

107-10

Institut Industriel
du
Nord de la France

Cours
de
Chemins de Fer

Professe 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'approvisionnement 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, est 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 et 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 et 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 Elèves Ingénieurs, du Cours de Chemins de Fer que nous commençons aujourd'hui, et dans lequel nous envisagerons successivement :

- l'historique et le régime financier,
- la construction des voies,
- le matériel roulant,
- l'exploitation technique,
- et 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 XIX^{ème} siècle, les mines de houilles exploitées en Angleterre et en Allemagne pratiquaient aussi 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 1825 de la "Locomotive" de Stephenson, devint provoquer une application plus large des Chemins de fer. La "Locomotive" présentait trois particularités remarquables maintenues depuis dans la locomotive : 1^{re} application du principe de l'adhérence ; 2^{re} emploi de la chaudière tubulaire inventée par Marc Séguin en 1828 ; 3^{re} échappement de la vapeur dans une cheminée, en vue d'augmenter le tirage ; et 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.

- 5 -

Dès 1832 circulaient 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 avaient sollicité la concession: ligne de St Etienne à Lyon (1828), d'Andrézieux à Roanne (1828), d'Epinal au canal de Bourgogne (1836).

Avec l'apparition de la "Jusée", 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, et 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 Montrieux (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'État lui garantît pendant un certain temps l'intérêt à 4% de la somme de 40 millions engagée dans son entreprise; l'État 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, éparpillées sur son territoire, en regard des 4.500 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 Orléans et Nantes,
sur l'Espagne, par Tours, Bordeaux et Bayonne,
sur le Centre en Goulouze, par Bourges,
sur la Méditerranée, par Lyon, Marseille et Cette,
enfin, sur l'Allemagne, par Nancy et Strasbourg;
et de deux transversales allant d'une part de la Méditerranée au Rhin, par Lyon, Dijon, Mulhouse, et d'autre part de la Méditerranée à l'Océan par Marseille, Goulouze et 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 et de la plateforme) étaient exécutés directement par l'Etat et à ses frais. Au contraire les travaux de superstructure (établissement de la voie de fer et du ballast, aménagement des gares) la fourniture du matériel roulant et l'exploitation étaient laissés à la charge des compagnies concessionnaires. La loi fixait la durée, les conditions de l'exploitation et le tarif des droits à percevoir.

A l'expiration du bail, la valeur de la voie de fer et 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 et 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 553 kilomètres exploités par l'État en le sur-
plus exploité par 27 Compagnies particulières. A ce moment
l'Angleterre avait plus de 11000 kilomètres de voies ferrées,
l'Allemagne 5.500, en la Belgique près de 900.

Le second Empire donna dès son avènement, en 1852,
un nouvel essor à la constitution du réseau français, grou-
pa 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 construc-
tion 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 concé-
dés à 6 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'État, écartant la solution qui
avait consisté à annuler la concession des lignes pré-
sumées les moins productives, prit le parti de subven-
tionner 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'État et les diverses Compagnies, et approuvées par les
lois du 11 juin 1859, l'État garantit aux actionnaires un
dividende minimum pendant 50 ans. Le taux de la ga-
rantie, fixé à 4%, fut porté à 4,65% pour tenir compte

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

Cependant 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 verseraient 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 3.132 millions — par une annuité maxima de 145.500.000 francs. Mais les réseaux du Nord et du L. E. M. n'y firent pas appel et, pratiquement les sommes avancées par l'Etat entre 1868 et 1870 variaient 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 raffermis, 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 poursuivait en 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 concédées 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 accablant 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 en d'intérêt local provenant de ces Compagnies en leur incorporation dans le réseau général. Ce fut l'origine du réseau du Chemin de fer de l'État, dont les dépenses d'acquisition — voies et matériel roulant, et mise en état de certaines lignes — se chiffrent à 500 millions environ (200.000 francs par kilomètre de ligne) furent couvertes 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 ministre Freycinet, classant 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 8.648 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'État, devaient être exploitées les unes par lui-même, les autres par les 6 grandes Compagnies au compte de l'État en vertu de traités provisoires.

La charge devint vite trop lourde pour le budget de l'État, qui devait supporter le déficit d'exploitation des lignes nouvelles. La crise financière qui survint en 1892 empêchant l'État 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 3^{ème} 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 conviendrait de dire ici que la situation des Compagnies était devenue exceptionnellenent brillante, surtout pendant les dernières années : les recettes du réseau d'intérêt général s'étaient, en effet, accrues de 923 millions pour 22000 kilomètres exploités en 1879, à 1100 millions en 1882 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 1882, 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 (1^{er} et 2^e réseau) précisèrent 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 4,05%) du capital obligataire. 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 précisèrent 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'État; 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'État, 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 dépassa 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 ce 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'État. La loi du 19 décembre 1908 posa le principe de la reprise par l'État des concessions de la Cie de l'Ouest et spécifia d'une manière générale, que le réseau racheté à la date du 1^{er} janvier 1909 serait administré provisoirement dans les mêmes conditions que le réseau antérieur des chemins de fer de l'État, les recettes et dépenses de l'exploitation devant faire l'objet d'un budget annexe, rattaché pour ordre au budget général de l'État. 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'État paiera à la Cie de l'Ouest pour chacune des années à courir depuis le 1^{er} janvier 1909 jusqu'à la date du 31 décembre 1956, fixée antérieurement pour l'achèvement

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

La Compagnie a remis à l'État, 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'État sur la Compagnie au titre de la garantie d'intérêt. Une convention intervenue le 29 octobre 1908, entre l'État et la Cie d'Orléans, comporte la reprise par l'État 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'État. En échange l'État doit faire remise à la Cie d'Orléans de la dette contractée au titre de la  garantie d'intérêt (dette évaluée en capital et en intérêts) 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'État 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‰. Dans le deuxième cas, au contraire, la ligne pourra comporter des rayons allant jusqu'à 150 mètres, et supporter des déclivités de 20‰ ou 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. En 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 côté de ces immenses avantages, 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 les roues motrices — 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 coefficient d'adhérence varie, avec l'état du rail, entre $\frac{1}{4}$ et $\frac{1}{10}$ ou $\frac{1}{11}$. Il peut atteindre $\frac{1}{4}$. Lorsque le rail est très sec ou très mouillé, on descend à $\frac{1}{10}$ lorsque le rail est seulement humide (comme dans les souterrains) on reconstruit de matières grasses ou de fenil les mortes. On l'augmente artificiellement, le cas échéant, en répandant du sable sur le rail. Dans des conditions moyennes, on l'évalue à $\frac{1}{6}$ ou $\frac{1}{7}$, ce qui signifie que l'adhérence d'une machine est en moyenne représentée par $\frac{1}{6}$ ou $\frac{1}{7}$ 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 évaluer 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.
- frottements de roulement ou de glissement des bandages en des bandins des roues des véhicules.
- frottements des essieux dans les boîtes à graisse.
- résistance opposée par l'air.
- résistance due aux courbes.
- résistance due aux déclivités.

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

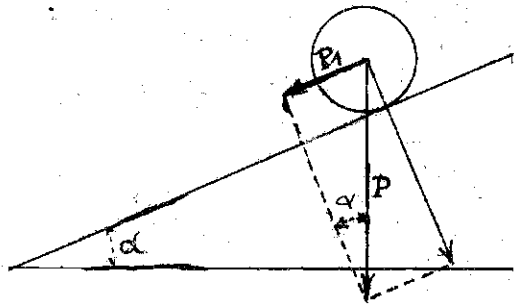
Leur ensemble, pour un train de voyageurs dont la vitesse ne dépasse pas 60 kilomètres à l'heure, peut, d'après les expériences de M. Desdonits, être calculé avec une approximation suffisante au moyen d'une formule empirique de la forme :

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

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 p le rayon de la courbe exprimé en mètres.

Si dans cette formule on fait $d=0$ et $p=\infty$, le 3^e 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 ou 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'où l'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 bandins des roues des véhicules, au frottement des coquilles dans les boîtes à graisse ou 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 :

$$\frac{d}{1000} = \operatorname{tg} \alpha$$

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

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

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

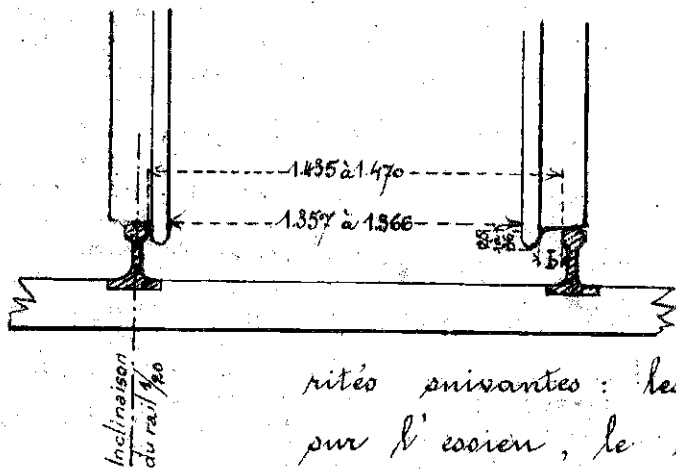
ce qui revient à dire qu'on obtient en kilogrammes la valeur de la résistance due à la déclivité, en multipliant le poids traîné (exprimé en tonnes) par la déclivité (exprimée en millimètres par mètre)

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 parallélisme 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 parallélisme 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 δ 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 chocs

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 contre 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 en 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 bandin 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 bandins 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 surhaussément 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

Mr. Desdonato, peut être calculé d'une façon suffisamment approchée par la formule :

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

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 .

Un coin immédiatement qui a une courbe de 375 mètres de rayon correspond une résistance supplémentaire de 2 kilogs 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 ou 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.



Étude du tracé

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 en 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 $1/80.000^e$;

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

3° un profil en long d'ensemble au $1/40.000^e$ pour les longueurs et au $1/2000^e$ pour les hauteurs;

4° des profils en travers au $1/100^e$ 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 cours 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^{re} éviter les courbes de trop faible rayon en les déclivités trop prononcées ;

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

3^{re} éviter les traversées fréquentes des routes en cours d'eau en choisissant avec soin les points de tracés des cours d'eau, dans le but de réduire les dépenses de construction des ouvrages d'art reconnus indispensables ;

4^{re} arrêter judicieusement les emplacements des gares en 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 en à une distance suffisante des localités pour que des extensions soient réalisables dans l'avenir, les disposer, autant que possible, en ligne droite ou 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^{re} 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^{re} 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^e éviter autant que possible de traverser en débâi les terrains argileux, qui exigent toujours des frais de main-d'œuvre supplémentaires pour assainissement et consolidation.

8^e 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 se sert 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 sûre, 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 $1/80.000^e$, plan au $1/40.000^e$ avec courbes de niveau et plan au $1/10.000^e$, profil en long d'ensemble au $1/40.000^e$ pour les longueurs et au $1/2.000^e$ pour les hauteurs, profils en travers types au $1/100^e$ pour les longueurs et pour les hauteurs, devis descriptif et estimation sommaire des dépenses. Il doit comporter en outre : profil en long, au $1/10.000^e$ pour les longueurs et au $1/1.000^e$

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

Carte au $1/80.000^e$. — La carte au $1/80.000^e$ 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 $1/80.000^e$ 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 $1/40.000^e$. — 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 $1/80.000^e$, qui sont trop chargées et à échelle trop restreinte. Le dépôt des cartes en plan au Ministère de la Guerre fournit aux services d'études, sur leur demande et à leurs frais, des calques de sa carte au $1/40.000^e$ 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 cote 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.

Etude sur le terrain.— Cette étude faite avec la carte au $1/40000^e$ (ou avec des cartes ordinaires mentionnant les cours d'eau en 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 zone 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 zones 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 levés 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 on a 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 $1/2000^e$, 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 2 m en 2 m en teintes 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 $1/2000^e$ 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 $1/10.000^e$ qui sera celui sur lequel doit être traduit le tracé définitif arrêté d'après les études de détail faites sur le plan coté au $1/2000^e$. Au cours de l'étude de détail, on doit en tous 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 $1/2000^e$, une étude détaillée du tracé en recherchant, par des approximations successives la meilleure répartition des pentes et 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 reconnaît 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.

Réport du tracé sur le terrain. — L'étude faite dans le bureau d'après les données traditionnelles sur le plan coté au $1/2000^e$ 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 sérieusement 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 éléments 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 en chemin, traversée des cours d'eau secondaires et des ruisseaux, passages à niveau, passages supérieurs et passages inférieurs.

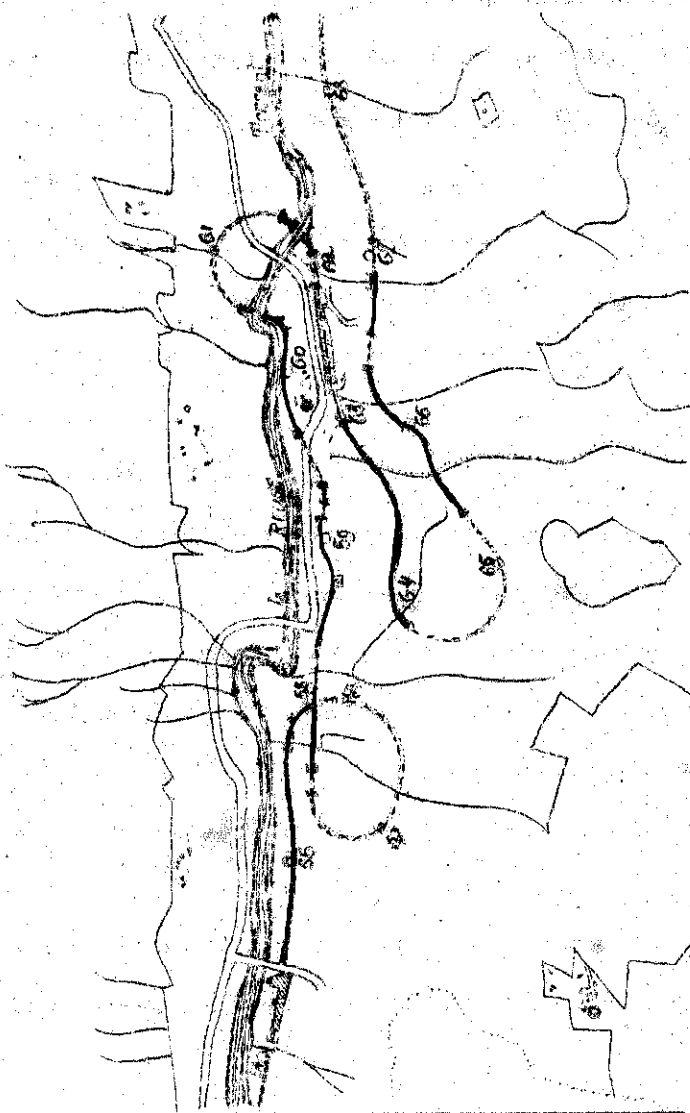
Dans un autre chapitre nous étudierons la construction même de ces ouvrages.

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 sens 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

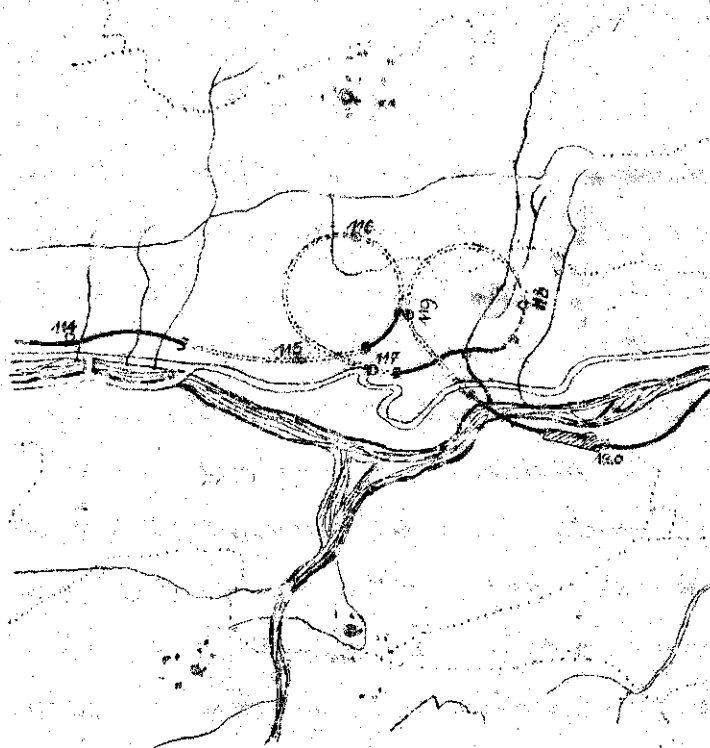
des cols ainsi ~~mais~~, il faut recourir à la traversée en souterrain en, dès lors, il n'est plus nécessaire de passer au droit des cols, mais de préférence sur les points où la montagne présentera la moindre épaisseur. On aura d'ailleurs souvent intérêt à s'écarter d'un col où le terrain n'est pas suffisamment consistant, en 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 traversée en, si on ne rencontre pas à la cote voulue un terrain très compact, il est préférable de modifier le tracé en de changer le niveau de la traversée du faite.

Il faut établir de préférence les souterrains en ligne droite, avec un profil en long qui rende facile l'évacuation des eaux, en 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 la cote en de souterrains en courbes ou en hélice, afin de gagner de la longueur en de ne pas dépasser les pentes limites qu'on s'en fixe. 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 en 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 ci-dessus, en particulier, en se passant du kilomètre 59 au kilomètre 67, en effectuant dans la vallée du torrent un double lacet franchissant deux fois la crête aux extrémités d'un tunnel en hélice en traversant en souterrain les divers contreforts en commençant sur d'autres points, par exemple au kilomètre 115 sur le versant italien, on a juxtaposé en presque superposés deux tunnels en hélice successifs.



Des tunnels hélicoïdaux de 400 mètres de rayon en rampe de 20 $\frac{m}{m}$ 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 toute à fait exceptionnelle, tant en raison du prix élevé de la

construction qui a cause des difficultés de la traction.

Traversee 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 et 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 et la plateforme, de manière à ce que le remblai puisse former d'écluser, 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 traverse 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 sur 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 traverser 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.

La encore, il faut, avant d'arrêter le tracé définitif faire des sondages pour reconnaître la nature du terrain et 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 dessus, par dessous 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 existants 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 en, 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 sensible 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, en même temps 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 jardinier 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, entre 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 train, les barrières à contrepoide 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, en 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.

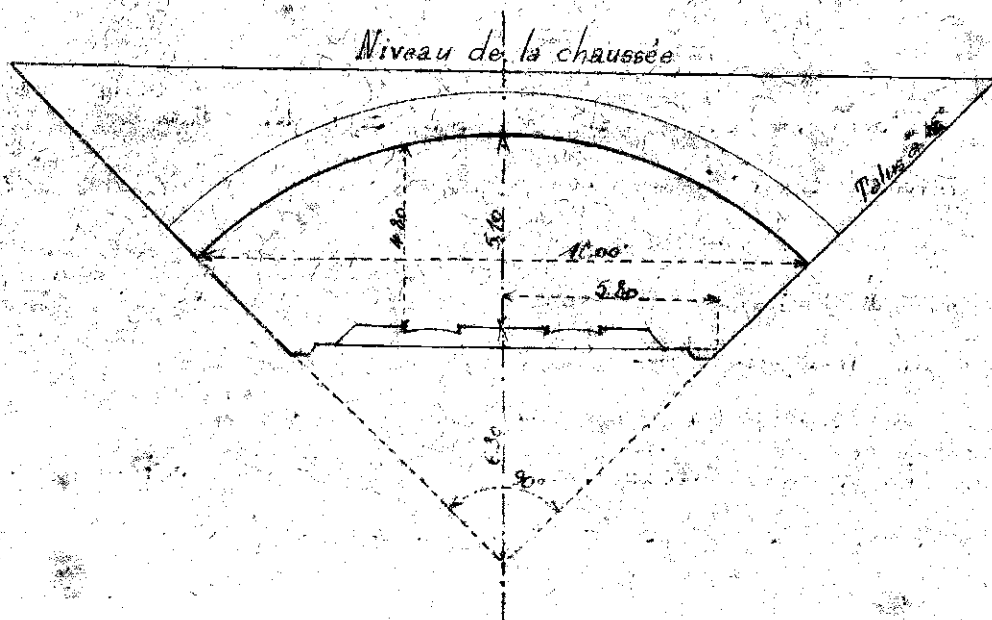
Sur le point de vue technique, les cahiers des charges exigent que le croisement à niveau de la voie de terre et de la voie de fer soit établi sans saillies, ni dépressions, qu'il ne soit pas effectué sous un angle inférieur à 45° , que les abords immédiats (sur 10 mètres de longueur comptés sur le chemin 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 routes 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 avaient 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.

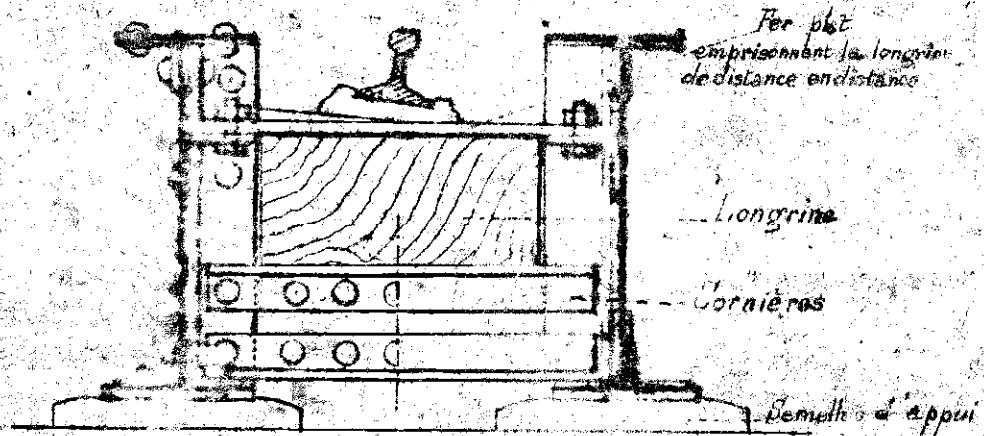
Aux termes des cahiers des charges, il faut en ces points laisser au-dessus du niveau des rails une hauteur libre de $4^m 80$. En tenant compte de l'épaisseur du tablier métallique du pont et de la chausmée, il faut donc disposer d'un minimum de $5^m 30$ entre le niveau de la route et celui du rail. Il faut même compter $5^m 50$ 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



profondeur dans le tube des tranchées, exige une hauteur de 6m. 60.

Ces chiffres sont à envisager, lorsqu'on arrête le profil en long de la ligne.

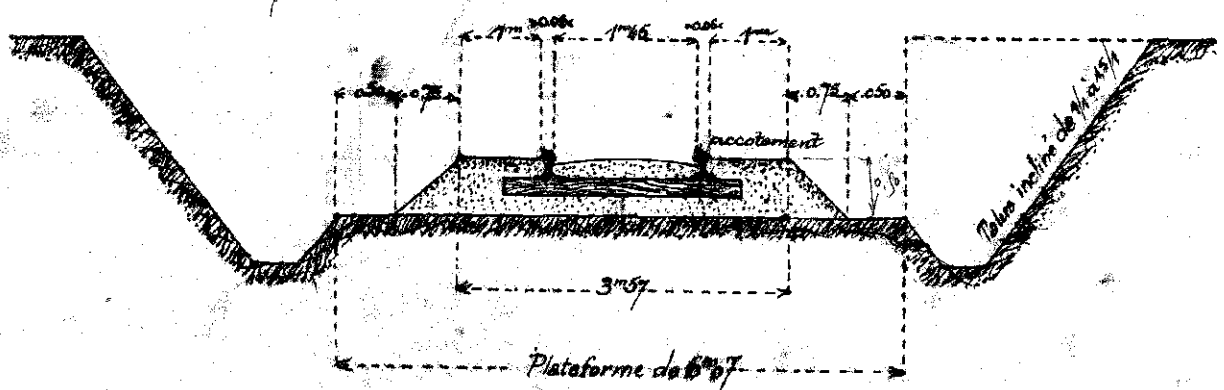
Envoies inférieurs. — Sur les points où la voie ferrée passe au contraire au dessous des routes, il faut compter sur une hauteur minima de 5 mètres entre le sol de la route et l'intrados à la clé, s'il s'agit d'un ouvrage en maçonnerie, ou d'une hauteur sous poutre droite de 4m. 30, s'il s'agit d'un 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 ou 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 profil de la plateforme, 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 1m44 à 1m45 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 en d'autre un fossé ou rigole indispensable pour assurer l'écoulement de la voie en l'écoulement des eaux en don 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 0 m 75 en plan (pour une hauteur de ballast de 0 m 50 avec talus de 3 de base pour 2 de hauteur).

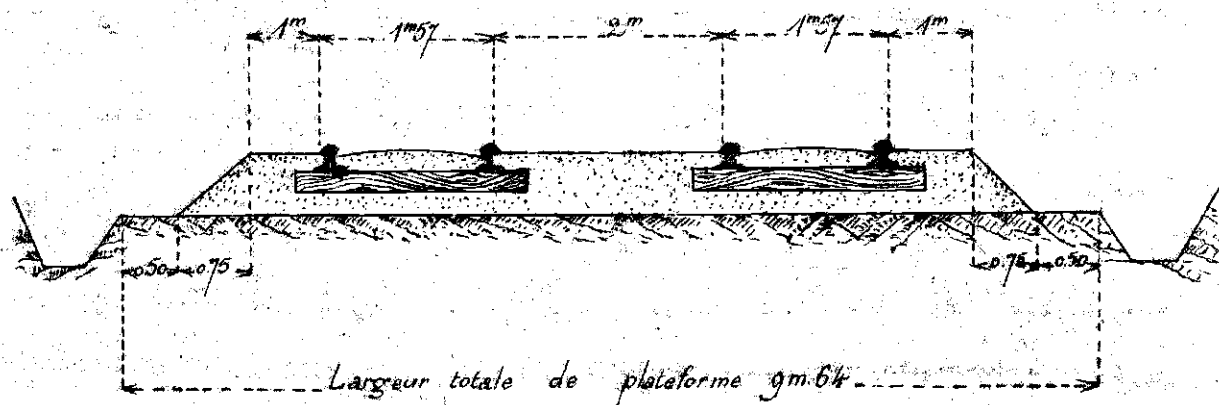
Pour une ligne à voie normale unique, la largeur totale de la plateforme comptée en dedans des fossés est donc de 6 m 07.

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 1 m 45 (2 x 0 75) ou 1 m 57.

Cela donne une largeur de plateforme de 9 m 64 mesurée



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

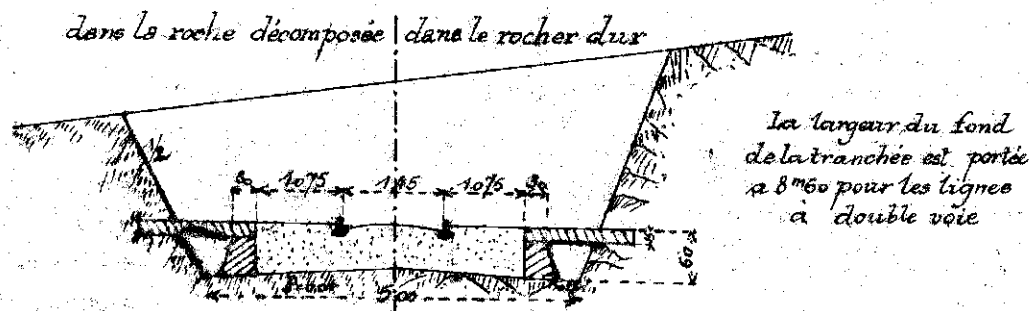
Ces deux éléments (largeur de plateforme 6m07 ou 9m64, suivant que la ligne comporte une ou deux voies) constituent comme nous l'avons dit, une partie commune à tous les profils en travers des lignes à voie normale. Mais le reste du profil (talus des remblais ou des tranchées) est essentiellement variable avec la nature des terres de remblais dont on dispose en 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 ou mêlées d'argile, il faut s'en tenir à une inclinaison de $1\frac{1}{4}$ à $1\frac{1}{2}$ pour 1 de hauteur, et on doit adopter sans hésiter $1\frac{1}{2}$ lorsque les terres sont de mauvaise qualité.

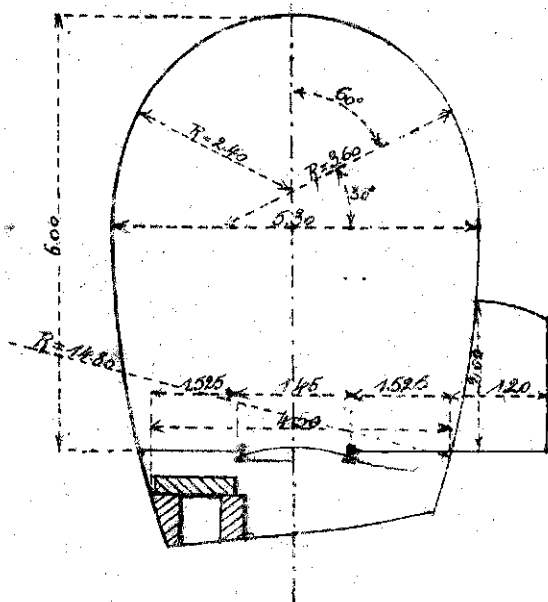
Dur les points où on traverse le rocher, on peut adopter des talus inclinés à 1 de base pour 2 de hauteur et même des parois presque verticales s'il s'agit de rochers durs. Dans ce cas, en cela présente le plus grand intérêt au

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 et en réduisant les dimensions du fossé. Ce fossé devient une simple rigole de 0m28 de largeur à la base et dont les parois sont formées à l'extérieur par le talus du rocher et à l'intérieur par une petite murette de 0m30 d'épaisseur en couronne qui affleure à la partie supérieure du ballast et maintient ce dernier. Cette murette est construite en maçonnerie sur 0m20 à partir de son couronnement et 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 et sur toute la longueur occupée par la dalle de recouvrement).

Souterrain à voie unique

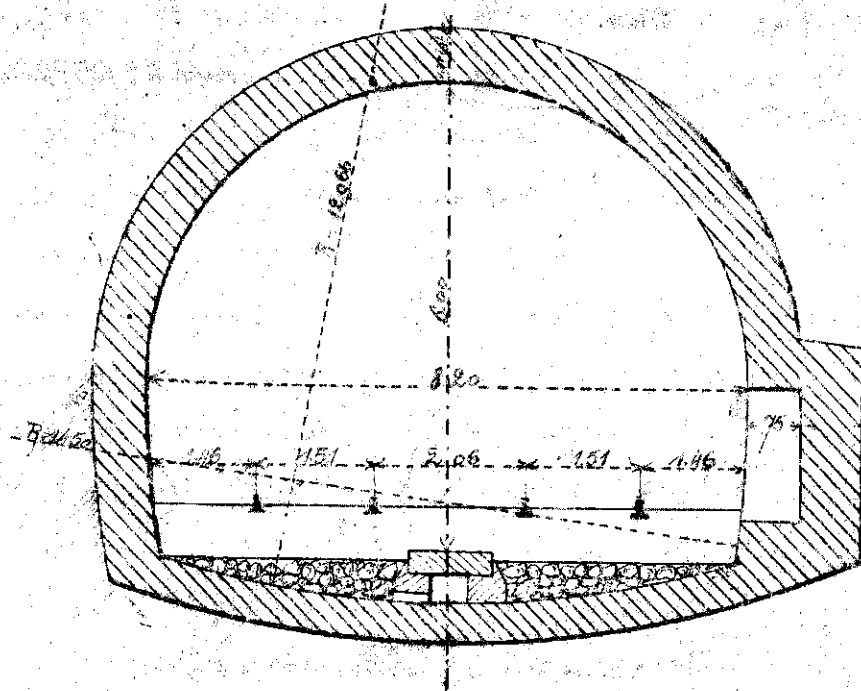


Dans les souterrains à voie unique, le profil type a une forme coque avec une largeur de 4m50 au niveau du ballast et une hauteur de 6 mètres entre l'intrados de la voûte et le niveau des rails. Un aqueduc longitudinal doit être établi pour assurer l'écoulement des eaux qui lui sont amenées par des pierres, 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 et de la largeur de la seconde voie, on compte ainsi 8,20 environ. L'aqueduc

Souterrain à double voie



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

adoucissements, fossés de crête, etc.

Cubature des terrassements. — On 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 en 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 en demi par kilomètre de ligne à voie unique, entre 1 hectare en 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 en aussi peu 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 en 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. En règle, en général, la durée des travaux de terrassement sur celle de la tranchée la plus considérable, en pour une 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 ou 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 m³ par jour de travail sur 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 ou 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

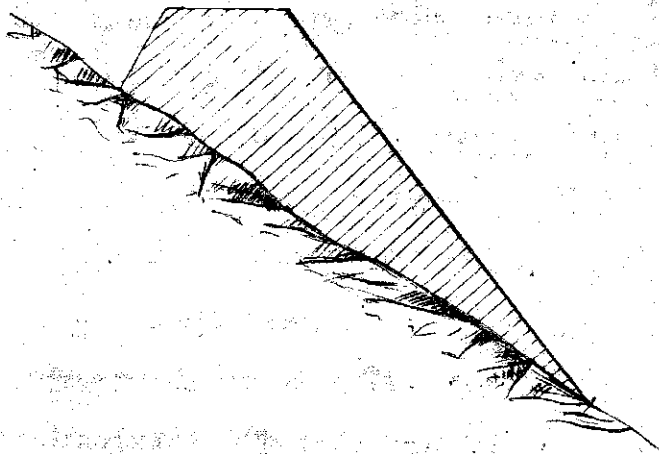
de profondeur, qu'on appelle une cunette en au fond de laquelle on établit une voie pour des wagonnets. On installe ensuite une équipe de terrassiers qui attaque à la pioche de part en d'autre, les flancs de cette cunette; c'est ce qu'on appelle battre au large. On descend ensuite successivement en par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

Dans un terrain de rocher, l'abatage étant moins rapide, les déblais à évacuer dans une unité de temps déterminée sont beaucoup moins importants en 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.

Règlement 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.

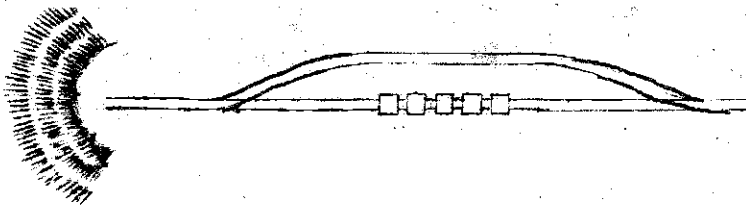
Le sol qui doit servir d'assiette aux remblais a souvent besoin d'une petite préparation: il faut enlever les bruyères en piocher un peu à la surface du sol pour qu'il fasse corps avec les terres rapportées. Si on rencontre à flanc de coteau des parties d'argile molle qui pourraient s'écraser sous le poids du remblai ou 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'aval ; le drain et les pierrées doivent être pourvus de radiers empêchant l'eau de détrempier le sol. Si ce

remède ne suffit pas, il faut augmenter l'emplacement du remblai.

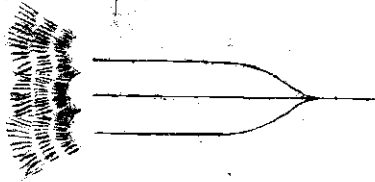
La décharge des terres sur les emplacements à remblayer se fait soit au lanceur en avancement, soit latéralement.



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 dégage. On détache le premier wagon, on y attèle un cheval, un lanceur, qui pousse au tron. 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 bon autour d'un axe hori-

horizontal perpendiculaire à la voie et laisse tomber la terre de déblai qu'il contient. Le wagon vide étant immédiatement retiré en gare sur la voie 2, on attèle le cheval lanceur au deuxième wagon, et ainsi de suite. Si 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 arête 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 en a à craindre pour les talus des tranchées.

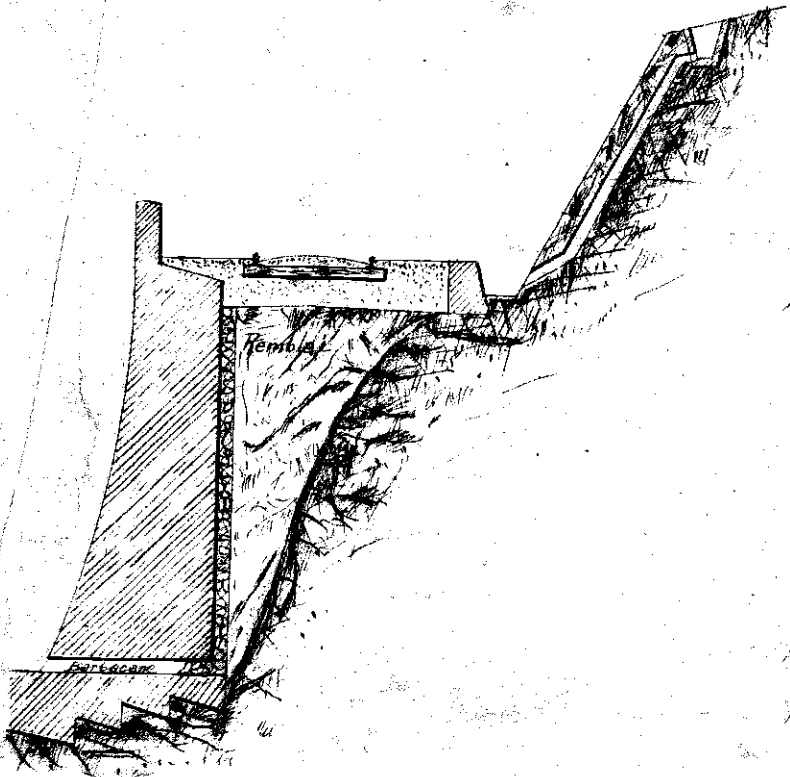
On donne en général aux remblais une surépaisseur de $1/10$ pour tenir compte du tassement et aussi un excédent de largeur de $1/10$ environ; on évite ainsi de procéder dans les années qui suivent, à des apports nouveaux de matériaux pour compenser l'affaissement qui se produit toujours.

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 en comportant de l'argile.

C'est l'action de l'eau qui provoque les mouvements des terrains argileux en 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.



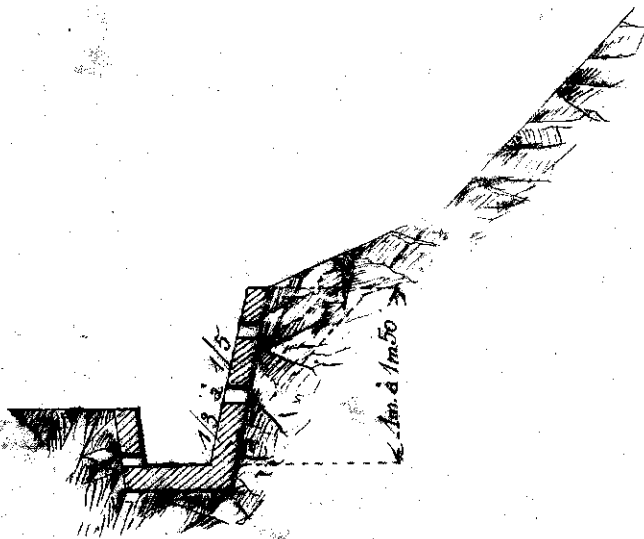
Ravinement. — Le ravinement se produit sous l'action des eaux pluviales qui dévalent de la crête du talus en provoquant à la longue la chute de parties argileuses plus ou moins considérables. On peut l'éviter en part. en arrêtant les eaux qui descendent du colcan par un fossé de crête

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 en de provoquer des éboulements plus considérables.

Il est préférable de recourir à l'emploi de revêtement 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'accommoder 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 un talus de $\frac{1}{3}$ à $\frac{1}{5}$, en provenance de barbacanes. Les terres qui s'éboulent par suite des ravissements s'accumulent sur la banquette ainsi formée et se garnissent rapidement de végétation parce qu'elles sont ameublées 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 soigneusement 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 qui recouvre une couche de terrain perméable. Les eaux de pluie pénètrent facilement dans ces derniers, en gagnant la couche supérieure imperméable du banc d'argile, qui se délaie, perd de sa cohésion et provoque des glissements du terrain supérieur.

