utilise de longues voitures montées sur des trucks à 2 bogies. La caisse de la voiture repose sur le châssis par l'intermédiaire de ressorts plats en de boudins. Quant au moteur, dont la suspension doit être flexible pour éviter les chocs trop brusques, sa carcasse repose d'une part par un appui élastique sur l'une des traverses du truck, d'autre part par un coussinet muni de ressorts à boudins, sur l'essieu. Chacune des plateformes d'extrémité comporte des appareils de manœuvre.

A - Traction par accumulateurs. — Ce système qui a l'avantage d'assurer une indépendance complète aux véhicules automoteurs a l'inconvénient d'être assez onéreux pour les raisons indiquées précédemment. La traction par accumulateurs est plus indiquée pour les omnibus que pour les tramways, l'itinéraire pouvant subir des variations.

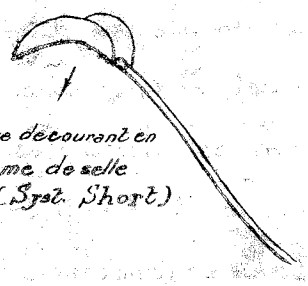
A citer comme **applications** : sur les tramways de Paris, des voitures à 52 places pesant à vide 8.200 k., dont 1.700 k. pour la batterie d'accumulateurs, qui est remplacée tous les 20 km; à l'avenue de St. Ouen, où la dépense en rampe est de 976 watts-heures, la descente effectuée en faisant agir les moteurs comme génératrices-freins permet de récupérer 385 watts-heures dans les accumulateurs.

Des voitures à accumulateurs ont également été mises

en service dans ces dernières années par l'Administration des Chemins de fer Prussiens, la Cie italienne des Chemins de fer méridionaux et les Chemins de fer du Wurtemberg.

B.— Traction à conducteur continu ou interrompu.—

Si les fils conducteurs de l'énergie électrique sont aériens, la prise de courant se fait par trolley, ou par archet, ou par frotteur en forme de selle garni d'un alliage mou (système Short). La ligne est partagée en sections de 4 à 500 mètres, alimentées chacune par des câbles ou feeders reliant l'usine génératrice à ces sections : on régularise ainsi la différence de potentiel entre le conducteur de prise de courant et le rail servant de retour au courant.



Prise de courant en forme de selle (Syst. Short)

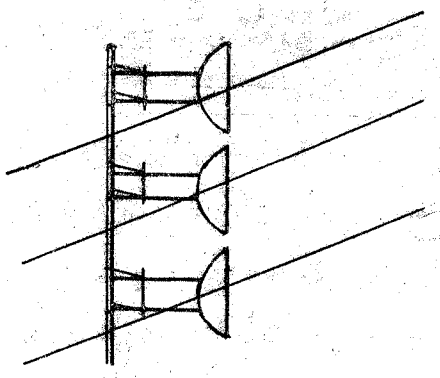
Si le conducteur est en caniveau, on fait usage de frotteurs pénétrant par une fente étroite ménagée à la partie supérieure du caniveau, tantôt dans l'axe de la voie, tantôt dans l'axe de l'un des rails (syst. Siemens et Halske). Ce système, qui nécessite la construction d'un canal en béton avec cadres en fonte, est assez coûteux.

On lui préfère parfois l'installation de conducteurs interrompus (Syst. Westinghouse, Lineff, Diatto, Claret et Willennier), tels que des blocs d'acier, en forme de pavés, écartés de 2m50 à 3m., et mis en communication avec la station électrique au moment où ils sont recouverts par la voiture automobile.

Dans les chemins de fer, où les voies sont hors d'accès du public, on installe un conducteur au niveau du sol sous forme de 3e rail.

Les appareillages des tramways électriques sont très nom-

breux ; la majeure partie des installations urbaines ont été faites par l'une des Compagnies Thomson-Houston, Westinghouse, Siemens en Halske, et fonctionnent avec du courant continu à 500 volts. Certaines d'entre elles sont alimentées par une usine génératrice fournissant du courant alternatif, transformé en courant continu dans des sous-stations.



Sur certaines lignes, les moteurs des voitures sont alimentés directement avec du courant alternatif triphasé ; les prises de courant sont alors constituées par un triple archet frottant latéralement sur les 3 fils aériens superposés verticalement (ligne électrique à grande vitesse Berlin-Zossen, installée par la maison Siemens en Halske, où le courant alternatif est pris directement sur la ligne, sous la tension de 10 à 12000 volts, et sur laquelle on a réalisé des vitesses de 150 kilomètres à l'heure).

On se contente parfois de 2 fils aériens, la 3e phase passant par les rails. Le courant alternatif triphasé convient surtout à la traction à grande vitesse avec des tensions de 3000 à 10000 volts. Sur les lignes de tramways où les arrêts sont fréquents, les moteurs à courant continu sont préférables ; on peut d'ailleurs les faire alimenter par des courants à 2000 volts sur la ligne de service, en réunissant au besoin sur un même véhicule 4 moteurs accouplés 2 à 2 en série.

Ces dernières années, on a appliqué à la traction électrique le courant alternatif monophasé. D'abord réduit aux services interurbains, ce système a été appliqué en 1907 pour la première fois à une grande ligne de chemins de fer : la partie bavaroise

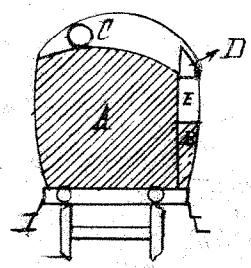
de la Cie du Chemin de fer New-York - New-Haven a été pourvue de locomotives électriques de 1000 chevaux, établies par la Cie Westinghouse et qui remorquent les trains à la vitesse de 120 km à l'heure

Automotrices à vapeur. — En Allemagne, circulent sur les Chemins de fer de Wurtenberg, des voitures Serpollet, à un seul essieu moteur. Le système Serpollet, à vaporisation instantanée, est également employé en Autriche sur des voitures à 46 places circulant à une vitesse de 15 kilomètres à l'heure sur des déclivités de 25 m/m combinées avec des courbes de 180 m de rayon. Les chaudières Serpollet, transformées pour utiliser des brûleurs à pétrole (au lieu d'utiliser du coke ou de la houille) sont très avantageuses en raison de la simplification qui en résulte pour l'approvisionnement en combustible. Avec les derniers perfectionnements apportés (système Gardner-Serpollet) et qui comportent en particulier l'alimentation automatique, proportionnelle à l'effort à donner, à l'aide d'un petit cheval commandant à la fois l'admission du pétrole dans les brûleurs et de l'eau dans les tubes à vaporisation instantanée, les voitures Serpollet sont des engins d'une grande souplesse et d'une conduite facile par un seul agent.

Sur les Chemins de fer de Bavière, comme sur plusieurs lignes de chemins de fer à voie normale ou étroite de la Hongrie, circulent des automotrices système Ganz, mettant en œuvre un générateur chauffé au coke donnant de la vapeur à 20 atmosphères. Les voitures de 10 ou 20 tonnes comportent, suivant le cas, 1 ou 2 moteurs de 35 chevaux à 2 cylindres et permettent l'obtention de vitesses variant entre 16 et 50 kilomètres à l'heure.

En France, ces dernières années, les essais se sont poursuivis sur les réseaux de l'Etat, du P.L.M. et de l'Orléans, avec des automotrices système Purrey, et sur le réseau du Nord, avec des automotrices d'un type nouveau, à trois éléments, comportant soit une chaudière aquatubulaire système Turgan, ou Purrey soit une petite chaudière de locomotive (à tubes de fumée par conséquent par opposition avec les tubes d'eau des types Purrey et Turgan).

Les automotrices de la Cie du Nord qui ont une longueur de 26 mètres sont formées de 3 éléments articulés entre eux à 2 essieux chacun. L'élément central comporte une locomotive et un compartiment de fourgon à bagages; l'un des éléments extrêmes comporte un compartiment de 2e classe et un de 1ere classe, l'autre élément extrême est tout entier réservé aux 3es classes.



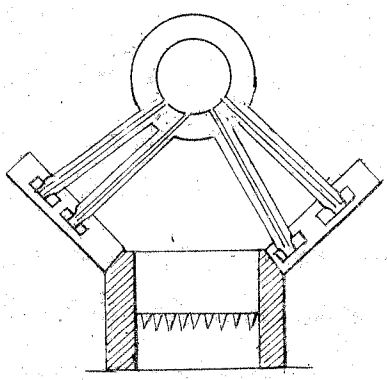
Le mécanicien peut occuper 2 postes et se trouve toujours placé à gauche, quel que soit le sens de la marche; la section (A) des compartiments extrêmes ne prend pas toute la largeur du gabarit, mais ménage une partie B inférieure, aménagée en coffres pour petits colis à main. Il reste donc sur toute la longueur de l'élément une échancrure E qui accroît le champ visuel du mécanicien, placé d'ailleurs en D, dans une partie surélevée de l'élément central. La cabine du conducteur se trouve à côté de celle du mécanicien; l'une et l'autre communiquent entre elles, ainsi qu'avec les compartiments à voyageurs des éléments extrêmes. Un couloir de service règne donc en réalité d'un bout à l'autre du train léger ainsi constitué, qui a l'avantage de marcher dans les deux sens sans tournage. Le poids des deux éléments extrêmes est de 20 T à vide, celui de l'élément central avec chaudière Turgan est de 22 T en ordre de marche, dont 14 T sur l'essieu moteur

unique. Cette automobile à vapeur peut donner place à 80 voyageurs (assis ou debout) ; elle a fonctionné en service courant sur des lignes à profil moyen avec des horaires tracés pour des trains d'embranchement ordinaires (54 km. à l'heure). Elle peut prendre une voiture de remorque.

La décomposition en 3 éléments a l'avantage de réduire l'immobilisation à un seul des éléments, en cas d'avarie. Elle a permis, dans la période d'essais, de faire fonctionner avec les mêmes éléments extrêmes 3 types distincts de chaudières sur l'élément moteur.

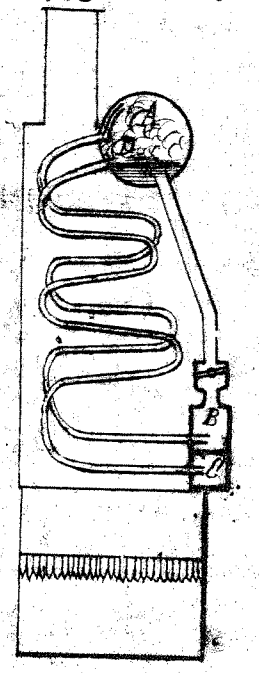
C'est la chaudière de locomotive qui a donné les meilleurs résultats au point de vue de l'entretien, et c'est elle qui sera employée dans les automobiles à vapeur actuellement en construction.

Les systèmes Turgan et Purrey, à vaporisation rapide et à faible volume d'eau et de vapeur ont eu d'assez nombreuses avaries de tubes.



Le système Turgan est caractérisé par un corps cylindrique placé à la partie supérieure et dans lequel viennent déboucher un certain nombre de tubes disposés en éventail de part et d'autre du foyer. Les gaz de la combustion circulent entre les tubes. Ceux-ci sont à double enveloppe et un courant d'eau s'y établit ; l'eau relativement froide descend par le tube central, tandis qu'un mélange d'eau et de vapeur remonte par la partie annulaire des tubes exposée directement à la chaleur des gaz de la combustion. Le combustible employé est la houille. L'alimentation est assurée par un

injecteur Friedmann en charge, et par une pompe. Capacité totale de la chaudière : 900 litres dont 660 litres d'eau. Timbre 18 k°.



Le système Purrey est caractérisé par un faisceau de tubes verticaux en forme d'S mettant en communication deux collecteurs A et B. Il y a deux sortes de tubes, savoir : 30 tubes vaporisateurs CD dans lesquels circule de C vers D un mélange d'eau et de vapeur et 11 tubes surchauffeurs AB conduisant la vapeur de la partie supérieure A du collecteur cylindrique à la partie centrale supérieure B du collecteur ~~inférieur~~ qui a une section rectangulaire. C'est dans cette partie B que se fait la prise de vapeur surchauffée. Le timbre est de 20k ; la capacité totale en eau : 200 litres. Un flotteur se déplaçant dans le cylindre A commande automatiquement une pompe d'alimentation. Le mécanicien n'a donc pas à s'occuper de cette alimentation en cours de route, sauf à faire fonctionner exceptionnellement un petit cheval en cas d'insuffisance de la pompe. Une trémie de chargement laisse arriver progressivement le coke sur la grille.