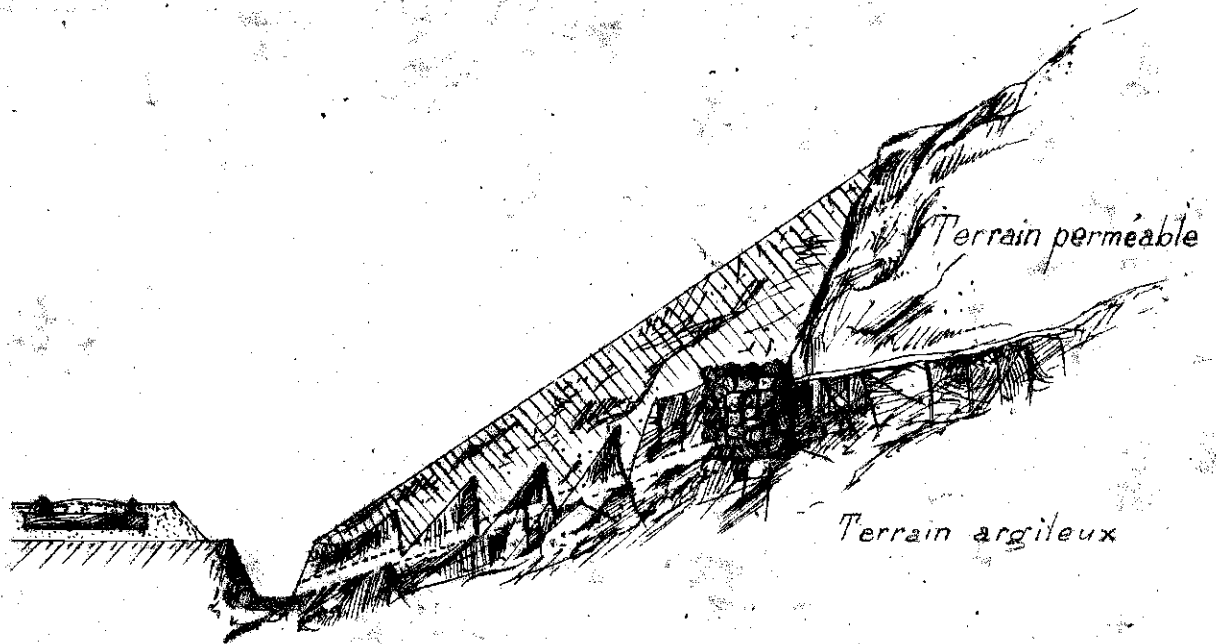
Pour y remédier, il faut assurer un écoulement rapide aux eaux qui traversent les terrains perméables.

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'amenée. 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 moellons 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

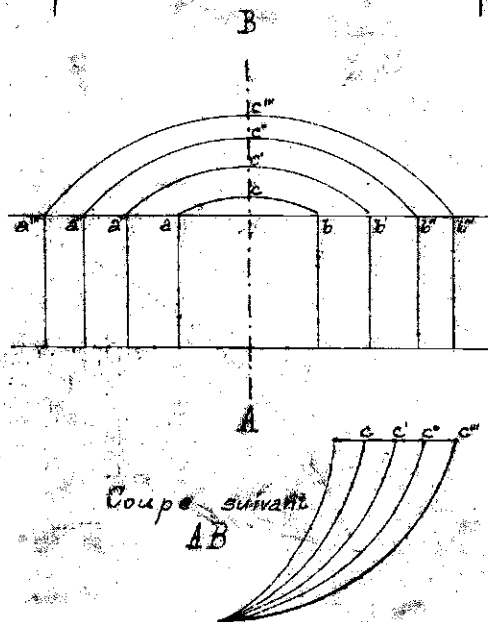
séparative bien marquée entre la couche perméable et les terrains argileux placés au-dessous, on peut employer le procédé de Bazilly, qui consiste à capter les eaux



de suintement, au moyen d'un drain établi sur la ligne séparative dont il vient d'être parlé et à recouvrir le parement argileux d'une couche de terre végétale avec inclinaison de $3/2$. Le drain est constitué par des briques à plan 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 moellons 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'im-
bibit 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 sur-
face de rupture qui présente habituellement la forme
d'un arc de cercle en coupe horizontale et une
forme cycloïdale dans un plan vertical perpendicu-
laire 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 simple-
ment aux revêtements qui mettent le talus à l'abri des
eaux extérieures. On peut aussi drainer toute la surfa-
ce du talus (procédé Ledru) au moyen de tuyaux de
3 centimètres de diamètre espacés de 2 à 3 mètres et
recouverts de pierrailles ou de gazon avec drains pro-
fonds 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.

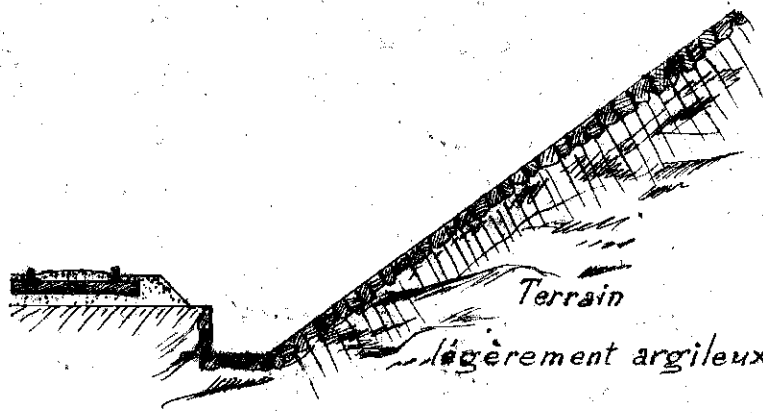
Mais l'imbibition gagne de proche en proche et peut atteindre de plus grandes profondeurs. Il est alors indispensable d'employer le système des éperons qui a une double action de soutènement et de drainage.

Les éperons sont des massifs artificiels pénétrant dans la profondeur du talus et qui sont constitués par des moellons bruts rangés à la main. On leur donne généralement 1 m. à 1 m.50 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 en peuvent à ce titre donner de bons résultats dans les parties des talus légèrement argileux qui sont ainsi préservées contre les actions de l'air et de l'eau. On les emploie également pour préserver de l'action de l'air les talus gélifs.



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 perrées toute la hauteur de la tranchée, mais on les exécute sur soûtes en laissant à nu la partie inférieure. Si la hauteur est trop grande, on soutient les soûtes 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, en cas d'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 réviser les fossés, afin d'en faciliter l'écoulement normal, d'empêcher le ravinement des pieds du talus par délayage de l'argile 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 barbicanes 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 ameublées 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 employés.

Dans les cas graves, les éperons peuvent rendre les mêmes services que dans les talus de déblai. 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.

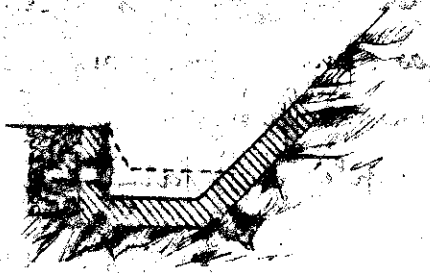
Assèchement de la plateforme. — Pour avoir de réelles garanties concernant la stabilité de la voie, il faut, avant de l'établir, être certain que toutes les mesures ont été prises pour assurer une bonne exécution et un complet assainissement de la plateforme.

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.

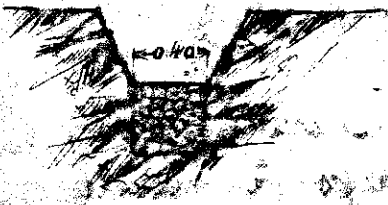
Si au contraire la plateforme est en déblai ou à niveau, il faut prendre des précautions spéciales, surtout si le sous-sol est argileux. Sous l'action de l'humidité, l'argile amollie n'offre plus assez de cohésion pour supporter la pression qui lui est transmise par le ballast : elle s'écroule, reflue 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 boudrées comme il conviendrait, mais finissent par reposer sur des motes 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.

Ainsi, importe-t-il d'assurer l'assèchement de

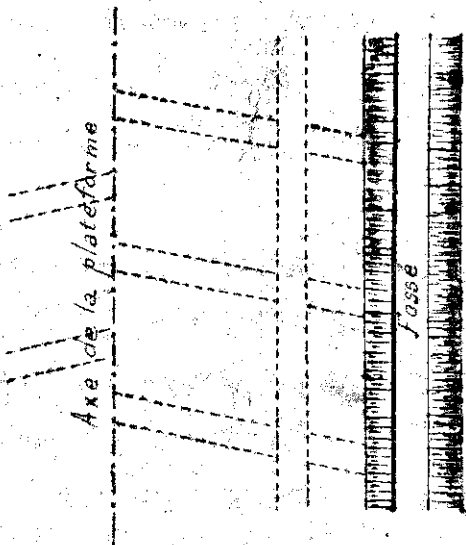
la plateforme lors de la construction même. A cet effet, en terrain argileux, on doit s'écarter du type normal de fossé de 0 m 30 de profondeur et adopter des fossés de 0 m 40 à 0 m 50 de profondeur avec revêtement en maçonnerie en barbicanes. Ainsi que l'indique le croquis, cet approfondissement peut 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 0 m 40 de largeur et de 0 m 50 à 0 m 60 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, on 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 0 m 30 à 0 m 40 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 et assèchent 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 complète, 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

- 64 -

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 compacte 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. Dans il s'agit, de véritables monolithes de forme homogène (à l'exclusion par conséquent

des redans établis à des hauteurs différentes en 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 en 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 assoir 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'en trouve 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 en 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'en 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 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 en 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 en 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 forcés, 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.

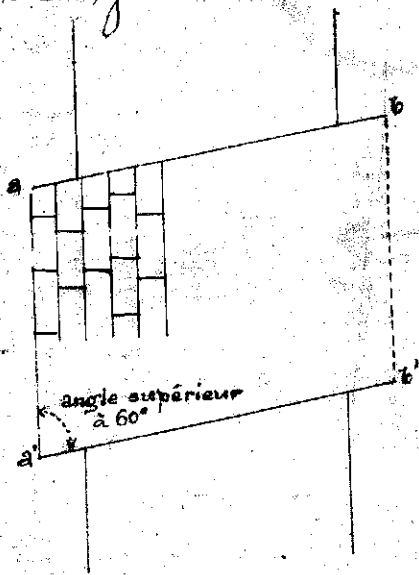
Le mieux est d'exécuter les maçonneries, y compris les parements, avec des matériaux puisés à proximité. Pour les fondations, comme pour le reste de l'ouvrage, les moellons et les briques bien cuites qui font facilement corps avec le mortier, conviennent très bien. Les parements sont exécutés en moellons 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 sous forme de moellons ténués, soit sous forme de moellons 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 moellons des parements ne forment pas coin — ce qui les prédisposerait à être chassés au dehors sous l'action de la pression intérieure des voûtes — en 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 moellon 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 peut plus qu'à transmettre les pressions et on en a droit de compter sur la résistance de la pierre elle-même.

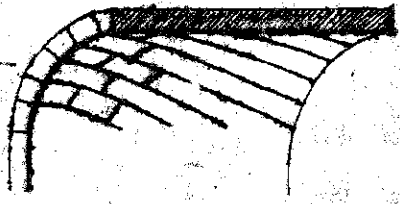
Pour les angles supérieurs à 60° les ponts biais peuvent être appareillés comme des ponts droits, c'est-à-dire en disposant les lignes de joint suivant les génératrices du cylindre de la voûte. Cette méthode a l'avantage de faciliter



la taille des moellons 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 sous-sols des deux têtes ab , $a'b'$ de la voûte n'ont pas des joints normaux aux plans des têtes ; il y a en con-

séquence 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 sorte de poussée au vide très défavorable pour la conservation de l'ouvrage. On a recours dans ce cas à l'appareillage en voûte bise, dans lequel

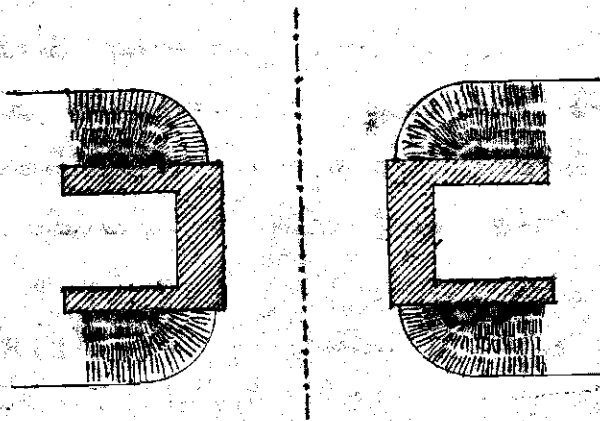


les joints sont conçus de façon à être à la fois normaux aux plans des têtes en normaux à l'intrados. Ces joints constituent alors des surfaces gauches dont la taille est plus difficile. Les traces des joints sur le cylindre d'intrados ont l'aspect indiqué sur le croquis ci-contre.

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 moellons 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 tiendra beaucoup mieux que les joints en mortier spécial qu'on pourrait rapporter ultérieurement.

Voûte en aile et murs en retour. — Nous avons dit précédemment qu'on emploierait 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 donne 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.

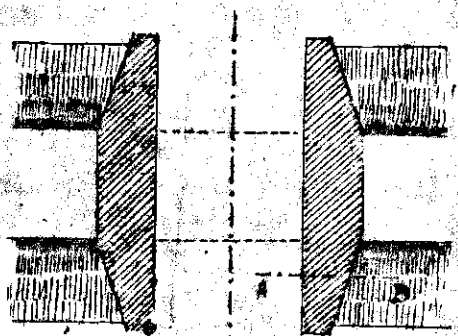
Les murs en retour ont été très fréquemment pratiqués autrefois. Ils sont caractérisés par l'existence de pans de murs en maçonnerie prolongeant les parements de la voûte jusqu'à l'épaisseur du remblai, lequel se termine en quart de cône épanouissant les murs de retour. Les quarts de cône avaient pour 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 sèche au droit des murs pousse peu, tandis que la terre emprisonnée entre les murs en retour ne se débarrasse 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 moellons qui ne donnent pas de poussée, le vide existant entre eux; ou encore transformer en puits 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.

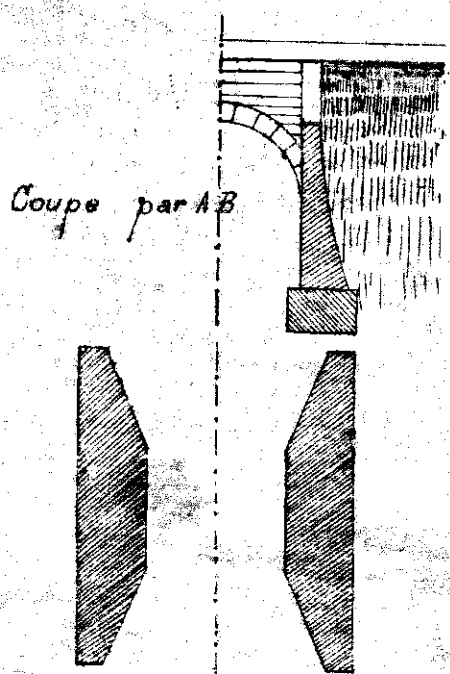
Les murs en aile sont au contraire des prolongements des pénétrations, donc



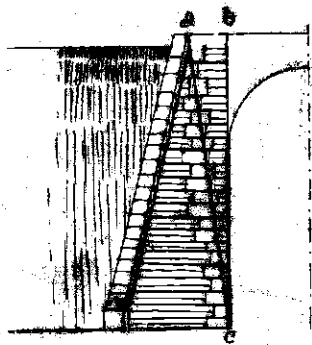
Coupe des culées d'un pont
avec murs en aile

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 donc ils équilibrent la poussée. Pour les rendre aptes à

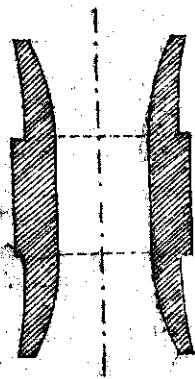
jouer ce rôle, on leur donne une section d'égale résistance comme cela se pratique pour les murs de soutènement.



Les parements intérieurs des murs en aile peuvent être parallèles à l'axe du pont, comme dans la figure ci-dessous; 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.

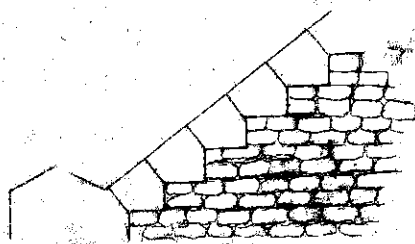


On donne parfois aux murs en aile un léger fruit dans la partie évasée ; cela complique la construction et l'aspect du triangle $a b c$ qui reste en parement à l'angle de la culée n'en pas très satisfaisant.

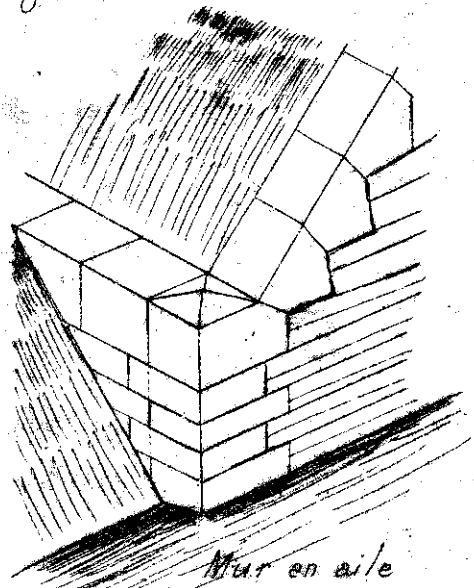


On donne actuellement, de préférence aux murs en aile, une forme évasée, obtenue en prolongeant la base de la culée par des arcs de cercle qui lui soient tangents. Cela permet de raccorder très facilement le mur en aile avec la culée.

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, aménagements des abords pour diriger les courants en évitant les remous ; précautions à prendre pour supprimer les chances d'assèchement.

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 sans l'ouvrage, faute de quoi il pourrait se produire à l'amont des remous entravant l'écoulement et 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 et les infléchir un peu avant l'ouvrage de manière à canaliser leurs eaux dans le courant.



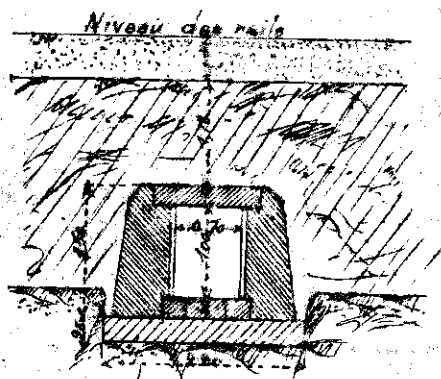
principal normalement à la ligne. A la sortie d'un aqueduc, il faut diriger les eaux de manière à les rendre inoffensives en, dans les cas où le remblai du chemin de fer vient barrer un thalweg, il faut prévoir pour les aqueducs des ruisseaux le débouché nécessaire pour l'écoulement de la masse d'eau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

Ces considérations générales faites, 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 en 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 en regard 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 curage. Les plus petits de ces ouvrages ne doivent donc pas avoir moins de 60 cm 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 consacrer au dessus de la voûte une épaisseur de terre d'au moins 20 à 30 centimètres pour former un matelas suffisant entre la chape de

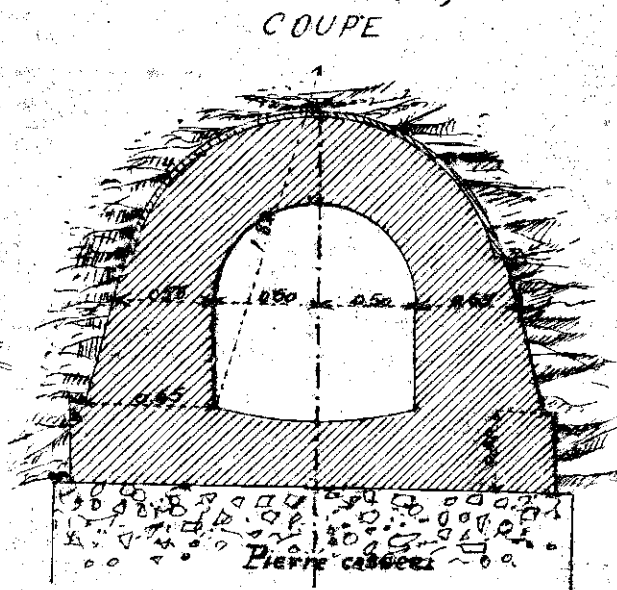
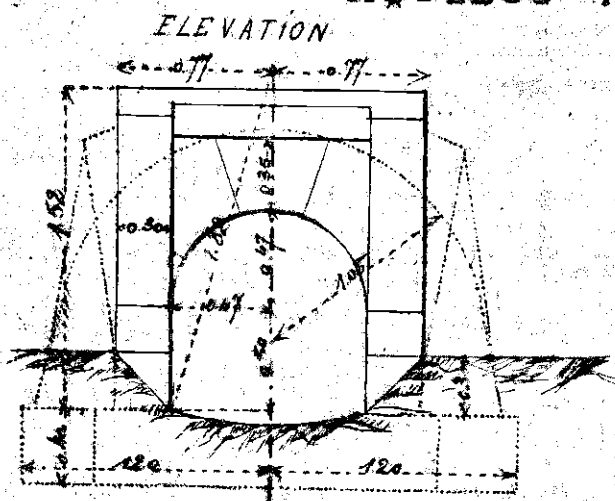


de la voûte en le dessous des traverses.

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 en comportant deux piédroits présentant une forme d'égale résistance recouvert de dalles d'une seule pièce, en réunis généralement par un radier afin d'éviter des affaiblissements 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

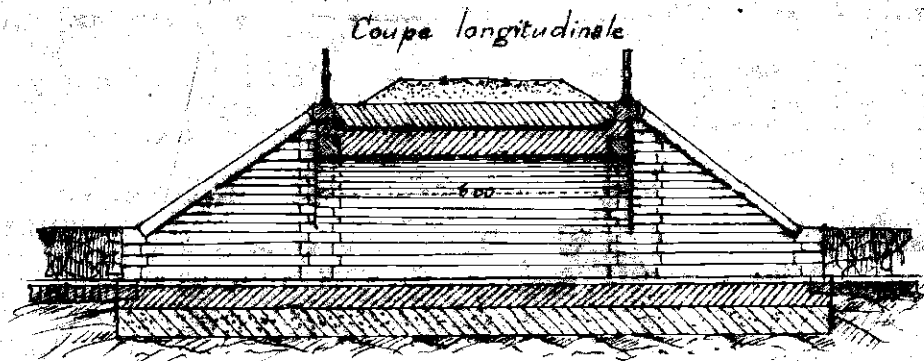
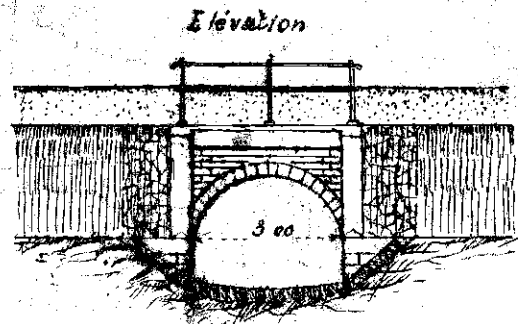
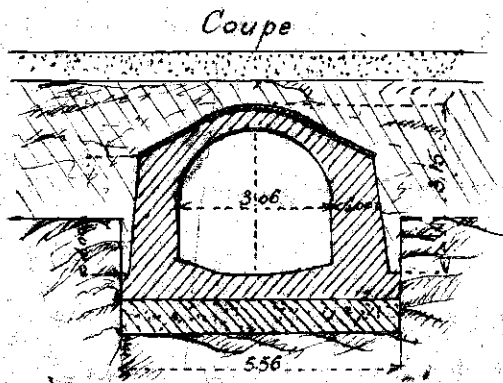
AQUEDUC VOÛTÉ (de 1m. d'ouverture)



bâti en plein cintre, en anse de panier ou en arc de cercle et 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 moellons d'appareil peuvent en effet dans bien des cas être taillés en

PONCEAU VOUTÉ (de 3 m. d'ouverture)



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

Dans les remblais élevés, il y a intérêt au point de vue de la résistance à adopter des aqueducs en plein centre 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 affonçable, sont généralement pourvus d'un mur de garde construit à l'avant du radier, en 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 et 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'en 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 sont 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

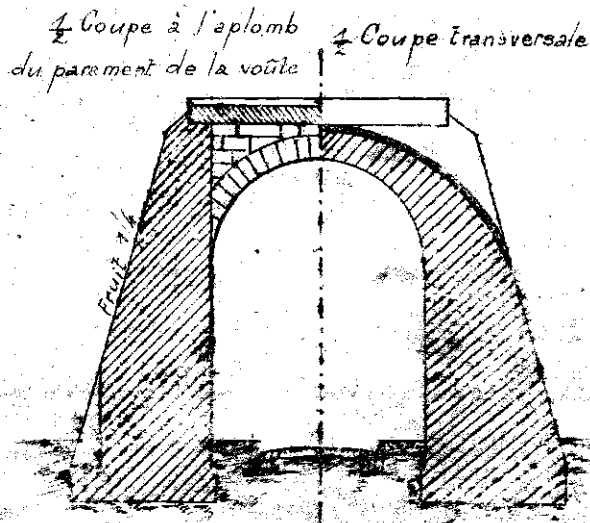
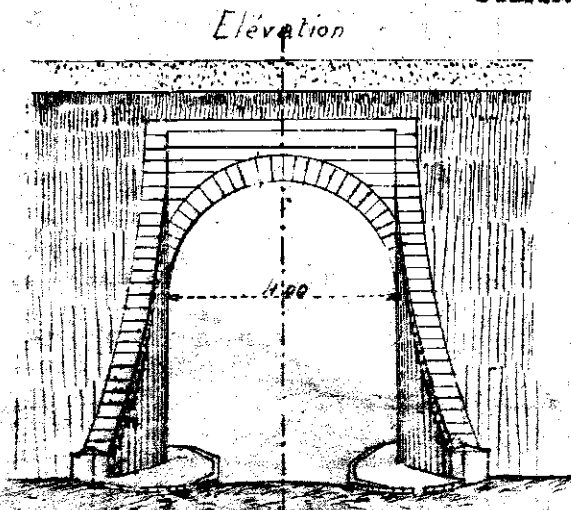
s'agit d'un passage inférieur ou d'un passage supérieur) doit être de 4 m 50 pour une ligne à voie normale ou de 8 mètres pour une ligne à double voie.

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 en 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.

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

PASSAGE INFÉRIEUR



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.

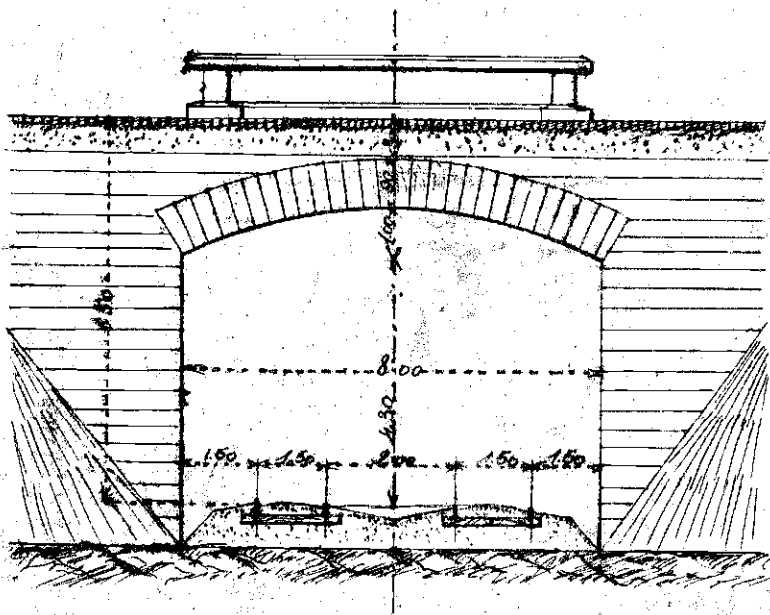
La hauteur libre de 5 mètres sous clef, imposée pour les ouvrages voûtés conduits, avec une épaisseur de maçonnerie de 60 centimètres à la clef et l'épaisseur de 10 centimètres de la chape de ciment, à une différence de niveau minimum de 6 m. 10 entre le champignon du rail et le sol de la route sous le pont. Si le remblai a plus de 6 m. 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 piliers en de la voûte en 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 pontre 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 pontres en caisson: on peut arriver ainsi à une différence de niveau de 4 m. 75 seulement, qui est le minimum minimum 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 ponts 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 4m 80 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 et même 6m 50 pour des lignes à double voie (en comptant une épaisseur de chaussée de 30 cent. seulement au-dessus de l'ouvrage).

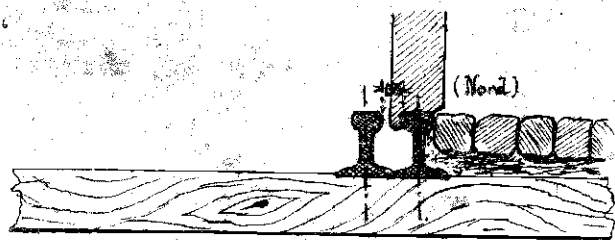
Avec une poutre métallique, on ne peut réduire dans les mêmes conditions la différence de cote à un chiffre inférieur à 5m 30 ou 5m 50. Qu'il s'agisse d'ailleurs de passages supérieurs ou de passages inférieurs on n'a recours à l'emploi des ponts métalliques que lorsque la hauteur fait défaut pour construire une voûte en maçonnerie, ou lorsqu'on veut se réserver la possibilité d'un élar-

gisement 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 circulation.

Passages à niveau. — Il 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

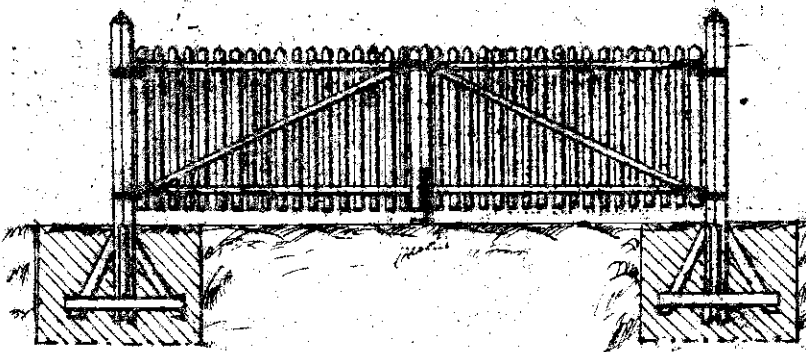
celui-ci une ornière de 5 à 7 centimètres dans laquelle passent les bandes des roues des wagons.

Sur le Nord français, l'ornièrre normale est de 55 m/m, ce qui laisse encore un jeu d'au moins 25 m/m dans l'ornièrre, puisque le boudin a, au maximum, 30 m/m d'épaisseur. On dispose entre les files de rails un passage ou un empièrrement 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 passage. Cet empièrrement 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 1 m 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 (portre 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

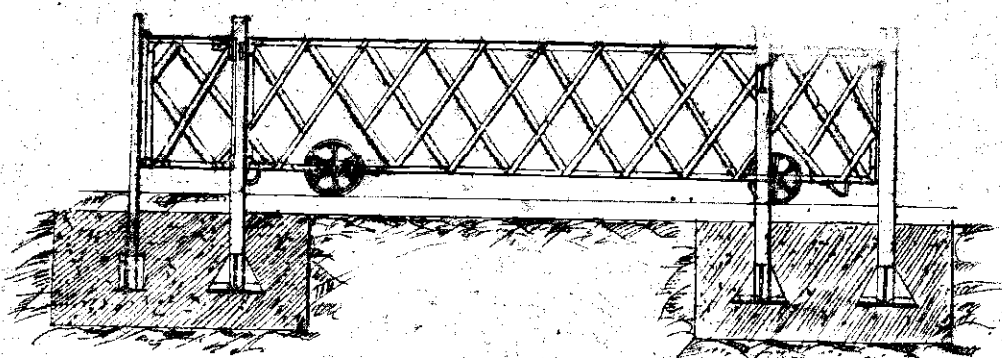


contreventé par une diagonale et supporté en porte à faux par un poteau au moyen de gonds. Les poteaux sont souvent constitués par deux

rails verticaux assemblés par des boulons en 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.

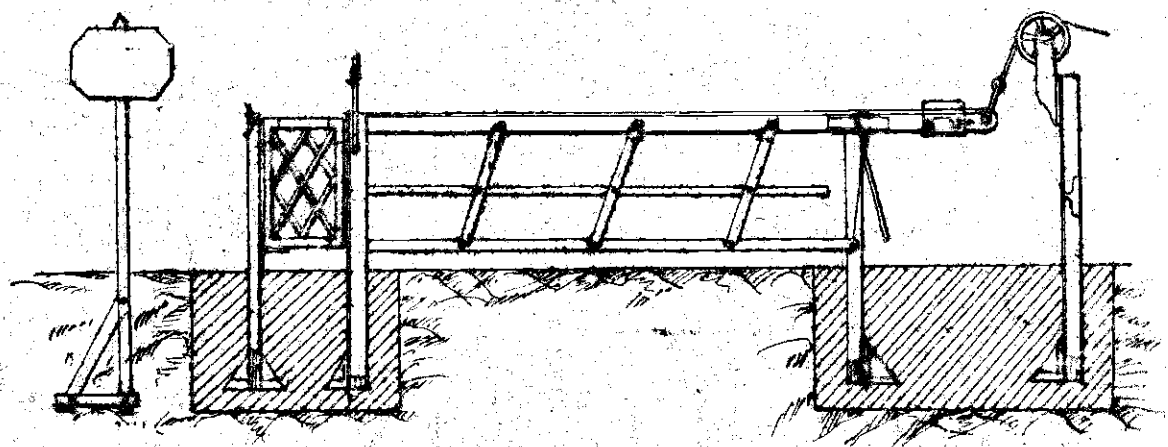
Barrières roulantes. — Lorsque les passages excèdent une largeur de 7 mètres, les barrières roulantes sont préférables aux barrières pivotantes en ont l'avantage de donner le minimum d'encombrement.

Les barrières roulantes sont constituées généralement par des pontes à treillis portées par des galets de 0 m 40 environ de diamètre en qui se dépla-



cent 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 en complète 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, sera, 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



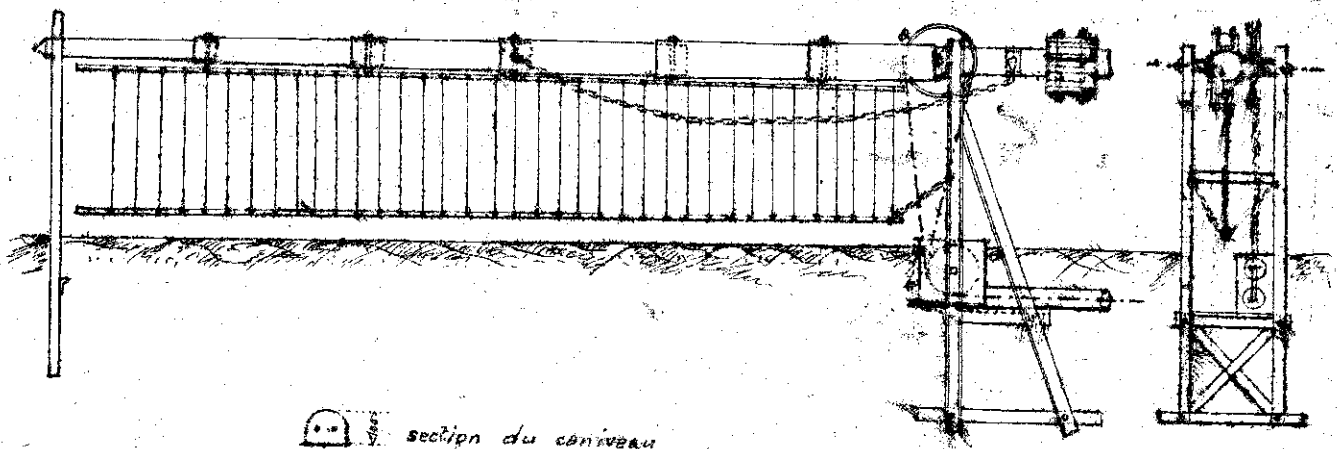
par une poutre solide, en bois ou en fer, à laquelle est suspendu un rideau sommaire en forme de parallélogramme articulé, qui reste déployé lorsque la barrière est fermée et qui se replie, au contraire le long de la poutre lorsque celle-ci est relevée verticalement. La poutre principale forme un fléau 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 en agissant 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 mm 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 contrepois 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 soisin 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-barrière. Elles sont constituées par une poutre creuse en tôle et à contrepois au dessous de laquelle des tiges métalliques verticales sont articulées à deux



section du contrepois

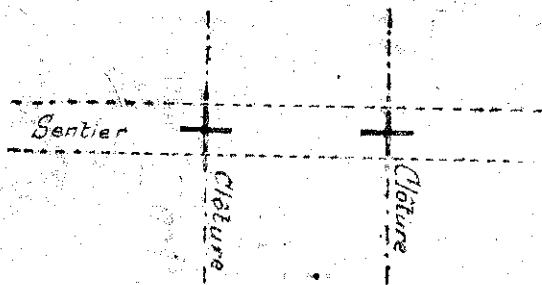
barres parallèles à la poutre pour former un filin métallique qui se replie de lui-même lorsque le fléau se relève. L'équilibrage est très sensible, de sorte que le garde-barrières, en agissant sur le contrepoids ou sur une chaîne lâche attachée au milieu du fléau manœuvre facilement non seulement cette 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 mm d'épaisseur et de 100 mm de hauteur, en qui entraîne une poulie à gorge venue de fonte avec l'axe de la poutre creuse de la barrière. La poutre creuse est constituée par des éléments de 1 m 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 en suite 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, en un arc 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 bêtes, comportant, dans chacune des clôtures, un simple portillon à chute libre, ou mieux, dans le but d'empê-

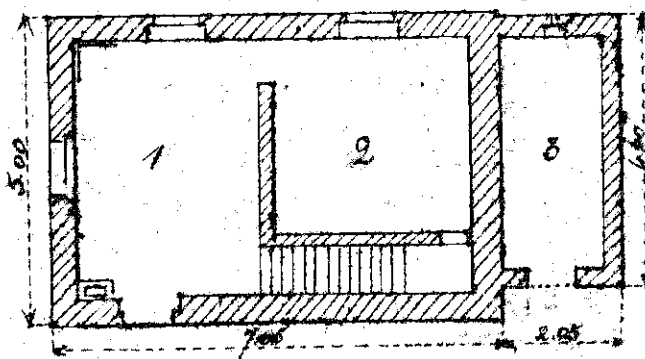
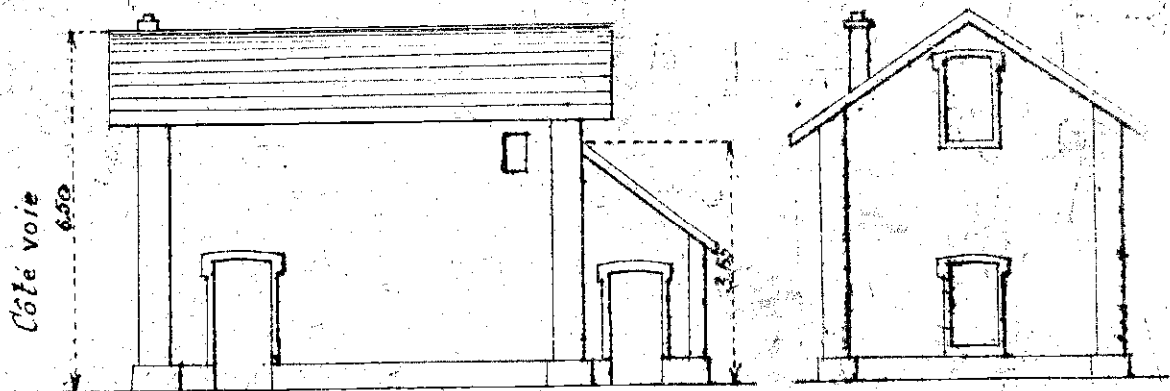


cher les bestiaux de passer, des tourniquets installés sommairement sur un petit poteau.

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 en qu'il faut 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 et, à l'étage, une pièce mansardée en un grenier. On s'efforce aujour-



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

d'hui de rendre ces logements plus conformes aux principes de l'hygiène et de la morale, en les transformant pour donner trois chambres, en déduisant de la salle commune, ce qui s'obtient en

pratiquant une surélévation sur les bâtiments 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 hûto et un petit cellier sont installés au voisinage immédiat.

Œuvres d'art exceptionnelles

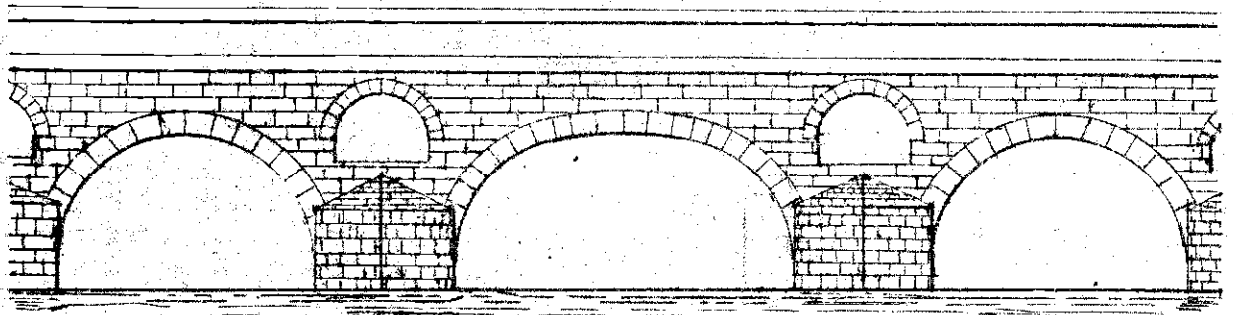
Dans la catégorie des œuvres d'art exceptionnelles, il faut comprendre : les ponts de très grande portée, les viaducs, les murs de soutènement de grande hauteur en arcades, en enfin les souterrains.

Dans vouloir entrer longuement dans la technique de ces œuvres, ce qui nous conduirait à de trop longs développements, nous les envisagerons sommairement, au point de vue des types généralement rencontrés, en des relations que chacun d'eux peut avoir avec les conditions générales du tracé.

Lorsqu'un pont de grande portée ou un viaduc est indispensable, il faut en faire l'objet d'une étude spéciale dans 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.

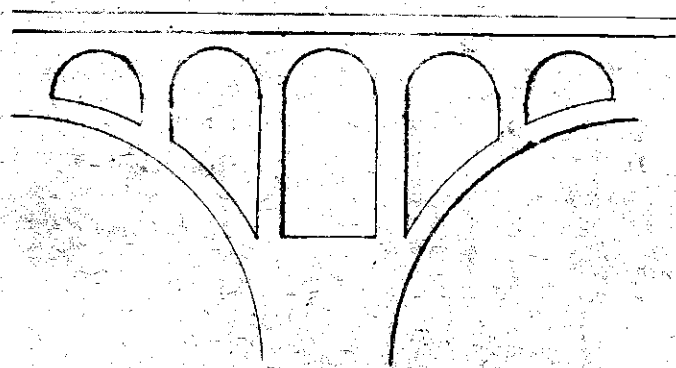
Les grands ponts, établis sur les rivières importantes, doivent répondre à certaines conditions, au point de vue de leur emplacement : il faut disposer d'un terrain solide pour la fondation des piles en culées ; il faut chercher d'autre part à franchir le cours d'eau dans une partie droite, dans le but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

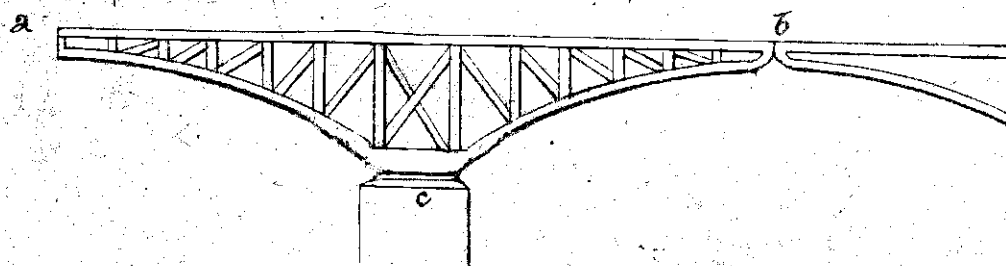


existence des eaux puisse provoquer un affaiblissement du fond. Les piles sont fréquemment pourvues d'avant-becs destinés à fendre le courant. Au-dessous des piles on construit

parfois de petites voûtes qui peuvent servir d'arches de décharge dans les grandes crues en qui on 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

verticales 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 en 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'empiètement à donner aux grands remblais en le coin 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 enrochement. Il faut d'ailleurs plutôt prolonger le viaduc plus loin que

la stricte économie l'exigerait en diminuer d'autant la hauteur 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 et en maçonnerie vers leurs extrémités.

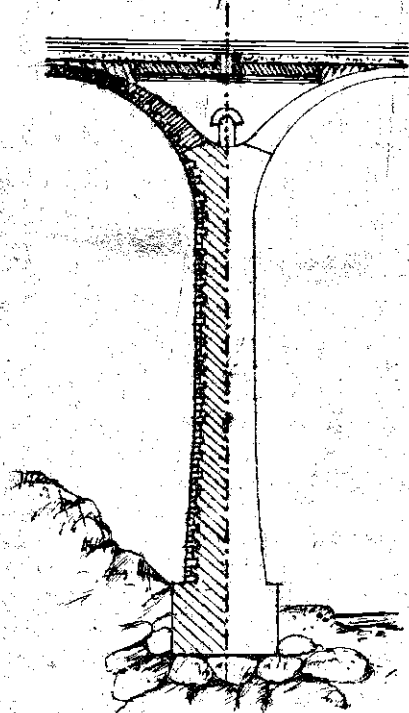
Dans les viaducs en maçonnerie, on observe le plus souvent le rapport architectural classique de $\frac{1}{2}$ entre l'ouverture d'une arche et la hauteur sous clef; mais il ne faut pas hésiter à sacrifier ce détail d'esthétique, s'il y a un réel avantage à régler autrement l'ouverture des arches soit 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 moellons têtus, 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 et les bandeaux. L'usage exclusif des moellons têtus a le double avantage d'être moins coûteux et d'offrir plus d'homogénéité dans

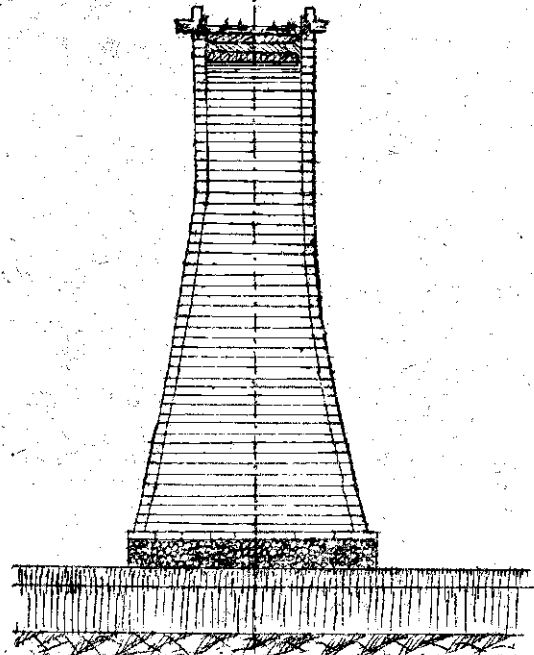
l'ouvrage en moins de chances de tassements différents en amplitude.

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

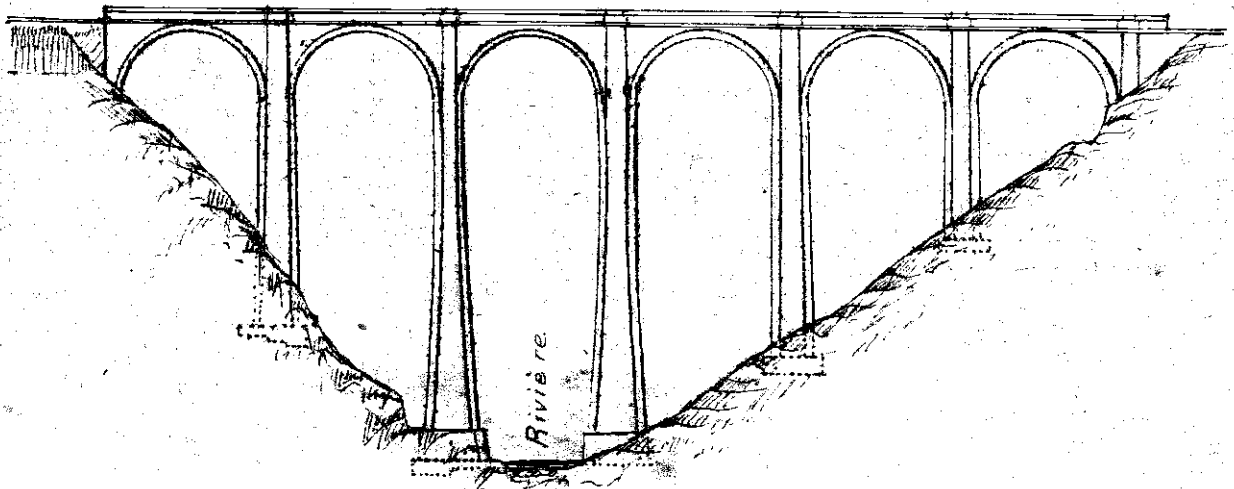
Coupe d'une pile de viaduc



Coupe sur l'axe de la voûte

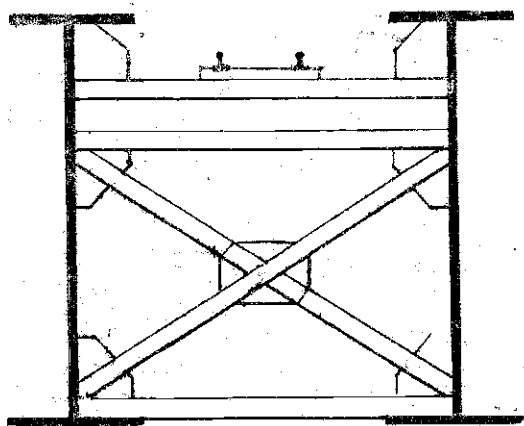


Élévation générale



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. Quoiqu'il en soit, il faut disposer le tablier métallique de manière à atténuer les conséquences possibles de déraillements, en, à cet effet, poser la



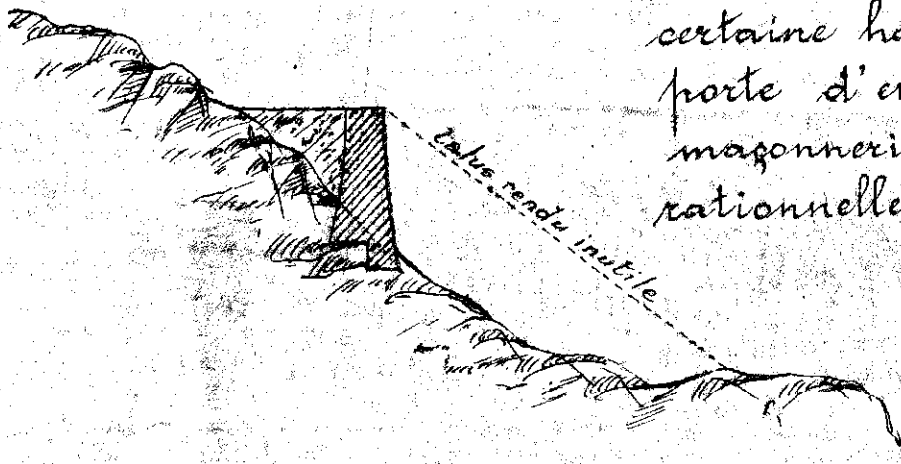
voie un peu en contrebas de la partie supérieure des poutres de rives. Et, dans le but de diminuer la hauteur des piles, on pose, au contraire, la voie au niveau supérieur des poutres principales,

il faut ajouter de solides garde-corps pouvant au besoin former chasse-roues (solution adoptée notamment au viaduc du Viar, 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^{re} lorsque les remblais sont de grande hauteur et que le prix du terrain est très élevé ; 2^{re} quand le pied du talus normal est susceptible d'atteindre un obstacle qu'on ne peut déplacer (maisons, cours d'eau, etc...) ; 3^{re} 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 en de lui



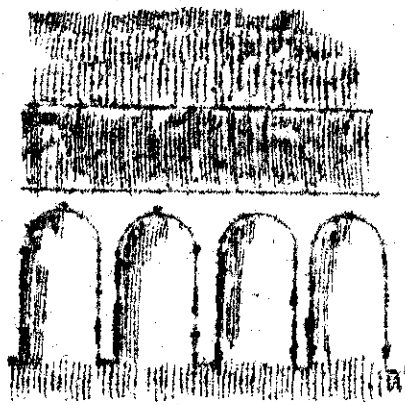
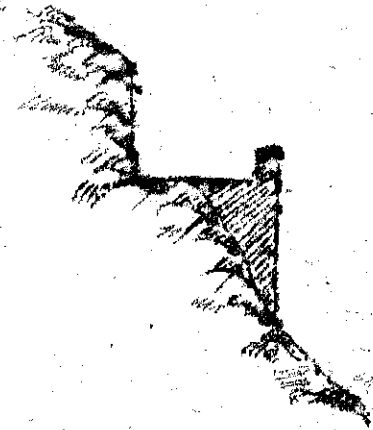
donner en différents points de sa hauteur des épaisseurs proportionnelles aux pressions supportées : il faut pour cela déterminer la courbe des pressions. On se trouve en général conduit à augmenter le foin extérieur et à le faire croître à mesure qu'on se rapproche de la base, tandis que le parement 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 foin.

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



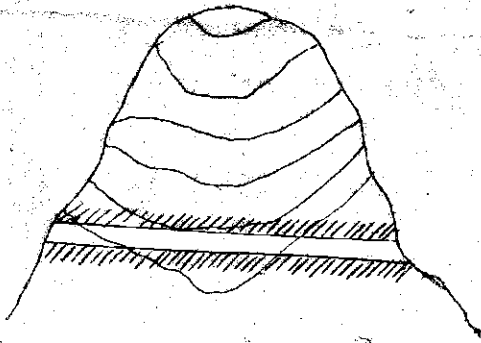
entame le terrain pour supporter l'autre moitié en déblai. On construit ces arcades très simplement avec des parements en maçonnerie

brute, ou en moellons hâchés. Les piles peuvent être très espacées, 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 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 signalant la nécessité d'une étude géologique préalable.

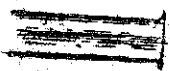




L'étude géologique a pour but de faire connaître la direction des couches de terrain d'après la forme de la stratification et d'étudier leur nature aux points où elles affleurent.

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



Profil



Vue en bout



Travail produit

du fleuret

mines ou fleurets qui frappent la roche en tournant d'un petit angle sur leur axe entre deux

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

enrayé au fond de chaque trou achève la désagrégation en chassant les fragments de roches.

Dans la perforatrice Brandt mise en œuvre plus récemment au tunnel de l'Älberg, 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 boucher les mines et les faire exploser.

L'exécution des maçonneries se fait en arrière et, dans les terrains susceptibles de s'écrouler, il faut dès lors faire un boitage 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'éclatage 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 en en faisant 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'Arberg, 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 entretoises par des traverses perpendiculaires aux rails. Les traverses reposent sur une couche de ballast en supportant 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 (6 à 8 tonnes 500), peut dans certains cas défavorables atteindre en 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'effort 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 l'axe 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 du l'axe et de ceux produits par le ballotement 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 ballotement dont nous avons parlé ci-dessus.

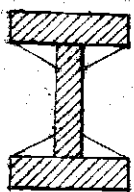
Quoi qu'il en soit, il résulte des expériences de M. Brière (alors Ingénieur en Chef de la Cie d'Orléans) que les efforts transversaux doivent atteindre et dépasser fréquemment 1500 Kilogs pour une même roue.

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 et 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.

Dans 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.

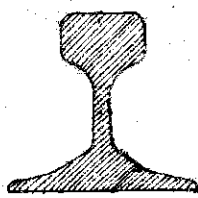
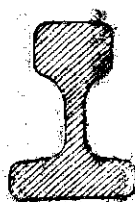
Dans l'action des efforts transversaux considérés isolément, le rail travaille également à la flexion dans le sens transversal, en même temps qu'à la torsion, puisque les efforts sont appliqués à la partie supérieure, tandis que la résistance des appuis s'exerce à la partie inférieure.



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. — On lui sont dérivées, dès l'origine du chemin de fer, les deux formes principales utili-

sont presque exclusivement aujourd'hui en qu'on



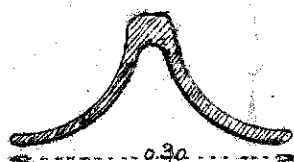
Rail à patin dit

Rail Vignole

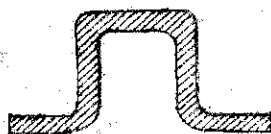
Rail à double — Rail à double champignon
champignon symétrique — dissymétrique

designer pour 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 et



Rail Barlow



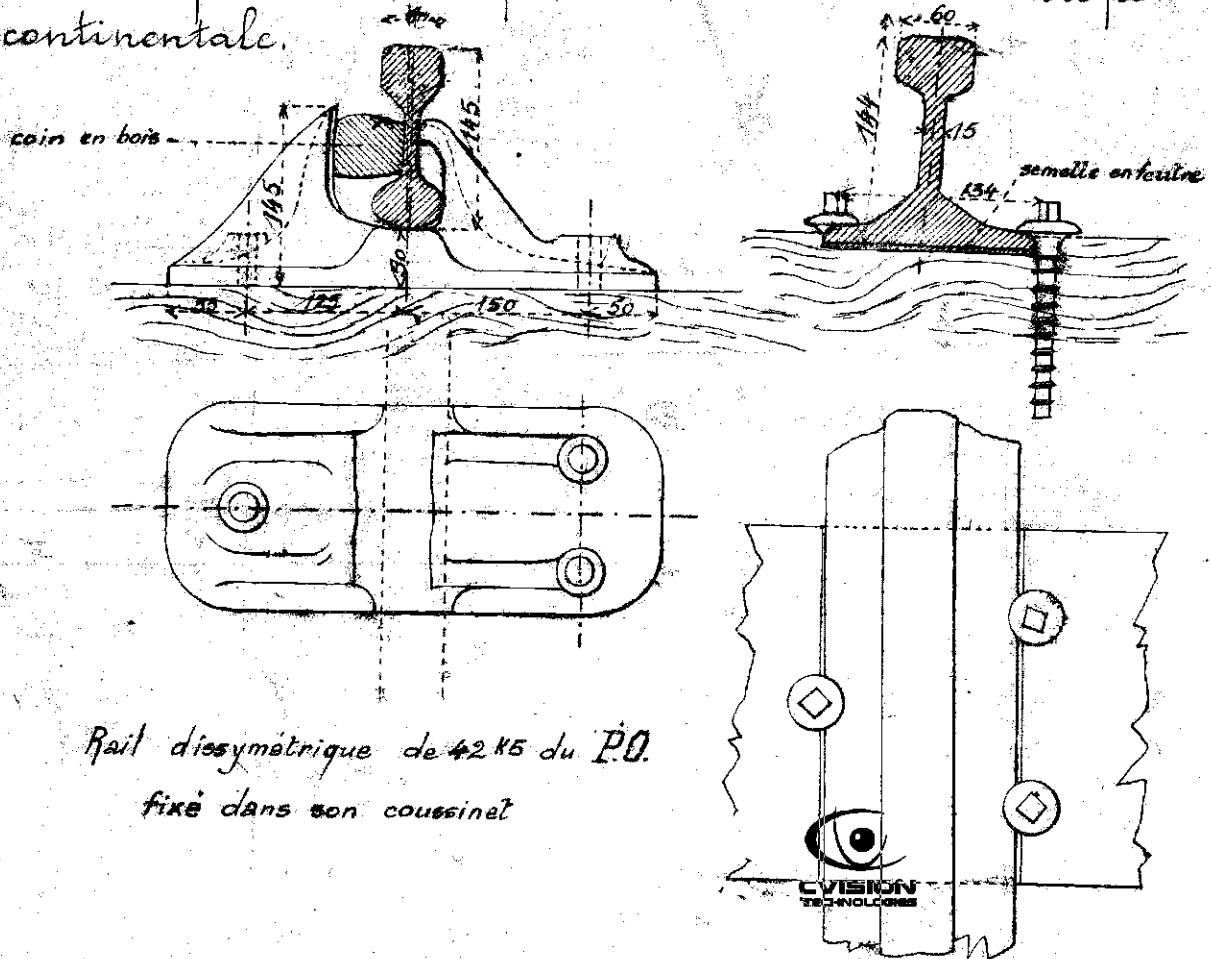
Rail Brunel

à reposer directement sur le ballast, en 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.

Comme nous l'avons dit plus haut, le rail

à double champignon en 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, Oues, L.O., en 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

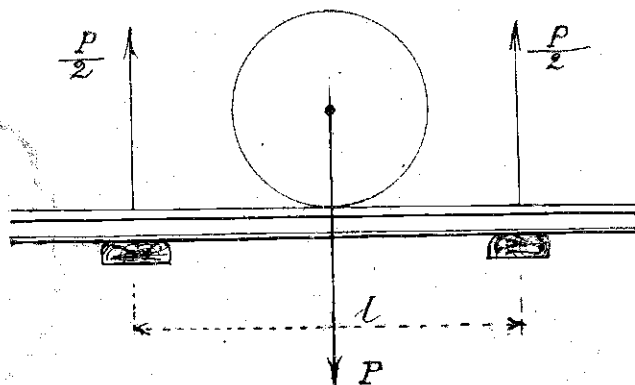
Le rail à double champignon est posé incliné au $\frac{1}{20}$ dans des mâchoires ou coussinets, donne un large patin inférieur horizontal et fixé aux traverses par deux ou trois crampons ou tirefonds.

Le rail à patin repose presque toujours

directement, ou par l'intermédiaire d'une simple semelle de fentre ou de bois tendre sur la partie supérieure de la traverse, dans une entaille de faible profondeur à inclinaison de $1/20^\circ$.

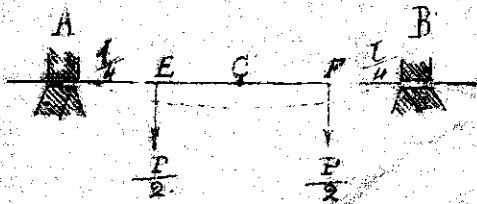
Comme nous l'avons vu, cette inclinaison de $1/20^\circ$ (vers l'intérieur de la voie) donnée au rail est une conséquence de la conicité des bandages des roues pour permettre le roulement sur une bande d'une certaine largeur et non sur une arête.

Calcul de la résistance du rail. — Chaque rail repose sur un certain nombre de traverses (espacées en moyenne de 0 m. 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 en 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 en tous se passe comme si la charge P se décomposait en deux forces $\frac{P}{2}$ appliquées respectivement

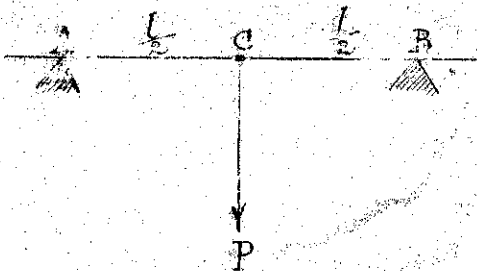
en E et F, à une distance de chacun des points d'appui égale au $\frac{1}{4}$ de la longueur de la poutre. Pour la section d'encastrement, le moment fléchissant (abstraction faite du poids du rail) en sera égal à : $\frac{P}{2} \times \frac{l}{4} = 0.125 Pl$.

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, en V la distance de la fibre la plus tendue à cet axe, le moment résistant en sera égal à : $\frac{RI}{V}$, en 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 en maximum pour la section C en sera 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 adopter 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 $\frac{I}{V}$ en par suite la section en les dimensions du rail.

Le tableau ci dessous donne les dimensions, poids par mètre courant, moments 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.

Designation des Compagnies	Type des rails	Poids par mètre courant	Dimensions en millimètres *				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 $\frac{I}{V}$
			a	b	e	h				
Est	Vign.	44 ^k 2	60	130	13.5	141	12 et 18	0.005704	0.000044733	0.000216
Etan	discoy	40 ^k	60	70	16	143	11,16 et 22	0.005065	0.000019599	0.000164
Ouest-Etan	.d.	44 ^k	62	62	13	140	12	0.005364	0.000012635	0.000169
Stidi	dch.	57 ^k 5	61	61	16	134	11 et 550	0.004387	0.000009966	0.000143
Nord	Vign.	45 ^k 25	60	136	13	144	12 et 18	0.005497	0.000015861	0.000205
S.E.R.	.d.	47 ^k 4	66	130	16	142	d'	0.006028	0.000015355	0.000223
L.O.	discoy	42 ^k 5	60	60	13	145	11	0.005356	0.000012216	0.000153
Sondond	discoy	42 ^k 65	69.9	70	21	140	9.15 à 32	>	>	>
Pennsylvania	Vign.	50 ^k 6	71.4	134.7	13.9	140	12.20	>	>	>
Grusse (Etat)	.d.	45 ^k 45	72	110	13	133	12 et 13	>	>	>
Etat Belge (Gaiath)	.d.	43 ^k 7	72	135	17	145	6 et 9	0.006756	0.000013007	0.000244

* 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 pèchait par manque de liaison et les rails périssaient presque toujours, avant usage complet : il se produisait, par écaillage du champignon à l'intérieur de la voie, une descendance de cette partie qui se détachait en lamelles. C'est alors qu'on imagina de faire des rails tous 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 pouvaient 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 bien au choc, soit à la compression, à des charges doubles de celles que le fer pouvait supporter, on abandonna le fer, on en 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. — Donc 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 $\frac{1}{1000}^e$; on obtient les meilleurs résultats dans celles des usines où on pratique la déphosphoration par le procédé Bessemer basique. L'excès de soufre n'est guère à redouter, car il rendrait l'acier roussin en improprie 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 $\frac{12}{1000}^e$ et le silicium dans la proportion de 8 à $\frac{15}{1000}^e$ ont pour effet d'augmenter la ductilité de l'acier. Le manganèse ne doit pas dépasser la proportion de $\frac{1}{100}^e$, faute de quoi il faciliterait la trempe en rendant le métal fragile. Au-dessous de $\frac{1}{100}^e$ 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 des rails 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 Kilogs. 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 Kilogs 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, et 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 mines, 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'appuis 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, en une pression de 40 à 60 tonnes sans prendre une flèche supérieure à 20 millimètres.

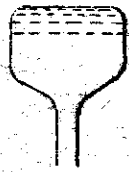
b. — Epreuves statiques à la rupture: on augmente la charge jusqu'à la rupture qui ne doit pas avoir lieu avant une charge minimum fixée.

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 1m.20 à 1m.5, 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 ressort 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.



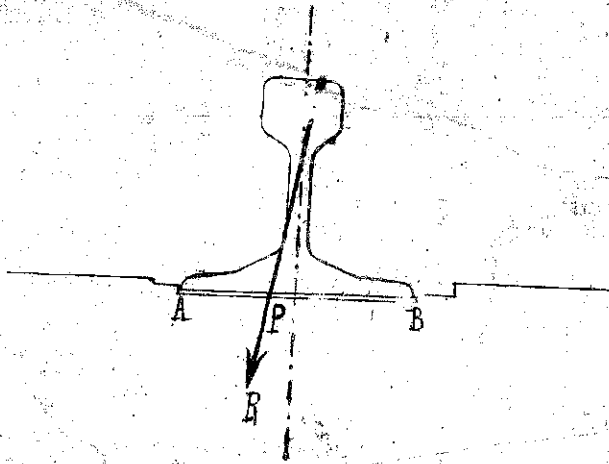
La durée des rails en acier est considérée comme devant être 5 à 10 fois plus grande que celle des rails en fer. Ils ne subissent qu'une usure régulière, sans exfoliation en il est à supposer que les rails renforcés en acier, les plus récemment installés n'auront pas avant une centaine d'années une usure suffisante pour que le remplacement devienne nécessaire. On a, en effet, évalué à une réduction de $1 \frac{m}{m}$ 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 ~ ~ en le rail à double champignon ~

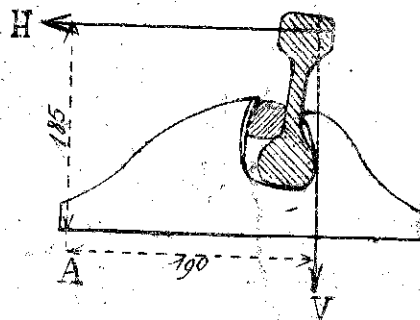
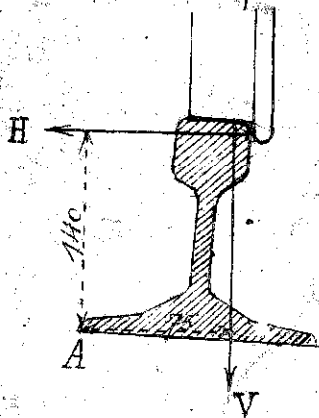
Avec l'emploi de l'acier, l'abandon du retournement du rail a fait disparaître l'un des plus sérieux avantages du rail à double champignon sur le rail Vignole. Encore est-il bon d'ajouter que le retournement n'avait pas pour résultat de doubler la durée : en effet, pour un certain nombre de rails, le champignon supérieur trop usé en 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 en 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'aurait pas à compenser l'économie de prix de revient que l'absence de coussinets conférerait au rail Vignole.

On pourra 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 :

$$V \times 75 \geq H \times 140$$

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

ou que $V \geq 2.600^k$ si $H = 1400^k$.

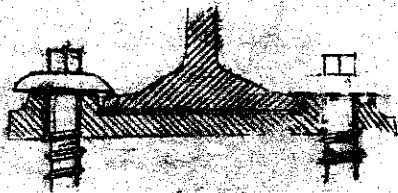
Dans le cas du rail à coussinets, il suffirait d'avoir :

$$V \times 190 \geq H \times 185$$

ou $\frac{V}{H} \geq 0,97$

ou que $V \geq 1360^k$ 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 en rendant solidaires les 3 tirefonds.

Enfin, l'emploi du coin pour les rails à double champignon a l'incon-

vénienn 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 en les enfonçant 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, à ce 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.

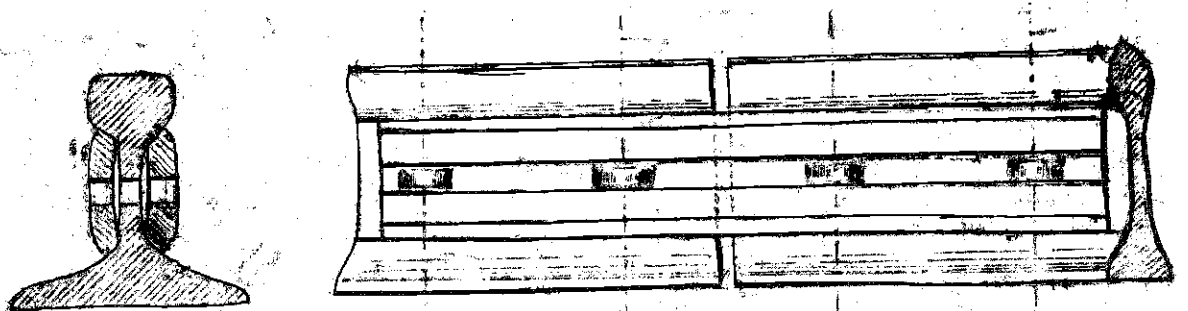
Les conclusions du Congrès international des Chemins de fer, de 1889, avaient été les suivantes :
« L'Assemblée estime que les voies à coussinets en
« les voies Vignole fortement constituées offrent toute
« garantie au point de vue de la sécurité de
« l'exploitation. Toutefois, la voie lourde à coussinets, 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 en amélioré dans son mode d'attache pour rester adapté aux conditions nouvelles d'exploitation en aux vitesses supérieures exigées par le progrès, en l'exemple des réseaux du Nord, de l'Est et du G. L. M., montre clairement que la voie Vignole avec rails en acier renforcés à large patin offre toute sécurité, même aux grandes vitesses.

Éclisses. — 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 en au dessous du champignon supérieur, de manière à ne pas être heurtées par les roues des véhicules des trains.

Les surfaces d'appui n'intéressent 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

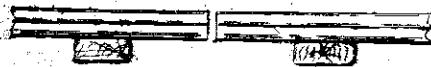
maintenues deux à deux par 4 boulons dans la tête à chapeau de gendarme en maintenue dans une rainure longitudinale qui leur interdit tout mouvement de rotation, une fois le serrage de l'écrou effectué.

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 balais 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 réalisés dans lesquels un ergon vient immobiliser le boulon, pendant et après le serrage de l'écrou.



joint appuyé



joint en porte-à-faux

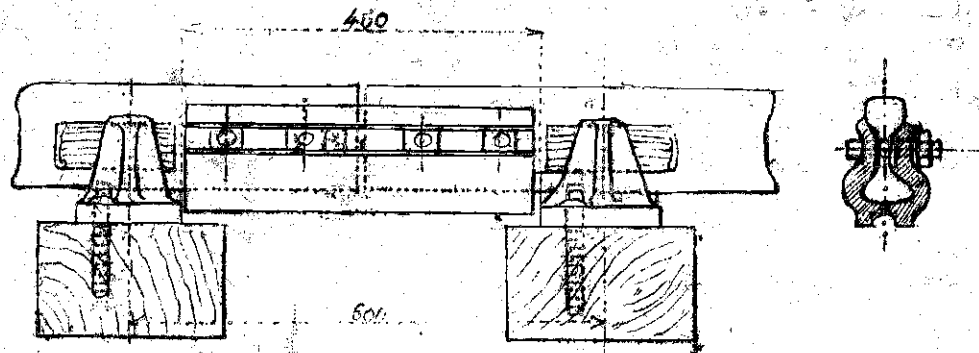
L'emploi des éclisses a permis de substituer aux joints appuyés qu'on pratiquait autrefois exclusivement, le joint en porte-à-faux, placé en un point quelconque entre

deux traverses en 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 en 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

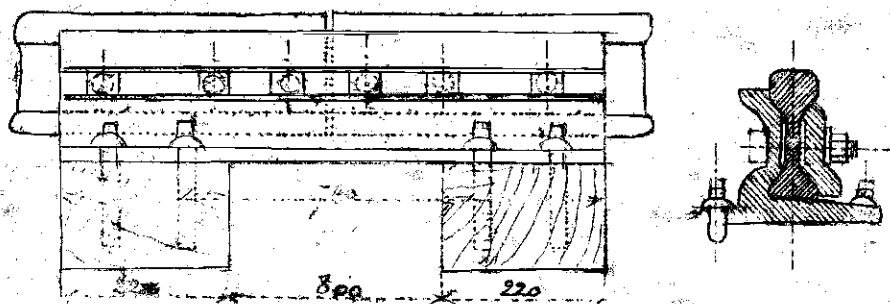
faire également des éclisses renforcées.



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.

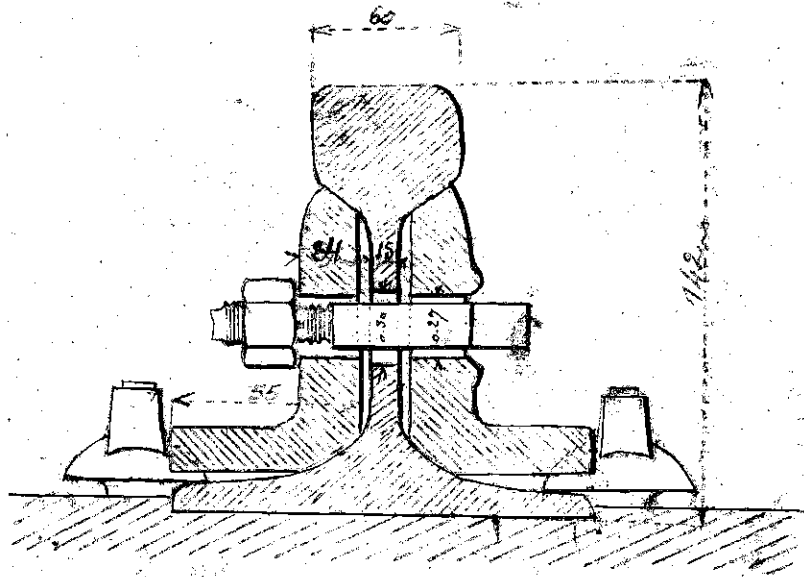
L'accroissement de la hauteur procure une augmentation du moment d'inertie de l'éclisse, en par suite une diminution du travail par unité de section.

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



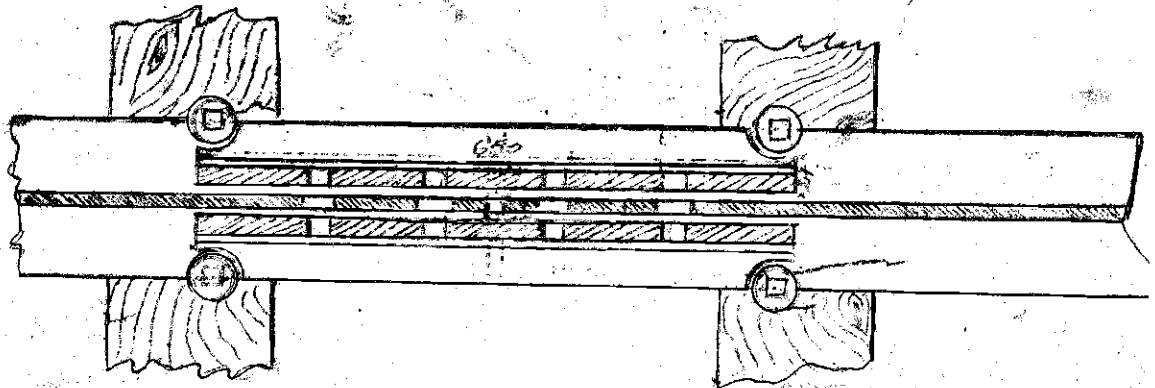
gueur formant patin sous le rail en remplaçant les deux coussinets des traverses de joint. Sur la ligne Courcelles-Champ de Mars on a même employé des éclisses de même forme ayant 1m.50 de

longueur en comportant jusqu'à 10 boulons d'éclisse.
Pour les voies Vignole, les éclisses renforcées sont des éclisses cornières en acier, qui s'étendent jusqu'aux traverses de joint.



Sur le stord, l'éclisse cornière est à rainure en a 65 centimètres de longueur; elle est fixée à l'aide de boulons de 25 mm de diamètre.

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



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

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

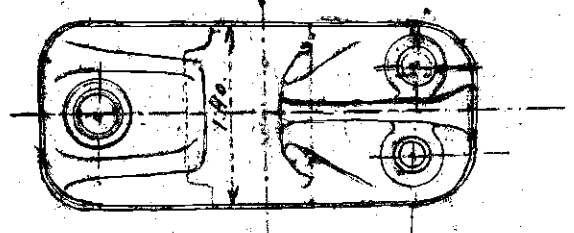
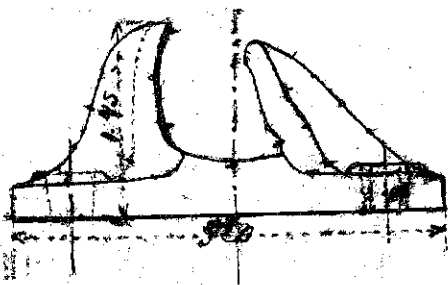
Le poids des éclisses au passé de 9 Kilogs environ à 20 en 25 Kilogs ; on exige à l'heure actuelle, pour les éclisses renforcées, un acier susceptible de résister à 65 Kilogs par millimètre carré, avec un allongement de 10% mesuré sur une barrette d'épreuve de 100^m de longueur.

Les boulons d'éclisses sont en fer ou en acier ; ils sont fixés par un écrou à pas de 3^m avec une saillie de filet de 2^m. Dans le



but de combattre le desserrage, on munis les écrous de rondelles en acier, fendues en en forme de spires (appelées rondelles "Grower" du nom de leur inventeur, en qui agissent à la façon d'un ressort. Les boulons d'éclisse traversent l'âme à jeu libre (30^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 1/20^e.

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 ($\frac{6.500^k}{330}$). 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 ;

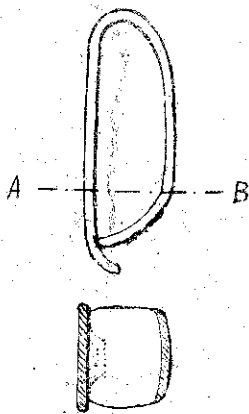
22 d' pour le pin ou le sapin.

Les coussinets se font en fonte. Leur poids qui était de 9^k a généralement doublé depuis qu'on a entrepris le renforcement des voies ; dans les types récents, la semelle a dû être allongée en largeur, 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 tirafonds qui le fixent à la traverse.

La mâchoire du coussinet qui est à l'extérieure 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 $\frac{1}{20}$.

Les coins en bois, débités de préférence dans des morceaux de chêne ou d'acacia sans nœuds et sans défaut, ont 3 de leurs faces parallèles à l'axe du coin, et la quatrième inclinée au $\frac{1}{5}$. 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 (0,30 à 0,40 pièce, au lieu de 7 à 10 centimes). Le coin David, 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.

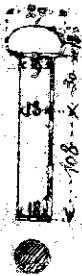
Attaches. — Pendant longtemps, les patins des rails Vignole ou les coussinets des rails à double champignon ont été fixés aux traverses en bois par des crampons ou par des chevillettes.



Les crampons, utilisés pour la voie Vignole, étaient de simples clous à tige carrée ou hexagonale dont la tête, en forme de crochen, 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 produisait

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

Les chevillettes, utilisées pour la fixation des consignes, étaient des clous cylindriques de 18 mm de diamètre, sans pointe et 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 mm 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 en 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

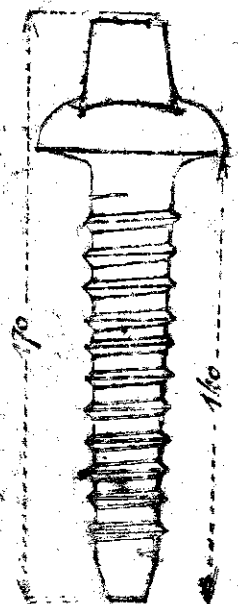
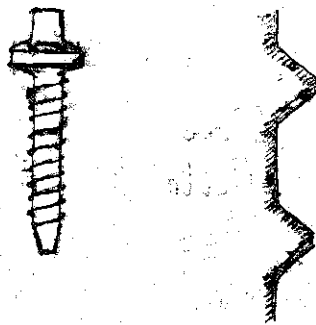
Tirefonds

Type Ébat



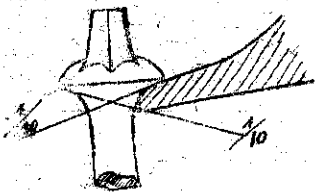
Type Nord

Bulbes d'écrous 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 le visser avec une clé à damille.

Ceux qu'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 $\frac{1}{5}$ à $\frac{1}{10}$ dans le but de porter normalement sur le patin du rail Vignole. Le tirefond est conique à sa partie inférieure sur 15 à 20 mm 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, on a à réagir à ce sujet contre la tendance de certains ouvriers ; on facilite la surveillance en

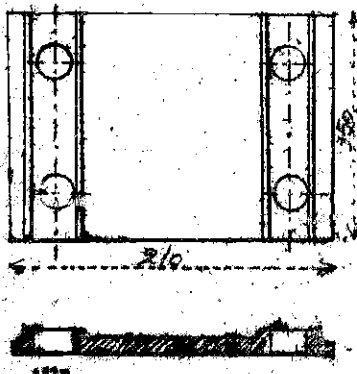


disposant sur la tête du tirefond une lettre en relief qui ne doit pas être écrasée.