Les automotrices à vapeur système Purrey du P.L.M., de l'Etat français et de l'Orléans sont de longues voitures (11 m 70 avec 2 essieux dont un essieu moteur pour les 2 premières ; 13 m 70 avec 3 essieux, dont un essieu moteur, celui du milieu, pour celle de l'Orléans). Elles comportent un unique poste de manœuvre à une des extrémités, un fourgon à bagages et respectivement 50, 36 et 26 places. ; elles peuvent prendre une ou deux remorques. Celle de la Cie d'Orléans, qui ne comprend

que des 1ères classes, est normalement accouplée à une voiture de remorque de 50 places. La plus grande vitesse atteinte a été de 75 kilomètres à l'heure avec une remorque. Ces automotrices doivent être tournées à l'extrémité du parcours, ce qui est inutile avec le type à 3 éléments de la Cie du Nord.

La Cie des Omnibus de Paris utilise sur plusieurs de ses lignes de tramways des automotrices à vapeur syst. Purrey, à 48 places, dans lesquelles le moteur actionne par chaînes les 2 essieux.

Automotrices à essence. — Les voitures à essence de pétrole n'ont pas un rendement mécanique très élevé, en raison de la nécessité de réduire la vitesse du moteur à explosion au moyen d'engrenages ou d'autres organes intermédiaires. On peut d'ailleurs envisager le remplacement de ces transmissions intermédiaires par une transmission électrique présentant plus de souplesse et de précision (voitures pétrolée-électriques). En revanche, elles présentent les avantages des moteurs à explosion : légèreté, facilité de conduite et d'entretien, simplification pour l'approvisionnement du combustible.

Les Chemins de fer du Wurtemberg, après avoir expérimenté, dès 1898, des voitures à vapeur, du type Serpollet, ont recherché des machines d'entretien moins coûteux. Leur choix s'est porté sur des automotrices à essence, système Daimler, pesant 12 T 5, et offrant 44 places assises et 12 places debout, actionnées par un moteur à 4 cylindres de 30 chevaux, avec des appareils de manœuvre distincts sur chacune des deux plateformes d'extrémité. Ces autos peuvent franchir des rampes de 10 m/m à une vitesse de 26 km. à l'heure. Le prix d'une voiture est de 37,500 f. et la dépense par km. et par voiture s'élève à 0f188, dont 0,106 pour frais de consommation d'essence. Des embrayages, changements de vites

en changements de marche, consistant en différents trains d'engrenage, sont interposés entre l'essieu et le moteur, qui, une fois lancé, doit tourner à une vitesse à peu près constante et sans arrêt. Les Chemins de fer de l'Etat Suisse utilisent également une automotrice système Daimler, de 54 places pesant 17 tonnes donnant une vitesse de 37 kil. en palier et de 14 kilom. sur rampes de 20 m/m. La consommation d'essence, sur un parcours journalier de 100 à 110 kilom. est de 320 à 350 grammes par kilomètre. Les Chemins de fer Américains utilisent des motrices à essence, à 6 cylindres, l'arbre moteur recevant ainsi 3 impulsions par tour, ce qui est avantageux pour l'équilibrage. Dans les trains légers ainsi constitués, la dépense par voiture-kilomètre a varié de of 34 à of 56 suivant le nombre de kilomètres parcourus journellement et le salaire des agents (mécanicien et contrôleur.)

Sur la ligne à voie étroite de Sfax à Gafsa (Tunisie) fonctionne une automobile d'un poids très faible (132 k.), actionnée par un moteur à explosion à 1 cylindre de 10 chevaux, servant au transport des voyageurs et des petits bagages. Elle atteint une vitesse de 40 km. sur rampes de 10 m/m.

Résultats financiers. — Les tableaux ci-dessous résument le développement des lignes secondaires faisant le service des Voyageurs et des Marchandises en France.

Années	Longueur moyenne exploitée	Capital d'établissemt	Recettes brutes	Dépenses d'exploitation	Produit net
		millions	millions	millions	millions
1895	5.000 km	420	22,5	18,5	4
1900	6.950	554	33,5	27,5	6
1905	11.000	776	47,5	37	10,5

suite page 593

Années	Longueur moyenne exploitée	Capital d'établissᵗ	Recettes brutes	Dépenses d'exploitᵒⁿ	Produit net
		millions	millions	millions	millions
1906	11.660 km.	836	50,2	39,4	10,7
1907	12.600	875	53,3	42.9	10,4
1908	13.087	904	56,1	46	10,1

En ce qui concerne les voies ferrées ne comportant pas de service de petite vitesse, les résultats donnés par le tableau ci-dessous sont bien plus satisfaisants.

Années	Longueur moyenne exploitée	Capital d'établissᵗ	Recettes brutes	Dépenses d'exploitᵒⁿ	Produit net
			Réseaux des départements autres que la Seine		
1906	1.661	422	57.7	38	19.7
1907	1762	445	62,3	41,9	20,4
1908	1.894	479	65,9	43,9	22
			Tramways du département de la Seine		
1906	581	243	54,3	44	10,3
1907	583	250	54,4	44,9	9,5
1908	590	257	56,8	46,4	10,4

Traction mécanique sur routes. - Automobiles

La traction par automobiles sur routes, sans rails, a pris depuis une quinzaine d'années une extension considérable. Laissant de côté les voitures automobiles de sport ou de luxe, nous envisagerons seulement ici les omnibus automobiles (autobus) et trains automobiles circulant sur routes, sans rails, pour assurer un service public de voyageurs et de marchandises.

Omnibus automobiles. - Nous retrouverons ici les

trois grandes catégories de moteurs déjà envisagés dans l'étude des automotrices sur rails savoir : Omnibus à vapeur, omnibus à essence, omnibus électriques.