Les tirefonds se font maintenant en acier en ont une longueur de 170 à 180 millimètres. Le pas de 10 à 14 mm 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 ou 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

quantité 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 G.L.M. Ce sont des plaques en acier doux, de 12 à 13 mm 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 G.L.M. pèsent 3 kilogs, ont une épaisseur de 12 mm 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 tire-fonds ; pour poser une selle, on pratique au préalable dans la traverse une entaille de 8 à 9 mm de profondeur inclinée au $1/20^{\circ}$.

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 épanler le rail d'une manière très efficace en absorbant la plus grande partie des efforts horizontaux qui tendraient à cisailer 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 conserve 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 à peu près des

pressions considérables qui tendent à écraser le bois elles sont soumises à des alternances de sécheresse et d'humidité en exposées à la pourriture. C'est surtout cette dernière qu'il faut combattre en 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.

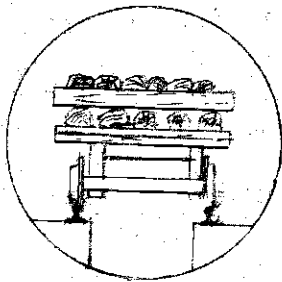
L'injection des bois consiste à remplacer dans leurs vaisseaux les substances putrescibles constituant la sève par des substances imputrescibles et antiseptiques : sulfate de cuivre, chlorure de zinc ou créosote. Le sulfate de cuivre et le chlorure de zinc étant solubles ont l'inconvénient de se délayer 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 en tirefonds ; le second, employé plus récemment, n'a pas cet inconvénient et est beaucoup moins coûteux. La créosote (composée d'huiles lourdes de houille) doit ses propriétés antiseptiques à la naphthaline et à l'acide phénique ; en France, on exige qu'elle renferme au moins 15% de naphthaline 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 délayer, 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 ou 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 frs et 5 frs 50. Mais la longueur des bois est très fortement augmentée du fait de l'injection : elle peut atteindre 16 à 25 ans pour le chêne ou le hêtre et 12 à 15 ans pour le pin ou le sapin.

On a pratiqué divers procédés pour l'injection. primitivement, on traitait l'arbre encore sur pied (procédé du docteur Boucherie) et on utilisait la force ascensionnelle de la sève pour aspirer le liquide antiseptique. On recourut de bonne heure à l'injection sous pression, après abattage 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 à des pressions atteignant 6 à 8 atmosphères et les opérations se font dans des usines spéciales. On charge les traverses, préalablement entaillées ou percées, sur des chariots supportant chacun 10 à 50 traverses, qu'on introduit dans un grand cylindre en

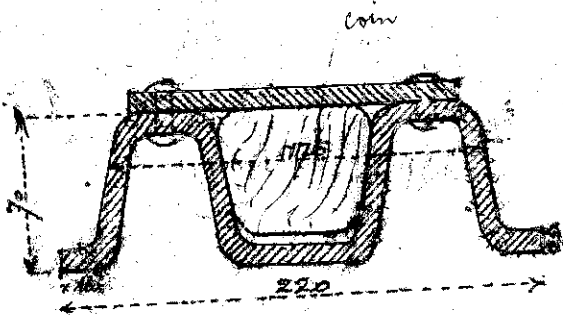
tôle ; on ferme ensuite hermétiquement, et on fait passer un courant de vapeur d'eau qui ramollit les fibres en dissolvant une partie de la sève ; après quoi on fait le vide pour extraire les gaz et les produits de condensation. Enfin on introduit le liquide antiseptique préalablement chauffé et on soumet le contenu du cylindre, pendant un temps variable de $\frac{1}{2}$ 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'ébullition et du vide.

Les traverses sont équarrées 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 qu'à partir de 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 détériorent très rapidement les traverses en bois; il est donc logique d'y substituer des supports métalliques appropriés.



On emploie dans quelques colonies françaises la traverse Boyenval et Tonsard 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 tireforme le rail. Ce type de traverse est en usage dans l'Indo-Chine (ligne d'Haïphong à la frontière de Chine) au Sénégal (Dakar à St-Louis). Pour la voie unique, les traverses de 1 m 80 de longueur pèsent 35 kilogs et pour la voie normale, leur poids atteint 53 kilogs.

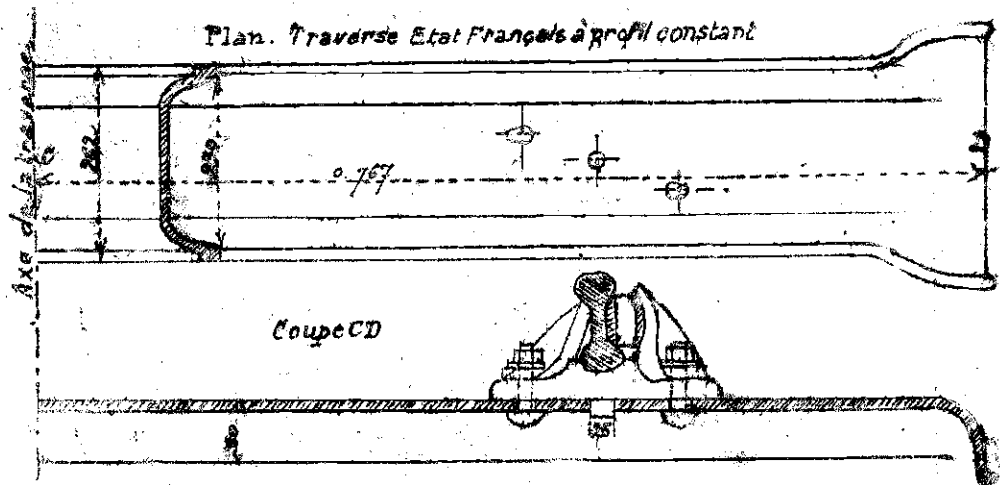
Dans les autres systèmes de traverses métalliques, l'attache du rail se fait directement sur la partie supérieure métallique de la traverse, qui est percée de trous pour le passage de boulons avec écrans disposés vers le haut.



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 boudins pour mieux résister au choc des outils lors du bourrage. Les traverses destinées aux voies normales pèsent 53 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.

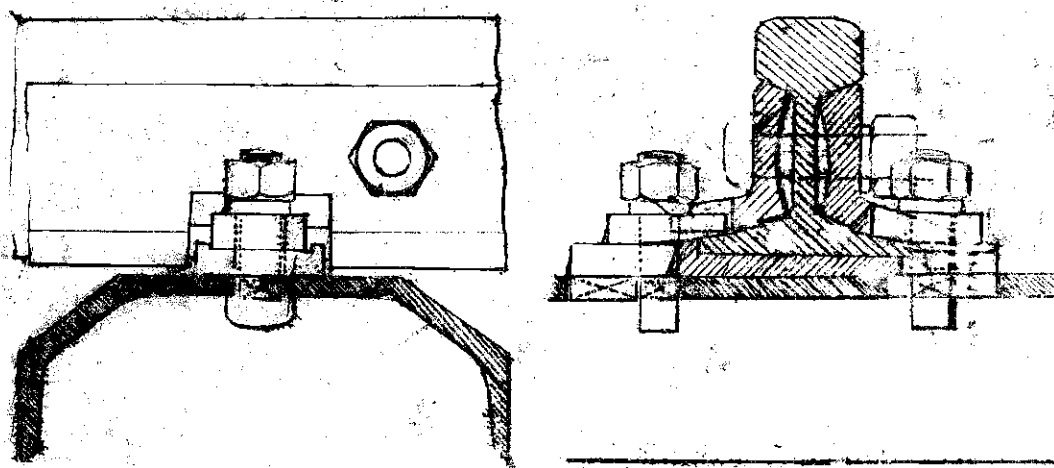
Dans l'application faite par le réseau de l'état



français, le coussinet est attaché par deux boulons à ergin 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.

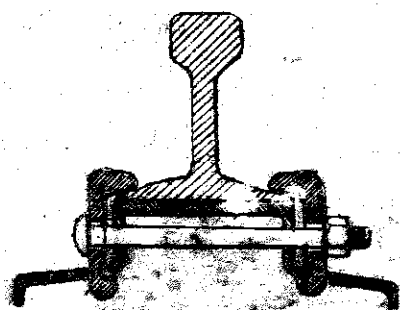
Dans le cas de la voie Vignole, le rail à patin est attaché par deux crapauds de même forme, mais dans l'un au moins (généralement le crapaud extérieur) porte un talon. Qu'il y ait ou non interposition de selle, les crapauds s'engagent dans les lumières rectangulaires ménagées à cet effet dans l'épaisseur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

en bois, mais la durée peut être évaluée au moins au double en l'emploi des traverses métalliques très stables pour ainsi lutter avec celui des traverses en bois. En Allemagne, en 1898, plus de 15.000 kilomètres de voies normales à travers métalliques système Heindl étaient en service. Dans ce système, qui dé-



rive du type Vantherin, le rail Bignole est fixé par des crapauds, mais avec interposition de selles en acier qui donnent l'inclinaison du 1/20.

Supports métalliques. — En vue d'arriver aux types de traverses métalliques réelles  pratiques qui procèdent du type Vantherin, on avait utilisé des Longrine Haarmann.

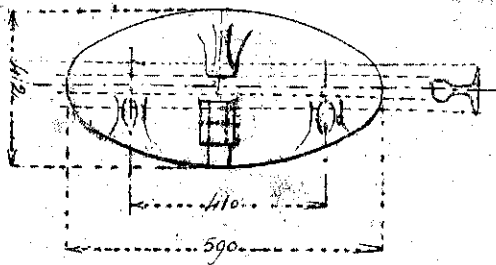


supports métalliques ayant leur grande longueur disposée dans le même sens que le rail: longrines ou cloches.

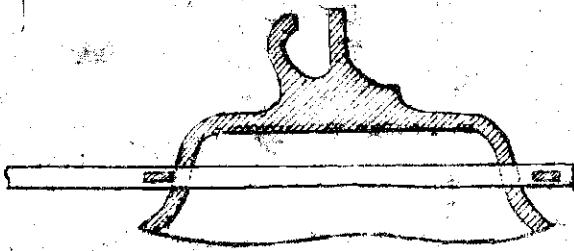
C'est ainsi que les longrines Haarmann, pesant 23^k500 par mètre courant, furent utilisées

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 ovale, 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 Grease 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 2^{fr}50 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.

Pese de la voie

Pose de la voie

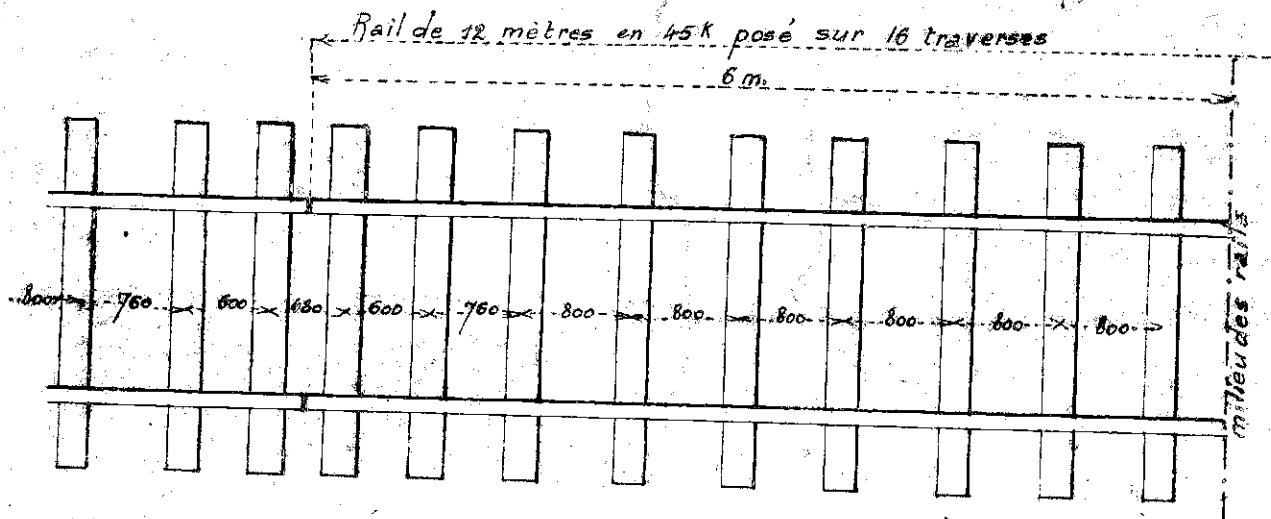
Répartition des traverses. — Les traverses en les rails sont amenées sur la plateforme et déposées à pied d'œuvre, conformément à ce qu'on appelle le plan de pose. Ce plan de répartition des matériaux est dressé en tenant compte de règles déterminées pour chaque réseau en chaque type de rail en ce qui concerne l'espacement des traverses, espacement qui varie pour les voies normales de 0 m 75 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 colporteurs disposent les traverses sur les traits ainsi tracés, ce qui constitue le travelage. 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 0 m 45, et

comme on éprouve des difficultés pour le bourrage, on en 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

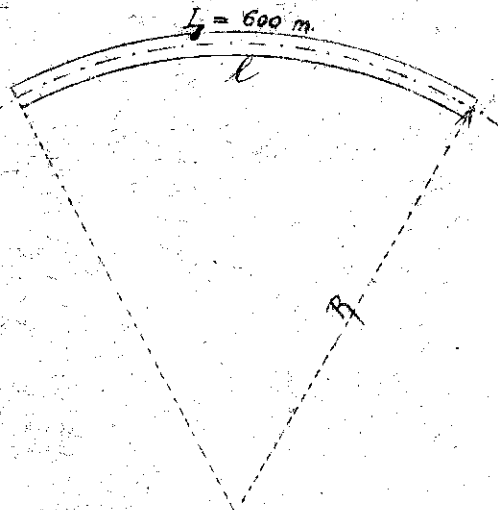
ballast on les décharge de manière à former une première couche d'environ 10 centimètres.

On bourre sous les traverses en soulèvant la voie avec des ansopecto, des serrins ou des crico. Lorsque la voie s'en 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 bouts 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 conven 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, et 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 :

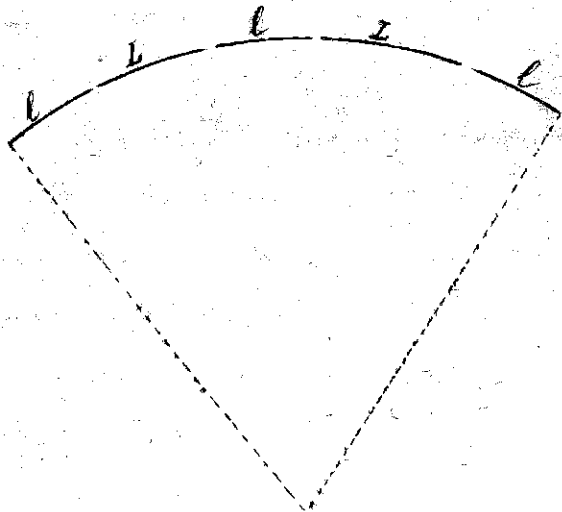
$$l = 600^m \times \frac{299,25}{300,75} = 597 \text{ mètres}$$

L'emploi des rails courts devra donc permettre de racheter une différence de développement de 3 mètres. Or, sur le bord par exemple, avec les rails de 12 mètres, le type de rail court utilisé 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 :

$\frac{3m}{0m10}$ ou 30 rails courts de 11 m 90 }
 en par suite 20 rails de 12 mètres.

$$\begin{array}{r} 354 \\ 240 \\ \hline 594^m \end{array}$$

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'œuvre 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.

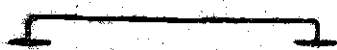
Largueur de la voie.

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 en 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 1m 435, maximum 1m 470. 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 1m 75, et en Russie, où elle est de 1m 521.

En France, certaines Compagnies ont réduit récemment de 1m 45 à 1m 445 et même 1m 44, 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'usage 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 450 m.
à 1m 460 d' compris entre 250 et 450 m.
ou à 1m 465 d' inférieur à 250 m.

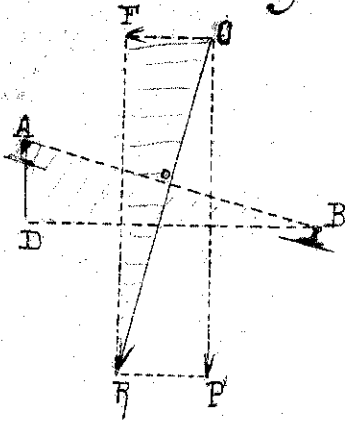


On tient compte de ce fait. **Gabarit de sabotage** dans le sabotage des traverses, on utilise un gabarin formé de deux règles collées sans l'une dans l'autre.

Surhaussure 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 **surhaussure** ou **dévers**. On ne dépasse que rarement à l'exceptionnellement le surhaussure 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 :

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

AD = d est le surhaussement en 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 $g = 9,81$ 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 :

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

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 désert, 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 et 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 et minima des trains qui y circulent, et 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'Océan et de l'Est appliquent la formule parabolique: $d = 0,0116 \frac{V^2}{R}$.

L'Etat-Océan, le Nord et le G.S.N. 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

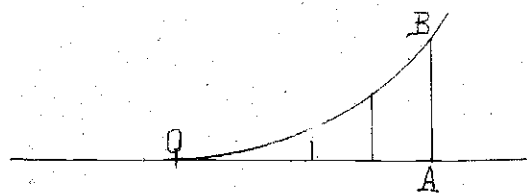
valeur un peu inférieure dans le cas contraire.

À 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 permettant de trouver immédiatement le dévers qui conviendra 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 G.S.O. 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 :

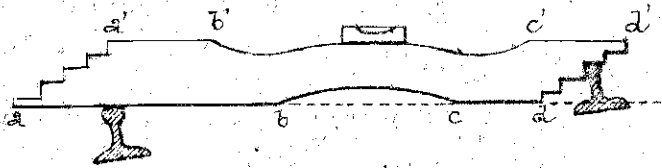
$d = 0 \text{ m } 18$	pour les courbes de 150 m. de rayon
$d = 0 \text{ m } 16$	— d° — 200 m. — d° —
$d = 0 \text{ m } 15$	— d° — 250 m. — d° —
ou $d = \frac{45}{R}$	— d° — rayon supérieur à 250 m.



aux abscisses OA comptées depuis l'origine de l'arc.

Pratiquement, pour établir une voie en courbe dans sa situation définitive, on utilise des tables donnant la valeur des ordonnées AB par rapport

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 affecté



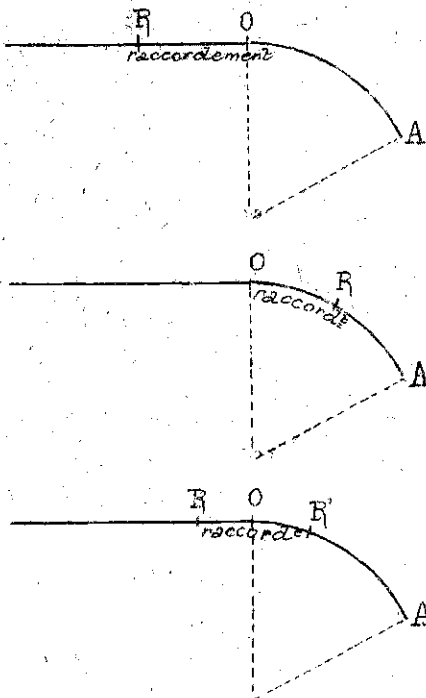
à la courbe suivant son rayon. En, après avoir réglé l'une des files de rails en hauteur et en plan,

d'après le piquetage, on donne pratiquement le dévers en se servant d'une règle à échelons sur laquelle on fixe un niveau à bulle d'air; après avoir posé la règle sur les deux rails en 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 ab , cd , $a'b'$, $c'd'$ 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, en 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

désavantageux.

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 en 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 3^{ème} degré dont la formule est :

$$y = \frac{x^3}{12 \cdot R'}$$

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

les rayons R des courbes les plus usitées 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 racc. faisant suite à la parabole cubique.

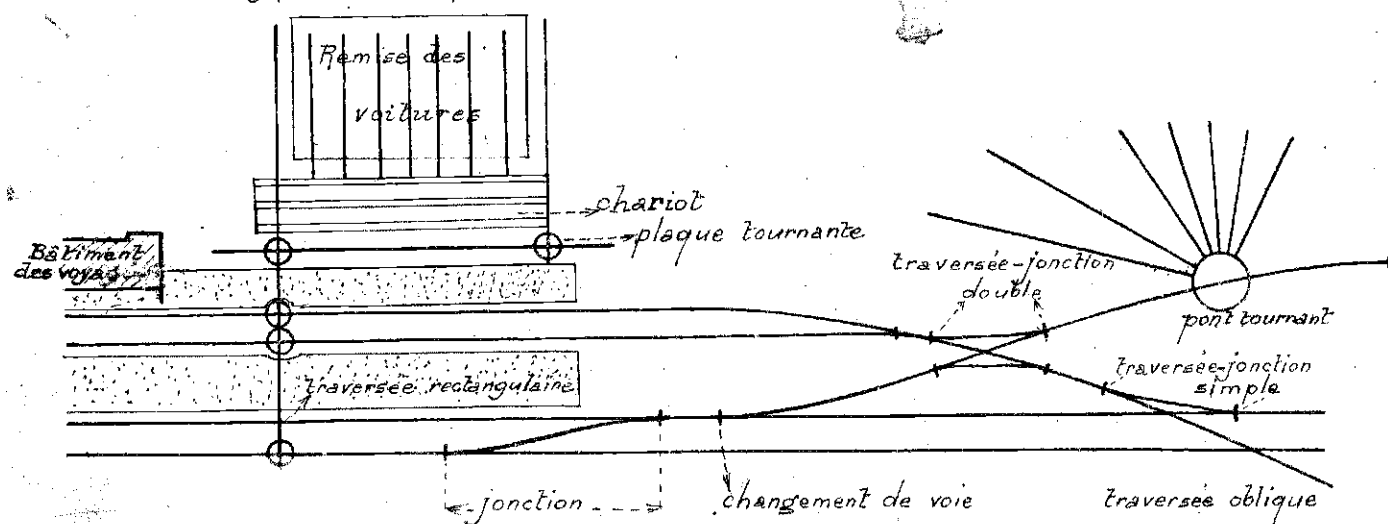
En définitive, au lieu de raccorder par une courbe unique, on raccorde par une parabole cubique suivie d'un arc de rayon un peu inférieur au rayon de la courbe du tracé primitif.

Appareils de voie

Appareils de voie

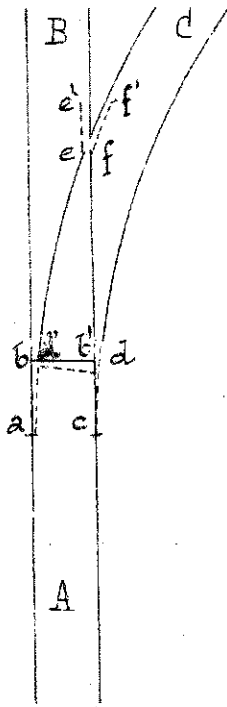
Pour permettre aux trains de passer d'une ligne de chemin de fer sur une autre, ou pour permettre aux trains, manœuvres, machines ou véhicules isolés de passer d'une voie sur une autre, dans l'intérieur d'une gare, il est nécessaire d'installer, en des points convenables, des appareils de voie de divers 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 réunies 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 conviendra.

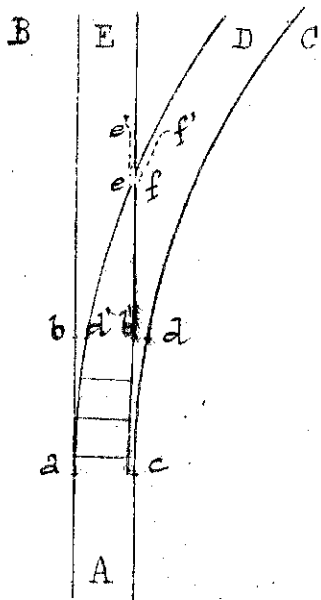


Dans l'appareil le plus simple, appelé sauterelle en qui sera encore quelquefois dans les voies de travaux ou dans les installations de fortune, les deux bouts de rail mobiles constituant l'aiguille sont articulés en a en c à l'extrémité du tronc commun A en réunis par une entretoise à l'autre extrémité. On donne à ces éléments de voie un déplacement de 10 à 12 centimètres pour l'amener soit en bb' comme l'indique le croquis pour donner la con-

tinuité de la voie B, soit en dd' pour donner la continuité de la voie C. Si une des deux voies se trouve toujours coupée, ce système 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 s'applique contre l'un des deux rails extérieurs dits contre-aiguilles, — contre le rail ab par exemple — l'autre lame s'en écarte du contre-aiguille c d, 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.

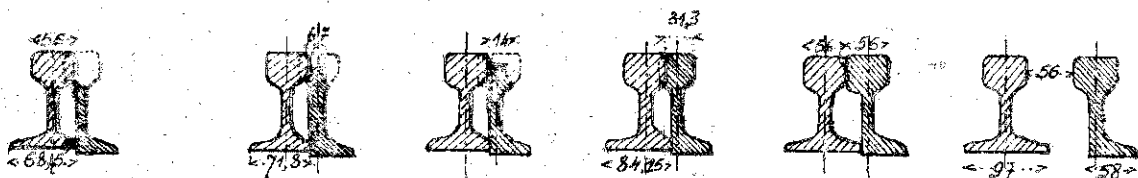
En dehors de l'aiguille, il existe dans le changement de voie une autre partie spéciale qui est le croisement. Il faut en effet qu'au point d'intersection des fils intérieurs des rails d'e, b'f, il y ait dans chacune d'elles une coupure formant ornière pour le passage du boudin des roues. On prolonge en général les extrémités e en f des rails coupés par des parties coudées e'e', 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

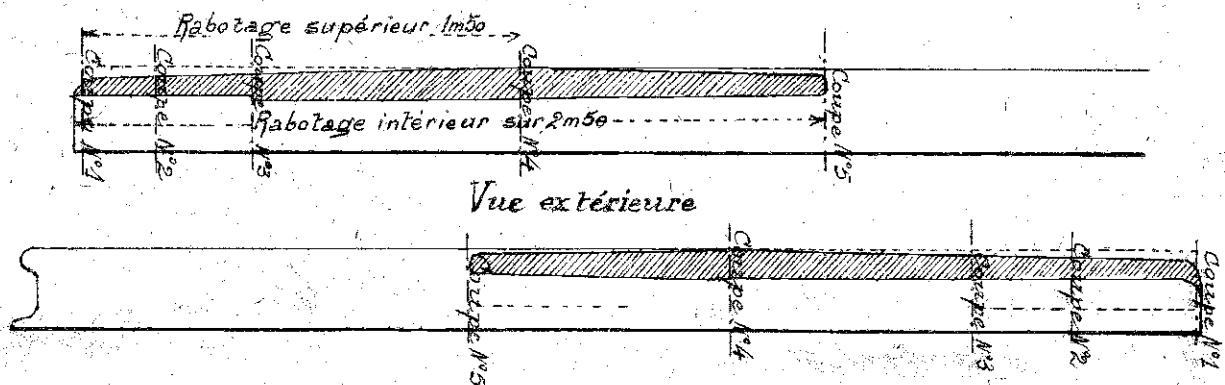
par l'aiguille en son dispositif de manœuvre, d'autre par le croisement.

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 et 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

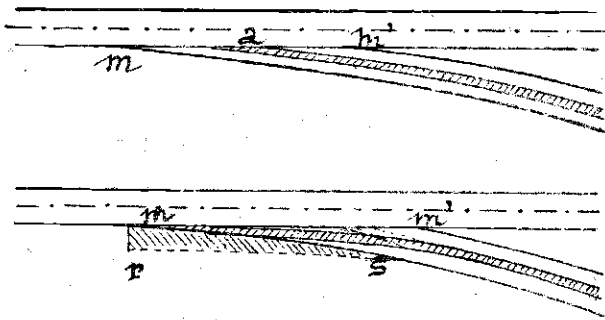


Lame d'aiguille de 5m.00 (vue intérieure)



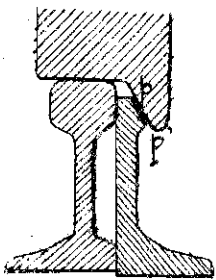
représentées sur le croquis ci-dessous.

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



suisant 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 donc 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.

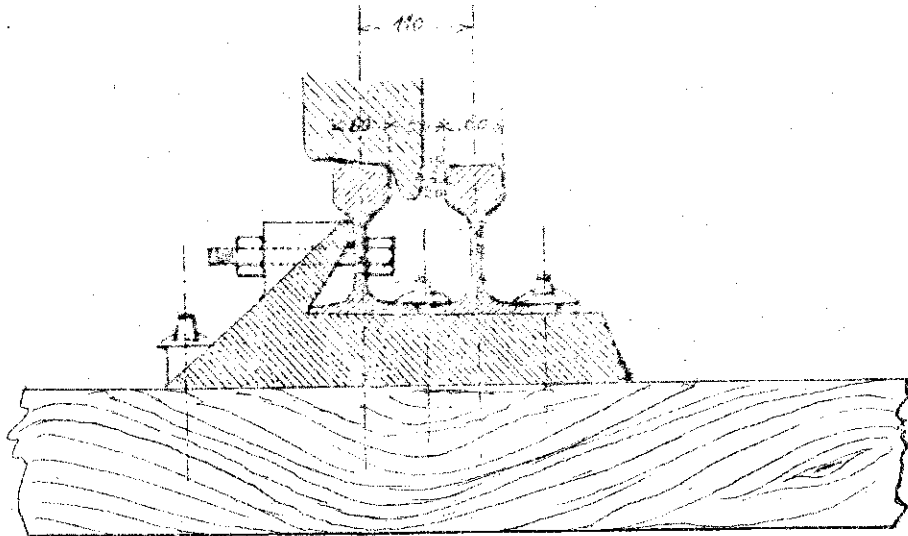


Les rabotages latéraux (extérieur et intérieur) sont pratiqués sur une longueur de 2m50 environ.

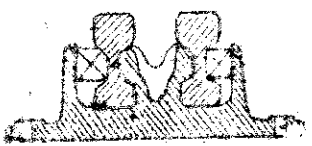
Les rails contre-aiguilles dont le patin est entaillé sur une certaine longueur sont maintenus

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



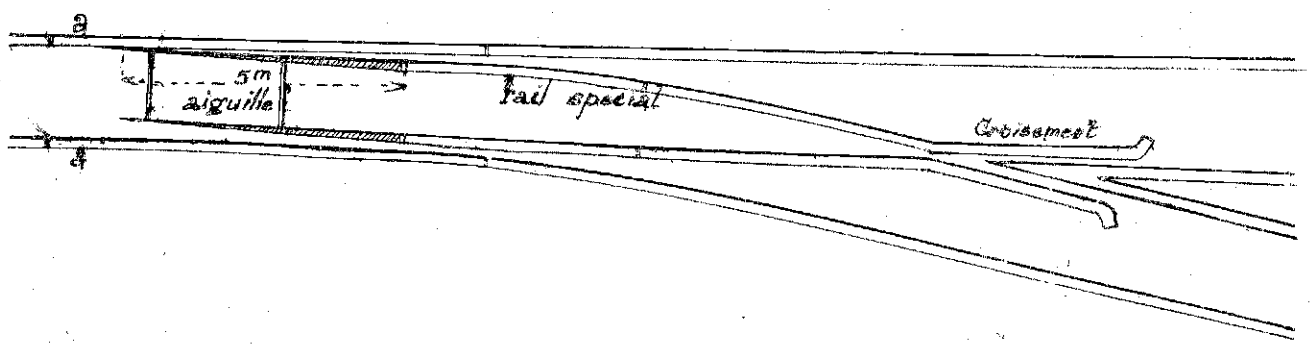
en ceux de l'aiguillage, le talon de l'aiguille est maintenu à une distance suffisante du contre-rail (110 mm d'axe en axe) pour laisser un jeu de 15 à 20 mm au passage du boudin des roues. Dans la voie Vignole, des entretoises en fonte alliant de l'âme du rail à l'âme de la lame d'aiguille maintiennent 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. À 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 mâchoires séparées les deux files de rails.

Le rail contre-aiguille, dont les joints sont



respectivement en deçà et au-delà de la pointe d'aiguille et du talon, son légèrement courbé en a, 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.

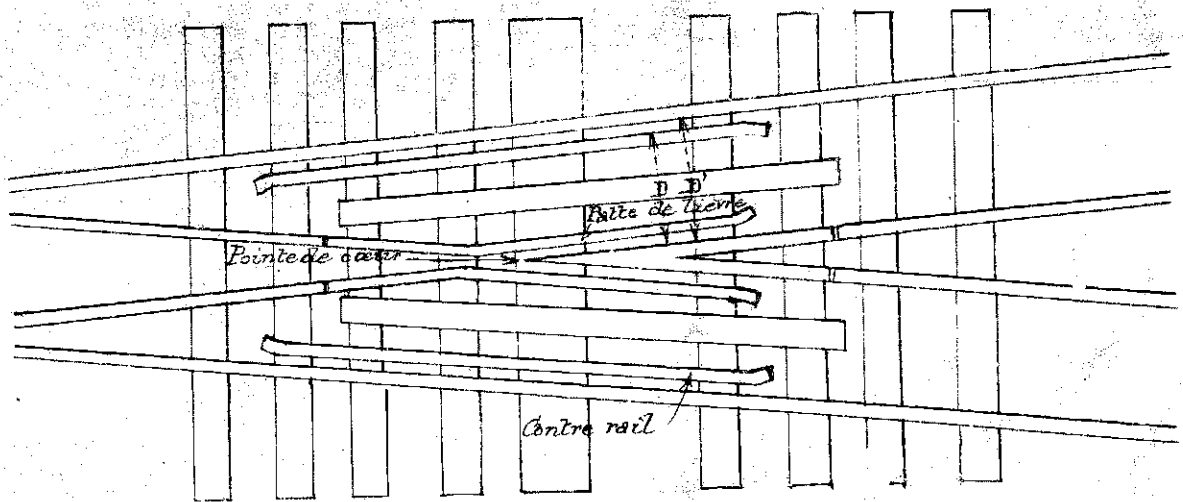
Dans les appareils à pose très raccourcie, c'est-à-dire dans lesquels la longueur entre la pointe de l'aiguille et la pointe de cœur du croisement est relativement courte, on est conduit à utiliser des lames d'aiguille courbes pour éviter une déviation trop brusque. Mais, généralement on préfère établir 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.

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

ce qui correspond pour les aiguilles de 5 mètres à un

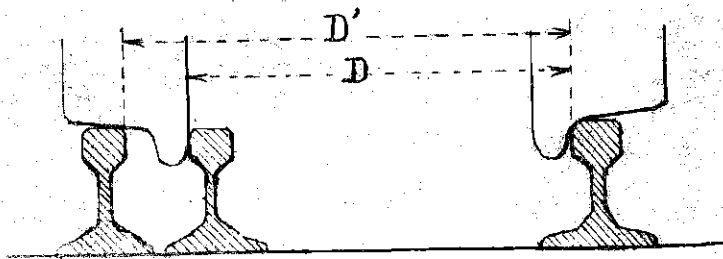
angle un peu supérieur à 1° .

Croisements. — Nous avons vu qu'au croisement,



les deux files de rails intérieures du changement de voie doivent présenter une coupure pour faciliter passage aux boudins des roues. Mais cette solution de continuité constituerait une dénivellation dangereuse si la roue n'était pas guidée et soutenue 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'empêchant 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 :

$$D \geq 1m36 + 0m03$$

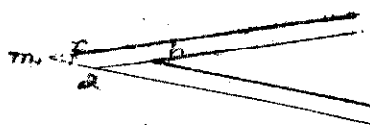
Il faut, d'autre part, que le bandage qui a $125 \frac{m}{m}$ de large porte constamment sur le rail extérieur, ce qui donne :

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

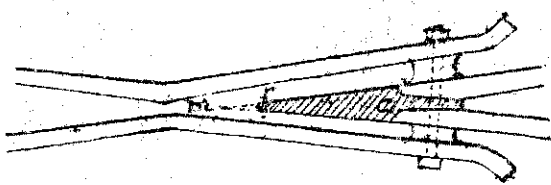
Pratiquement, on prend $D = 1m39$ et $D' = 1m44$, ce qui donne une ornière de $50 \frac{m}{m}$ entre le rail extérieur et le contre-rail.

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

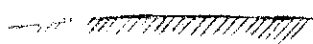
La pointe de cœur se fait soit en assemblant les



deux rails qui se rejoignent après les avoir rabotés à cet effet suivant une surface ab , soit en employant une pièce en acier forgée sur laquelle on assemble les deux rails. La première solution est surtout pratiquée en Angleterre. Le cœur n'est jamais complè-



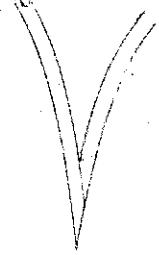
tement terminé en pointe ; mais, à la pointe mathématique m , on substitue la pointe réelle r qui n'est qu'une pointe émoussée distante de 7 à 8 centimètres de la pointe mathématique. La partie extrême de la poin-



te est en biseau plongeant, en raison des sujétions créées par l'existence des contre-rails, ce n'est d'ailleurs pas que

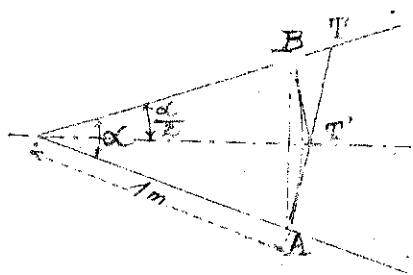
la surface moyenne de roulement B du bandage qui prend appui sur la pointe, mais un cercle A plus rapproché du fondin et plus grand que le cercle B de roulement moyen.

On rend souvent 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 œnières on interpose des entretoises en fonte qui sont d'une âme à l'autre au-dessous des champignons des rails assemblés.



pointe.

Les 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



Angle du croisement. — Sur le réseau du G.S. etc. 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'état 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'.