A.- Omnibus à vapeur.- Un concours institué à Paris en Décembre 1903 a provoqué la création d'un omnibus à vapeur Gardner Serpollet qui, concurremment avec 6 omnibus à essence, a assuré, à cette époque, un service spécial entre la Bourse et le Salon de l'Automobile. La chaudière Serpollet du type primitif y a été adoptée avec quelques perfectionnements intéressants : meilleure circulation des gaz de la combustion entre les tubes de vaporisation instantanée, adjonction d'un petit cheval alimentaire permettant de proportionner toujours automatiquement l'alimentation en eau et essence de pétrole aux besoins du moment, emploi de brûleurs à pétrole lampant.

Le moteur à 4 cylindres horizontaux, opposés 2 à 2, développant 40 chevaux en marche normale, permet à l'omnibus de 30 places pesant 4000 kil. à vide et 6200 kil. avec les voyageurs de se maintenir à une vitesse de 16 à 20 kilomètres à l'heure et de franchir à belle vitesse des rues pavées en rampe de 17%. Comme dans toutes les voitures automobiles, l'essieu d'avant est directeur et l'essieu d'arrière est moteur.

La transmission du moteur au différentiel est donnée par un arbre à cardan et le mouvement est transmis par chaînes du différentiel aux roues de l'essieu arrière.

Ce système de vaporisation instantanée réglable à volonté a le grand avantage sur celui des automobiles à essence de supprimer l'emploi de changements de vitesse toujours compliqués. La dépense par kilomètre n'atteint pas 0f20.

B.- Omnibus à essence.- La Cie des Omnibus de Paris

a adopté le type d'omnibus à essence, système Brillié, dont la description nous dispensera d'examiner les systèmes Mars, de Dion-Bouton, Delahaye, Krieger, Pengeot, Turgan, fonctionnant également avec des moteurs à essence.

Dans l'omnibus à essence, système Brillié, le moteur à explosion de 18/24 chevaux est ramassé sous le siège du conducteur, ce qui permet de ne donner qu'une assez faible saillie au capot en avant de la caisse de la voiture et d'obtenir une meilleure répartition des charges sur les 2 essieux.

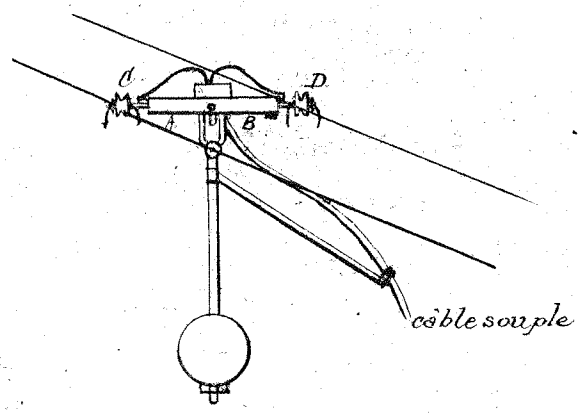
Le mécanicien a, à sa disposition : un volant de direction agissant sur l'essieu avant par vis et écrou (direction irréversible par conséquent), un levier de changement de vitesse et changement de marche, (le changement de vitesse comporte 3 vitesses), un levier actionnant un frein sur le différentiel, une pédale actionnant un frein à enroulement sur le tambour des roues.

L'arbre du différentiel, actionné par cardan, porte à chaque extrémité, un pignon engrenant sur une roue à denture intérieure concentrique à la roue et lui transmettant le mouvement.

On peut estimer à moins de 0f20 la dépense d'essence et d'huile par voiture-kilomètre.

Ces omnibus-automobiles, appelés aussi autobus, sont pourvus de pneumatiques antidérapants.

C.- Omnibus électriques ou tracteurs électriques sur routes. - Les accumulateurs, qui rendent les voitures indépendantes, trouvent dans les omnibus une utilisation plus rationnelle que dans les tramways, car les véhicules automobiles sur routes doivent pouvoir s'écarter dans toute la largeur de



Chariot de prise de courant syst. Stoll pour omnibus électrique à trolley

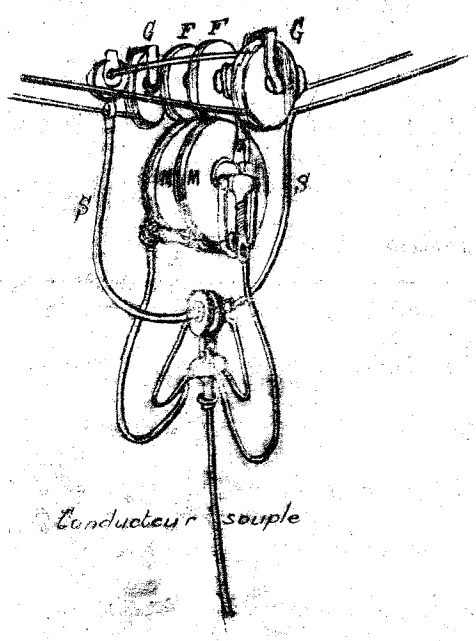
la route comme des voitures ordinaires, les systèmes usuels de trolley ne donnent pas assez de latitude à cet égard.

On a pu toutefois adapter le conducteur électrique aérien à la traction sur route en substituant aux perches à trolley ou à l'archet, un chariot-trolley roulant sur les deux fils de ligne et relié par un fil souple à un point élevé de l'omnibus ou tracteur. Dans le système Stoll, appliqué à Dresde, une traverse isolante AB est assemblée à ses extrémités par deux traverses perpendiculaires supportant des galets qui roulent respectivement sur le conducteur négatif et le conducteur positif. De chaque support de galet part un câble souple; les 2 câbles souples se réunissent pour se rattacher au toit de la voiture. Une longue tige pendante, articulée au milieu du petit chariot-trolley supporte un contrepoids approprié qui accroît la stabilité de l'appareil en abaissant le centre de gravité.

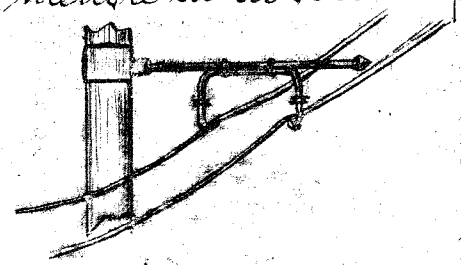
Les omnibus employés sur cette ligne pèsent environ 2 900k. et comportent 22 places; l'essieu arrière est attaqué par un moteur électrique de 15 chevaux, sous 500 à 600 volts.