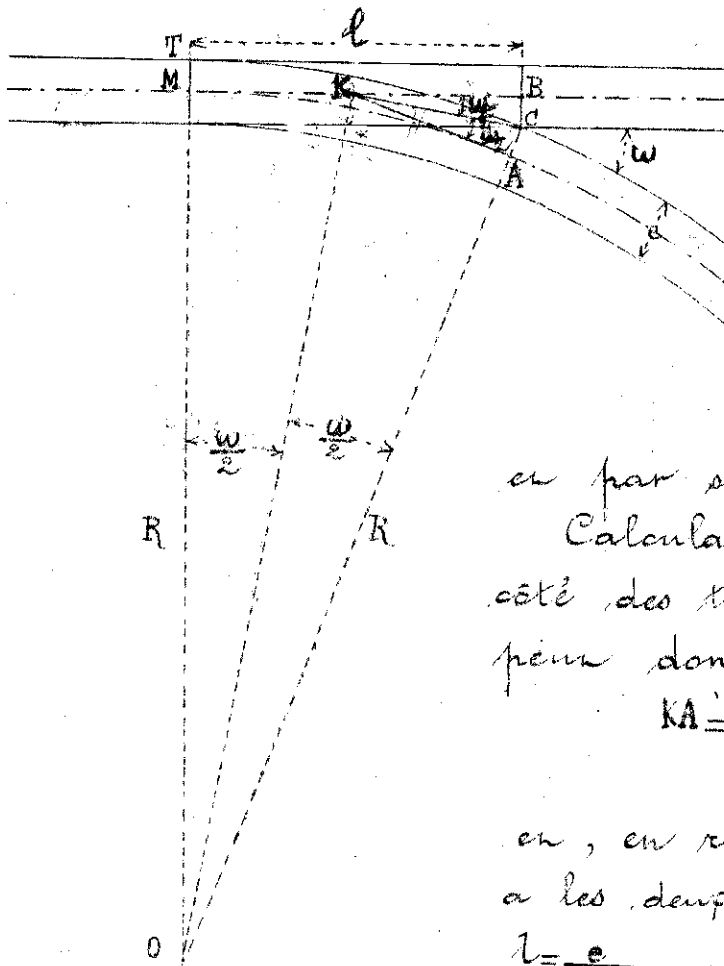
Rayon de raccordement. — Voyons maintenant de quelle manière on doit raccorder l'alignement droit de l'aiguille, qui fait un angle de 1° à 2° avec la ligne principale, avec l'alignement droit du croisement qui fait avec cette même ligne principale un angle qui varie de 5° à 13° . Théoriquement, la meilleure solution consiste à raccorder ces deux parties par un arc de cercle tangent au talon de l'aiguille et à la pointe de cœur. Mais, dans ce cas, l'angle de l'aiguille et l'angle du croisement une fois adoptés, on ne serait plus maître ni de la longueur de l'ap-pareil ni du rayon du cercle de raccordement. Pratiquement, on préfère généralement prolonger un peu la direction de l'aiguille et 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. et 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 pose plus ou moins raccourcie 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 et 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 et KCA sont égaux, car ils ont l'hypoténuse commune et les petits côtés égaux :

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



On en déduit que :

$$KA = KB$$

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

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

$$KM = KA = KB$$

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

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

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

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

$$l = \frac{e}{\tan \frac{\omega}{2}}, \text{ en } R = \frac{\frac{e}{2}}{\tan^2 \frac{\omega}{2}}$$

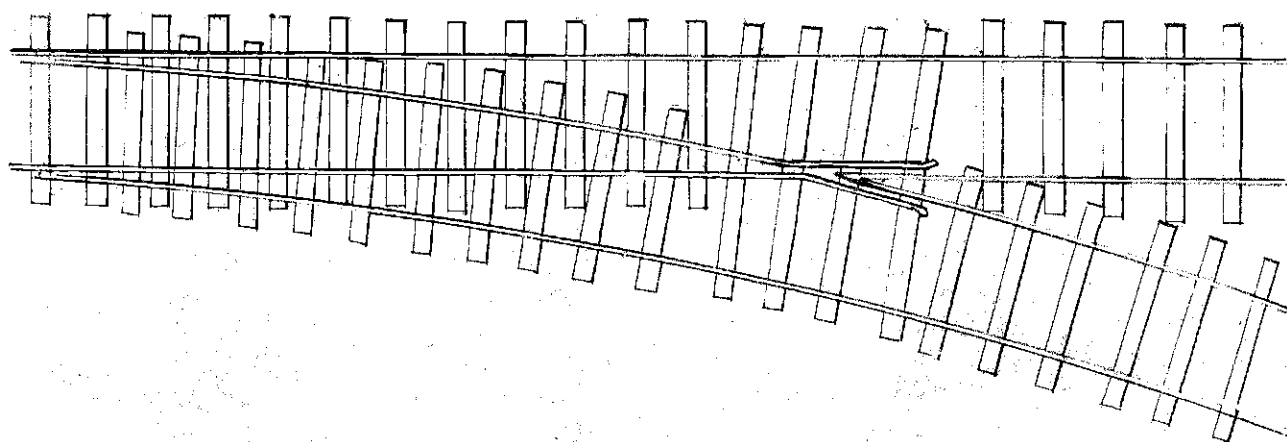
On voit que plus l'angle du croisement est petit, plus la longueur totale du changement de voie et le rayon R de la courbe de raccordement sont considérables. C'est ce qui conduit à faire adopter des croisements de 0,06 et de 0,07 lorsque les déviations doivent être empruntées par des trains à grande 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

Angle de 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.	"	"	- 0° -
0,09	28 m. 50	316 m.	28 m. 51	633 m.	- 0° -
0,07	38 m. 43	502 m.	42 m. 29	950 m.	{aiguilles courbes flexibles de 12 m.
0,06	41 m. 50	736 m.	46 m. 31	1329 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



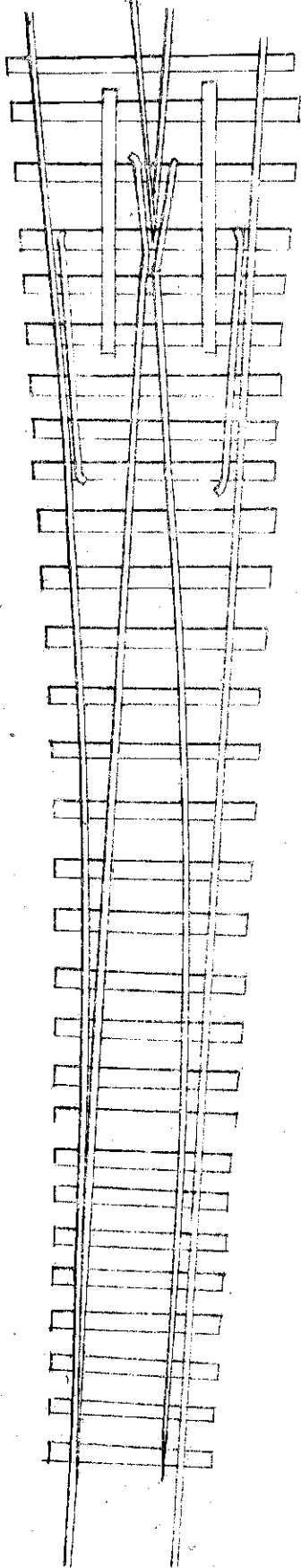
quelquefois on se contente d'employer ces traverses spéciales exclusivement dans la partie qui supporte le croisement en conservant d'autre part pour chacune des voies les traverses ordinaires espacées d'une ma-

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.

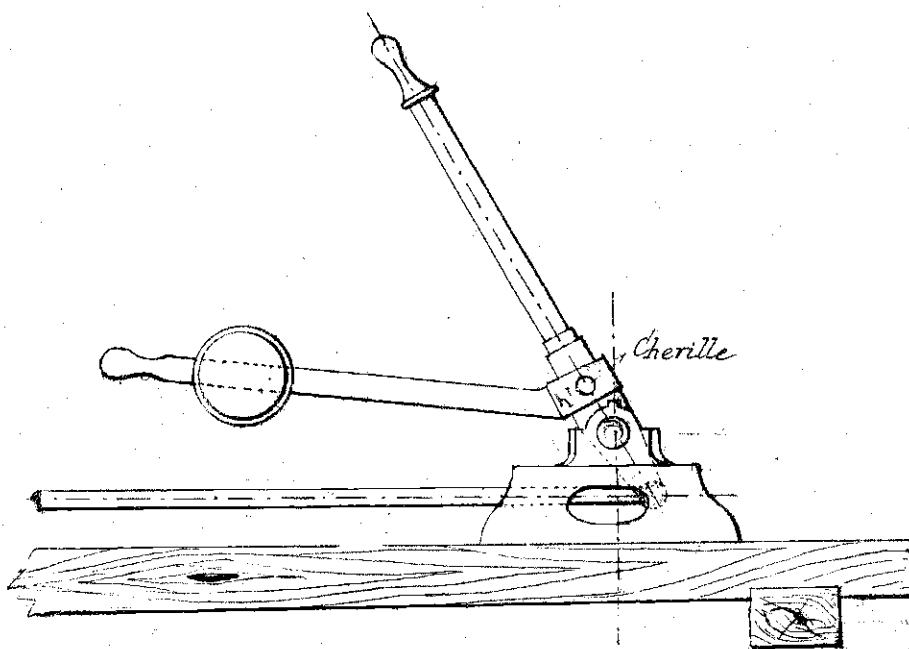
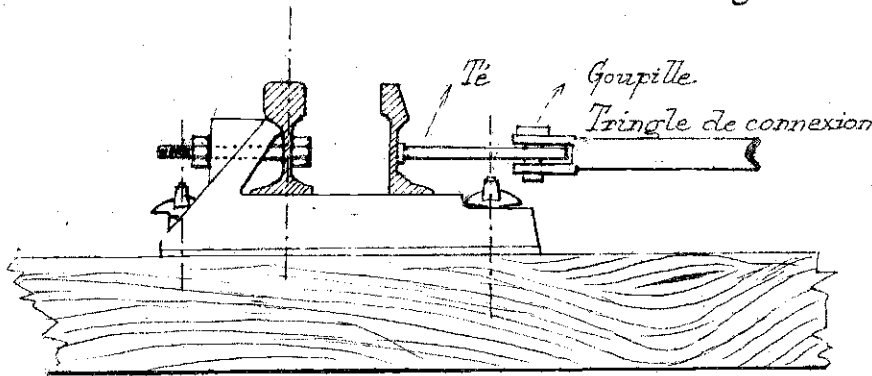
Manœuvre des aiguilles.

Il nous reste à dire 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



aile 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 en le rail contre-aiguille, vient s'atteler

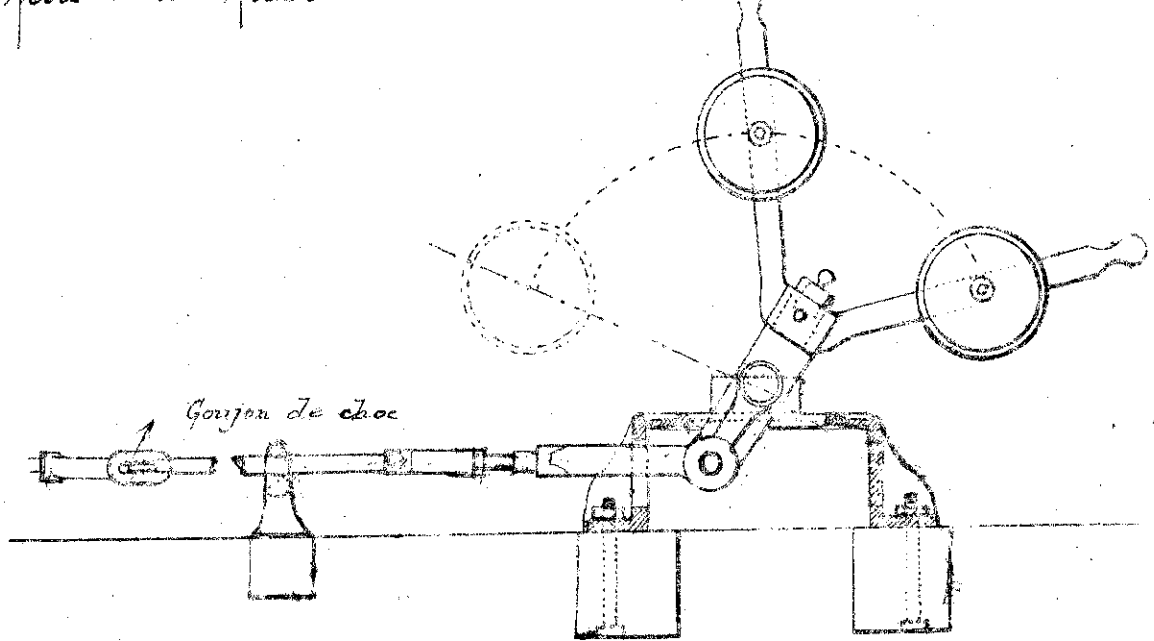


à l'entretoise de pointe. Si l'aiguille est manœuvrée à pied-d'œuvre, la tringle de transmission est rattachée à un levier à contre-poids disposé sur une cloche en fonte à proximité de l'aiguille. Un peu au-dessous de l'axe du levier proprement dit, une douille en

bois sur cet axe supporte un bras transversal sur lequel on fixe à distance convenable une lentille formant contre-poids en 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.

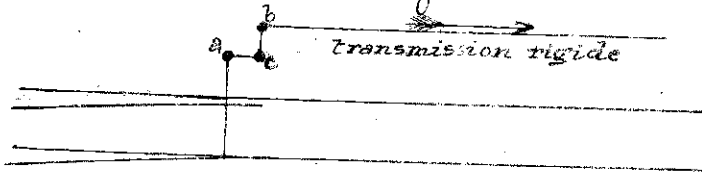
Pour les aiguilles des voies de garage qui n'ont pas de position normale déterminée, on a adopté



récemment un type de levier, dit à double contrepoids, dans lequel 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 bouge plus pendant le passage de tous les véhicules suivants.

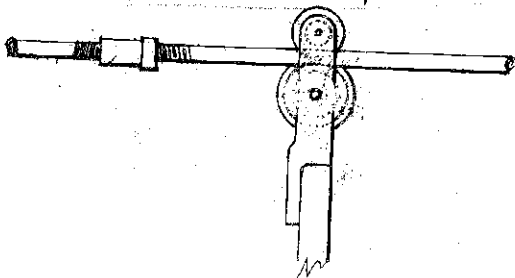
Lorsque l'aiguille n'est pas manœuvrée à pied d'œuvre au moyen d'un levier, mais rattachée à



un poste de concentration plus ou moins éloigné, la tringle de transmission est reliée

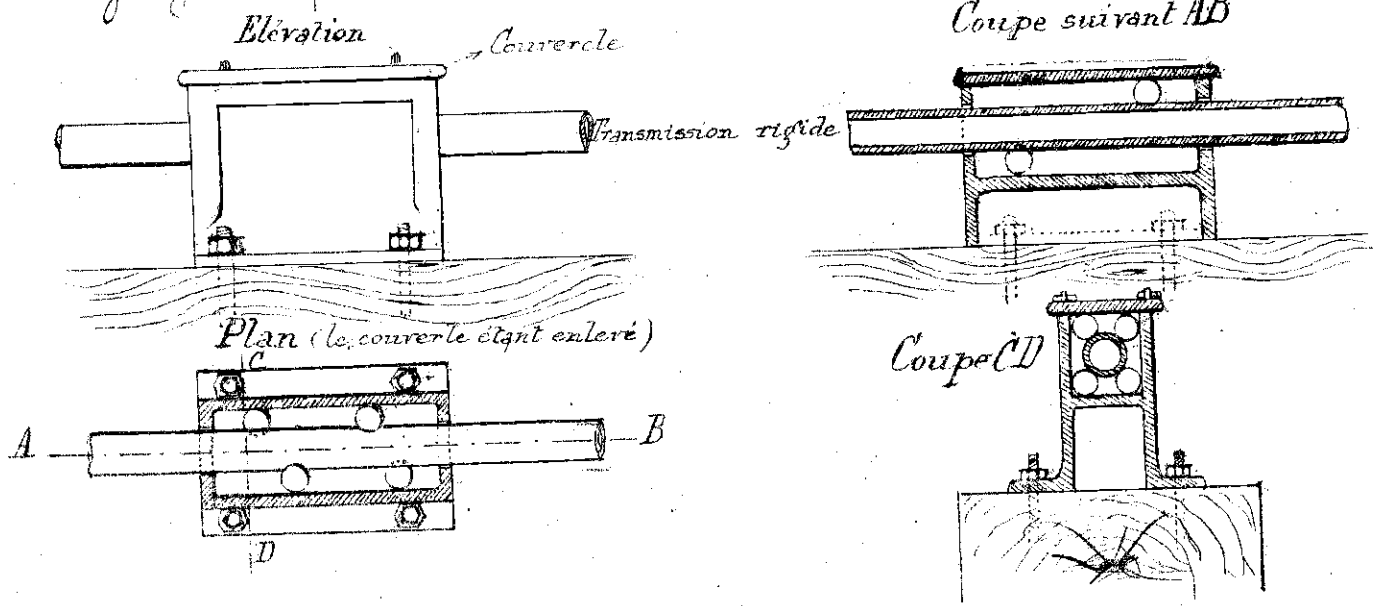
à ce poste par une transmission rigide constituée par des tringles métalliques creuses guidées par des poulies à gorge en s'assemblant à l'aide de manchons filetés. Après un retour d'équerre abc, la file de tringles rigides se poursuit, en général, parallèlement aux voies pour gagner le poste de concentration ; 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 ré-



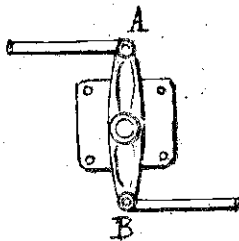
duire les résistances au minimum. Les guides sont, soit des galets à gorge roulant sur un plan, soit, plus généralement, des poulies à

gorge disposées par paires sur des supports verticaux.

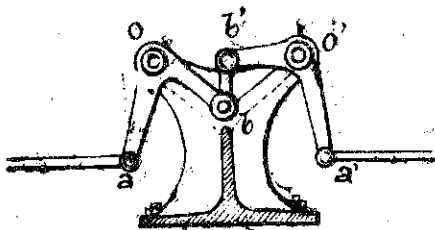


On a utilisé récemment aussi des supports-guides à billes représentés dans les croquis ci-dessous.

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.



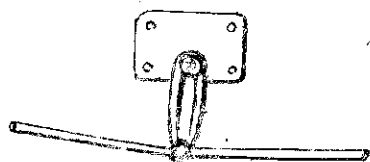
Dans le compensateur vertical, les deux parties de la transmission sont articulées aux extrémités des grands bras de deux équerres verticales aob , $a'o'b'$ mobiles autour des axes fixes o et o' . Les deux petits bras ob et $o'b'$ des équerres sont reliés par une petite bielle bb' . Lorsque, sous l'effet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



longueur, les équerres tournent d'un angle égal en

sens contraire, ou bien le balancier horizontal en 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 ou l'autre système le sens du mouvement des triangles 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 triangles à leur jonction et on relie l'articulation à un point fixe au moyen d'une manivelle.



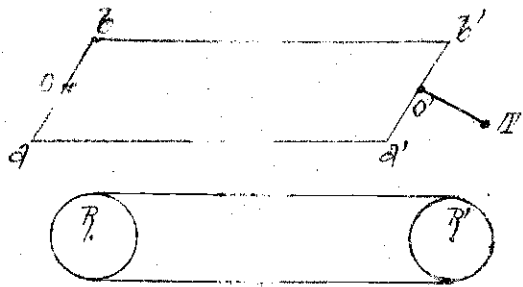
Lorsque la direction varie brusquement, on réunit les deux triangles par une équerre à angle obtus.

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

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

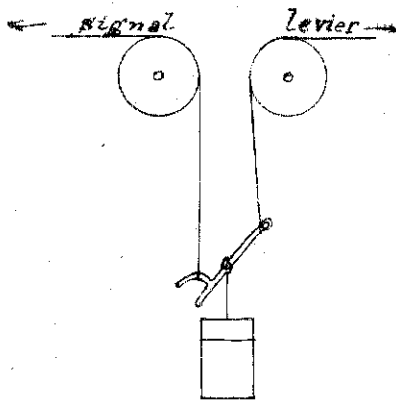
La transmission par filo entre le levier du poste de concentration et l'appareil de voie à manœuvrer a été presque exclusivement employée en Allemagne et a reçu en France de nombreuses applications. Elle a permis de manœuvrer des changements de voies à 500 et même jusqu'à 700 mètres de distance.

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

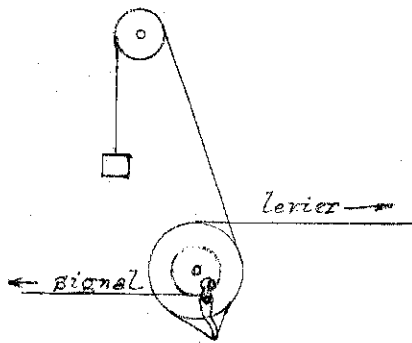


deux fils fixés soit à un balancier soit à la circonférence d'une roue; par l'intermédiaire du balancier soit ou de la roue R, on exerce sur l'un ou l'autre des deux fils une traction qui provoque un mouvement conjugué du balancier a'o'b' ou de la roue R' en par suite de la tringle T de manœuvre de l'aiguillage.

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 trac-

tions 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 mm de diamètre ; mais on emploie un fil à limite d'élasticité élevée dépassant 50 k et susceptible de donner un allongement élastique d'au moins 25 centimètres par 100 mètres.

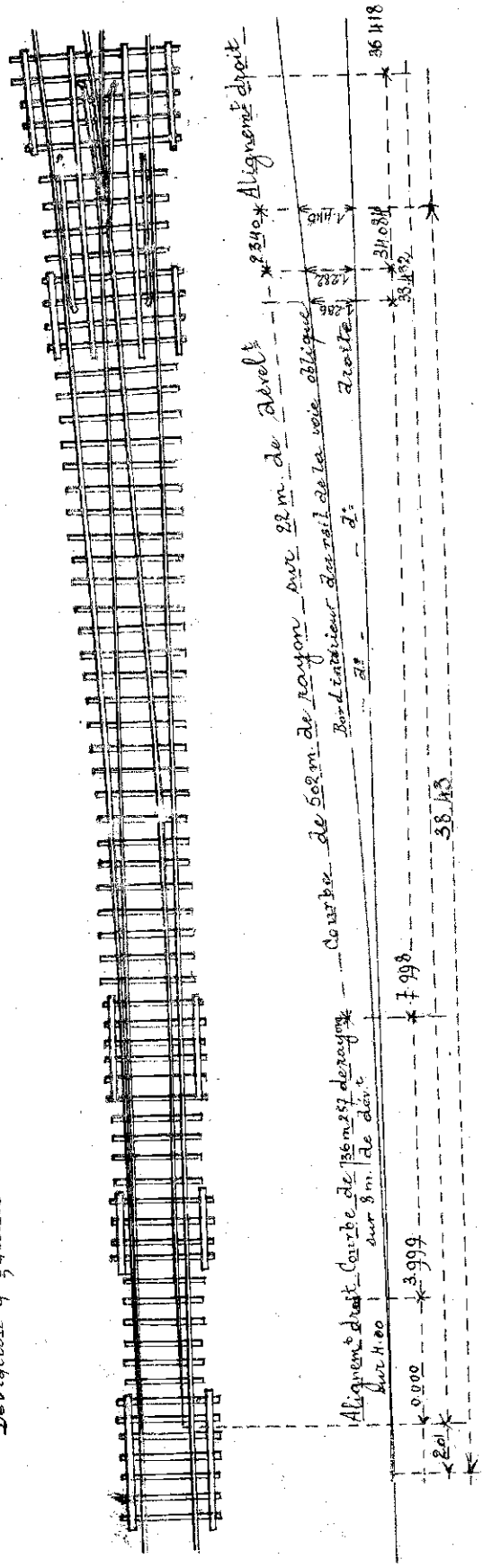
Transmissions fluides — Les transmissions rigides en les transmissions par fil, ont l'inconvénient d'exiger toujours de grands efforts de la part des aiguilles lorsqu'elles atteignent des longueurs notables. On a donc recherché, dans ces dernières années, le moyen de manœuvrer des appareils, même à grande 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'enclenchement en 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.

Croisement de 0,07

Aiguillage à deux voies avec aiguille courbe flexible

Déviations à gauche

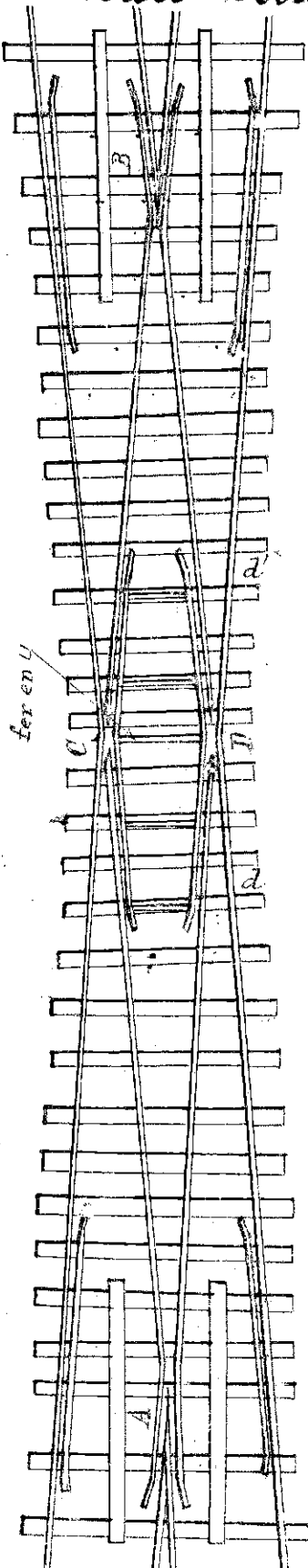


La flexion qui s'opère dans toute la partie comprise entre le rabotage en le talon permet de réaliser une courbe de raccordement de grand rayon entre l'aiguille en le croisement.

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 en comporte successivement en partant de la pointe, un alignement droit sur 4 mètres correspondant au rabotage de la la 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. —



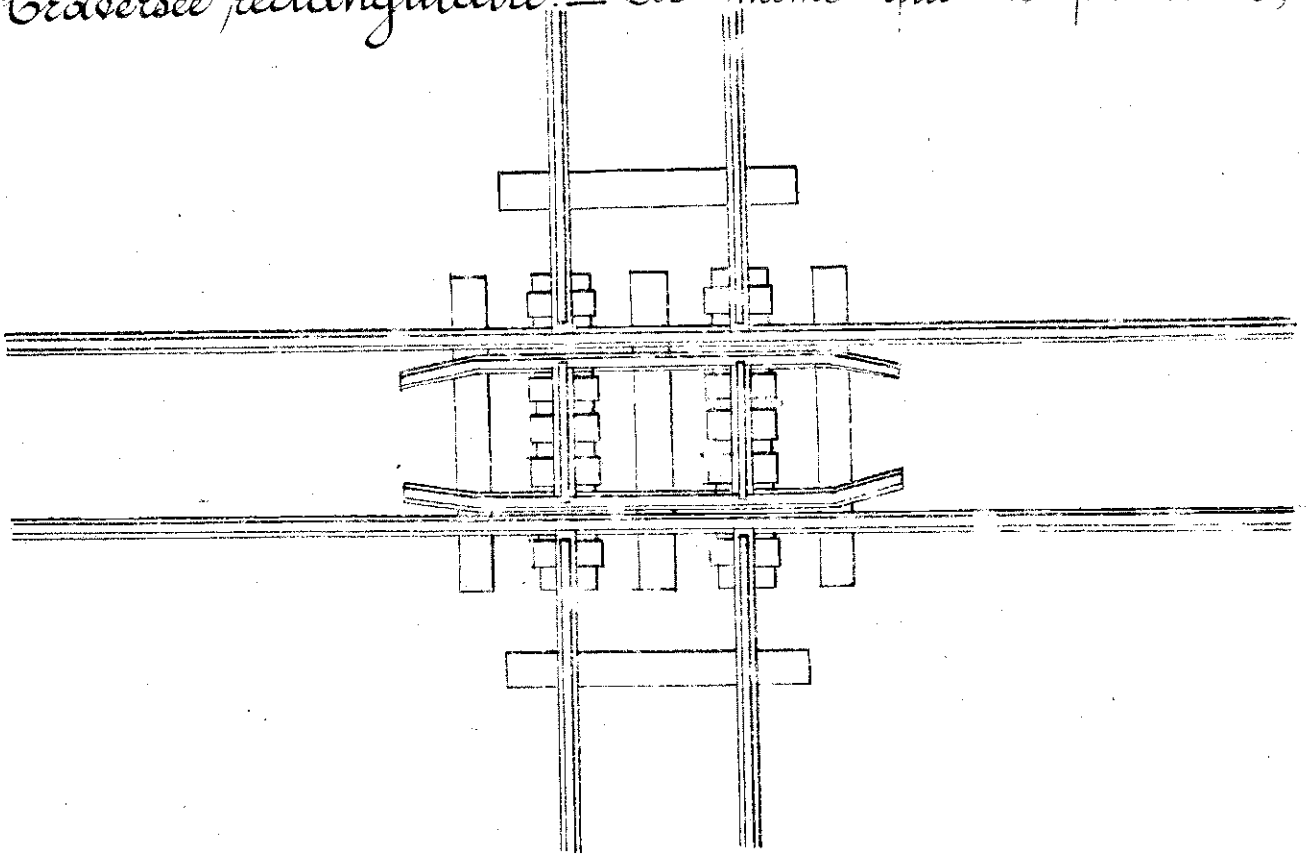
Croisements et Traversée

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 in-

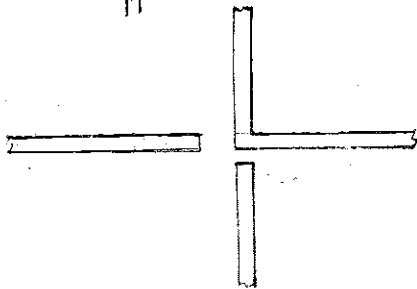
terieurs sont interrompus et terminés en biseau, laissant entre eux une solution de continuité de un mètre au minimum; pour guider les essieux dans cette partie, on installe à l'intérieur deux contre-rails courbés laissant une ornière de 50 mm en qu'on surélève un peu dans le but de guider suffisamment celles des roues qui

auraiens tendance à monter sur les pointes. Ces contre-rails courbés, 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, d D d', est en général constitué par un rail courbé de 11 mètres de longueur environ.

Traverse rectangulaire. — De même que la précédente,



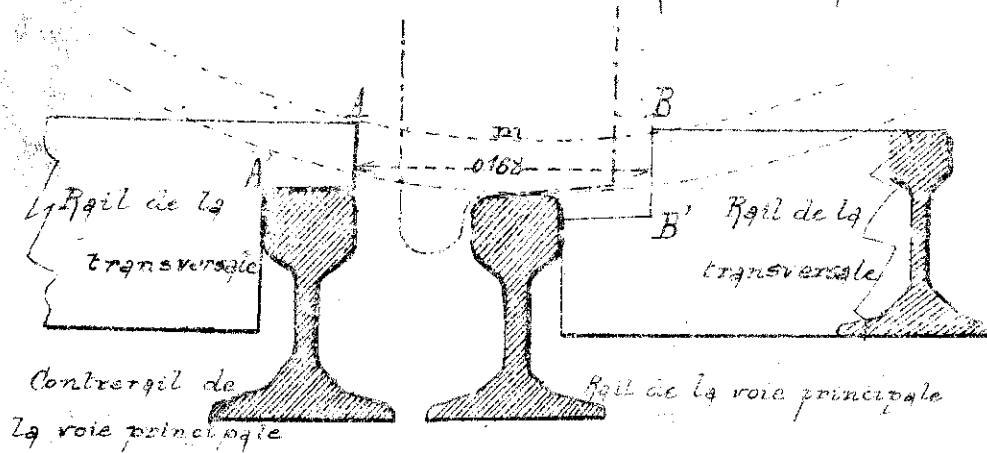
cette traverse comporte 4 coupures de rail qu'on réalise pratiquement de deux manières différentes, suivant qu'on a affaire ou non à deux voies de même importance.



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

mes généralement pas de contre-rails.

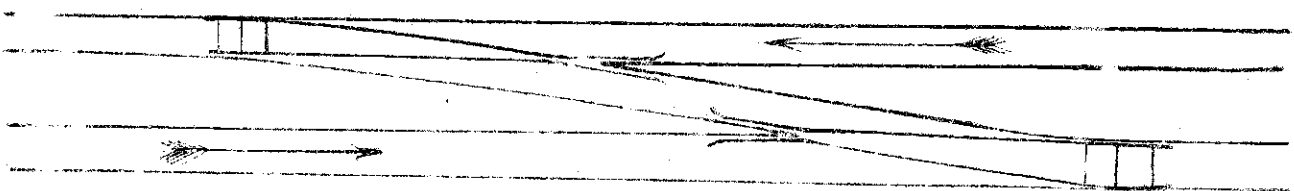
Lorsqu'au contraire une voie de manœuvre coupe à angle droit une voie principale de grande ligne, on ne fait pas de coupure dans les rails de cette dernière en on surélève de 50 mm environ les rails de la transversale qui comportent chacun deux coupures. Les boudins des roues circulant sur la voie accèdent à la rencontre de la liaison de la



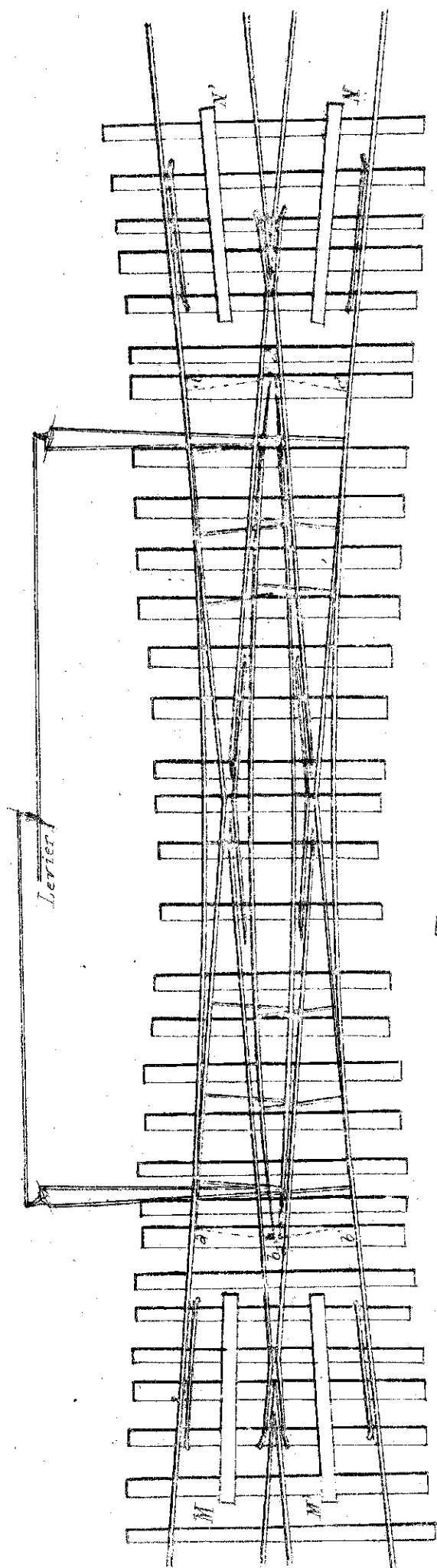
solution de continuité AB qui est assez prononcée (168) un point d'appui intermédiaire C qui est la partie supérieure du champignon du rail de la voie principale.

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

Jonction. - La jonction sert à faire communiquer



par aiguilles deux voies parallèles en est constituée. Deux aiguilles simples placées l'une à la suite



Traversee-jonction

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

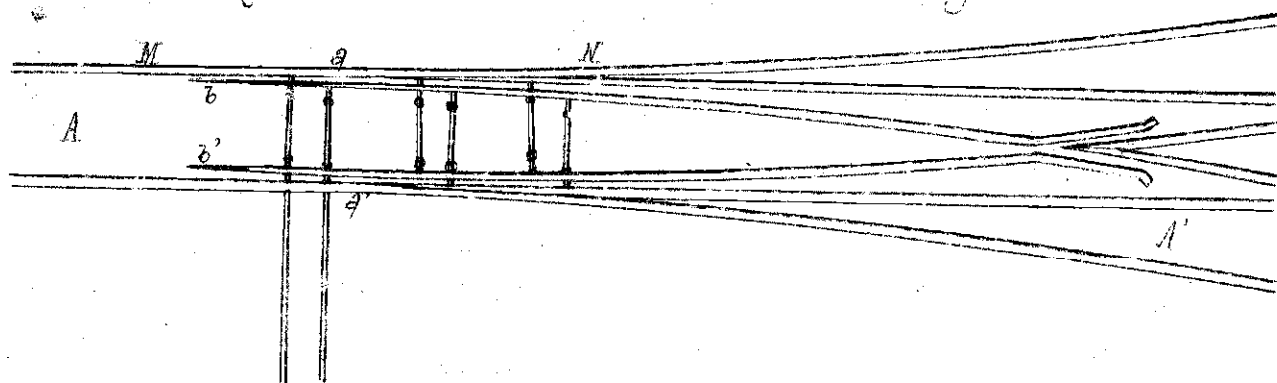
Traversee-jonction.— Comme son nom l'indique, cet appareil sert à la fois de traversee oblique pour deux voies MN en M'N', mais permet en outre aux trains de passer de l'une à l'autre de ces voies par une jonction spéciale inscrite entre les pointes de cœur extrêmes de la traversee.

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 traversee-jonction double.

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

on obtiens 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.

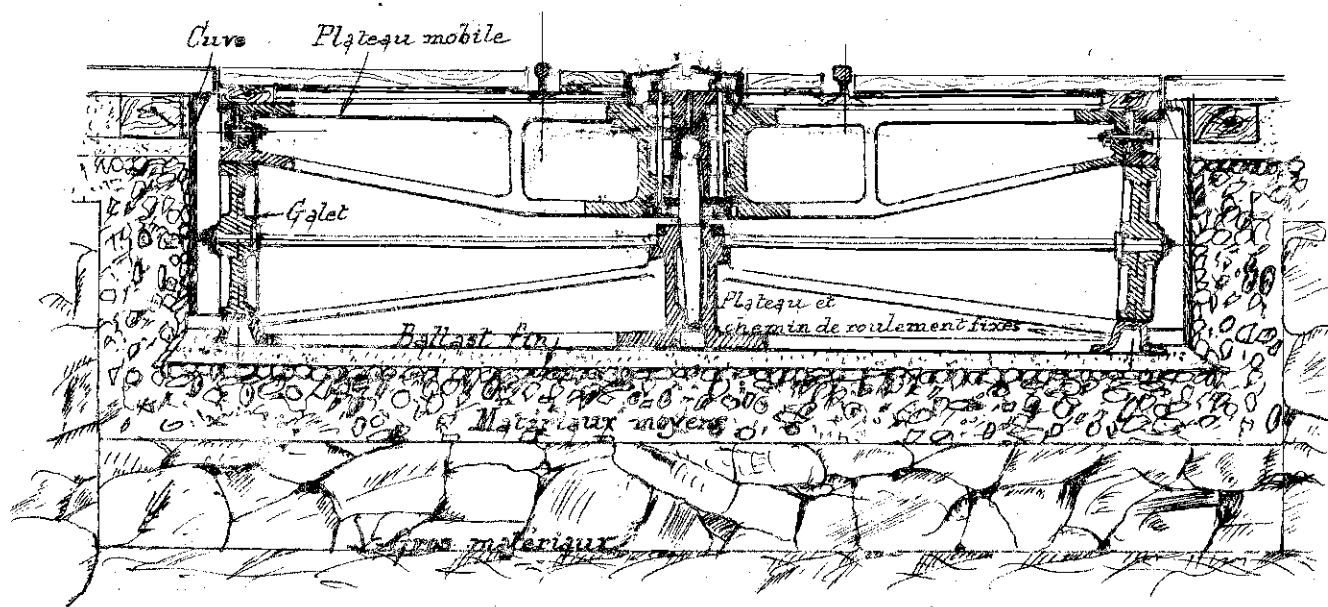
Changements à trois voies. — Les changements à trois voies, appelés encore aiguillages triples, sont en général symétriques en résultant de la juxtaposition de deux changements simples, à pose en voie droite, ayant l'un une déviation à gauche, l'autre



une déviation à droite en la partie médiane 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'.

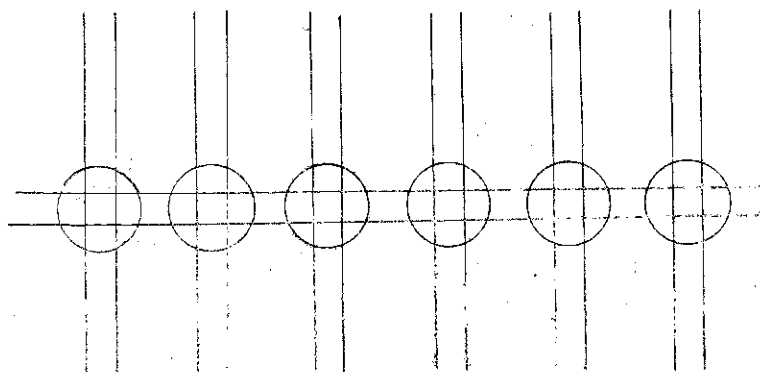
Les deux lames proches du même contre-rail sont de longueur inégales pour que leurs pointes rabotées puissent venir toutes deux s'appliquer contre le champignon du rail. Les rails intérieurs des deux voies déviées se coupent au milieu de la voie directe en se retombant en ce point, comme aux deux points de  contre des voies déviées avec la voie directe, sur le  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-

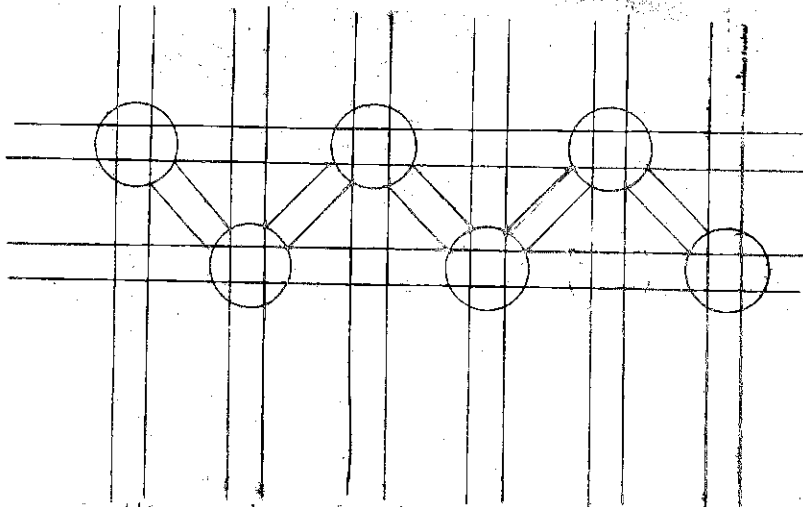


ques tournantes sont destinées à faire pivoter un véhicule (voiture, wagon ou locomotive de faible empattement) autour de son centre, soit pour le faire tourner de bout en bout, soit pour le faire passer sur la voie transversale après une rotation d'environ $\frac{1}{4}$ de tour.

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^{er} le cuvelage cylindrique destiné à entourer tout le système en à maintenir les tirres en le ballast environnant.

2^e 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^e des galets de roulement tronconiques qui supportent le plateau mobile en se déplaçant sur le chemin de roulement du plateau inférieur. Ces galets sont reliés par des tiges en fer à un anneau concentrique au pivot ;

4^e le plateau supérieur mobile supporté en son centre par un pivot en 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.