Avec ce système, les voitures allant en sens inverse échangent leur trolley lorsqu'elles se rencontrent.

Trolley automoteur. – Dans le dispositif précédent, le chariot-trolley n'ayant pas de moteur propre, exerce une traction sur le fil souple, ce qui est un gros inconvénient pour la conservation de ce dernier.



Le trolley automoteur Lombard-Gérin évite ces inconvénients : à cet effet, le chariot-trolley roule sur les deux fils aériens servant de conducteurs (fils de cuivre de 8 m/m de diamètre) au moyen de 2 galets G ; mais ce trolley est muni lui-même d'un moteur triphasé MM, dont la vitesse, synchrône au courant qui l'alimente, est toujours semblable à celle du moteur de la voiture. Le moteur MM entraîne le chariot en les galets GG par l'intermédiaire des galets en fibre FF montés sur l'arbre des galets G. Le courant circule dans le cadre SS ; le moteur M est muni d'un frein électro-magnétique manœuvré de la voiture par le wattmann.



Ce système a été appliqué, dès 1901, à deux lignes d'omnibus sur routes, l'une à Fontainebleau, l'autre à Berlin. Les consoles des poteaux-supports doivent être placées à la partie inférieure de manière à laisser un libre passage aux galets.

Trains sur route. — Depuis quelques années, on a envisagé le problème de *trains automobiles sur routes*, soit pour le service ordinaire des voyageurs et des marchandises, soit pour les transports militaires. En ce qui concerne les transports militaires, l'idée pourrait venir de multiplier les camions automobiles dits "poids lourds". Mais les chaussées sont vite défoncées par le passage de ces véhicules pesant de 6 à 7000 kgs. D'autre part, l'emploi de voitures isolées plus légères entraînerait des frais de conduite, de surveillance, etc.. trop élevés. Il faut d'ailleurs réduire le plus possible la longueur occupée par un convoi

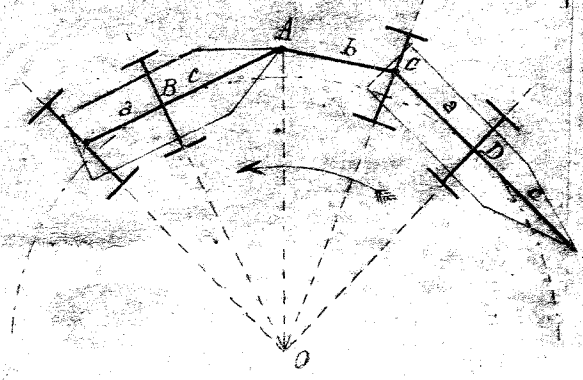
déterminé.

Il faut donc pouvoir atteler ensemble un nombre élevé de voitures susceptibles d'effectuer des courbes sensiblement sur la même trace. Il faut, d'autre part, utiliser l'adhérence de chacun des véhicules, faute de quoi on se trouverait très limité par la faible adhérence du tracteur.

Le train Scotte avec tracteur à vapeur servant de camion pour les marchandises et attelé à une remorque pour voyageurs n'était qu'une solution peu satisfaisante du train routier.

Dans le train Friedmann, chacun des éléments constitué par 2 trucks jumelés par une traverse, doit être occupé par un conducteur qui actionne la direction au moyen d'un volant.

Le colonel Renard a réalisé une solution plus complète de la question dans son train routier à propulsion continue et à tournant correct. La voiture génératrice (tracteur à vapeur) n'est pas chargée de traîner les autres véhicules mais elle est une sorte d'usine productrice d'énergie et distribue cette énergie, à l'aide d'une transmission purement mécanique, (la Cie Siemens-Schukert a recherché la solution dans l'emploi de moteurs électriques appliqués à chacun des éléments du train) et chaque véhicule contribue pour son propre compte à l'adhérence au même titre que le véhicule moteur. D'autre part, en combinant les attelages de manière à assurer un passage de tous les véhicules sur les mêmes traces dans les courbes, on évite d'avoir à mettre un conducteur sur chaque véhicule pour assurer la direction (comme cela se fait dans le train Friedman).



Chaque attelage se compose de 2 dispositifs chargés d'assurer l'un le mouvement (on l'appelle attelage de puissance) l'autre la direction de chaque voiture

(attelage de direction)

L'attelage de puissance comprend un arbre longitudinal articulé au moyen de joints à la cardan en qui règne d'un bout à l'autre du train. Cet arbre entraîne, au droit de chaque essieu, au moyen d'engrenages, un petit arbre auxiliaire qui est prolongé par la bielle de cardan allant au différentiel de cet essieu. Chaque voiture intervient donc pour l'adhérence, et par suite pour la propulsion.

L'attelage de direction comporte pour chaque voiture 3 pièces articulées entre elles par cardan, savoir: l'empattement a, le timon b, et la queue c.

La figure ci-contre montre que, dans le cas de voitures à avant-train en à cheville ouvrière, il faut, pour que les deux voitures décrivent le même cercle de centre O, que l'on ait la relation:

$$b^2 = c^2 - a^2 ,$$

en considérant les 3 triangles rectangles OBA, OCA, ODC.

Un train de ce genre a été essayé avec succès en 1904. Depuis, des applications en ont été faites pour le service des voyageurs (service entre la gare de Rimeroux en Ambleteuse par exemple).

Chemins de fer Métropolitains

On donne ce nom, dans quelques grandes capitales de l'ancien et du nouveau Continent, à des réseaux urbains qui sont établis partie en souterrain, partie en viaduc, pour transporter rapidement de grosses masses de voyageurs en réduisant notablement l'encombrement des principales artères.

Paris n'a été que tardivement doté de ce réseau indispensable, alors que Londres, New-York et Berlin étaient déjà partiellement outillés à ce point de vue depuis longtemps déjà.

A Londres, dès 1868, le Métropolitain s'installait pour rayonner autour de la Cité et la mettre en communication rapide avec les faubourgs qui se développent sur une très grande étendue. Il est essentiellement souterrain et même caractérisé par une grande profondeur (20 à 30 mètres) au-dessous des chaussées. La traction à vapeur, au moyen de locomotives, dont l'emploi dans les tunnels avait de très gros inconvénients, (atmosphère viciée par la fumée) et l'éclairage au gaz, a fait place depuis 1904 à la traction électrique. Cette électrification, longtemps différée à cause du coût de la transformation, a dû être adoptée à cause de la concurrence apportée depuis 1898 et 1900 par les lignes souterraines électriques du Waterloo and City Railway et surtout du Central London Railway.

A Berlin, le métropolitain, installé d'abord comme voie de transit, entre les deux principales gares de l'Est et de l'Ouest, avec viaduc en maçonnerie, en voie accessible au matériel des grandes lignes, a été ramifié et a pu pénétrer plus avant en plongeant en souterrain. Mais, à l'encontre de celui de Londres, il reste toujours à très faible profondeur, comme ceux de New-York et de Paris.

A New-York, à l'Elevated ou Manhattan Railway, qui circulait en viaduc depuis 1883, s'est ajouté, depuis 1904, un nouveau métropolitain, le Subway (Interborough Rapid Transit Subway) établi presque tout entier en souterrain, avec quadruple voie sur une partie du parcours.

A Paris, le métropolitain, entrepris en vue du gros mouvement de l'Exposition Universelle de 1900, a profité de l'expé-

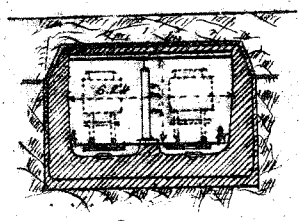
rience faite sur les réseaux urbains des grandes capitales étrangères. Il a fait mieux, en adoptant dès le début la traction électrique à unités multiples, appliquée depuis sur les réseaux métropolitains de l'étranger. Venu pour ainsi dire d'un seul jet, il possède par suite une grande homogénéité qui le rend particulièrement utilisable, en tous les points de la ville.

Comparaison des conditions d'établissement des divers métropolitains. - Depuis l'électrification des réseaux étrangers, les méthodes d'exploitation en traction sont presque partout les mêmes. Il existe entre eux, au contraire, des différences assez importantes au point de vue de la construction.

Viaducs. - Je n'insisterai pas sur les viaducs métalliques, qui, pouvant assez élevés (15 mètres en plus) sont particulièrement soignés, au point de vue du contreventement. Sur quelques points, comme à Paris, entre la station de la Bastille et le viaduc spécial franchissant la Seine, où existent à la fois une courbe de faible rayon et une rampe très prononcée, on a adopté des solutions ingénieuses et hardies (viaduc à travée hélicoïdale en courbe de 75 m. de rayon sur un arc de 53°, avec une pente de 40 m/m).

Souterrains. - En ce qui concerne les souterrains, ils sont de 3 types principaux :

1° les souterrains couverts d'une charpente métallique sous chaussée, qui sont exécutés à ciel ouvert en recouverts ensuite, en laissant au-dessus d'eux jusqu'au niveau de la chaussée une hauteur de 1m à 1m80.



Berlin

Établis pour deux voies en plus dans le sens de la largeur, ils sont, ou bien sans supports intermédiaires comme à Paris,

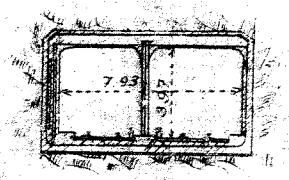
ou bien pourvus de piliers de support entre les voies, comme à Berlin et New-York.

2° Les souterrains voûtés, employés partout sauf à Londres, dans les sections où le profil de la voie s'écarte par trop de celui de la chaussée, ou dans les voies très fréquentées qui auraient trop souffert d'une longue interruption de la circulation pendant la construction. Ils ont été construits par la méthode du bouclier, mais n'évitent pas les gros travaux de remaniement des égouts et canalisations

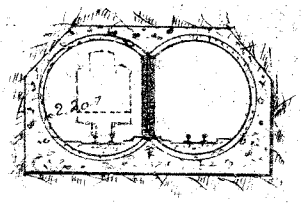
Ils comportent à New. York des voûtes en berceau de 3m80 de rayon à Paris, des voûtes surbaissées de 7m10 de largeur et de 4m50 de hauteur comptée entre le dessus du rail et le plafond.

3° Tubes à parois métalliques passant à grande profondeur. C'est le type presque exclusivement adopté à Londres où un tube de faible diamètre est affecté à chacune des voies d'une même ligne (tubes de 3m10 de diamètre pour le City and South London Railway ; tubes de 3m66 de diamètre pour le Waterloo and City Railway ; tubes de 3m45 pour le Central London Ry.) employé ailleurs, dans des cas exceptionnels seulement, comme pour le passage sous la Haarlem River à New. York, où 2 tubes métalliques jumelés de 4m57 de diamètre chacun, encastrés dans le béton sont réunis par un diaphragme en fonte auquel ils sont boulonnés.

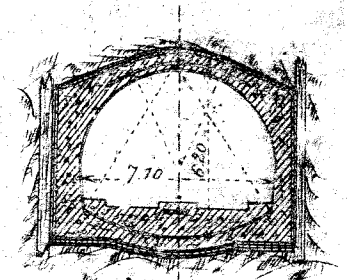
A Londres, cet emploi courant des tubes construits à grande profondeur (20 à 30 mètres) a permis d'éviter toute gêne pour les riverains, des modifications d'égouts toujours laborieuses et de s'écarter au besoin du tracé des rues. Par contre, il présente, pour le public l'inconvénient de gravir des escaliers très développés qui ont amené les administrations intéressées à installer des ascenseurs électriques puissants sus-