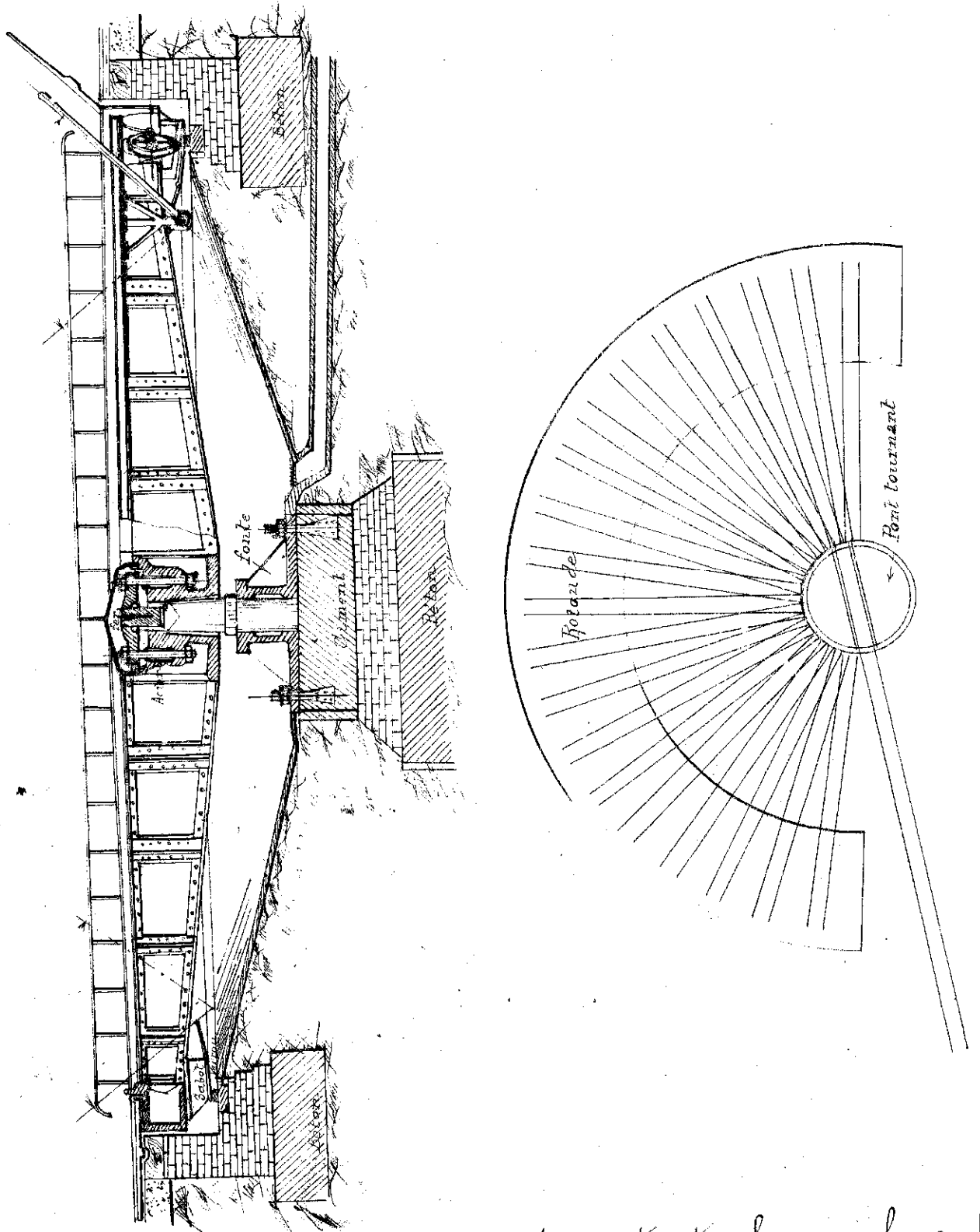
Le plateau supérieur comporte une charpente résistante présentant une poutre dans l'alignement de chacune des files de rails qui se coupent à angle droit sur la plaque. Les rails sont interrompus aux points d'intersection des deux voies comme dans une traversée rectangulaire ordinaire. Pour l'immobiliser dans l'une de ses positions donnant la continuité des portions de voies situées de part ou d'autre, il suffit de laisser retomber, dans l'une des encoches pratiquées en des points convenables du pourtour, en engelage, l'un des crando 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 attachant à l'une des extrémités du chassis du wagon un cheval, ou une machine de manutention, ou mieux un cabestan hydraulique ou électrique.

Le diamètre des plaques varie de 4 m. 20 à 5 mètres pour les wagons en voitures, mais on en établit spécialement sur 6 m. 30 et 6 m. de diamètre pour le tournage de petites machines-tendres ou de wagons à très grand écartement en, dans ce cas, les plaques tournantes sont pourvues de cabestans. Le prix de revient des plaques tournantes ordinaires est de 2500 à 3000 francs.

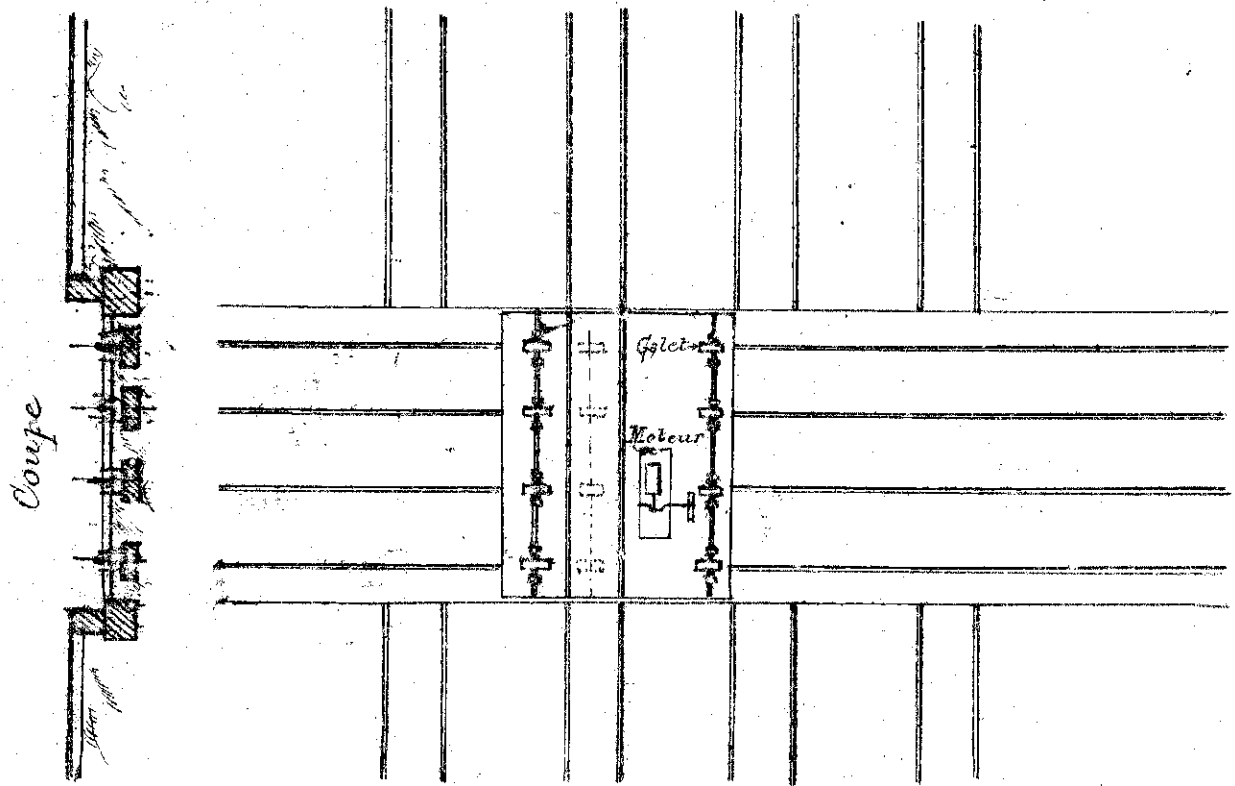
Tourne-plate pour machines. — Les machines puissantes, dont l'empattement et le poids sont considérables, exigent d'autres engins de tournage que les plaques tournantes que nous venons d'enseigner. Les ponts tournants qu'on établit pour cet usage

en qui atteignent jusqu'à 17 mètres de longueur utile se déplacent bien dans un encochage cylindrique



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

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



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

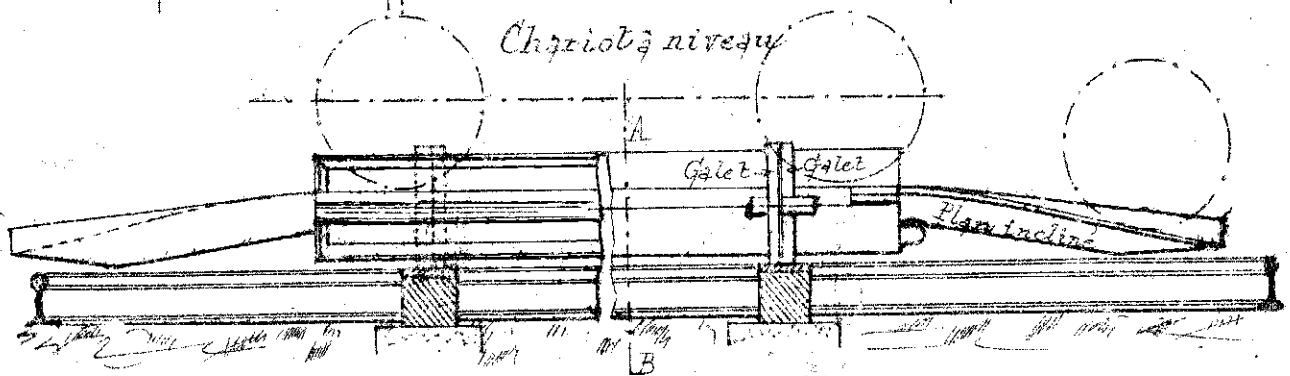
Lorsque les voies parallèles à desservir sont accessibles par aiguilles, comme dans les gares de triage, de marchandises, etc., il faut éviter que les voies soient coupées autrement que pour ménager de simples arrières pour les boudins des roues du chariot en on en conduit à utiliser des chariots sans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

Au contraire, dans les ateliers ou remises de voitures en 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.

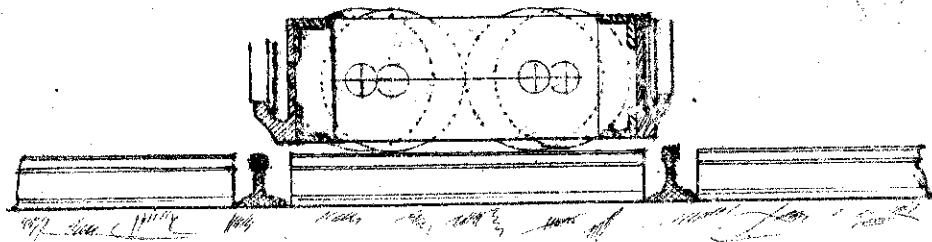
Cela permet de donner au chariot avec fosse des roues

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, résultant 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 dans la table supérieure affleure au même niveau que celles des voies



Coupe AB

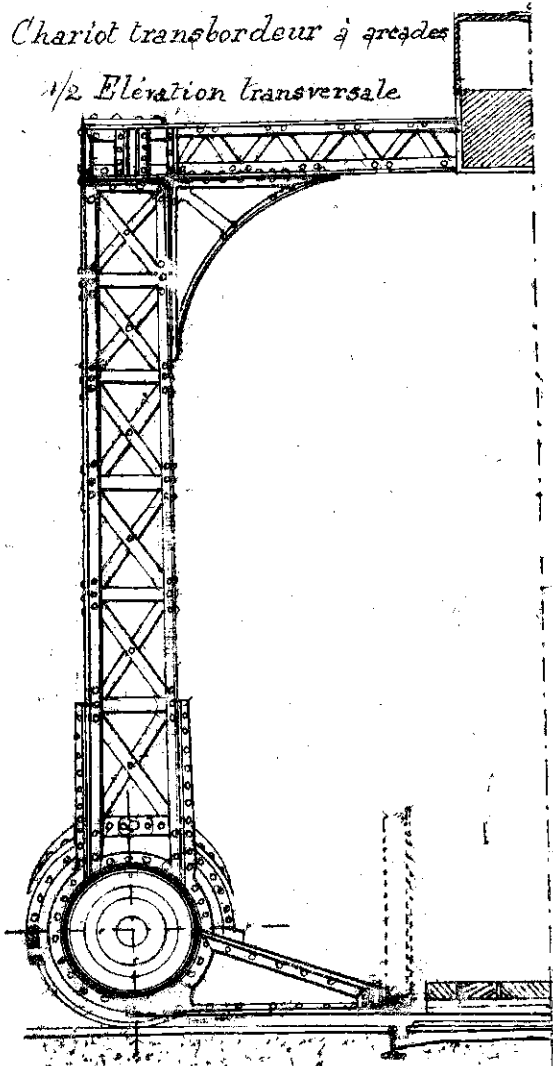


parallèles à desservir. Les galets sont généralement disposés par paires en quinconce pour permettre de franchir les coupures du chemin de roulement. Les rails du plateau mobile, sur lesquels sont amenés les véhicules à transborder sont très légèrement surélevés et raccordés aux rails des voies du faisceau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

aux 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 et 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.



Sur le Niveau 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 goussets triangulaires en tôles en cornières supportant les fils de rail et le léger plancher qui les relie. Les arcades en treillis complètent l'appareil

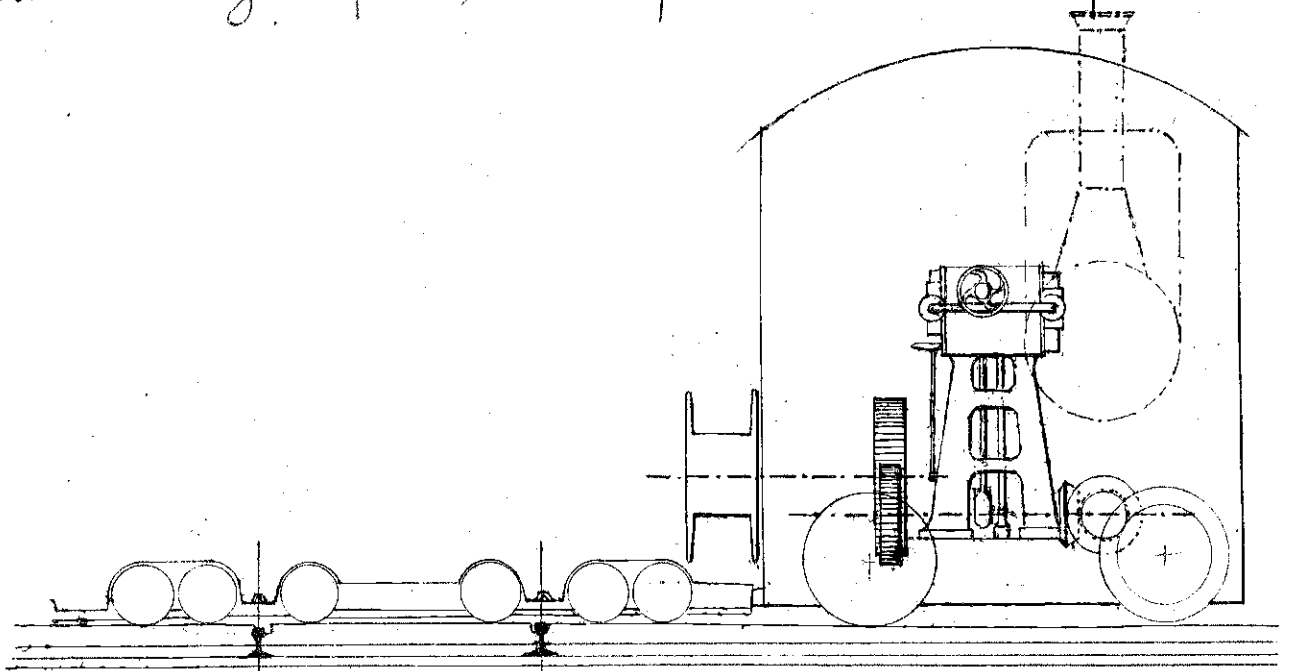
en contribuant à la rigidité de l'ensemble sans forme de contreventement.

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 Sille d'Alsace dispose en particulier d'un transbordeur à vapeur dans le plateau porteur en juxtaposé à un plateau tracteur portant



une chaudière type locomotive en 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 3^e 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 temps effectuer des manœuvres par aiguilles dans certaines périodes de la journée.

Signaux en encloschement

Signaux et enclenchements

Les signaux ont pour but d'assurer la sécurité des trains en 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, en son, 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 axe 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 en 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 doubles 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 en 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 projetée 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 donnant 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 siffler, on donne au mécanicien le signal "tirez", "refoulez" ou "ralentissez". Pour l'arrêt on donne des coups de corne ou de siffler brefs et précipités.

Le signal de départ se donne aux trains par un coup de siffler allongé que le conducteur répète au mécanicien par un coup de corne. — Pour les signaux acoustiques, on peut encore citer le siffler 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 perchoir. On les emploie encore pour doubler normalement certains signaux ou accidentellement en cas de troubles atmosphériques gênant la visibilité : brouillard.

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

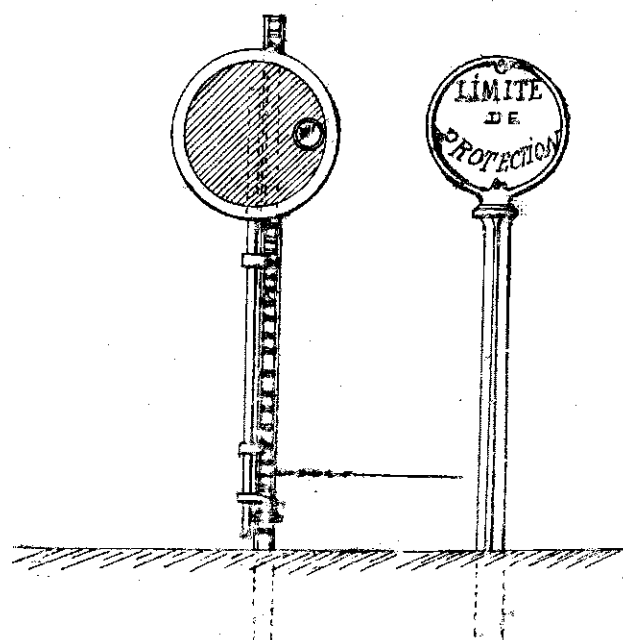
Signaux fixes. — Le Code des signaux, arrêté par le Ministre en 1885, a défini un certain nombre de signaux dans le but d'uniformiser le plus possible la signalisation sur l'ensemble des réseaux français. Les règlements spéciaux à chaque Compagnie ne peuvent renfermer aucune disposition contraire, mais 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.

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

Disque à Distance. — Le disque à distance présente, à une hauteur variant de 4 à 6 mètres, un disque 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 situation, afin de pouvoir s'arrêter en avant de l'obstacle ou, en tout cas, avant d'atteindre la première aiguille ou traversée de

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



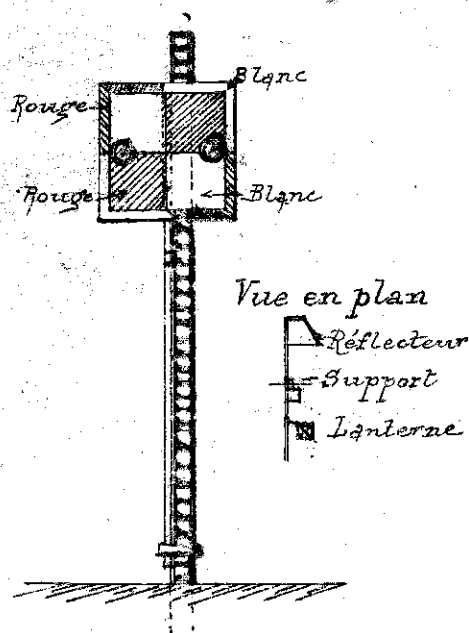
Le disque effacé, c'est-à-dire disposé parallèlement à la voie, en présentant la nuit un feu blanc indique que la voie est libre.

Lorsqu'il protège une station, le disque à distance est suivi à 600 ou 900 mètres d'un poteau portant l'inscription "Limite de protection" qui marque le point à par-

tir 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 mm de diamètre. La transmission est pourvue de compensateurs tels que le compensateur Robert ou le compensateur Oujour déjà envisagés. 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 contre poids 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 en 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.

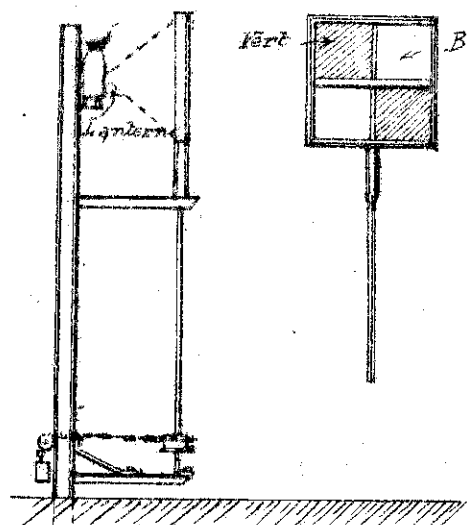


Indicateur de bifurcation ou de pont tournant. — Ces indicateurs portent une plaque carrée, éclairée la nuit par transparence, en sur laquelle on

inscrit le mot "Bifur" ou "Pont Tournant" en lettres noires sur fond dépoli.

Indicateur carré à damier vert en blanc. —

L'indicateur carré à damier vert en blanc est placé à 800 ou 900 mètres en avant du signal carré d'arrêt absolu.

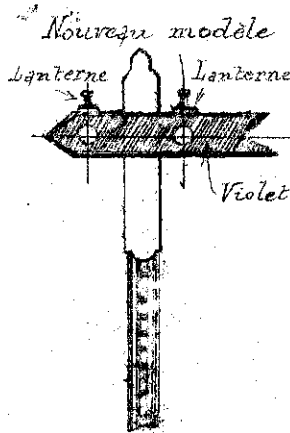
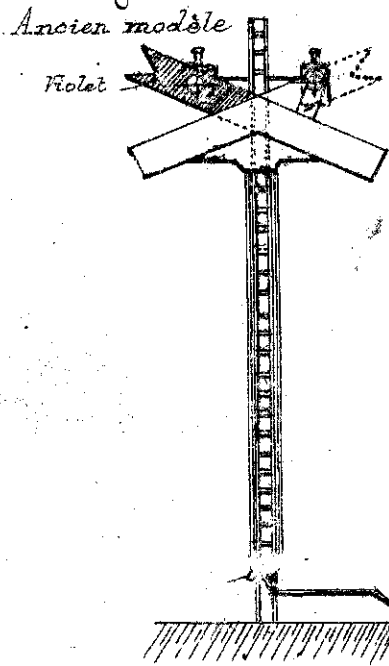


C'est un voyant éclairé la nuit par transparence en qui est fixé (c'est-à-dire fixé d'une manière immuable perpendiculairement à la voie) ou tournant. Dans ce dernier cas, lorsque le voyant est effacé, le signal indique aux mécaniciens que le signal carré d'arrêt absolu n'est

pas à l'arrêt. Dans le cas contraire, lorsqu'il présente perpendiculairement à la voie sa face en damier vert en blanc, il prévient les mécaniciens qu'ils peuvent rencontrer à l'arrêt le signal carré d'arrêt absolu. C'est donc un annonceur

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 les quelles

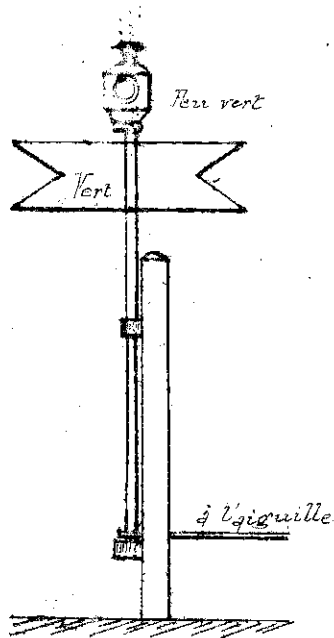


le mécanicien doit de-
mander sa direction à
l'aide du sifflet de la
machine (aux bifurca-
tions par exemple). Le
signal est rendu soli-
daire de l'aiguille par
une tringle et peut
prendre deux positions
suivant que l'aiguille
est disposée pour la
direction de gauche ou

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 indica-
teur constitué par une flamme verte mobile autour
d'un axe vertical peu élevé, solidaire de l'aiguille



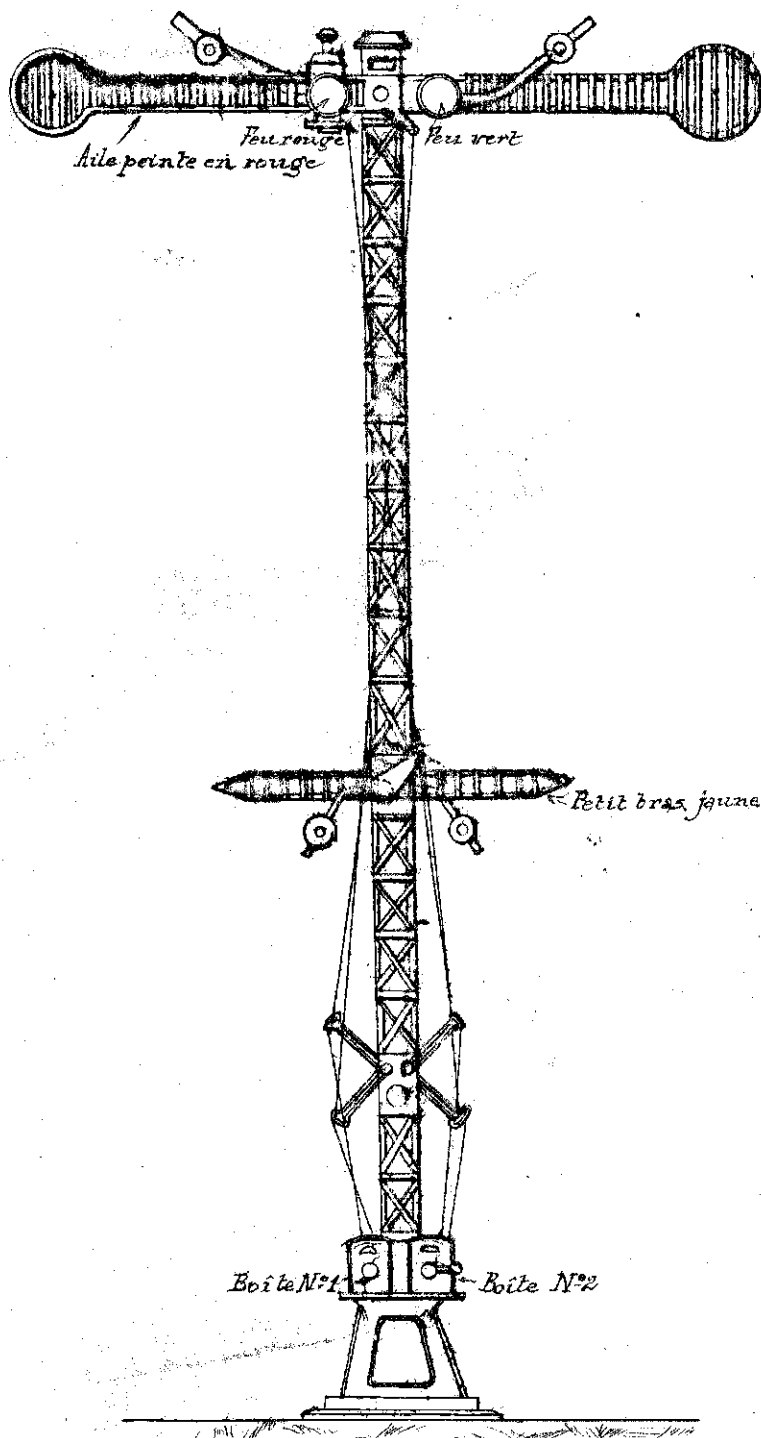
considérée, ne s'adresse qu'aux agents des gares en son surmonté d'une lanterne à 4 feux.

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 et indique 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 en à gauche pour annoncer

un train qui vient de pénétrer dans la section en-deçà en qui s'avance vers le poste de block considéré. Un coup de timbre brevien, 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 ou 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 Etats-Unis et sur le Continent, et en particulier sur le Nord français.

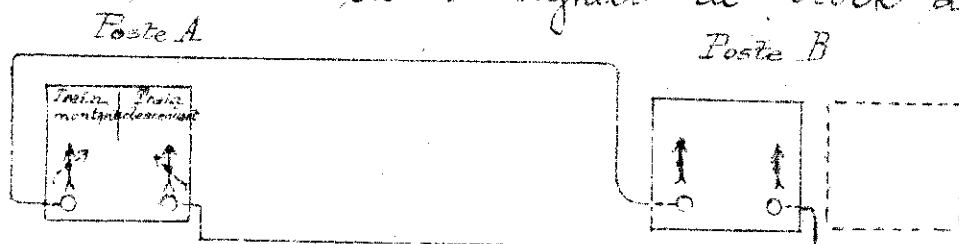
A un autre point de vue, les signaux de block peuvent être ou bien normalement à l'arrêt comme cela se pratique sur les réseaux anglais, ou normalement à voie libre comme sur le Continent.

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.

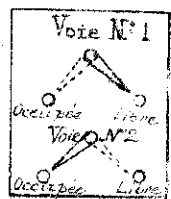
Dans le block à sections indépendantes pratiqué presque exclusivement en Angleterre en quelque peu aussi sur le Continent, les signaleurs de deux postes de block successifs correspondent entre eux par téléphone, par télégraphe Morse, ou par un télégraphe à aiguille. avant de mettre à voie libre le signal à distance en le signal de block de leur



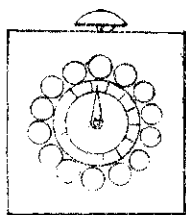
Indicateur à aiguille système Regnault

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 sans les yeux du signaleur.



Appareil Tyer



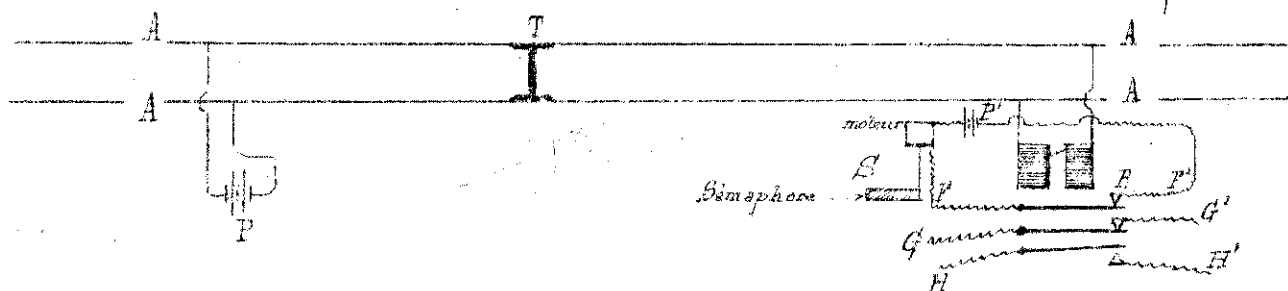
Appareil Jousselin

L'appareil à sonnerie Jousselin permet de donner non seulement les indications "Voie libre" ou "Voie occupée", mais une douzaine d'indications de seroi-

cc et même jusqu'à 25 indications différentes dans les

appareils en usage sur le G.S.N.

Dans le block system automatique tel que le block system Hall mis à l'essai sur le G.S.N., on établit dans l'étendue d'une section un circuit électrique en reliant les rails contigus par des fils métalliques en employant au contraire des écluses 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 $\frac{1}{2}$) suit le rail en attirant la palette du relais forme certains circuits tels que PP', 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 et le courant de la pile P n'atteignant plus le relais, la palette retombe sous l'action de son poids et referme les circuits tels que HH' en ouvrant au contraire les circuits GG', PP', etc... Si le circuit PP' 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.

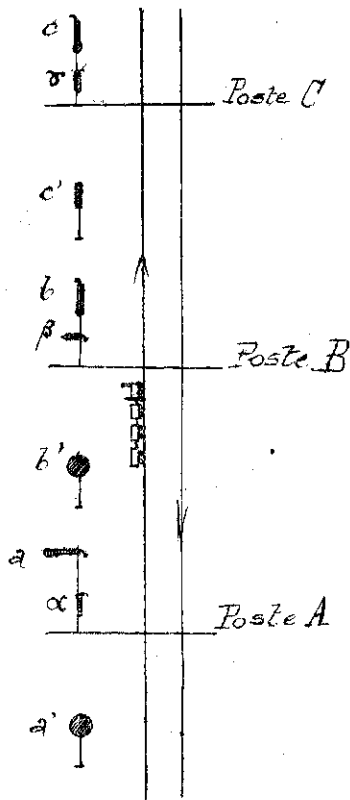
Le block automatique est très répandu aux États-Unis.

Dans le block-system enclenché, employé sur le Continent sous la forme des appareils Siemens en Italie, Regnault en Suisse et Sartique, 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 Suisse et Sartique 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 ^{sémaphore} main fortant pour chacune des voies, une grande aile pointée 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 $\frac{1}{2}$ 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 avançant 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 complètement 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 enclenché 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 débloquent 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 en tenant par cela même d'exécuter les manœuvres dans l'ordre prescrit, car les fautes sont nécessairement décelées ; mais le block cesse en Lartigue à 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, ou 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, en sachant 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.

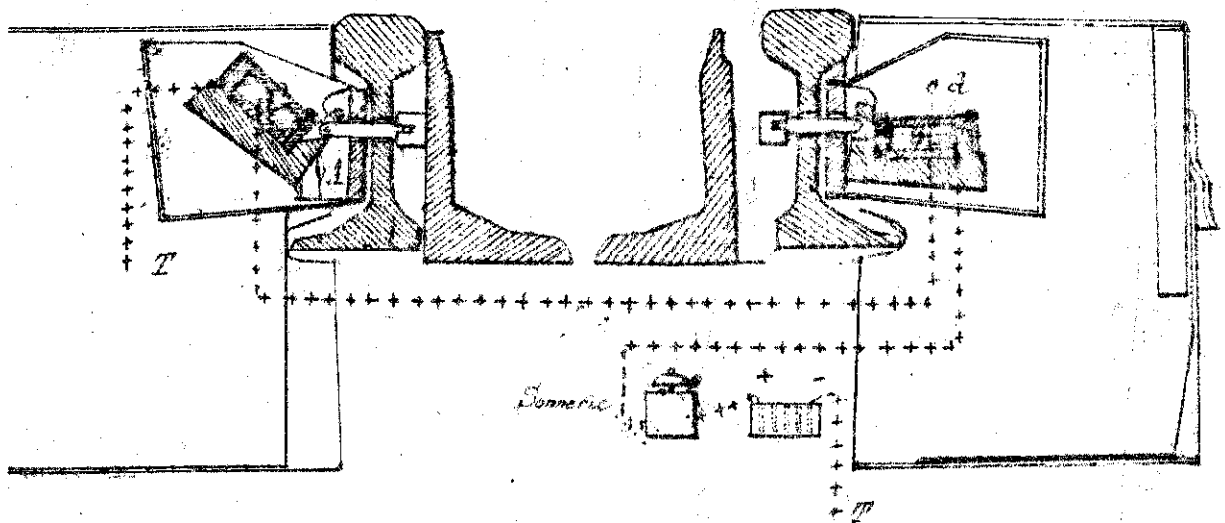
Appareils de verrouillage, de calage et de contrôle des appareils de voie.

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, en 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 ou par les appareils de calage ou de verrouillage.

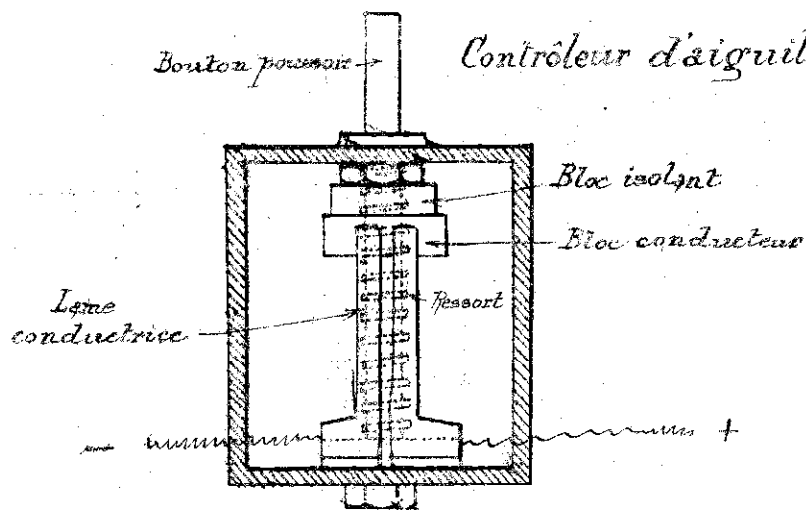
Dans le contrôleur Sartigue un bouton traversant



l'âme du contre-rail est enfoncée 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, en soin 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 mm, la boîte à mercure se rapproche de l'horizontale et la sonnerie tinte dans la cabine.

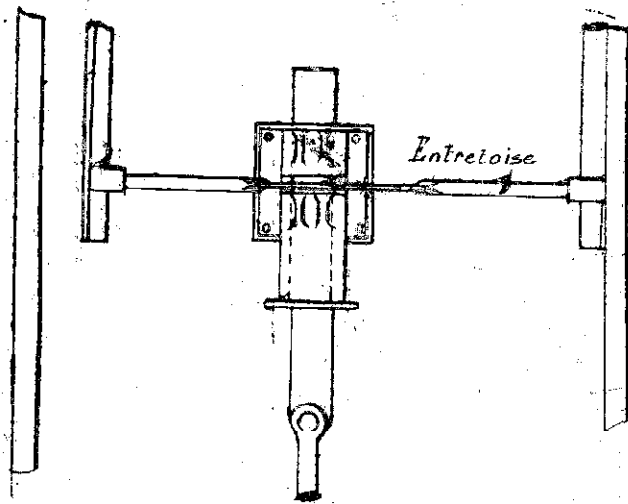
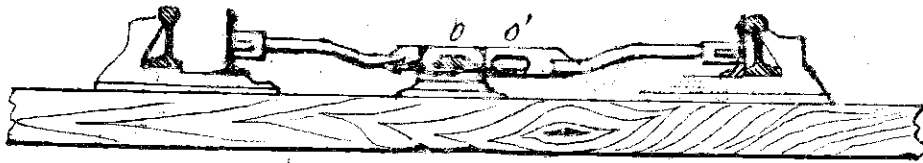
Dans le contrôleur électrique en usage actuellement sur le réseau du Nord, le bouton poussoir



actionné par la lame d'aiguille vient contraindre l'effort d'un ressort en établissant 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 Sactigue.

Avec l'un ou l'autre dispositif, dès que l'aiguille 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'enclenchement on manque parfois de place

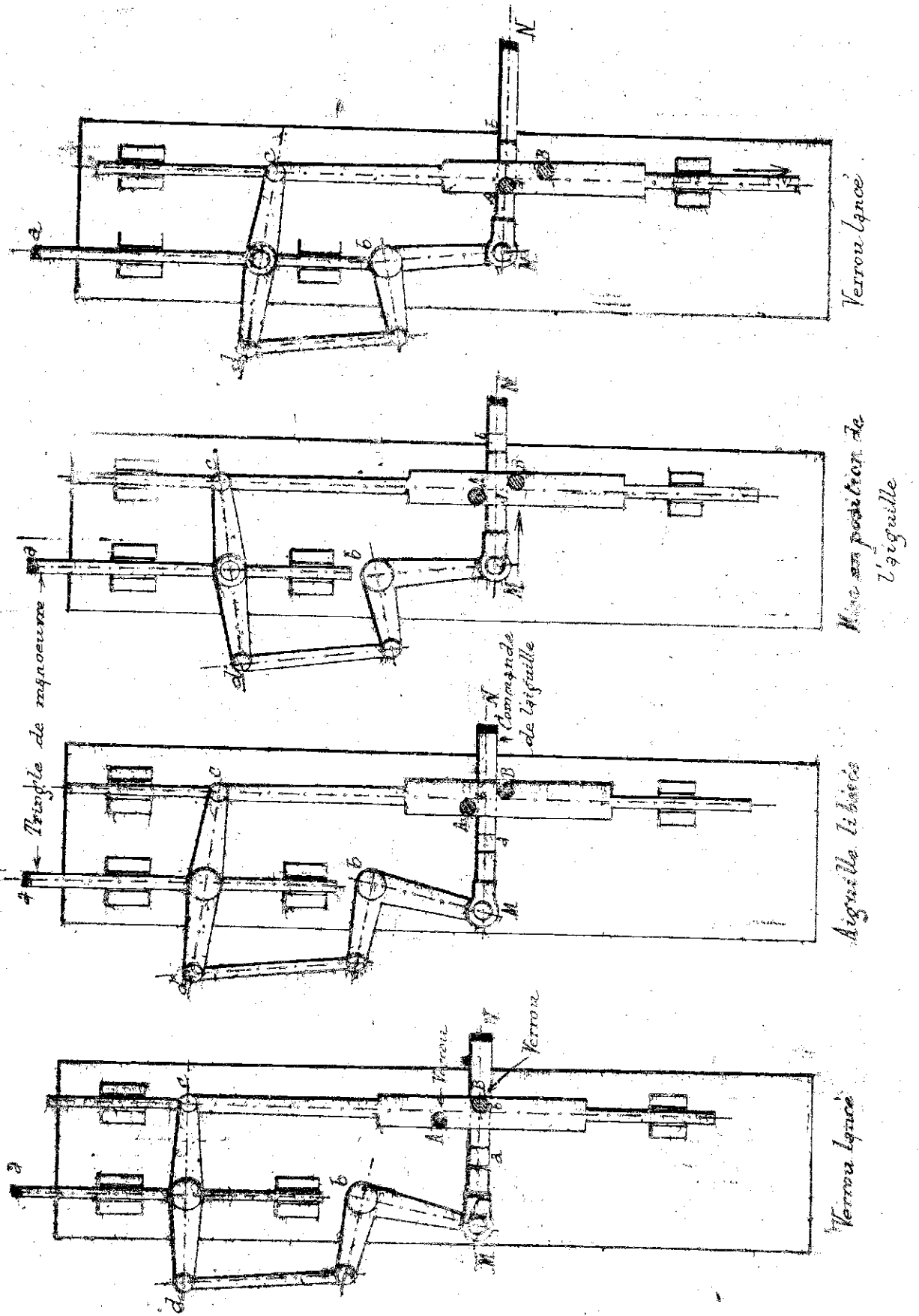
pour installer un levier supplémentaire.

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 en le verrouillage. Nous étudierons successivement les verrous-aiguilles Saxby et Farmer, Dujour et Goulen.

Dans le verrou-aiguille Saxby et Farmer, une tige longitudinale guidée AB solidaire de la transmission du levier, comporte une came latérale c en une encoche e.

L'entretoise de pointe de l'aiguille 1.1' porte

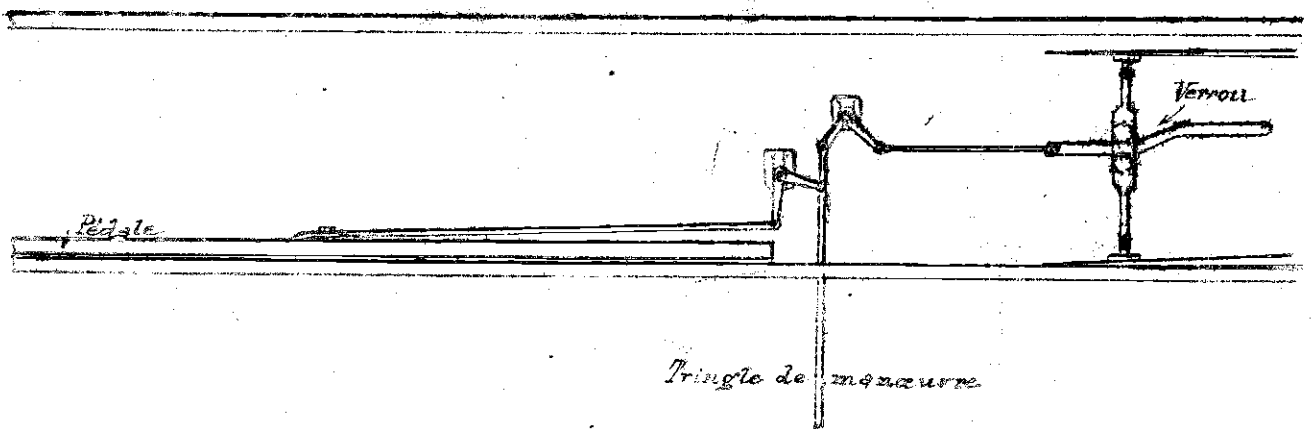
Verron-aiguille système Dujour



verrouillage.

Dans le verrou aiguille Dufour utilisé sur le G.S.R., 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 en qui sont suffisamment définis par les diverses phases du croquis. Dans l'une ou l'autre des positions de l'aiguille à force 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 .

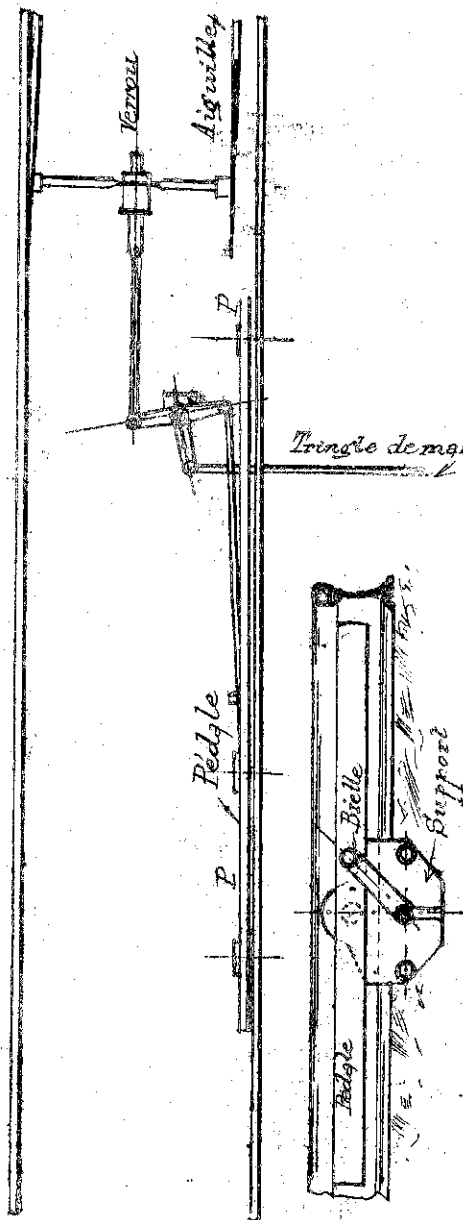
Dans le verrou aiguille Loutet, utilisé sur le réseau du Nord, concurremment avec le verrou aiguille



Saxby & Farmer, un verrou en forme de Z pénètre 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

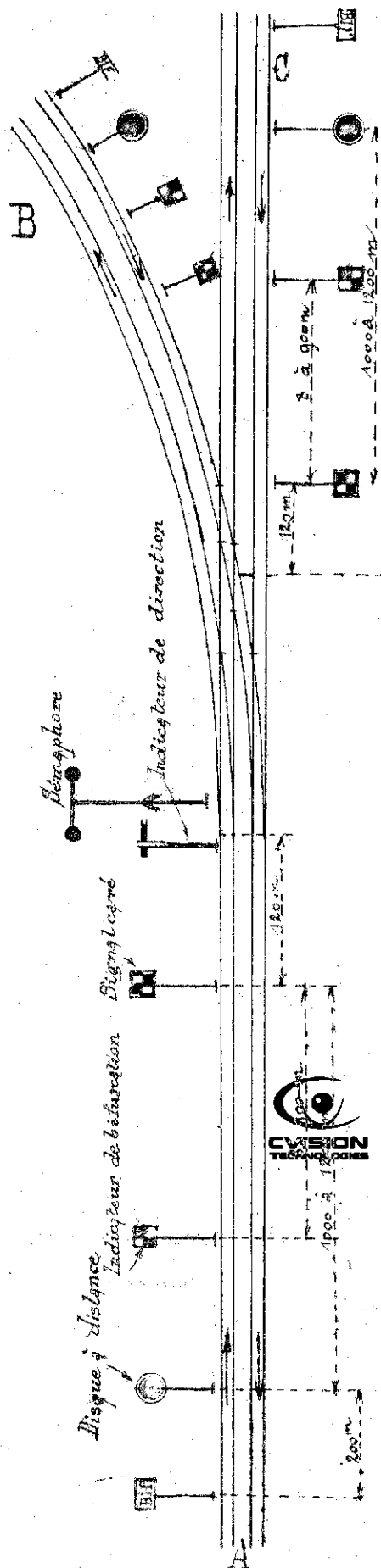
de déverrouillage en de serrouillage.

Pédale. — 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 en relief par transmission rigide à la manœuvre même de l'aiguille, à laquelle elle fait immédiatement suite, ou à la manœuvre du serron indépendamment s'il y a lieu, doit se relever pendant la manœuvre du serron 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 station, le mécanicien rencontre le disque à distance, puis, à 800 ou 600 mètres au delà, le poteau limite de protection. Le mécanicien qui trou-
 ve le disque à l'arrêt doit se rendre immédiatement maître de sa vitesse en, 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 vé-
 hicule a complètement dépassé le poteau limite de protection en 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 pro-
 teger le train comme s'il n'y avait pas de disque à distance.

Aux approches d'un poste sé-
maphorique, le mécanicien observe le disque à distance en, s'il le

voit à l'arrêt, doit prendre ses mesures pour arrêter au sémaphore en attendant 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 bifurcation, le mécanicien rencontre sur l'une quelconque des branches toute une série de signaux fixes que nous avons définis en qui sont : 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 au 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), en enfin, l'indicateur de direction d'aiguille en 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 en certainement ousern ; 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 en 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 en 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 prescrite 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 ~ ~ en 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 peut faire une douzaine de leviers distincts pour une bifurcation. L'idée est venue, de bonne heure, de disposer ces leviers aussi près que possible les uns des autres 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 zone de son poste et de lui assurer une liberté d'esprit suffisante. Cela permit, par surcroît, de réaliser entre les manœuvres des leviers de signaux et 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 disposées pour le passage d'un train allant de A vers C, ou encore d'obliger à effacer le damier vert 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 zones des gares, afin de matérialiser les consignes primitives par des enclenchements mécaniques que nous allons étudier.

Enclenchements

Enclenchements

Les enclenchements ont pour but de solidariser les leviers de manœuvre des aiguilles en 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 zone commandée par le poste d'enclenchement.

Enclenchements de route et enclenchements de protection. — Les garanties à obtenir sont de deux sortes :

1^{re} 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 en aménées 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^e 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 en signaux commandant des mouvements incompatibles avec celui qui s'exécute soient immobilisés mécaniquement.

Les enclenchements de la 1^{ère} catégorie sont dits enclenchements de route, ceux de la 2^e 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 ou 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), en 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 a 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'en 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 Cosmann 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 un numérateur, le levier enclenché un 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) $\frac{AR}{BN}$ — d² — — d² — (AR-BR)

(3) $\frac{AR}{BR}$ — d² — — d² — AR-BN

Cette forme fractionnaire, qui permet à l'opérateur de discerner immédiatement que le levier indiqué au

dénominateur en pose 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. Or, 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'enclenchement employés : Signier, Pasby, 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 :

$$\frac{AR}{BN \text{ en } BR} \text{ qui a pour réciproque } \frac{B \text{ (pendant sa course)}}{AN}$$

Dans une 3^e notation assez utilisée dans la pratique des enclenchements au Chemin de fer du Nord en particulier, on adopte les abréviations suivantes :

$$\begin{array}{ll} \underline{A} & \text{signifie } A \text{ normal} \\ \overline{A} & - d' - A \text{ renversé} \\ \underline{\overline{A}} & - d' - A \text{ pendant sa course} \\ \frac{(A)}{(A)} & - d' - A \text{ normal en renversé} \end{array}$$

$>$ signifie enclenché

Les combinaisons (1) (2) (3) envisagées précédemment se traduisent donc par :

$$(1) \underline{A} > \underline{B} \quad (2) \overline{A} > \underline{B} \quad (3) \underline{\overline{A}} > \overline{B}$$

$$\text{donn les réciproques sont respectivement :}$$

$$(4) \underline{\overline{B}} > \overline{A} \quad (5) \overline{\underline{B}} > \underline{A} \quad (6) \underline{B} > \underline{A}$$

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 obtiendra en supprimant le facteur commun $\overline{B}$:

$$\overline{C} > \overline{A}$$

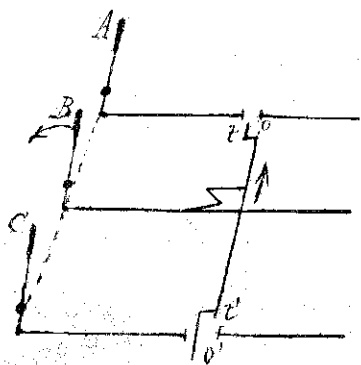
qui est en effet un enclenchement indirect résultant de l'ensemble de deux précédents.

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 dégagèrent, suivant le cas, des encoches pratiquées sur les leviers enclenchés.

Les schémas ci-dessous montrent le jeu du levier enclencheur B



qui actionne, par un retour d'équerre approprié, une barre transversale supportant les taquets d'enclenchement.

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 E' 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 :

$$(2) \quad \underline{B} > \underline{1}$$

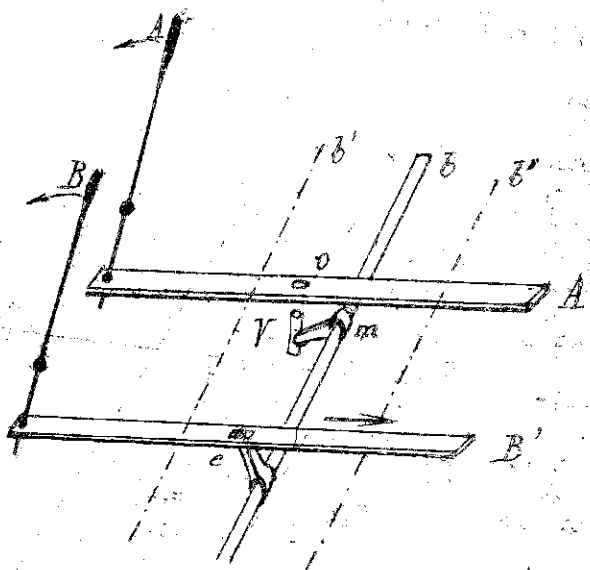
Au contraire, si au lieu de renverser B , on renverse A , l'encoche o se déplace, et le taquet t ne pouvant plus passer, le levier B est immobilisé dans sa position normale, c'est-à-dire qu'on a :

$$(3) \quad \underline{A} > \underline{B} \quad (\text{réciproque de (2)}).$$

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 :

$$(4) \quad \underline{C} > \underline{B} \quad (\text{réciproque de (3)}).$$

Postes d'enclenchement 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 (sans l'action d'une petite manivelle d'en-



traînement et donc 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 serron V , en pénétrant dans un logement cylindrique O de la barre horizontale du levier A vient immobiliser cette barre en réalisant l'enclenchement :

$$\underline{B} > \underline{A}.$$

Si, inversement, dans le cas de la figure ci-dessus, on renverse le levier A , le logement cylindrique se déplaçant dans le mouvement de la barre A' , le serron V butera contre une partie pleine de cette barre, ce qui, par l'intermédiaire de l'arbre E , empêchera de manœuvrer la barre B' en le levier B .

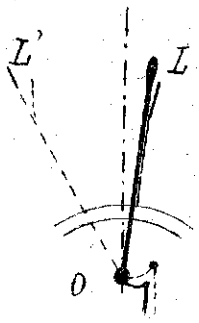
On a donc bien réciproquement : $\underline{A} > \underline{B}$

En combinant convenablement les serrons 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 prendra 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 b, b', b'' .

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 Darby & Farmer.

Système Darby et Farmer. — Le système Darby 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 verticaux, mais cependant un



pen inclinés du côté opposé à l'aiguilleux. Lorsqu'il doit les actionner, ce dernier les attire vers lui (de I en I') en leur faisant décrire un angle autour d'un axe O situé au-dessous du plancher de la cabine.

Candis 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'aiguilleux 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 aiguilleux inattentifs ou inexpérimentés, se traduisent par une fatigue anormale des organes d'enclenchement.

Les leviers Saxby, disposés sur le bâti, à une distance invariable (de 127 mm) 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'enclenchement disposée horizontalement en avant d'eux, en cette solidarité est réalisée pour

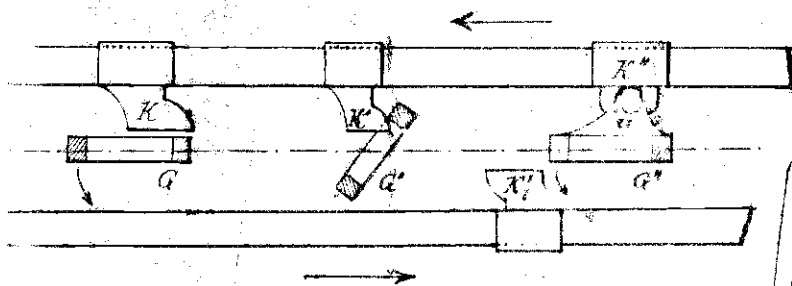
chacun des leviers par un ensemble d'organes que nous allons décrire maintenant.

En avançant en 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 proprement dit I ; 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.

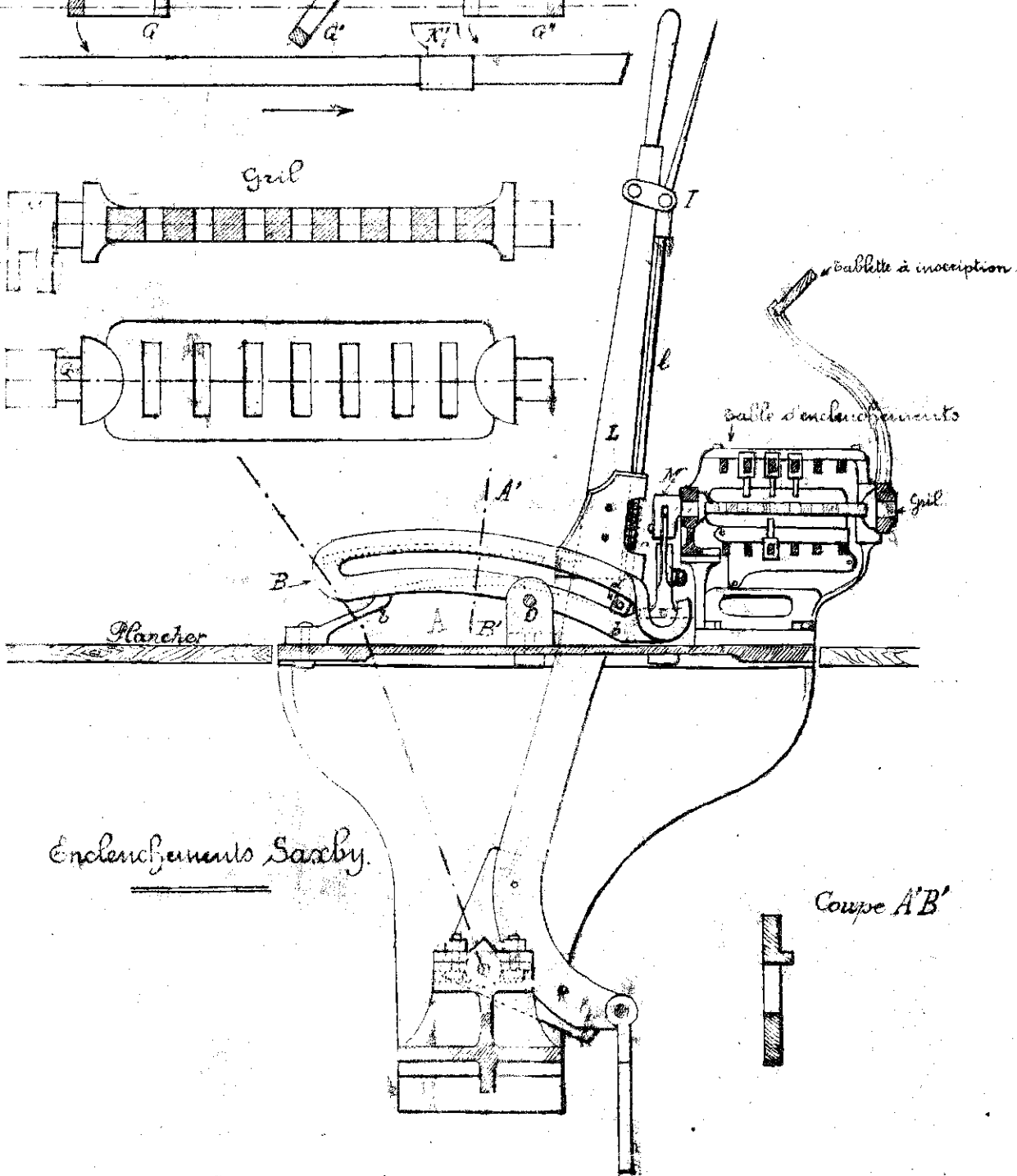
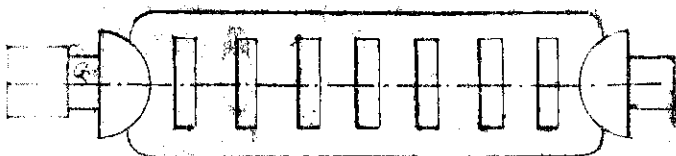
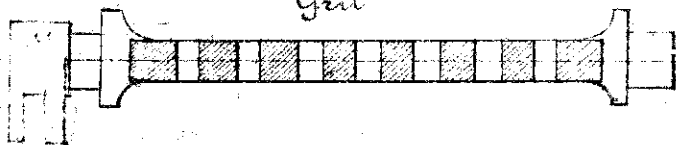
Lorsqu'on applique au contraire la manette contre le levier, la tige L , en même temps qu'elle se dégage du cran d'arrêt, fait remonter un coulisseau C . Sous l'action de ce coulisseau, un balancier B en forme de coulisse, oscille d'un petit angle autour d'un axe a situé en avant de la verticale de l'axe du levier lui-même, en prend une position telle que la coulisse du balancier devienne 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.

Coupe d'une table d'enclenchements

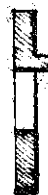


Gril



Enclenchements Saxby.

Coupe A'B'



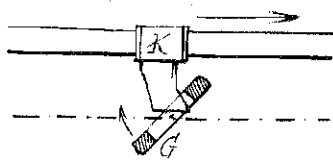
à cause de son aspect caractéristique aux parties pleines avec des fenêtres régulièrement espacées. C'est la pièce fondamentale au point de vue de l'enclenchement; elle occupe, au repos, c'est à dire lorsque le levier et son balancier sont à fond de course dans la position normale, un plan horizontal, au-dessus ou au-dessous duquel peuvent se déplacer sans difficulté des taquets K, K', K'' 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 en dis lors, par l'intermédiaire du balancier, la manette — en 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'' sont décalés de manière à laisser toucher 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 entraîne un taquet échancré K'' fixé à demeure sur la barre d'enclenchement. Celle-ci se déplace alors de $com. b$ dans un plan perpendiculaire aux grils en provoque le déplacement des taquets enclenchés tels que K et 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. $G'' > G$.

Etais 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 grils ou des barres d'enclenchement est ainsi amorcé - si la chose est possible - dès qu'on déplace la manette ou le balancier, arrêté pendant la course du levier lui-même en terminant 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 proscrire interviennent à l'avance.

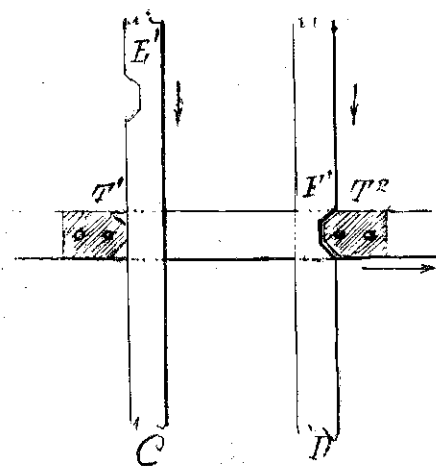
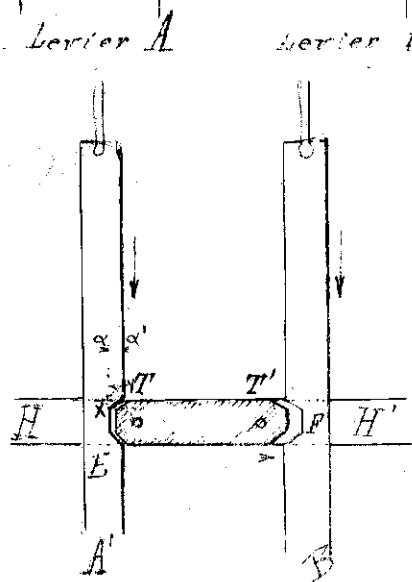
2° au contraire, les enclenchements qui doivent disparaître ne cessent d'agir qu'après achèvement complet de la course du levier.

Ces résultats qui sont obtenus par le jeu du balancier ou d'organes d'enclenchement ajustés avec une grande précision, sont un intérêt de tout premier ordre au point de vue de la sécurité et expliquent que le système Saxby & Farmer ait été généralement appliqué, tant en Angleterre que sur le Continent, à tous les postes d'enclenchement 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

hexaèdre, de même qu'à Ermenon (réseau du Nord), en France aux cabines hydrodynamiques. Sur 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.



Ces barres verticales sont pourvues d'échancrures hémihexagonales dans lesquelles peuvent pénétrer, suivant le cas, des taquets plats TT' découpés en demi-hexagones 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 $\alpha\alpha'$ en glissant dans un plan vertical perpendiculaire 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 fixation exercée sur l'arête XY de l'échancrure suffira pour chasser vers la droite le taquet dans l'échancrure du levier B , en ar-

retenant l'enclenchement: $A \rightarrow B$

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

taquet T' le taquet T aurait rendu impossible tout mouvement du levier A en on aurait eu :

$$\bar{B} > A$$

La seconde figure montre comment dans ce système on peut réaliser l'enclenchement :

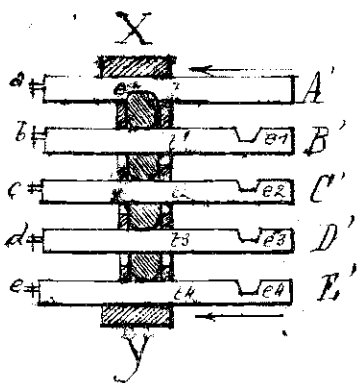
$$\underline{C} > \underline{D} \text{ en sa réciproque } \bar{D} > \bar{C}$$

On voit qu'avec des combinaisons simples de taquets en d'encoches on peut réaliser tous les enclenchements binaires.

Le dispositif ci-contre montre comment 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 :

$$(AR, BN, CN, DN, EN) \text{ ou } (\bar{A}, \bar{B}, \bar{C}, \bar{D}, \bar{E})$$

incompatibilité qui signifie que le levier A ne peut 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 peuvent coulisser dans une boîte horizontale XY .

On voit que dans la position normale des leviers B, C, D, E , le taquet t ne peut sortir de l'encoche en maintenant la barre d'enclenchement du levier A dans sa po-

sition normale.

Si on renverse l'un des leviers B, C, D, E , le levier D par exemple, l'encoche e_3 vient se placer vis-à-vis du taquet t^3 , qui peut pénétrer dans cette encoche en donnant à l'ensemble des petites barres articulées bB', cC' en des taquets t_1, t_2 , un jeu suffisant pour que le taquet t puisse dégager l'encoche e sous

l'action du levier solidaire de la barre 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 1^{re} colonne, ceux des leviers qui sont enclenchés dans

N° des leviers	Désignation des leviers	Leviers enclenchés normalement et qui sont dégagés	Leviers libres normalement et qui sont enclenchés	Leviers renversés au préalable et enclenchés
		par ceux de la 1 ^{re} colonne renversés		
1	Épiguille	5	4. 6.	
2	Épiguille	7.	6.	
3	Indicateur vers Mouscron			6.
4	Indicateur vers Calais p. Mouscron		1.	
5	- 1 ^o - 5 ^o pour Sille			1.
6	- 5 ^o vers Mouscron p. Calais	3.	1. 2.	
7	- 5 ^o vers Sille p. Calais	10.		2.
8	Ind. tournant vers Calais	enclenché	conditionnellement	
9	Disque à dist. vers Mouscron			non enclenché
10	Ind. tournant vers Sille			7
11	Disque à distance vers Sille			non enclenché
12	- 1 ^o - vers Calais			non enclenché

Enclenchements conditionnels
(Positions rendues incompatibles)

(8R - 4N. 5N.)

leur position normale, tant que le levier (A) indiqué dans la colonne 1 n'est pas renversé (enclenchements de la forme $\underline{A} > \underline{B}$) ;

2° dans une 4^e colonne, ceux des leviers qui sont enclenchés dans leur position normale lorsque A est renversé (enclenchements

de la forme $\bar{A} > C$).

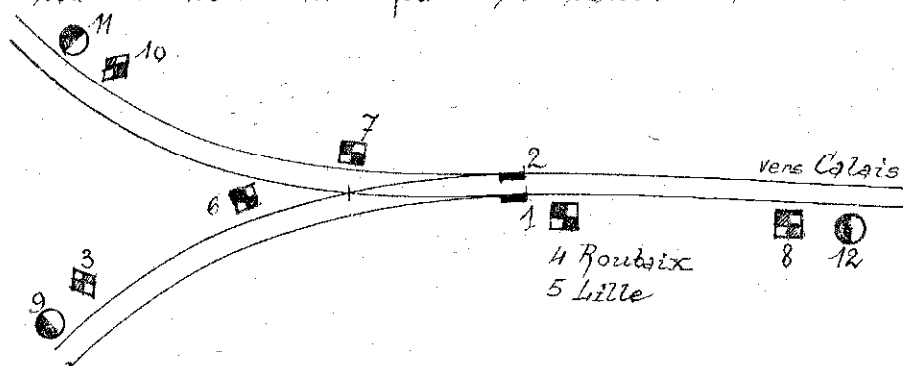
3^e dans une 5^e colonne, ceux des leviers qui doivent être renversés au préalable pour que A puisse lui-même être renversé (enclenchements de la forme $\bar{A} > \bar{D}$).

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 ou plus. Exemple d'enclenchement conditionnel:

(AR, BN, CN, DN, EN) ou $(\bar{A}, \bar{B}, \bar{C}, \bar{D}, \bar{E})$

donc 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, donc trois 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 en manœuvre, suivant la position donnée au préa-

table à l'aiguille 1, par l'un ou l'autre des leviers 4 et 5.

Chacun des leviers de signaux carrés 4, 5, 6 et 7 enclenche, lorsqu'il est renversé, une combinaison distincte des aiguilles 1 et 2.

Il faut, en effet, que l'ouverture du signal carré fixe les appareils de voie dans une position déterminée; c'est ce que nous avons appelé les enclenchements de route. Et 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 d'écart ne viendra pas du tronc commun; c'est pourquoi on impose en outre l'enclenchement:

$$\overline{6} > 1$$

qui constitue ce que nous avons appelé un enclenchement de protection.

Le tableau indique, en outre, les enclenchements binaires:

$$\overline{3} > \overline{6} \quad \text{et} \quad \overline{6} > \overline{7}$$

qui obligent l'aiguilleur à maintenir fermé l'indicateur tournant à damier vert ou blanc de l'une des deux branches tant que le signal carré d'arrêt absolu correspondant n'a pas été inversé.

En ce qui concerne l'indicateur tournant à damier vert ou blanc, installé du côté du tronc commun, un enclenchement conditionnel:

$$(\overline{8P}, 4N, 5N)$$

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

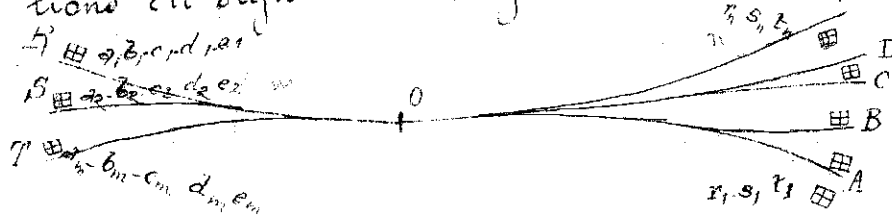
à une direction déterminée.

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 curvés qui peuvent être l'origine de trajets distincts fut employée tout d'abord. Elle permet-
t-elle 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 et, 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 les aiguilleurs pour se rendre d'un levier à l'autre.

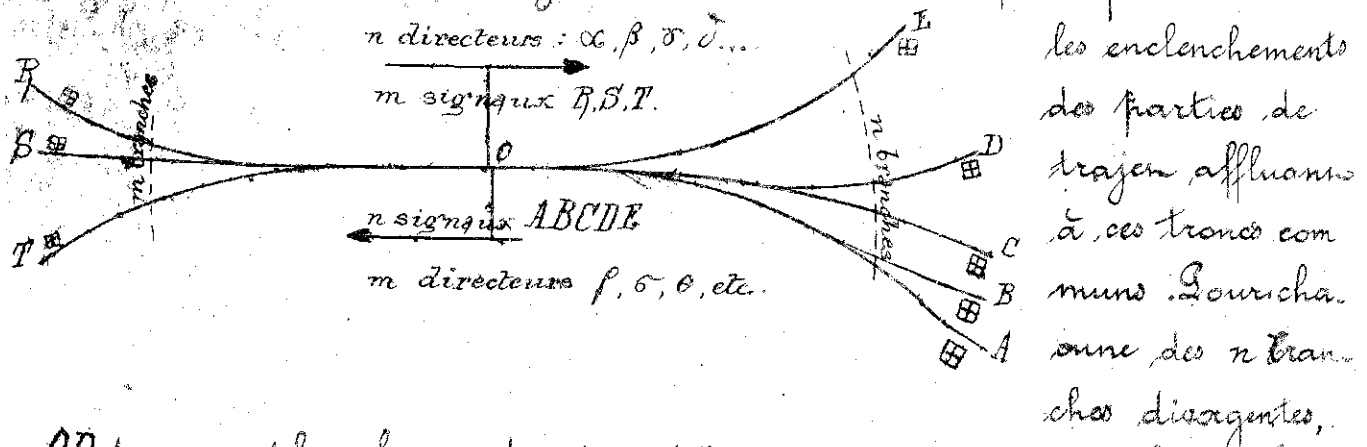
Si dans la zone d'une cabine commandant, à l'amont, m directions convergentes et à l'aval n directions ou signaux divergents, on veut permettre tout les mouvements possibles d'une progression quelconque sur l'une des directions optiques



chacun des m signaux d'amont doit avoir n leviers multiples actionnant un même voyant de signal et chacun des n signaux d'aval doit avoir m leviers multiples, ce qui donne en tout :
 $(mn + nm)$ ou $2mn$ leviers de signaux auxquels

s'ajoutent de nombreux leviers d'aiguilles, serrans, etc..

Leviers Directeurs. — Pour éviter cette multiplication rapide des leviers de signaux dans les grandes cabines, la maison Saxby et Farmer a recouru d'assez bonne heure à l'emploi de leviers spéciaux dits leviers directeurs qui n'ont aucune action sur les rayants des signaux, mais synthétisent les enclenchements de certaines parties de trajet communes à plusieurs mouvements, les leviers de signaux n'intervenant plus pour assurer



OD par exemple, 1 levier directeur (β) sera pourvu de tous les enclenchements afférents au trajet OD. Le point fictif O du tronc commun sera dit point d'application des leviers directeurs..

Chacun des m signaux de départ des branches R, B, 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, assurera 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, B, T — ouvrant l'un des signaux.

Avec cette combinaison de leviers directeurs, on aura pour le sens $\rightarrow$: m leviers de signaux + n leviers directeurs.

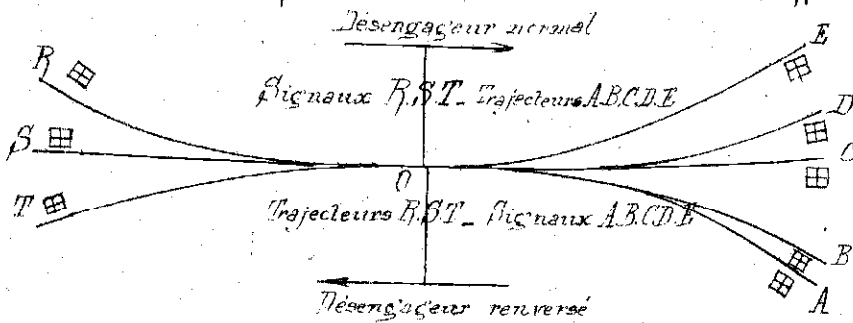
pour le sens inverse, il suffirait de même de :

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 faissceaux 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 , affecté à la branche OD ,



qui n'en, on se le rappelle, qu'un organe d'enclenchement n'activerait aucun appareil de voie ou signal, comporte tous les en-

clenchements 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, OC, OD, OE , le rôle de leviers directeurs de destination pour les mouvements de sens inverse. Les n leviers directeurs $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ de sens $\rightarrow$ sont alors supprimés et 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 voyant du signal, alors que l'un des signaux de sens inverse R, S, T pourraient être ouverts, un enclen-



chemin supplémentaire oblige à renverser un levier unique dit 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, avant de renverser le levier *S* qui ouvre le signal, avoir renversé le levier désengageur des signaux de sens opposé, c'est-à-dire en 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 renversée 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 en 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 (*O.D.*) et un désengageur jouant le rôle d'inscruteur.

Suivant les mouvements à effectuer, les mêmes leviers sont suivant le cas trajecteurs de provenance ou de destination, leur but est de préparer ou fixer les enclenchements du trajet tandis que le désengageur ou inscruteur 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 complète par un classement rationnel des voies, en cabines} suivant leur fréquence d'emploi, on avait obtenu pour les grandes cabines d'axby le summum des simplifications possibles dans le travail des aiguilleurs.

Cabines à transmissions fluides. — Pour alléger davantage le travail physique des aiguilleurs, on poursuivait 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 donnant le mouvement d'air pressuré, 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, et aussi à l'air comprimé à basse pression.

Dans les cabines à trajecteurs fluides d'Ermonville (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 inverses. 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 Gizeux), 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'inscruteur" soit déclenché en huisse, ouvre le signal — qu'autant que les contrôles impératifs de tous les appareils de voie ont agi.

Cabines hydrodynamiques. — Une cabine hydrodynamique (comme celle de Gizeux par exemple) comporte essentiellement :

1^{re} des accumulateurs hydrauliques dans lesquels l'eau est refoulée et emmagasinée sous une pression de 50 atmosphères par des pompes actionnées par des dynamos.

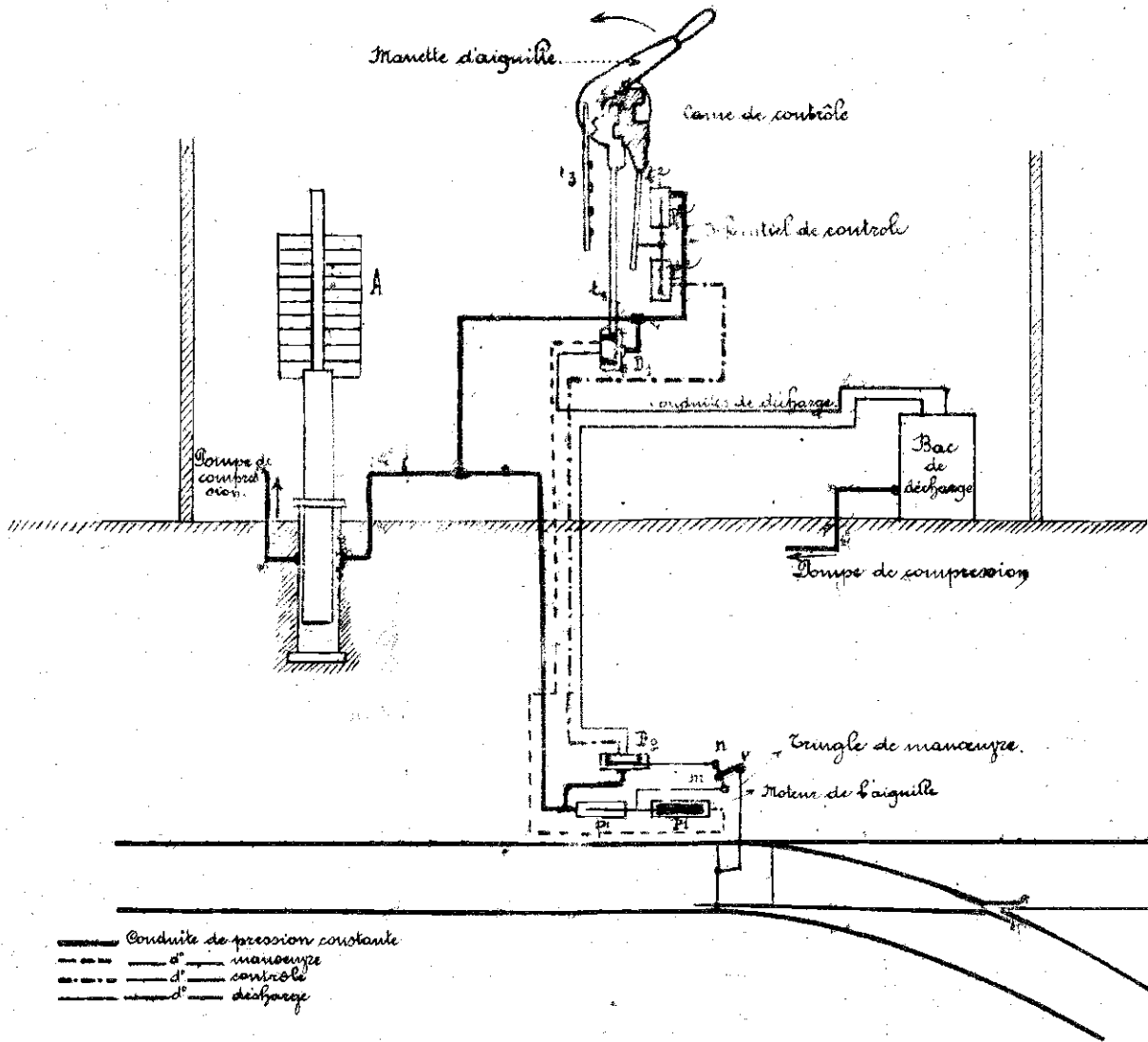
2^{de} de petits leviers ou manettes qui commandent par des tiges verticales des distributeurs de manœuvre (tiroirs de distribution de l'eau sous pression jouant le rôle de relais pour la manœuvre des appareils de voie ou des signaux) ; les manettes sont enclenchées entre elles dans un plan vertical par application du système Stevens, que nous avons envisagé précédemment.

3^{de} des moteurs actionnés 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^{de} 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 détermine

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 reprise par les pompes dans le bac de décharge.