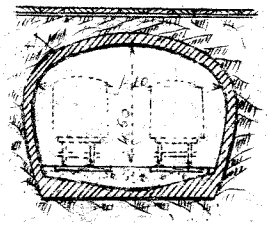
New York type courant



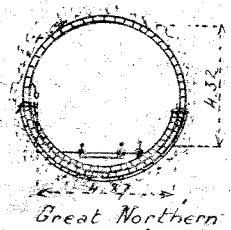
New-York, sous la Harlem River



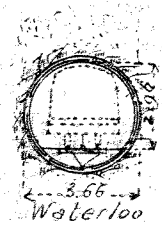
New York, type spécial



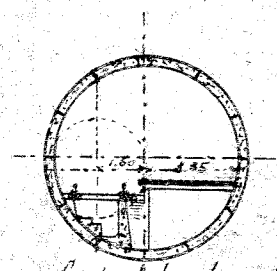
Paris



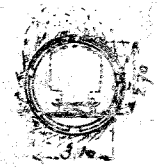
Great Northern and City



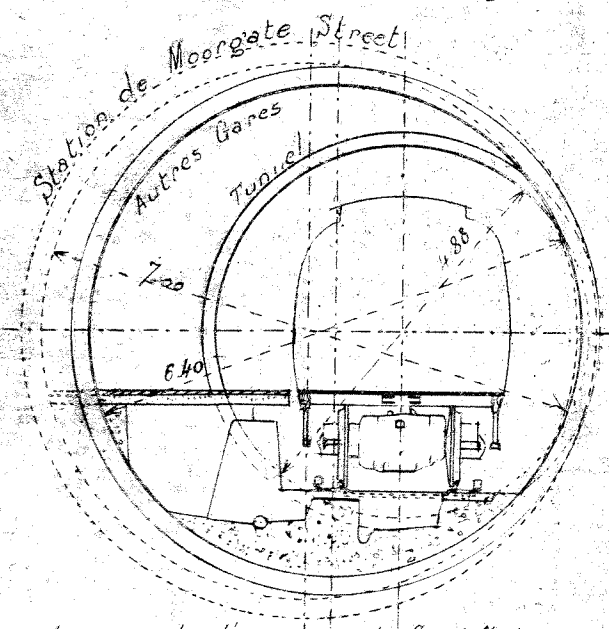
Waterloo and City



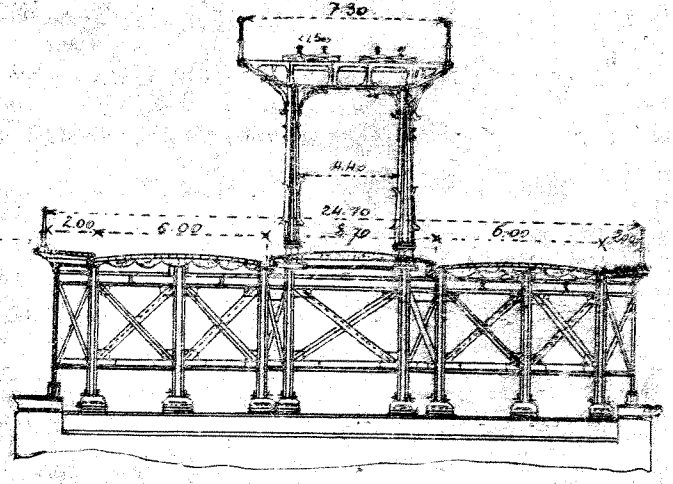
Central London



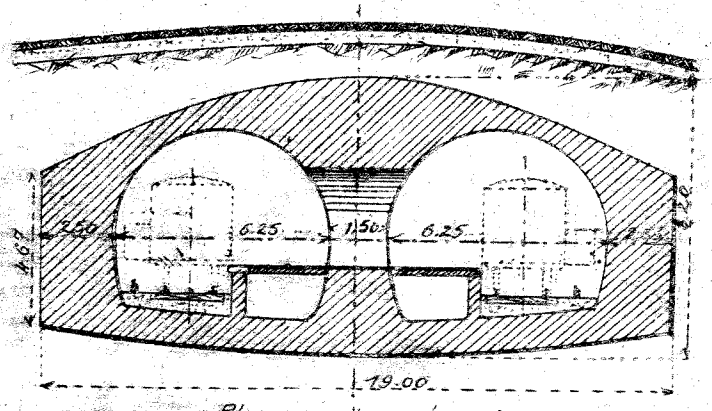
City and South London



Coupe transversale d'une gare du Great Nothern



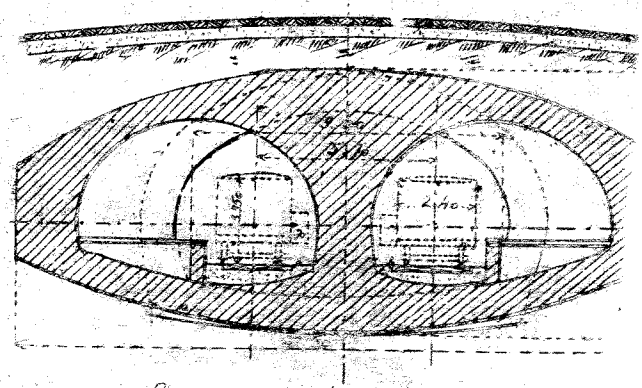
Coupe transversale du viaduc de Passy



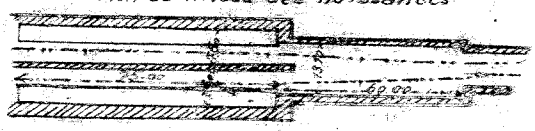
Plan au niveau des naissances



Stations à quais intérieurs du type voûte



Plan au niveau des naissances



Stations à quais extérieurs du type renfor

susceptibles d'enlever d'un seul coup 60 à 100 voyageurs.

Voies en stations. - A Paris, New-York et Berlin, la voie de 1 m 43 avec rails de roulement à patin de 50 k par mètre courant est usitée. A Londres, on a conservé le rail à double champignon pour le roulement, mais le rail à patin pour la conduite et le retour du courant.

Le rail conducteur de courant est, en général, placé à l'extérieur des deux rails de roulement et un peu surélevé par rapport à ces derniers. A Londres, le retour du courant se fait par un 4ème rail placé dans l'axe de la voie, les deux rails de roulement sont néanmoins isolés et réunis électriquement pour concourir au fonctionnement d'un block-système automatique, qui fonctionne ainsi indépendamment du courant de traction.

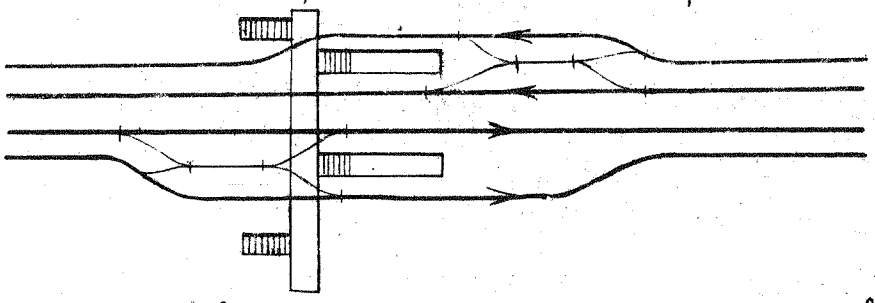
Ailleurs, le retour du courant se fait par la voie de roulement.

Les courbes généralement admises sont de 60 à 80 mètres de rayon, mais à Paris et New-York on est parfois descendu à des rayons de 40 et 50 mètres. Au point de vue des rampes, on a atteint jusqu'à 40 m/m par mètre aux passages de tunnel en viaduc et inversement.

Dans les stations, les tubes anglais qui sont à voie unique, comportent un élargissement pour un seul quai. A Paris, Berlin et New-York, les stations de double voie ont généralement deux quais extérieurs au groupe des 2 voies, et rarement, un quai médian dans les terminus.

A New-York, sur les triples voies des viaducs de l'Elevated, ou sur les quadruples voies en souterrain du Subway, on fait circuler sur les 2 voies extérieures des trains omnibus, (vitesses commerciales de 22 à 30 km. à l'heure), tandis que sur la ou les voies médianes circulent des express (40 km à l'heure) n'arrêtant qu'aux stations de 3 en 3. Les quais des stations où

se fait le transit des trains express dans les trains omnibus, sont alors disposés comme l'indique le schéma ci-contre.



Sur l'Elevated, la 3me voie (celle du milieu) est parcourue par un service momentané d'express, tous dans le même sens, sens du grand trafic, dans les périodes les plus chargées de la journée.

Matériel roulant en traction. - A Londres, après un essai de locomotives électriques, on en est venu aux trains à unités multiples, composés de voitures motrices échelonnées dans la longueur du train et séparées par des voitures de remorque.

C'est le système utilisé à Paris, dès le début, et à New-York depuis 1904. Il a l'avantage d'utiliser l'adhérence de plusieurs motrices et de répartir aussi l'action du freinage; en outre, il se prête aux décompositions et renforcements: dans les trains de 3 voitures, les deux extrêmes sont motrices, dans les trains de 7 voitures, les voitures 1-3-5 et 7 sont motrices.

Toutes les voitures, motrices ou non, sont montées sur 2 bogies. En général, un seul des deux bogies est moteur et actionné par deux moteurs de 200 chevaux à courant continu.

A Berlin, Londres et New-York, le courant des usines génératrices est envoyé sous forme de courant triphasé à 10.000 ou 11.000 volts, à des sous-stations qui le transforment d'abord en courant triphasé à 400 ou 500 volts, puis en courant continu à 600 ou 700 volts qui alimente les moteurs des voitures par le 3ème rail (rail de courant).

A Paris, le courant triphasé à 5000 volts des usines génératrices est ramené par des transformateurs à 500 ou 600 volts

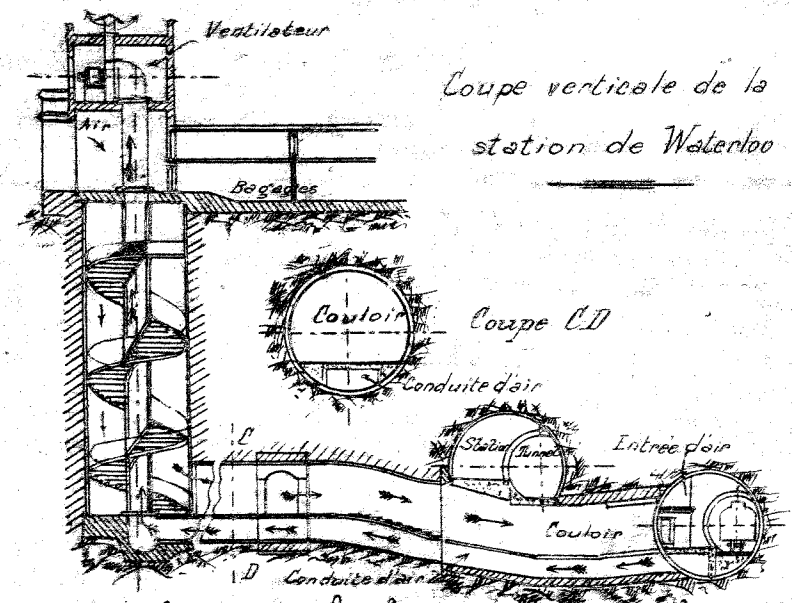
aux moteurs des automotrices.

Les voitures à bogie ont une longueur de 15 mètres et comportent une cinquantaine de places assises, avec, en général, 3 portes d'accès sur chacune des faces.

Dans le type américain, un système pneumatique assure d'un seul coup la fermeture de toutes les portes sous l'action du conducteur de service. Les arrêts sont de 20 à 30 secondes dans les stations.

Block-système. — Le block-système, électrique ou électro-pneumatique est généralement employé, avec freinage automatique au passage d'un signal en cas d'inattention du wattmann.

Aération. — On a reproché, à juste titre, aux métropolitains souterrains d'offrir aux voyageurs des voitures dont l'air est vicié et la température excessive. On cherche à y remédier en établissant des puits d'aérage de distance en distance, ou des ventilateurs dans chacune des stations en profitant de l'aspiration que produit le mouvement de piston des trains dans les souterrains. (fig. ci-contre).



Coupe verticale de la station de Waterloo

Au Central London Railway un ventilateur aspire l'air sur toute la ligne (10 km), pendant la nuit, les issues des stations étant fermées ; ce qui ne constitue qu'une solution assez imparfaite puisque l'air est vicié avant la fin de la journée.

Le tableau ci-dessous indique les recettes du Métropolitain à Paris depuis sa création :

Années	Longueur moyenne exploitée	Capital d'établt	Recettes brutes	Dépenses d'exploitation	Produit net
	kilom.	millions	millions	millions	millions
1902	15	86	11	4,6	6,4
1905	33	182	26,2	11,3	14,9
1906	39	242	29,4	11,7	17,7
1907	46	262	33,7	14	19,7
1908	51	316	39,5	15,9	23,6

Fin du Cours de Chemins de Fer