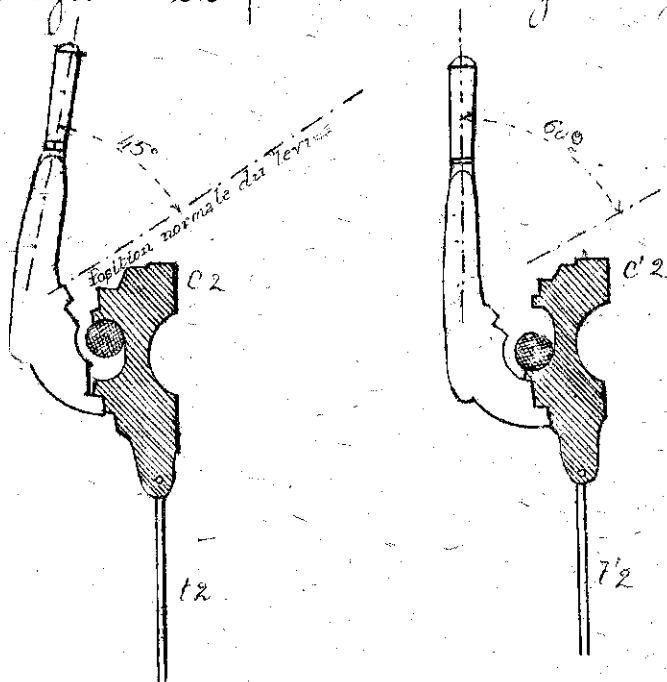


où elle se rend directement par petites fractions lorsque les distributeurs mettent hors pression en leur communiquer avec la décharge, soit les conduites de manœuvre, soit les conduites de contrôle. Pour éviter les effets de la gelée, l'eau est additionnée d'une certaine quantité de glycérine.

Les moteurs des aiguilles sont à double effet en places 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 . Ses deux pistons p_1 en 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

- 272 -

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, et 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 le 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 E_3 produit tous les enclenchements utiles.

Les moteurs des signaux sont à simple effet et logés dans le socle 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 et 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-ci, en même temps que le signal se referme.

Au moteur de chaque aiguille aboutissent en résumé 4 conduites distinctes : 1^{re} une conduite de pression constante qui se ramifie en deux pour agir sur le petit piston p , du moteur, d'une part, sur le distributeur de contrôle d'autre part ; 2^e une conduite de manœuvre D_1P_1 qui est mise alternativement en charge ou en décharge par le distributeur de manœuvre ; 3^e une conduite de contrôle D_2P_2 qui est alternativement mise en charge ou en décharge à la fin de la course de l'aiguille ; 4^e une conduite de décharge qui va du distributeur de contrôle au bas de décharge.

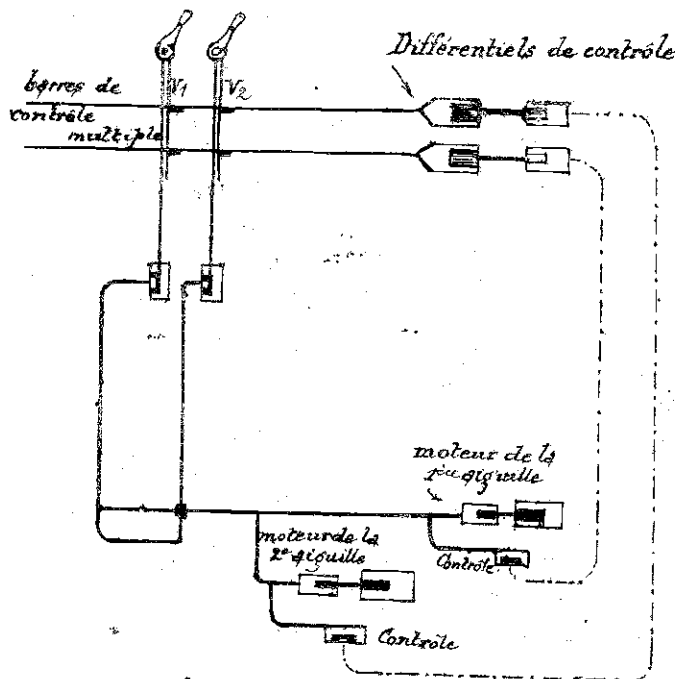
Calanes hydrovynamiques à trajecteurs en 6 contrôles multiples Dans ce système, appliqué comme nous l'avons dit à Armentières et à Valenciennes, il n'y a plus de manettes individuelles intéressantes exclusivement les appareils de voie, mais seulement des manettes "trajecteur" dont l'action provoque la manœuvre de toute une série d'aiguilles et des manettes "insenseur" qui provoquent l'ouverture du signal dans un sens ou dans l'autre.

Ses enclenchements Stevens se réduisent alors à empêcher



les convergences dangereuses entre les trajecteurs, à obliger à manœuvrer certains trajecteurs avant d'actionner les inverseurs en 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 cammes 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 en au contrôle

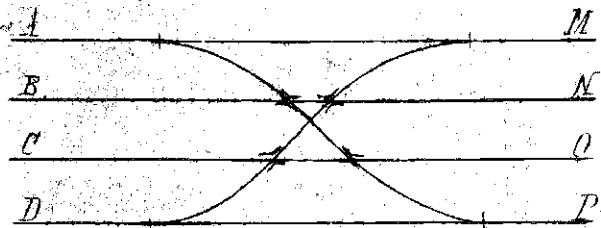
impératif des aiguilles du trajet considéré.

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 d'un "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 parallélogrammiques dont la face



	M	N	O	P
A				
B				
C				
D				

avant est un carré de 12 centimètres de côté seulement. Autour du centre de chaque 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_1c_1 , soit dans la position horizontale o_2c_2 , on détermine, d'une part, dans un plan situé immédiatement en arrière de celui des poignées, le jeu

d'organes d'engrenement 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 en, 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 afférente à tous les mouvements qui ont comme origine ou comme point d'aboutissement l'une des voies d'arrivée A, B, C , etc. Une colonne verticale étant au contraire afférente 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 la tournant verticale o_1c_1 pour aller de c vers o , ou horizontale o_2c_2 pour aller de o vers c .

Grâce à cette disposition en table de Pythagore, un agent

quelconque son à même de remplacer sans apprentissage, l'aiguille habituelle.

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 en des signaux peuvent être soit électriques, soit hydrauliques, soit pneumatiques. Dans une application faite au Sandy, à proximité de la gare de Paris Nord, les moteurs fonctionnent par l'air comprimé à basse pression.

Enclenchement par serrures Boute. — Nous venons de voir comment sont réalisés, dans les gares de grande et de moyenne importance, les enclenchements des appareils dans la manœuvre soit groupée dans des postes de concentration, où un ou plusieurs aiguilleurs opèrent en permanence.

Dans les petites stations, où la faible fréquence des manœuvres ne justifierait pas l'installation de postes d'enclenchement coûteux en où les leviers de manœuvre devraient 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'enclenchement par serrures Bouré permet 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.

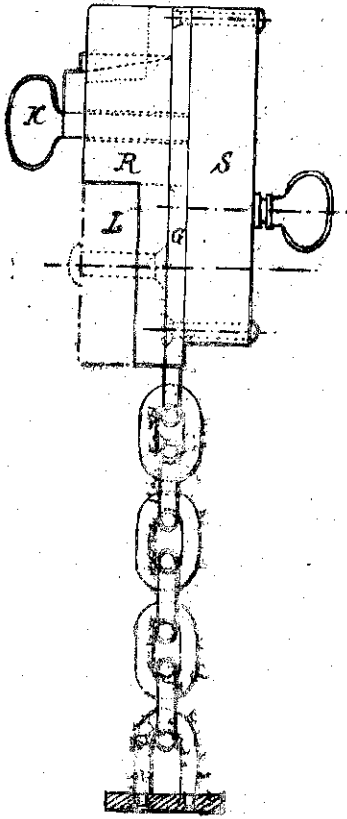
Sur chacun des appareils à enclencher (levier d'aiguille ou de signal, taquet d'arrêt plaque tournante, etc.) est rivée une armature percée d'une alvéole dans laquelle une clé dite clé fixe peut coulisser, mais reste à demeure. D'autre part, une serrure-agrès est reliée par une chaîne de longueur déterminée au bâti de l'appareil à immobiliser. Si on rapproche la serrure-agrès de l'armature de manière à les agrèser en si on les rend solidaires en tournant la clé fixe, une manœuvre de pêne libère une clé mobile, qu'on peut alors seulement tourner elle-même pour la dégager de la serrure. L'ensemble de l'agrase 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.

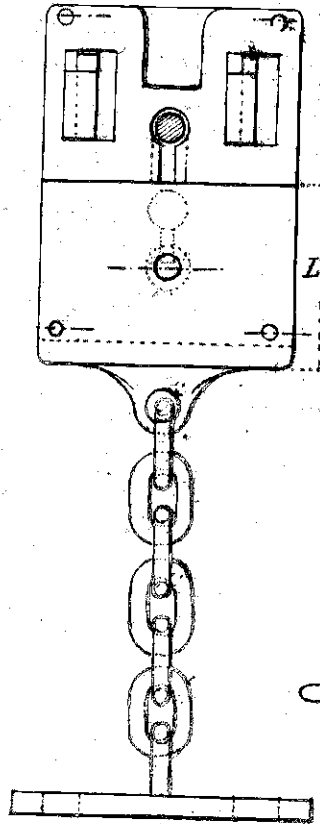
On peut donc faire état de la présence de cette clé mobile sur un autre point, soit pour ouvrir une 2^e serrure agencée en libérant directement un 2^e appareil qui se trouve ainsi enclenché directement avec le premier, soit pour la faire agir en même temps que plusieurs autres clés sur une serrure centrale pour matérialiser toute une direction avant de libérer un si.

Serrure Bouré.

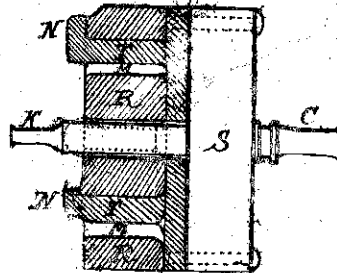
Serrure agencée
vue de côté



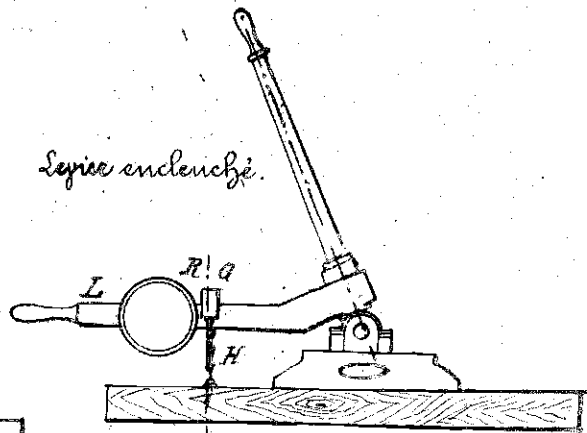
Serrure agencée
vue de face côté armature



Coupe transversale
de la serrure agencée

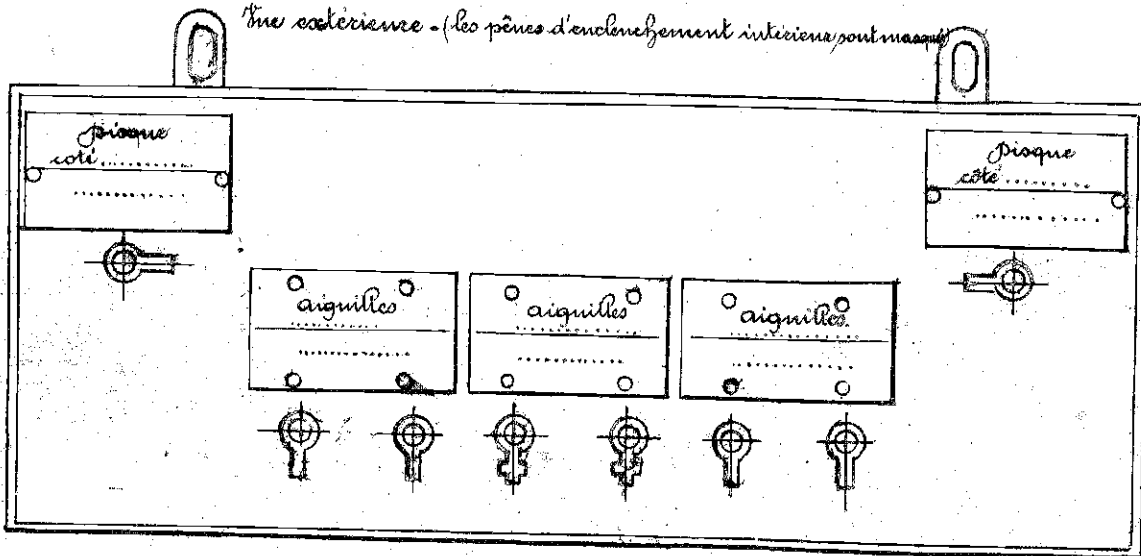


Série enclenchée.



Serrure centrale.

vue extérieure - les pènes d'enclenchement intérieurs sont masqués



qual (donc la clé mobile est extraite de la serrure centrale).

Dans une serrure agencée, deux pènes 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 en non contrariété le jeu des pènes 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 paratonnes découpés sur des profils différents en constituant 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

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, en 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 en celui des marchandises en 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 en font au contraire d'assez longs parcours sans arrêts, les trains express, qui marchent à grande vitesse en ne desservent qu'un petit nombre de stations, en 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 en 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 261 kilomètres.

On appelle *vitesse moyenne de marche* entre deux stations consécutives la vitesse uniforme qui permettrait de faire effectivement le trajet en déduisant le temps nécessaire pour le démarrage, l'arrêt en 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, donc il faut

décaler 1 minute $\frac{1}{2}$ pour démarrage en ralentissement, à entre Arras & Longueau une vitesse moyenne de marche de 98 kilomètres $\left(\frac{661 \times 60}{40,5}\right)$.

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 remarqués par des machines identiques, on adopte des vitesses moyennes de marche identiques pour une même portion du parcours.

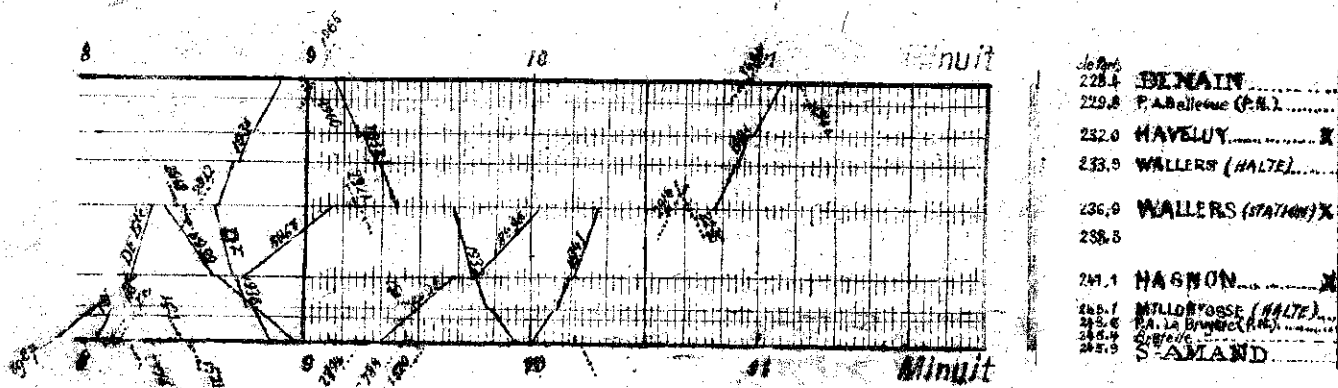
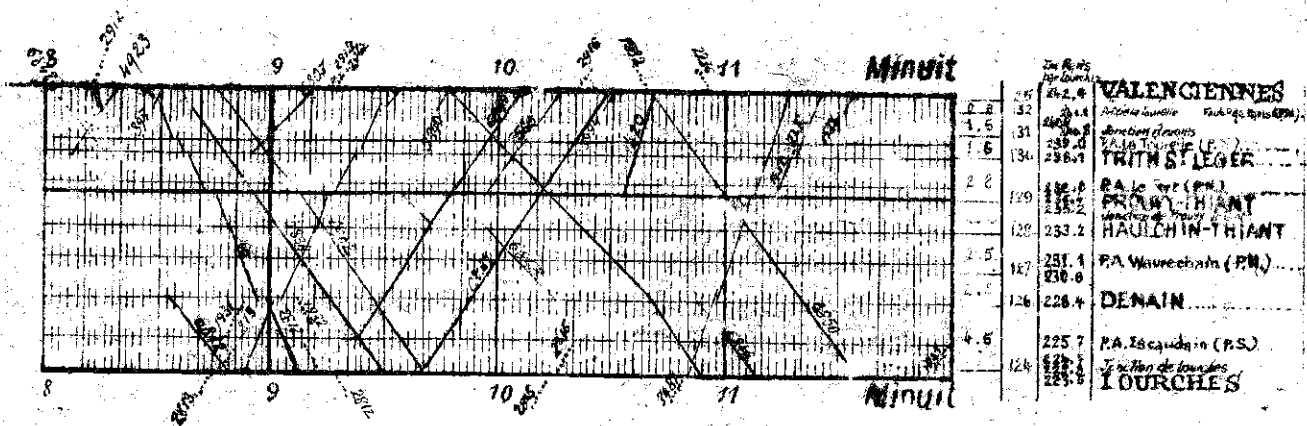
Sur le réseau du Nord, la vitesse moyenne de marche adoptée dans chaque cas pour le tracé des horaires ne dépasse guère 60 kilomètres pour les trains omnibus, 70 km. pour les trains directs, 80 km. pour les express et 100 km. pour les trains rapides. En ce qui concerne les trains de marchandises, la 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. Les 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 minutes à minutes.



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 8 h. 25 soir pour arriver à Saurches à 9 h. 07 en, qui fait arrêt, en particulier à Grouy de 8 h. 41 à 8 h. 44, à Epaulchin de 8 h. 47 à 8 h. 48 en à Denain de 8 h. 55 à 8 h. 59, est représenté par une ligne brisée descendante. Le train 1965 de sens inverse qui part de Saurches à 8 h. 53 pour aboutir à Valenciennes à 9 h. 33 soir, est au contraire représenté par 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 & Saurches, 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 garcs doivent donc s'attacher à expédier les trains à l'heure prescrite, en 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 ou 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 en y prendre des directions différentes, en 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 est 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 a besoin 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 tous 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, le train ou machine 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, car il suffit d'assurer entre trains de même sens l'espace-temps de temps ou de distance donné 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 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 expédier 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 préséance 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 concéditaires.

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 où le premier train à faire passer comme 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 *pitotage*.

Signes 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 manœuvres alternatives 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 en les trains de sens inverse sont retardés en la répercussion des retards peut être fort gênante.

Le système le plus usité en France est 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 lieu de marcher 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 doit 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 en 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 en, 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 1^{er} avril 1892, sont adoptés les tarifs kilométriques ci-après :

0 fr. 04928 pour la 3^{ème} classe,
0 fr. 0756 pour la 2^{ème}
en 0 fr 112 pour la 1^{ère} 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 en 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 composer à la date du départ en y percevant 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 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 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 se décharge en des bagages, ainsi que les opérations de transbordement d'un train à l'autre exigent l'emploi d'un personnel nombreux. Ses bagages doivent en effet être transportés sur d'assez longs parcours, à l'aide de chariots ou trieycles à bagages, entre les bascules de pesage en les fourgons des trains au départ, ou inversement, entre les fourgons des trains à l'arrivée en les bancs à bagages de la salle de livraison. Ses installations utilisées pour le service des bagages, restreintes à une bascule remaine, un banc à bagages et un quichen 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.

I - Messageries en 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 en les expédier, soit comme colis postaux pour réserve de certaines limites de dimensions et de poids, soit comme colis messageries.

Ses 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. Ses responsabilités du Chemin de fer transporteur sont limitées.

Ses 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'achève, en enfin l'incorporation de ceux-ci dans les trains de grande vitesse partant généralement des gares extrêmes entre 9 heures du soir en minuits.

Les fourgons d'affectation, créés régulièrement chaque jour avec un rôle bien défini, sont, suivant les cas, purement collecteurs, purement distributeurs, ou à la fois collecteurs distributeurs; suivant les parcours dans lesquels ils reçoivent des colis ou en distribuent.

Acheminés sur tout ou partie de leur parcours par les trains spéciaux de grande vitesse dits trains de messageries, certains d'entre eux effectuent des parcours restreints par trains de voyageurs sur les lignes secondaires.

Lorsque, pour une direction donnée, l'utilisation de wagons n'est pas justifiée, des paniers de groupage ou des nappes de groupage jouent le rôle de collecteurs ou de distributeurs.

II Marchandises en petite vitesse. — Les transports à petite vitesse, eux aussi se sont développés dans une proportion énorme au fur et à mesure que l'industrie prenait un essor de plus en plus grand. On aura une idée de cette progression en considérant que, sur le réseau du Nord, par exemple, le tonnage transporté est 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 $\frac{1}{2}$ en 1908.

Les Compagnies de Chemins de fer ont dû accroître sans cesse leurs moyens d'action par une augmentation constante de l'effectif du matériel roulant en par des agrandissements apportés dans les installations des gares. Mais, sur ce point on se trouve parfois limité, la place faisant défaut. On a alors

recherche 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 tonnages égaux) 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 en 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 égaux ailleurs.

Les marchandises transportées à petite vitesse peuvent être rangées dans 3 catégories distinctes :

1^{re} : celles qui forment l'objet de chargements de wagons complets par le public;

2^{de} : — d^{re} —

— d^{re} — chargés par la Compagnie ;

3^{de} : celles qui sont remises sous halle par petites parties (colis de détail) en donnant les opérations de manutention, de classement en de chargement au départ, ainsi que celles de déchargement à l'arrivée, incombant entièrement à la Compagnie.

Acheminement des marchandises transportées par wagons complets. — Dans la première catégorie, les opérations de chargement en 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 quai-acades 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 découper. 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 classées 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.

Grains 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 ou 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 et 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. L'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 livren spécial, en les gares de départ ou de passage on a 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 et 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 nuit, pour effectuer le trajet de Lille ou Lens 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, et 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 de temps, un peu plus tard dans la même nuit, une autre série de trains de groupes, à décomposer 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 habile par le public ne comporte pas à elle seule l'emploi d'un wagon, créent aux Compagnies des 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 en 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, en 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.

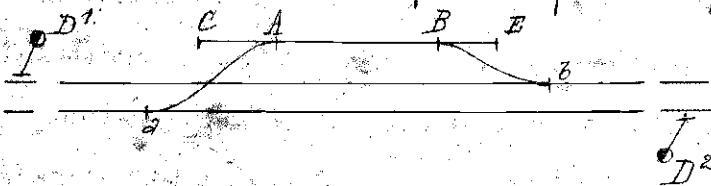
pour les colis : les itinéraires des wagons d'affectation sont donc étudiés pour faire effectuer aux wagons de longs parcours par des trains directs, en dehors des sections sur lesquelles ils sont collecteurs ou distributeurs.

Aménagement des gares en stations

Après avoir envisagé les besoins auxquels doivent satisfaire les gares en stations, c'est-à-dire les points où des stationnements de trains sont prévus pour prendre ou laisser des voyageurs, 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'arrêt, 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.

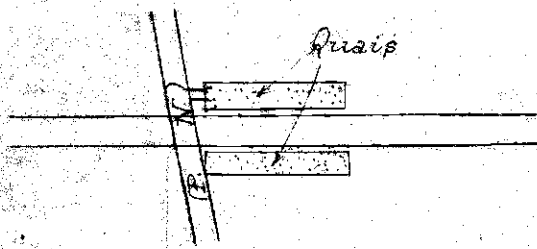


Ils se réduisent à une voie de garage AB reliée par aiguille aux deux voies de circulation

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 des crocs par certains trains de voyageurs, en général par des trains-tramways en ne comportant aucune installation spéciale autre que un ou deux quais de fortune.



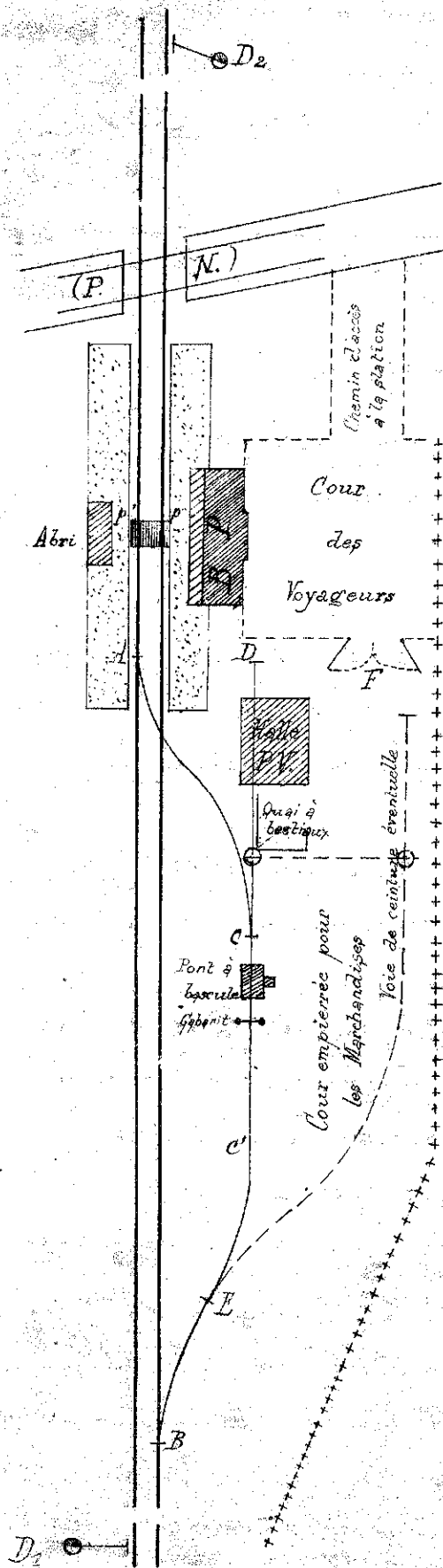
Les trains-tramways y font un arrêt de 30 secondes pour prendre ou laisser des voyageurs sans bagages et les billets sont délivrés ou recueillis par les conducteurs.

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 en d'autre 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 élevée au niveau des rails en bordure des arrières pour le passage des bandes 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 en renfermant les bureaux des billets et des bagages, consigne, grande vitesse, salle des pas perdus, salles



salles 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 en à l'autre voie principale par l'aiguille A. Les trains de deux sens peuvent ainsi prendre ou laisser des wagons sides 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.

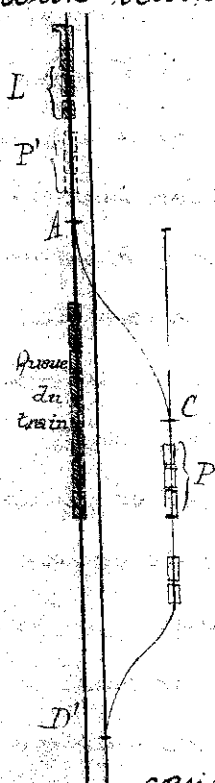
C'est dans cette cour aux marchandises, dans la longueur cc', que le public effectue le chargement ou le déchargement des wagons complète de voiture à wagon ou de wagon à

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 (chaque 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 I 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, la machine recule pour refouler toute la rame des wagons, qui viennent 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 I, 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 3^e fois au-delà de l'aiguille A, en refoule le groupe I des wagons à laisser sur la voie de garage au point occupé précédemment par le groupe P. La tête du train s'avance une 4^e 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 et laisser pour quitter la station en continuant sa route.

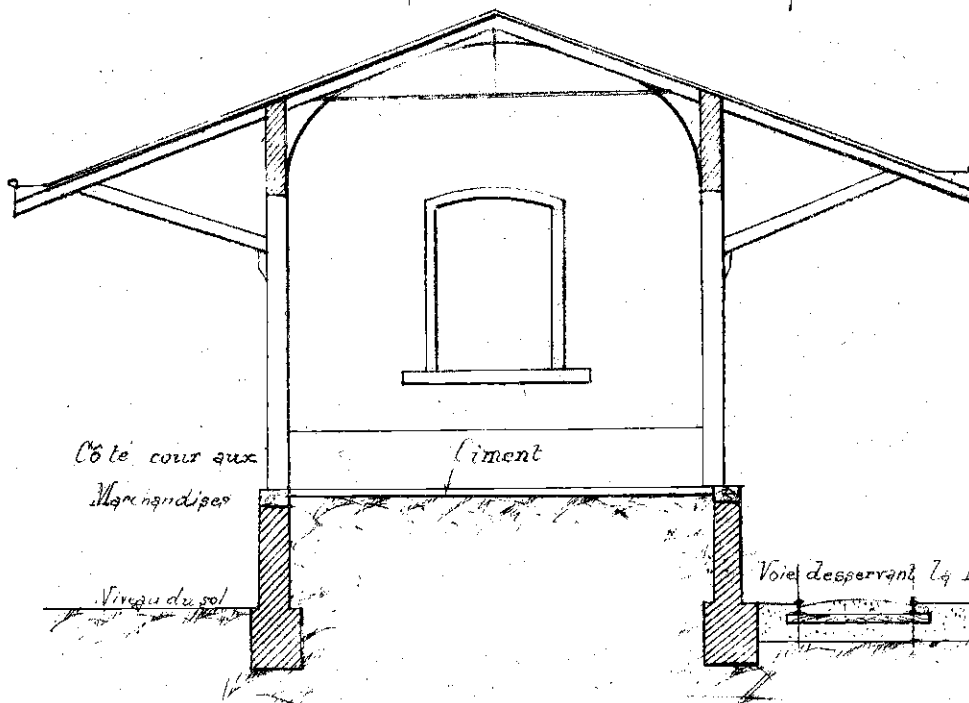
Sur la voie de garage se trouve une bascule permettant de peser les wagons en un gabarit de chargement: ce dernier est une sorte de horrique métallique suspendu dans l'axe de la voie en don le profil est découpé suivant les dimensions extrêmes à ne pas dépasser en largeur ou en hauteur pour le chargement des wagons.

Ces installations suffiraient pour le service des wagons complets pour les opérations de chargement et de déchargement incombant 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 concerné, 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 surélève de manière à se trouver à peu près à la hauteur du



- 26 -

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.

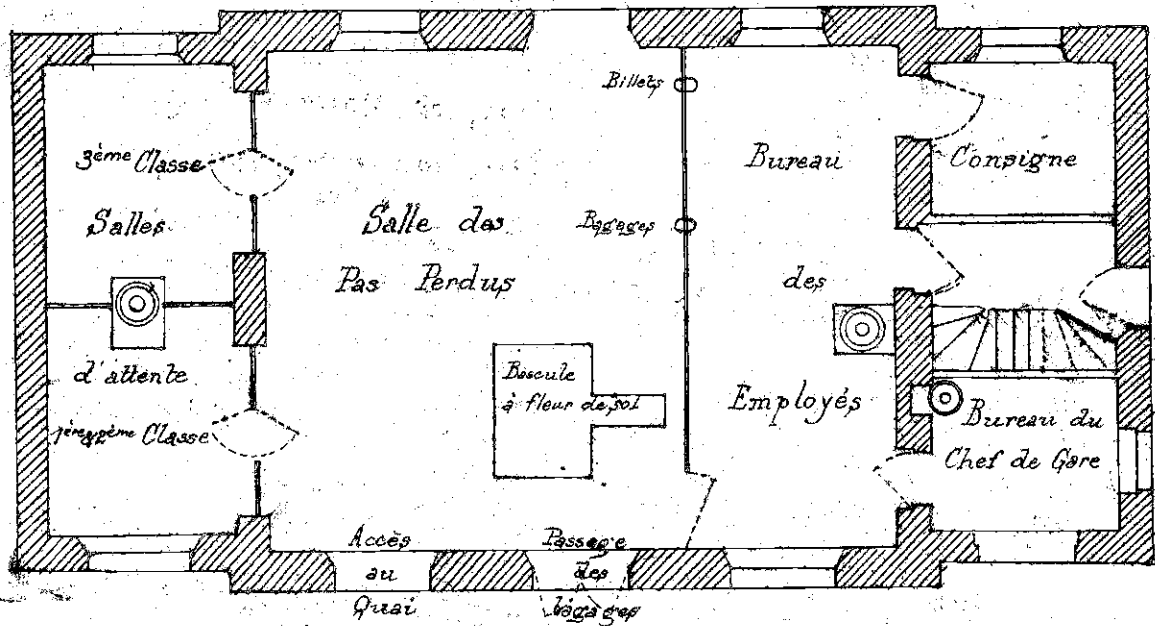
Sur le quai de la halle se trouve une bascule romaine qui permet de vérifier le poids des colis. C'est là que, après pointage de la déclaration d'expédition, l'agent préposé à la reconnaissance donne le visa sur la foi duquel l'employé aux écritures établit les titres de transports. Les colis déposés sous halle sont immédiatement étiquetés, tous prêts à quitter la station dans l'un des wagons affectation dont nous avons parlé précédemment. Un appareil de levage (grue à pignon ou grue électrique) 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 2^{ème} voie de débord dite voie de ceinture EF reliée à la première par une aiguille 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.

En 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 en un guichet distinct pour l'enregistrement des bagages. Une bascule romaine à plateau, ou mieux, une bascule à fleur de sol en à cadran, se trouve disposée près d'une des portes ouvrant sur le quai, en réserve au passage des bronettes, outicy-
cles

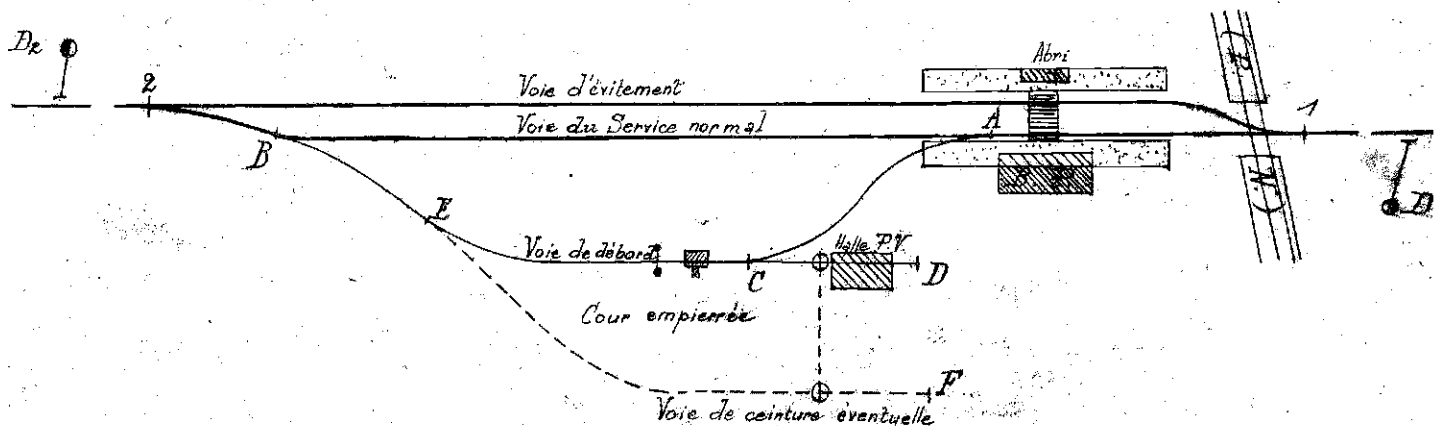
à bagages ; une autre porte est réservée à l'accès des quais pour les



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. Sa 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



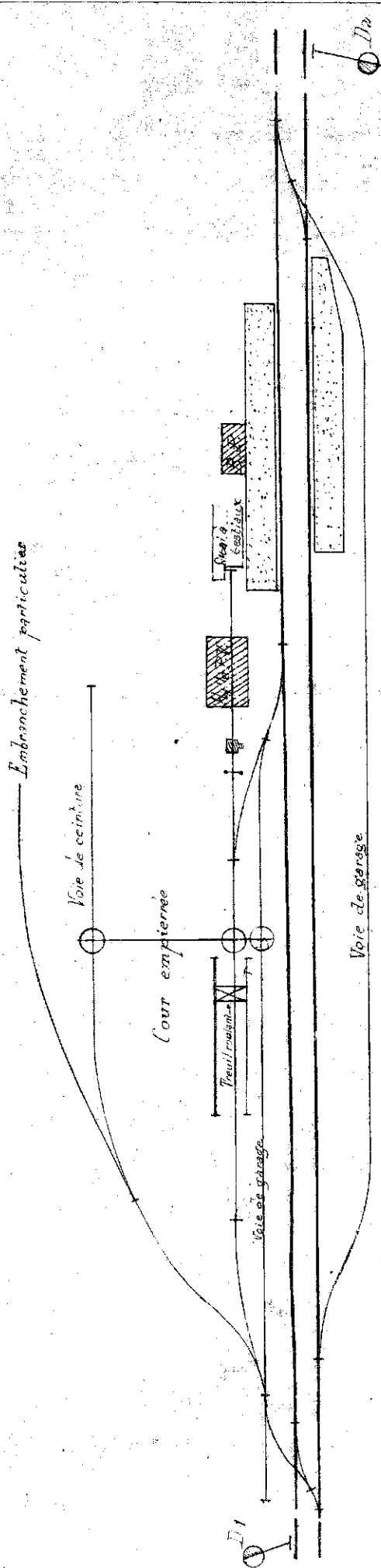
le périmètre de la station afin de permettre d'y recevoir deux trains de sens opposé, donne le croisement en plein dans la station. Les aiguilles de dédoublement 1 & 2 prises en pointe par les trains donnent lieu à des visites fréquentes, auxquelles on supplée par l'établissement d'endossements spéciaux.

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, empiétant 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, dessert des embranchements particuliers) en une machine de manœuvres sienne 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 serv 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, serv 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

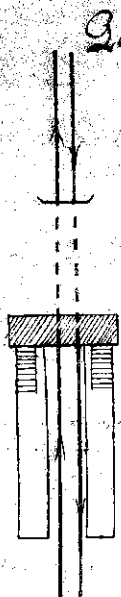
batterie le long des wagons en pour faire un dépôt provisoire à terre des lourdes masses à manutentionner à l'aide du treuil.

Autres types de stations. — Un type récent en appliqué aux



petites stations en haltes sur le réseau du Nord. Comme en n'exigeant qu'une longueur réduite (20 mètres environ) pour la cour empierrée, il permet de disposer de deux voies en impasse desservies facilement au passage par les trains des deux sens.

Sur l'une des impasses (voisine du bâtiment principal) se trouve la halle P.V., le pont à bascule en le gabarin. Ses deux impasses sont réunies par une jonction qui donne la possibilité de faire passer un wagon d'une impasse sur l'autre pour le mettre au départ.



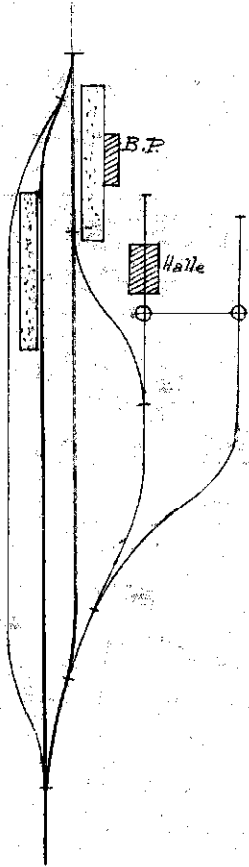
Parmi les dispositions spéciales de stations, on peut citer celle adoptée pour le service des voyageurs sur le Chemin de fer de Ceinture à Paris. Ses voies se trouvant en tranchée, le bâtiment est disposé perpendiculairement en au-dessous de ces voies.

Aux deux extrémités du bâtiment, un escalier dessert chacun des quais à voyageurs. La salle des pas perdus en le bureau des billets se trouvent à la partie supérieure; de petits bureaux pour le service des bagages sont placés sur les quais, en exceptionnellement, 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 circulent 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 conduisant d'un quai à l'autre. Sa 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.

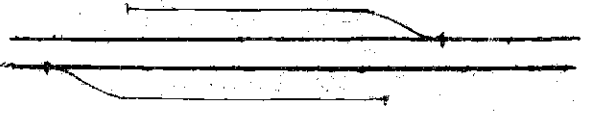
Stations de dépassement. — La grosse différence qui existe entre les vitesses commerciales respectives des trains de voyageurs et des trains de marchandises fait que ces derniers sont obligés de se garer en cours de route dans certaines stations pour laisser passer les trains de voyageurs. Il faut donc 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 tout indiquées pour cet usage, en 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



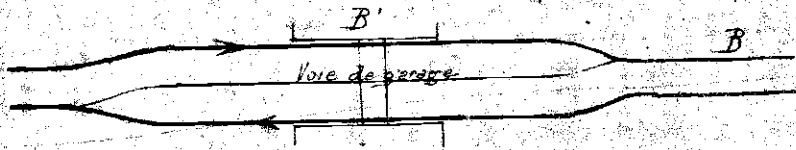
deux voies en cul-de-sac sur lesquelles les trains sont garés par refoulement.

— 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

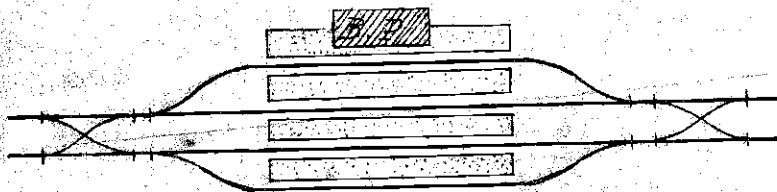


donnant l'avantage de garer sur une seule voie un train de l'une ou de l'autre

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 entre-voie 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